

Archeometriai Műhely

2021.
XVIII. évfolyam 2. szám

Archeometriai Műhely

szabad hozzáférésű elektronikus folyóirat



Kiadja a Magyar Nemzeti Múzeum
Felelős kiadó: Varga Benedek, főigazgató

Szerkesztők: T. Biró Katalin, Szilágyi Veronika

A szerkesztőbizottság tagjai:

Bajnóczi Bernadett, Bartosiewicz László, Bárány Annamária, Ilon Gábor, Kasztovszky Zsolt,
Kiss Viktória, Lencz Balázs, Molnár Mihály, Péterdi Bálint, Sümegi Pál, Szakmány György,
Székely Balázs, Zöldföldi Judit

www.ace.hu/am

ISSN: HU ISSN 1786-271X

URN: urn:nbn:hu-4106

Tartalom / Contents

Archeometriai Műhely / Archaeometry Workshop No. 2021/2.

Truly interdisciplinary science! ceramic, metal, glass, and stone provenancing studies as tools to understand the archaeology of trade and exchange

EAA Session #211, 2021

Session organizers: Evelyne Godfrey, Zsolt Kasztovszky

Az European Association of Archaeologists interdisziplináris kutatásokkal foglalkozó #211-es szekciójának anyagából

A szekció szervezői: Evelyne Godfrey, Zsolt Kasztovszky

Előljáróban / Introductory comments

SZILÁGYI, Veronika & : [Új korszak az AM életében? / New period in the life of AM?](#) **95-96**
T. BIRÓ, Katalin

Cikkek / Articles

RODLER, A.S.; : [Investigating the provenance of Egyptian blue pigments in](#) **97-108**
MATTHYS, S.M.; [ancient Roman polychromy / Az egyiptomi kék festékanyagok](#)
BRØNS, C.; ARTIOLI, [származási helyének vizsgálata a római polikróm művészetben](#)
G.; SNOECK, C.;
DEBAILLE, V. &
GODERIS, S.

SZILÁGYI, V.; : [Application of heavy mineral analysis for ceramic provenance](#) **109-122**
PÉTERDI, B.; [research by the micromineralogical collection of the Mining and](#)
SZAKMÁNY, Gy.; [Geological Survey of Hungary – a case study / Nehézasvány](#)
JÓZSA, S.; MIKLÓS, [vizsgálat a kerámiák eredetkutatásának szolgálatában a Magyar](#)
D.G. & GYURICZA, [Bányászati és Földtani Szolgálat nehézasvány gyűjteményének](#)
Gy. [segítségével - esettanulmány.](#)

DÉVAI, K.; FÓRIZS, I. : [The tradition of facet-cut bowls from Pannonia: style,](#) **123-134**
& LESKÓ, M.Zs. [distribution and chemical composition / A facettált-véssett](#)
[díszítésű tálak tradíciója Pannóniából: stílus, elterjedés és](#)
[kémiai összetétel](#)

Melléklet / Appendix [Dévai et al., Appendix](#) **(2 p.)**

További cikkek / Regular articles

TARBAY, J.G. & : [Brass brooch: a fake 'Late Bronze Age violin-bow fibula from](#) **135-142**
MARÓTI, B. [Esztergom-Dunapart' / Sárgaréz brosz: "késő bronzkori hegedű](#)
[alakú fibula" hamisítványa "Esztergom-Dunaparttól"](#)

BONDÁR, M.; : [Különleges „gagát” gyöngy egy különleges késő rézkori sírból /](#) **143-156**
DEMÉNY, A.; [Special „jet-like” bead from a special Late Copper Age grave](#)
NÉMETH, P.;
KARLIK, M.; FINTOR,
K. & TÓTH M.

REKECZKI, K.; : [A dombói vár tégláinak kormeghatározása termolumineszcens](#) **157-174**
FILYÓ, D.; BERTA,
A.; BARTYIK, T.; [módszerrel / Thermoluminescence dating of brick samples from](#)
WOLF, M.; TÓTH, M.; [the Dombóvár Castle](#)
EI HAMMED, D. &
SIPOS, Gy.

Közlemények / Other communications

BAJNÓCZI, Bernadett	:	In memoriam Tóth Mária (1946-2021)	175-176
Melléklet / Appendix	:	Tóth Mária archeometriai tárgyú publikációi (2021. novemberig)	(12 p.)
T. BIRÓ, Katalin	:	Obszidián konferencia a COVID árnyékában	177-178
SZABÓ, János József	:	Könyvismertetés: Tudor Soroceanu-Eugen Sava: Die Metallgefäße zwischen Karpaten und Westaltai während der Bronze- und Früheisenzeit	179-181
SZABÓ, János József	:	Buchrezension: Tudor Soroceanu-Eugen Sava: Die Metallgefäße zwischen Karpaten und Westaltai während der Bronze- und Früheisenzeit	(179-181)
T. DOBOSI, Viola	:	Könyvismertetés: Környezettörténet. Tanulmányok Sümegi Pál professzor 60 éves születésnapjára	181-184

ÚJ KORSZAK AZ AM ÉLETÉBEN?

*

„Nagykorú” lett az Archeometriai Műhely. A 2004-ben alapított folyóirat XVIII. évfolyamát olvashatják kedves, és remélhetőleg egyre bővülő körökhöz tartozó olvasóink. Küldetésünk mit sem változott: a régészet és műtárgyvédalom legszélesebb köreihez tartozó interdiszciplináris vizsgálatok szakmai támogatása, gyors és széles körben elérhető publikálási lehetőséggel.

A folyóiratot alapítása óta a jelen tanulmány szerzője, T. Biró Katalin főszerkesztő irányította, jelentős és elhivatott szerkesztőbizottságra támaszkodva. Most van itt az ideje, hogy a szerkesztőségben, így a főszerkesztő személyében is változás, változások következzenek be.

Az új főszerkesztő személye garancia arra, hogy a folyóirat szellemisége töretlen mederben, de megújulva folytatódjon. A feladatra a teljes szerkesztőbizottság egyetértésével Szilágyi Veronikát kértük fel, aki 2018 óta aktív tagja az AM szerkesztőségének. Szeretném őt röviden bemutatni olvasóinknak és reménybeli szerzőinknek.

Szilágyi Veronika 1981-ben született Debrecenben. Jelenleg tudományos munkatársként dolgozik az Energiatudományi Kutatóközpont Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratóriumában. Kutatási területe régészeti leletek (kerámia, kőeszköz, fém, üveg) archeometriai vizsgálata konvencionális roncsolásos (elsősorban mikroszkópi, petrográfiai-ásványtani-geokémiai), illetve neutronos (PGAA, képalkotás) módszerekkel, különös tekintettel az Árpád- és középkori régészeti kerámiák nyersanyag eredet és technológiai vizsgálatára.

Geológus végzettségű, szakdolgozatát és PhD disszertációját is földtudományi és anyagvizsgálati módszerekkel támogatott, régészeti háttérű (archeometriai) témákból írta (diplomamunka: Egy 10. századi település kerámia leletegyüttesének archeometriai vizsgálata, Edelény, Északkelet-Magyarország; PhD disszertáció: Inka kori kerámiák archeometriai vizsgálata (Paria, Bolívia): nyersanyageredet és technológia).

Munkáját mindig jellemezte a társtudományokkal, annak szemléletmódjával és képviselőivel kialakított szoros és kreatív kapcsolat. Tevékenyen részt vesz az archeometriával kapcsolatos egyetemi oktatásban. Különböző hazai és nemzetközi tudományos projektek résztvevője. Kiállítások és konferenciák szervezésében is közreműködött. Munkáját több díjjal, kitüntetéssel is elismerték.

Szakirodalmi munkásságát a Magyar Tudományos Művek Tárában részletesen is megismerhetjük: (<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10019779&view=simpleList>)

2020 óta együtt dolgoztunk Veronikával a folyóirat élén: már most sok és jelentős újításra került sor közreműködésével és irányításával. Így a folyóirat „felköltözött” a Magyar Nemzeti Múzeum saját szerverére

(<https://mnm.hu/hu/periodical/archeometriai-muhely>), saját, dedikált email címet kapott (AM szerkesztőségi cím: AM@hnm.hu), a szerkesztőségi folyamatok dokumentálása is megújult, mondhatjuk, „felnőtté vált” Veronika irányításával. Mindazonáltal, régi elérhetőségein (ace szerver: www.ace.hu és OSZK EPA szerver: <https://epa.oszk.hu/html/vgi/kardexlap.phtml?id=846>) is hozzáférhető. Külön köszönettel tartozunk ebben a folyamatban személy szerint Rajczy Miklósnak és a Magyar Természettudományi Múzeum informatikusainak és vezetésének, valamint az OSZK-EPA munkatársaknak, hogy a folyóirat tartalmi szolgáltatását vállalják és segítik.

Eredményes, jó munkát és sok izgalmas tanulmányt kívánok Veronikának és az AM minden kedves olvasójának.

*T. Biró Katalin
alapító szerkesztő*

Kedves Olvasó!

Az Archeometriai Műhely jövőre eléri a felnőtt kort, és – mintha csak életkori sajátossága volna – jelentős változáson megy át, függetlenedik szülőjétől. Nekem jut a megtisztelő feladat, hogy ezután szerkesztőként útját igazgassam. Nehéz bármit is mondani arról a szerepről, amelyet eddig T. Biró Katalin, a folyóirat alapítója, egy személyben eseményszervezője, technikai szerkesztője töltött be. Amikor a 2004/1-es első számban diplomamunkámból megírtam első Archeometriai Műhely cikkemet, még fel sem fogtam, hogy milyen kemény munka áll az épp elinduló folyóirat életre hívása mögött és mennyi feladat vár rá a jövőben. Egy modern és rendkívül izgalmas tudományterület hazai történetének mérföldköve volt a Műhely létrehozása. Ahogyan Kati munkássága, úgy a folyóirat is a régészet és az azt segítő társtudományok együttműködéséről, az interdiszciplináris párbeszédéről szól. A tudás és érdeklődés ezernyi szála fonódik össze, hogy mindig új ismerettel gazdagítsa a múltról alkotott képünket.

Szándékunk szerint a szerkesztő és a támogató szerkesztőbizottság változatlan és töretlen lelkesedéssel fog azon munkálkodni, hogy az Archeometriai Műhely tudományok közötti találkozó színtere és értékteremtő folyóirat maradjon. A tudományterület fennmaradását és folyamatos megújulását a fiatal generáció, a pályakezdő kutatók felkarolásában, figyelmének felhívásában, számukra publikációs lehetőség biztosításában, a tudományos igényességű kutatás iránti elköteleződésük elősegítésében és rendszeres eseményekbe való bevonásában látjuk. Nem csupán tájékoztatni, hanem valóban megismertetni és a megértést segíteni szeretnénk, teret adva az ismeretcsere érdekében, hogy a folyóirat tovább támogassa a hazai archeometriáról való gondolkodást, a párbeszéd elmélyülését.

Egy folyóirat minőségét a benne publikált szakcikknek színvonala határozza meg. Erre továbbra is kiemelt hangsúlyt fektetünk színvonalas

és korszerű írások felkutatásával, melyekkel fenn tudjuk tartani az érdeklődést a tudományos eredmények iránt. Az eredeti kutatások bemutatása mellett azonban fontosnak tartjuk az áttekintéseket nyújtó összefoglaló és kritikai tanulmányokat is.

Mindez azonban csak betűk ízlésesen összeállított halmaza volna Ön, az olvasónk nélkül. Hasonlóan Terentianus Maurus gondolatához: „*Pro captu lectoris habent sua fata libelli*”, a folyóiratok sorsa is attól függ, mennyire tudja befogadni őket az olvasó.

Szilágyi Veronika
szerkesztő



• doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-007](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-007)

INVESTIGATING THE PROVENANCE OF EGYPTIAN BLUE PIGMENTS IN ANCIENT ROMAN POLYCHROMY

AZ EGYIPTOMI KÉK FESTÉKANYAGOK SZÁRMAZÁSI HELYÉNEK VIZSGÁLATA A RÓMAI POLIKRÓM MŰVÉSZETBEN*

RODLER, Alexandra S.^{1,2*}, MATTHYS, Sarah M.¹, BRØNS, Cecilie³, ARTIOLI, Gilberto⁴,
SNOECK, Christophe¹, DEBAILLE, Vinciane², GODERIS, Steven¹

¹ Analytical, Environmental and Geochemistry (AMGC) research unit, Department of Chemistry, Vrije
Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium

²Laboratoire G-Time, Département Géosciences, Environnement et Société, Université Libre de Bruxelles, 50
Avenue F.D. Roosevelt, 1050 Bruxelles, Belgium

³Ny Carlsberg Glyptotek, Dantes Plads 7 DK-1556 Copenhagen, Denmark

⁴Department of Geosciences, University of Padua, Via Gradenigo 6, I-35131 Padua, Italy

E-mail: alexandra.rodler@oeaw.ac.at

Abstract

Egyptian blue is a copper-based blue pigment that was widely used across the Mediterranean from ca. 3300 BC up to late antiquity and even later. For this case study, we analyzed the provenance of Egyptian blue from a Campana relief from the collection of the Ny Carlsberg Glyptotek, Denmark. Campana reliefs are terracotta plaques, which were named after the Italian collector Gampietro Campana, who published the first collection in 1851. These mould-made plaques were used as ornaments in central Italy from ca. 60 BC to 50 AD – a time when Egyptian blue production is attested at several sites in the Bay of Naples, Italy. The provenance of copper raw materials that were used for producing this pigment could provide clues about the distribution of production centers and trade contacts. A previous investigation of the provenance of a single bulk Egyptian blue sample of this artefact by Rodler et al. (2017) indicated a possible long-distance transport of (Iberian) copper ore or mixing of distant (Iberian) and Italian copper. Our new data are based on the lead isotope analysis of four individual Egyptian blue samples. The refined sampling resolution emphasizes the Italian South-Eastern Alps as the most likely source area of copper raw materials. This copper could have been processed in local Egyptian blue production workshops or brought to the contemporary Egyptian blue production hub in the Bay of Naples and transported from there to the workshop where the artefact was painted.

Kivonat

Az „egyiptomi kék” egy réz alapú kék festék, amelyet széles körben alkalmaztak a Földközi-tenger vidékén i. e. 3300-tól a kései antikvitásig, sőt még később is. Ehhez az esettanulmányhoz egy Campana reliefen használt „egyiptomi kék” festéket vizsgáltunk a Ny Carlsberg Glyptotek (Dánia) gyűjteményéből. A Campana reliefek terrakotta plakettek, amelyeket egy olasz műgyűjtő, Gampietro Campana után neveztek el. Campana 1851-ben tette közzé első katalógusát. Ezeket a formába nyomott plaketteket dísz tárgyként használták Itália középső részén i. e. 60-tól i. sz. 50-ig – abban az időben, amikor az „egyiptomi kék” festéket több műhelyben is előállították a Nápolyi-öböl vidékén. A festék előállításához használt réz alapú nyersanyagok vizsgálata segítséget nyújthat a festéket előállító műhelyek azonosításában és a kereskedelmi kapcsolatok vizsgálatában. Egy korábbi tanulmányban Rodler et al. (2017) felvetették a távolsági kereskedelem lehetőségét, miszerint a rezet ibériai forrásokból szereztek be, vagy ibériai eredetű rezet keverték az alapanyagokhoz. Az új vizsgálatokhoz négy mintát használtunk, melyeken ólom izotóp vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálatok szerint a réz nyersanyag nagy

* How to cite this paper: RODLER, A.; MATTHYS, S.M.; BRØNS, C.; ARTIOLI, G.; SNOECK, C.; DEBAILLE, V. & GODERIS, S., (2021): Investigating the provenance of Egyptian blue pigments in ancient Roman polychromy, *Archeometriai Műhely* XVIII/2 97–108.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-008](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-008)

valószínűséggel az olaszországi Délkeleti-Alpok bányáiból származik. Ezt a rezet helyi műhelyekben vagy a Nápolyi-öböl műhelyeiben dolgozhatták fel, ahonnan tovább szállították a plaketteket festő műhelyeknek.

KEYWORDS: LEAD ISOTOPE ANALYSIS; PIGMENT PROVENANCE; TRADE IN PIGMENT RAW MATERIALS

KULCSSZAVAK: ÓLOMIZOTÓP VIZSGÁLAT, FESTÉK SZÁRMAZÁSI HELY VIZSGÁLAT, FESTÉK NYERSANYAG KERESKEDELEM

Introduction

The pigment Egyptian blue ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) was produced in a sintering process. The coarse-textured mass of polycrystalline blue frit was obtained from fusing copper (Cu alloy or mineral), calcium (e.g., powdered limestone) and silica (e.g., silica sand), and a few percent of a flux of soda by heating in crucibles in a furnace at about 850–1050 °C (Pradell et al. 2006; Hatton et al. 2008; Grifa et al. 2016, and references therein) similar to faience and glass production (e.g., Nicholson 2012; Boschetti 2011). The blue frit was then ground to powder and used as pigment. The earliest and richest visible evidence for the use of Egyptian blue comes from Egypt (early finds from c. 3300 BC; Riederer 1997; widespread use in Egypt from the 4th Dynasty, c. 2600 BC; Berke 2002; Hatton et al. 2008), which is why the term ‘Egyptian blue’ is used for this pigment. This has also reinforced the idea that Egyptian blue was produced and exported from Egypt. However, from the 3rd millennium BC, its use became widespread in Greece and the Near East, and this pigment was also frequently used in Etruscan and Roman art (e.g., Kakoulli 2009; Piovesan et al. 2011; Ganio et al. 2015; Skovmøller et al. 2016; Brøns et al. 2016) and is even attested to Medieval art (Dariz & Schmid 2021, and references therein). Ancient texts by Pliny the Elder mention various kinds of *caeruleum* (NH 33.57; translation: Bostock 1855) – which may refer to Egyptian blue (e.g., Kakoulli 2009) – of various origins (Egypt, Scythia, Cyprus, later in the Bay of Naples and Spain). The ancient author and architect Vitruvius (c. 1st century BCE; Vitr. *De arch.* 7.11.1; translation: Morgan 1914) also mentions mass production of blue pigments first at Alexandria, later at Pozzuoli/Bay of Naples. Although only a few ancient Egyptian blue production centers in Egypt and outside of Egypt are known today, its widespread use poses the question whether local production was more common than suggested by archaeological and historical evidence.

Evaluating the potential source of copper raw materials can reconstruct ancient trade contacts. The lead (Pb) isotope approach was developed to differentiate the geological origin of ancient metal artefacts (e.g., Stos-Gale & Gale 2009) by excluding regions or mining districts that were the least likely source areas. Lead isotope analysis has recently been used for evaluating the provenance of

pigments (Shortland 2006; Nord et al. 2015; Rodler et al. 2017; Rodríguez et al. 2020; Curley et al. 2020). This can provide complementary information to constrain pigment provenance. Briefly, the abundance of one out of four Pb isotopes, ^{204}Pb , has been stable since the formation of the Earth, while the other three Pb isotopes are radiogenic (*i.e.*, time dependent). The lead isotopes ^{206}Pb , ^{207}Pb and ^{208}Pb are produced by the radioactive decay of ^{238}U , ^{235}U and ^{232}Th , respectively (Faure & Mensing 2005). The variation in Pb isotope ratios of the radiogenic lead isotopes (^{206}Pb , ^{207}Pb and ^{208}Pb) to the stable lead isotope (^{204}Pb) allows determining the geochronological age and formation history of ore minerals. It is commonly accepted that technological processes do not fractionate the Pb isotopes of the native minerals and raw materials used during archaeometallurgical production processes (e.g., Barnes et al. 1978; Stos-Gale & Gale 2009; Cui & Wu 2011). This was previously proposed for the Pb isotope composition of ancient glasses/glazes (Brill & Wampler 1967; Barnes et al. 1978; Brill et al. 1979, 1993; Wedepohl et al. 1995; Wolf et al. 2003; Henderson et al. 2005; Shortland 2006) and explained as linked to the relatively high mass of Pb isotopes and limited mass differences (Faure & Mensing 2005). However, recent research of Rademakers et al. (2020) indicates a potential Pb isotope fractionation particularly when ores with low Pb concentrations were recycled. This aspect is relevant when considering that Egyptian blue pigments may have been produced from bronze scrapings. Moreover, the available ore deposit reference data cannot be considered to fully characterize the entire spread in Pb isotope ratios of a given ore body/Pb isotope field. An interpretation of provenance thus needs to carefully consider likely variation in Pb isotope ratios within the ore body, the ancient use of ore bodies that are not known today/not included in reference databases, and potential homogenization of Pb isotopes during mixing/recycling of different alloys or minerals (e.g., Baron et al. 2014; Pearce 2016; Rademakers et al. 2020). Therefore, the use of Pb isotope ratios can only provide an exclusion of ore deposits that are unlikely source areas and thus the source discrimination has to be based on the material's cultural and archaeological background (e.g., Ling et al. 2014; Bray et al. 2016).

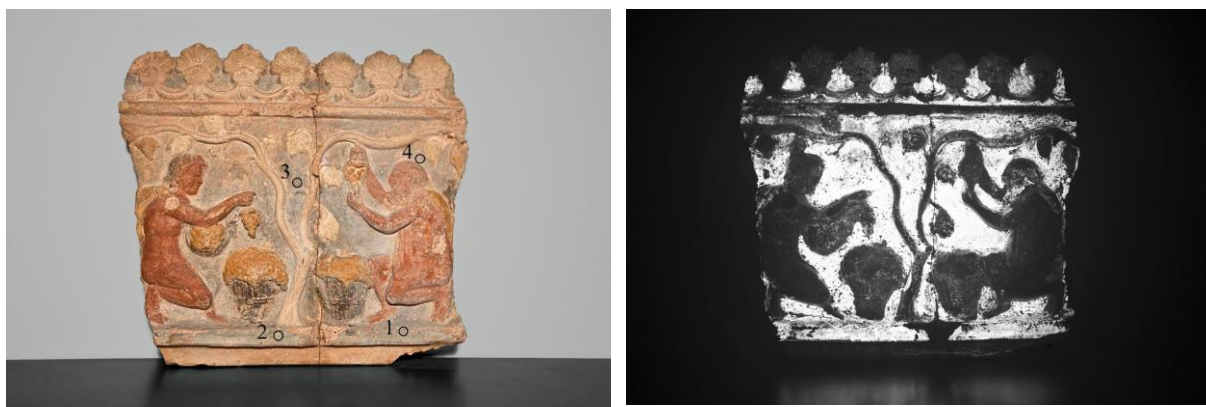


Fig. 1.: left, Color photograph of the Campana relief, NCG inv.no. IN 1708 (32 × 35 cm), with sampling spots 1 to 4 indicated by black circles; right, VIL image of artefact IN 1708 with the typical fluorescence of *Egyptian blue*.

1. ábra: balra, A Campana relief színes fényképe, NCG ltsz. IN 1708 (32 × 35 cm), a mintavételi pontokat 1-től 4-ig fekete körök jelölik; jobbra, a tárgy (ltsz: IN 1708) fotolumineszcens (VIL) felvétele, ami az *egyiptomi kék* festék jellegzetes fluoreszcenciáját mutatja.

Here, we re-investigate the provenance of the copper of Egyptian blue of a Roman terracotta artefact from the archaeological collection of the Ny Carlsberg Glyptotek (NCG), Denmark. Previous results of a single bulk sample pooled from various areas of this artefact (Rodler et al. 2017) indicated a potential mixing of Iberian and Italian South-Eastern Alpine copper ore. A higher sampling resolution was applied in the current case study to evaluate whether copper was indeed imported, and a mixing scenario is sustained (Rodler et al. 2017), or whether copper could have been locally sourced for Egyptian blue production in Italy. We use Pb isotope analysis to dismiss least likely copper source areas and consider the Pb isotope data within an archaeological and historical context. The overall aim is to improve our understanding of trade in copper and Egyptian blue pigments, as well as the possible distribution of ancient Egyptian blue production workshops.

Material and methods

The studied artefact (NCG inv. no. IN 1708, **Fig. 1.**) is part of the collection of the Ny Carlsberg Glyptotek, Denmark. It was acquired at an auction in Rome in 1899 and is a typical Campana relief showing two satyrs picking grapes and an ornamental palmette frieze is placed above the figures (Østergaard 1996). Campana reliefs were mould-made in a serial production and the same motifs were often repeated. These characteristic architectural terracotta plaques were used in Rome and Central Italy for upper walls of temples, private houses, and funerary structures during the late 1st century BC and the early 1st century AD. The

artefact IN 1708 has visible traces of blue paint on the rim below the scene, on the background of the scene and between the palmettes, as well as traces of red paint on the palmettes and the skin of the satyrs, and yellow paint on their mantles and the grapes (**Fig. 1.**). Furthermore, the blue paint was identified as Egyptian blue by near-infrared (NIR) luminescence imaging (also called visible-induced luminescence, VIL, imaging; Verri 2009). The Cu^{2+} ions of Egyptian blue emit a strong luminescence band at 910 nm when excited by visible light. A camera with a filter modified for detecting only infrared light emissions can then record this luminescence. For this purpose, the internal IR-blocking filter of a Canon 40D camera was replaced with an external Schott RG830 filter (with a cut-on of 50% at 830 nm) and a LED light source (EXcled; 470–630 nm) (see also Ganio et al. 2015; Brøns et al. 2016; Skovmøller et al. 2016).

The pigment samples were collected with a scalpel from four different spots of highly luminescent areas (**Fig. 1.**); care has been taken to sample pigment layers with no signs of significant surface alteration due to later modifications and to avoid mixing of different pigment layers. These four samples were processed as individual samples instead of producing a single bulk sample (Rodler et al. 2017).

After pigment sample digestion in ~1 ml of a mixture of 14 mol l⁻¹ HNO₃ and 8 mol l⁻¹ HCl, Pb was separated from matrix elements by ion chromatography using a standardized HBr-HCl elution recipe on columns charged with an anion resin (AG-1 ×8 100–200 mesh, Bio Rad™) at

Laboratoire G-Time, Université Libre de Bruxelles, Belgium. After separating Pb from matrix elements, the samples were diluted in 2% HNO₃ to a Pb concentration of approximately 500 ppb for subsequent Pb isotope analysis with a Nu Instruments Multi-Collector Inductively-coupled-Plasma Mass Spectrometer (MC-ICP-MS) Nu-Plasma II at the Laboratoire G-Time. The sample solutions were doped with a thallium standard solution (Alpha ICP standard) with a known ²⁰⁵Tl/²⁰³Tl isotope ratio of 2.3871. Monitoring the Tl isotope ratio while analyzing the Pb isotope ratios was used to correct for instrumental mass bias. Isobaric interference on mass 204 (²⁰⁴Hg) was monitored during acquisition using mass 202. The sample-standard-bracketing (SSB) procedure was used to correct for mass fractionation; sample Pb concentrations were determined during Pb isotope analysis. The procedural Pb blank (< 50 pg ml⁻¹) was significantly lower than the Pb concentrations of the purified Pb samples (1.53–140 ppm). The certified reference material NIST SRM 981 was analyzed along with the sample materials to correct the results and to assess accuracy and reproducibility. The routine analysis of NIST SRM 981 achieved a long-term external reproducibility of ±0.006 % (2σ) for the ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb ratio (18.234, n > 312), ±0.005 % (2σ) for the ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb ratio (15.624, n > 291), ±0.015 % (2σ) for the ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb ratio (38.274, n > 378), ±0.0003 % (2σ) for the ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb ratio (2.0990, n > 143), and ±0.0001 % (2σ) for the ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb ratio (0.8569, n > 113). However, following a conservative approach to our

external reproducibility and the error propagation reported by other authors (e.g., Stos-Gale & Gale 2009; Ling et al. 2014), we use an uncertainty of ± 0.1% for Pb isotope ratios including ²⁰⁴Pb for provenance evaluations.

Results

The Pb concentrations and Pb isotope data of all samples are listed in **Table 1**. The four Egyptian blue samples display a narrow range in all analyzed Pb isotope ratios with ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb between 38.552 and 38.676, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb between 15.672 and 15.675, ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb between 18.349 and 18.477, ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb between 2.093 and 2.101, and ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb between 0.8483 and 0.8542. While we report all analyzed Pb isotope ratios, for the purpose of provenance evaluation in comparison with copper ore deposits, we will focus on the three Pb isotope ratios over ²⁰⁴Pb. Here, all four samples have comparable ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb ratios, while there is a slightly more pronounced difference in ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb and ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb between the two samples from the rim (CampEB-1 and -2) and from the background at the top of the scene (CampEB-3 and -4). Furthermore, the samples from the background have significantly lower Pb concentrations compared to the rim (3.75 to 1.53 ppm and 62.0 to 140 ppm, respectively). The sample Pb concentrations are calculated from the signal during Pb isotope analysis and have a relative standard deviation of 10%.

Table 1: Lead isotope ratios

1. táblázat: Ólomizotóparányok

Sample ID	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb ± SE	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb ± SE	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb ± SE	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb ± SE	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ± SE	Pb (ppm)
CampEB-1	38.567 ± 0.002	15.675 ± 0.001	18.357 ± 0.001	2.1009 ± 0.0000	0.8539 ± 0.0000	62.0
CampEB-2	38.553 ± 0.002	15.674 ± 0.001	18.349 ± 0.001	2.1012 ± 0.0000	0.8542 ± 0.0000	140
CampEB-3	38.675 ± 0.002	15.674 ± 0.001	18.477 ± 0.001	2.0931 ± 0.0000	0.8483 ± 0.0000	3.75
CampEB-4	38.640 ± 0.002	15.672 ± 0.001	18.437 ± 0.001	2.0958 ± 0.0000	0.8500 ± 0.0000	1.53
IN 1708 bulk ¹	38.597 ± 0.039	15.690 ± 0.013	18.362 ± 0.012	2.1020 ± 0.0012	0.8545 ± 0.0002	n.a.

Note: The sample IDs CampEB-1 to CampEB-4 correspond to the sampling spots (1 to 4) high-lighted in Fig. 1; variation of Pb concentration, relative standard deviation, 1RSD, is 10%; n.a. = not analyzed; 1 IN 1708 bulk sample was previously analyzed by Rodler et al. (2017).

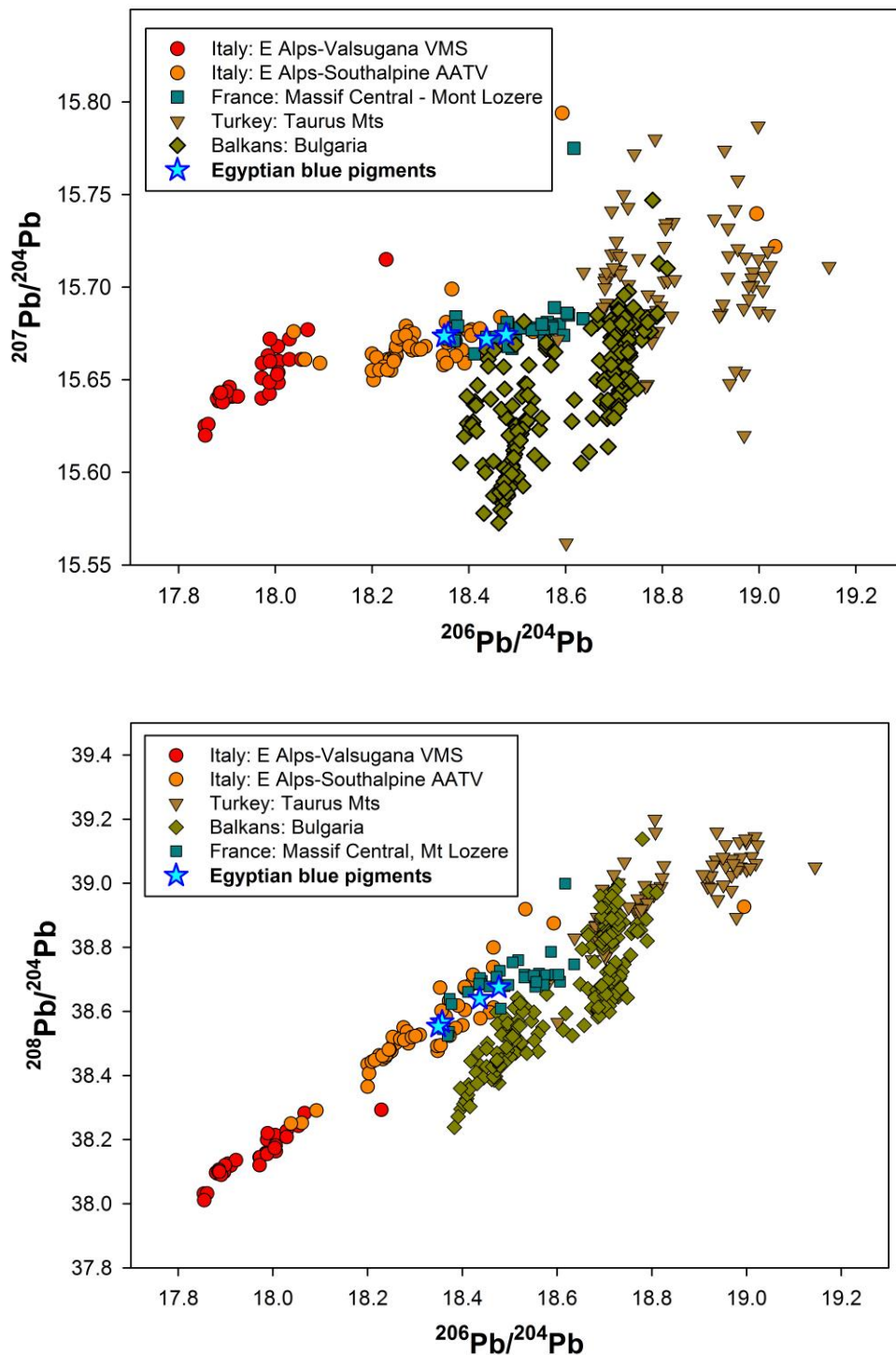


Fig. 2.: Lead isotope biplots (top: $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and bottom: $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; uncertainty of $\pm 0.1\%$ for provenance evaluations) of the analyzed Egyptian blue samples (blue stars) compared to the Pb isotope fields of Italian (VMS = Volcanogenic Massive Sulphide ore deposits; AATV = Alto-Adige-Trentino and Veneto field), Turkish, Balkan, and French copper ore deposits.

2. ábra: Ólomizotóp megoszlás (fent: $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ és lent: $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; $\pm 0.1\%$ bizonytalanság mellett) a vizsgált egyiptomi kék festékmintákban (kék csillagok) az olasz (VMS = vulkanogén masszív szulfid értelepek; AATV = Alto-Adige-Trentino és Veneto vidék), török, balkáni és francia rézérc lelőhelyek adataihoz hasonlítva.

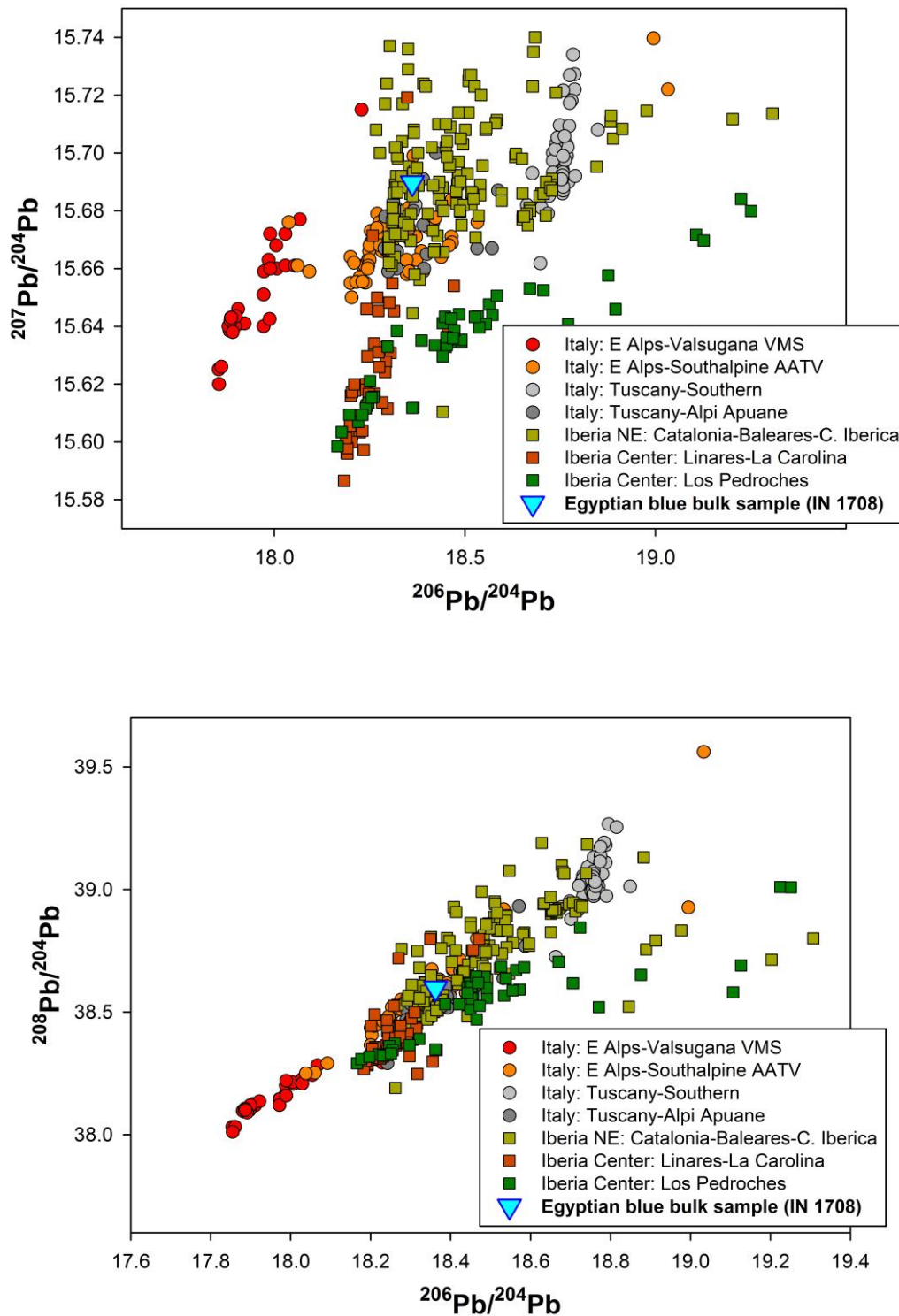


Fig. 3.: Lead isotope biplots (top: $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and bottom: $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; uncertainty of $\pm 0.1\%$ for provenance evaluations) of one Egyptian blue bulk sample (blue triangle) compared to the Pb isotope fields of Italian and Iberian copper ore deposits, modified after Rodler et al. 2017.

3. ábra: Ólomizotóp megoszlás (fent: $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ és lent: $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; $\pm 0.1\%$ bizonytalanság mellett) az egyiptomi kék festékmintában (kék háromszög) az olasz és az ibériai rézérc lelőhelyek adataihoz hasonlítva, Rodler et al. 2017. adatainak felhasználásával

The sample Pb isotope ratios were compared to reference Pb isotope data of the AAcP Pb isotope database (Artioli et al. 2016), considering ore deposits that were available to the Romans. Based on a statistical data evaluation, Pb isotope fields that closely match our samples include copper ores from France, Bulgaria, Turkey, and Italy. To evaluate patterns of distribution, sample Pb isotope ratios and these potentially matching Pb isotope fields were also plotted in an uranogenic ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) and thorogenic ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) scatter diagram (Fig. 2.). Due to limitations typical to reference datasets (e.g., the entire range of Pb isotope distribution of an ore body/Pb isotope field cannot be fully characterized), the Pb isotope-based provenance evaluation of pigments (and other archaeological artefacts) can only provide indications of a potential match between samples and ore deposits. However, the previous interpretation of a long-distance importation of copper or a mixing scenario, as proposed by Rodler et al. (2017) for a bulk sample from the same artefact, was refined by analyzing several individual samples. The Pb isotope ratios of the single bulk sample are similar to our new data (Table 1). However, the refined sampling resolution allowed for better statistical data evaluation and evaluation of data alignment compared to reference Pb isotope data. The four samples plot within the Pb isotope field of the French Massif Central as well as of the Italian South-Eastern Alps (Fig. 2.). The latter was already indicated by a previous provenance evaluation of a single bulk sample (Fig. 3.).

Discussion

Lead isotope analysis as a potentially useful approach for evaluating the provenance of artefacts (e.g., Stos-Gale & Gale, 2009; Artioli et al. 2008, 2016) has a long history in archaeological sciences. Its application, potential and pitfalls were recently reviewed by Killick et al. (2020) and Artioli et al. (2020). Before discussing provenance and trade scenarios of copper used for producing Egyptian blue pigments, we must consider several challenges inherent to the Pb isotope approach. The Pb isotope composition of an ore deposit is controlled by the local geological history (see e.g., Baron et al. 2014), which is why this information can be interesting for tracing the provenance of archaeological artefacts. However, the geological history of an ore deposit can be complex (e.g., due to different ore sequences during the time span of deposition, various origins of mineralized fluids and metals within) and there can be a potentially significant natural spread of Pb isotope ratios within individual deposits. Also, Mediterranean ore deposits show overlapping isotopic signatures between different ores/regions. Moreover, even

though large Pb isotope databases of ore deposits that were worked during antiquity are available as reference (Killick et al. 2020), there is still a potential lack of comparable Pb isotope data (e.g., Klein et al. 2010). All these aspects are relevant when evaluating the quality and information gained through Pb isotope analysis. Additional information for provenance evaluation can be gained through major and trace element analysis as well as mineralogical phase characterization. These analyses were not available for the current work due to the available sample size. Our work is thus based on the interpretation of Pb isotope data compared to a large Pb isotope database (AAcP; Artioli et al. 2016), Pb isotope biplots and the artefact's archaeological context.

When interpreting Pb isotope data, we must keep the complexity of ore bodies and the limitations of reference databases in mind, and we must also consider various contamination scenarios. Even though care was taken during sample processing and collecting, contamination could have occurred at several stages during the life cycle of Egyptian blue pigments. Contamination during laboratory sample preparation, processing and analysis was routinely evaluated with reference materials and blank samples and did not have a significant influence on our results. All four samples were collected by an experienced conservator and from a paint layer that was identified as consisting predominately of Egyptian blue (Fig. 1., VII image). The samples were stored individually to avoid mixing of sample materials. All sampled material appeared homogenous; however, due to the lack of a chemical and mineralogical characterization of the analyzed samples, we cannot rule out that other layers of the artefact's polychromy were collected as well.

For the application of Egyptian blue pigments to the artefact, high-Pb pigments such as lead white [$(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$] may have been added (Skovmøller et al. 2016) for achieving a specific hue such as a brighter blue. However, a lead white layer underneath the Egyptian blue paint was not visible and the sample Pb concentrations (1.53 to 140 ppm; Tab. 1) are relatively low. These Pb concentrations could therefore reflect the Pb concentration of copper ores rather than deliberate addition of Pb during Egyptian blue application to the artefact (i.e., mixing with high-Pb pigments) or during pigment production (i.e., production using bronze scrapings). Nevertheless, without a chemical and mineralogical characterization of the analyzed samples, it is equally likely that their Pb contents represent a trace composite of a mixture of various raw materials used to produce copper ingots or bronze and other (low-Pb) pigments.

Moreover, various copper materials might have been used for Egyptian blue production and we

cannot be certain whether raw copper ore, refined copper metal from ingots, copper alloys or bronze was added as metal fillings during pigment production (see e.g., Jaksch et al. 1983; Piovesan et al. 2011). The typically low Pb concentrations of copper ores render copper-based materials susceptible to contamination with Pb isotope signatures of other lead sources (Rademakers et al. 2020); this might also apply to Egyptian blue pigments. Mixing of different alloys, additives during smelting or metal recycling could contribute to the overall Pb budget and homogenize the original Pb isotope signature of different materials. If significant mixing between various raw materials had occurred, the pigment Pb isotope ratios might plot on mixing lines between various Pb isotope fields. All four samples have similar Pb isotope ratios, even though the samples of the rim and the background of the scene group in two sets that exhibit differences in Pb concentrations and isotope ratios. This indicates that they were produced from copper sources or copper mixtures with similar Pb isotope ratios and not from batches of copper from distinctly different ore deposits. Furthermore, all four samples match and align well within the overlapping Pb isotope fields of the Italian South-Eastern Alps and the French Massif Central (**Fig. 2.**).

Due to such overlap and the diversity of raw materials used for manufacturing Egyptian blue, a provenance and/or trade interpretation can be complicated. However, based on the archaeological context of the artefact, we tentatively propose a potential provenance of copper used for the studied Egyptian blue pigments. The previously reported minor overlap for South-Eastern Alpine copper sources for a single bulk sample (Rodler et al. 2017) is supported by our new data. This area is closer to where the artefact was produced and is therefore more likely than Iberian sources (**Fig. 3.**; Rodler et al. 2017) or copper sources from the French Massif Central.

Exploitation of copper ores and production of copper metals have been attested in the Southern Alps during Roman times (Artioli et al. 2015, and references therein; Addis et al. 2016). Copper from the peripheral Roman provinces might have been used at presently unknown local Egyptian blue production workshops or might have been traded to known centers of pigment production. The metallurgical processes attested to the Southern Alps during Roman times could have been utilized for other types of pyrotechnology (Fenn 2015), such as glass/glaze/faience (Nicholson 2012) and pigment production. Local Egyptian blue production would have required highly skilled, specialized workers. Egyptian blue was widely used in settlements in the peripheral Roman provinces of the South-Eastern Alps (e.g., Kenner 1985; Dörfler

2009; Tober 2015). Egyptian blue pellets were also found at several sites in the Southern Alps (Delamare & Repoux 2018; recent excavations at Aguntum Municipium/East Tyrol, p.c. M. Auer) as well as pigment processing vessels of what might have been a pigment workshop (Jaschek 1993). However, the identification of pigment workshops is challenging (Kostomitsopoulou Marketou et al. 2020) and not confirmed at any of these sites.

The Campana relief dates from a time during the Roman period when Egyptian blue production was attested in the Bay of Naples (Lazzarini & Verità 2015; Grifa et al. 2016). Contemporaneous to the Egyptian blue production at Memphis, Egypt (Nicholson 2003, 2013; Hatton et al. 2008), several sites in the Bay of Naples (presently Pozzuoli, Cuma and Literno) were producing Egyptian blue pellets in the 1st century BC. The harbor of Pozzuoli was the main port of the Roman Republic before Ostia was created. Transport by ships, as attested by Roman cargo ships that carried Egyptian blue pellets (e.g., Boschetti 2011), as well as by land would have facilitated the importation of copper and other constituents. In turn, local production sites in the Bay of Naples may have exported the finished pigments for artistic uses of Egyptian blue in Rome and across Italy (Grifa et al. 2016).

Conclusions

In this work, we analyzed the provenance of four samples of Egyptian blue from a Campana relief from the collection of the Ny Carlsberg Glyptotek, Denmark. The Pb concentration of these samples is relatively low, which might imply the use of copper minerals instead of bronze scraps as main copper source. Although there is a slight difference in Pb isotope data for the Egyptian blue samples of the background and the rim, this difference does not necessarily imply that copper ores from different source areas were used. All four samples plot in a narrow range and match well with several identified Pb isotope fields. As the formation history of Mediterranean copper ore deposits falls within narrow age-windows, significant overlaps can be expected. However, using the archaeological context, the most probable source area of copper used for manufacturing the studied Egyptian blue pigments corresponds to ore deposits of the Italian South-Eastern Alps. The proximity of these deposits over those from the French Massif Central, which also overlap with the analyzed Egyptian blue pigments, favors a copper source from the South-Eastern Alps. The previously proposed scenario of an Iberian source and/or mixing between different ore deposits (Rodler et al. 2017) therefore appears more convoluted. Thus, copper from local Italian deposits was likely used to manufacture the Egyptian blue of the studied Roman-age Campana relief at local production centers, perhaps within the Bay of Naples.

Acknowledgements

Thanks to Signe Buccarella Hedegaard and to Henrietta Havsteen-Mikkelsen, Ny Carlsberg Glyptotek, Denmark, for taking photographs, VIL images and for careful sampling. Thanks to Wendy Debouge and Jeroen de Jong, Université Libre de Bruxelles, for help with ion chromatography and Pb isotope analysis, respectively. We are grateful to the Carlsberg Foundation for funding the research project *Transmission and Transformation. Ancient Polychromy in an Architectural Context* of which this research is part. Thanks are also due to the NCG for their generous support and the permission to obtain the necessary samples for this project. VD thanks the FRS-FNRS for support. ASR, SG and VD acknowledge support from the EoS program “ET-HoME”. Moreover, we thank M. Mödlinger, A. Kairiss, E. Godfrey and A. Traviglia, who organized Session #262 for EAA2020, where our work was presented and solicited for submitting to this journal, as well as Hedvig Györy and an anonymous reviewer for their constructive comments that improved this work.

References

- ADDIS, A., ANGELINI, I., NIMIS, P. & ARTIOLI, G. (2016): Late Bronze Age copper smelting slags from Luserna (Trentino, Italy): interpretation of the metallurgical process. *Archaeometry* **58** 96–114.
- ARTIOLI, G., BAUMGARTEN, B., MARELLI, M., GIUSSANI, B., RECCHIA, S., NIMIS, P., GIUNTI, I., ANGELINI, I. & OMENETTO, P. (2008): Chemical and isotopic tracers in Alpine copper deposits: geochemical links between mines and metal. *Geo Alp* **5** 139–148. https://www.uibk.ac.at/geologie/geoalp/geoalp_08/
- ARTIOLI, G., ANGELINI, I., TECCHIATI, U. & PEDROTTI, A. (2015): Eneolithic copper smelting slags in the Eastern Alps: local patterns of metallurgical exploitation in the Copper Age. *Journal of Archaeological Sciences* **63** 78–83.
- ARTIOLI, G., ANGELINI, I., NIMIS, P. & VILLA, I.M. (2016): A lead-isotope database of copper ores from the Southeastern Alps: a tool for the investigation of prehistoric copper metallurgy. *Journal of Archaeological Sciences* **75** 27–39.
- ARTIOLI, G., CANOVARO, C., NIMIS, P. & ANGELINI, I. (2020): LIA of prehistoric metals in the central Mediterranean area: a review. *Archaeometry* **62** 53–85.
- BARNES, I.L., GRAMLICH, J.W., DIAZ, M.G. & BRILL, R.H. (1978): The possible change of lead isotope ratios in the manufacture of pigments: A fractionation experiment. in: CARTER, G.F. (ed.), *Archaeological Chemistry II*, Chapter 16. Advances in Chemistry **171**. American Chemical Society, Washington, D.C., 273–277.
- BARON, S., TĂMAȘ, C.G. & LE CARLIER, C. (2014): How mineralogy and geochemistry can improve the significance of Pb isotopes in metal provenance studies. *Archaeometry* **56** 665–580.
- BERKE, H. (2002): Chemistry in ancient times: the development of blue and purple pigments. *Angewandte Chemie International Edition* **41/14** 2483–2487. [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20020715\)41:14%3C2483::AID-ANIE2483%3E3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20020715)41:14%3C2483::AID-ANIE2483%3E3.0.CO;2-U)
- BOSCHETTI, C. (2011): Vitreous materials in early mosaics in Italy: faience, Egyptian blue, and glass. *Journal of Glass Studies* **53** 59–91.
- BOSTOCK, J. (1855): Pliny the Elder. The natural history. Taylor and Francis, London.
- BRAY, P., CUÉNOD, A., GOSDEN, C., HOMMEL, P., LIU, R. & POLLARD, A.M. (2016): Form and flow: the ‘karmic cycle’ of copper. *Journal of Archaeological Sciences* **56** 202–209.
- BRILL, R.H., SHIRAHATA, H., LILYQUIST, C. & VOCKE Jr., R.D. (1993): Lead-isotope analyses of some objects from Egypt and the Near East. in: LILYQUIST, C. & BRILL, R.H. (eds.), *Studies in early Egyptian glass*. Second Printing, 1995. The Metropolitan Museum of Art, New York, 59–75.
- BRILL, R.H. & WAMPLER, J.M. (1967): Isotope studies of ancient lead. *American Journal of Archaeology* **71** 63–77.
- BRILL, R.H., YAMASAKI, K., BARNES, I.L., ROSMAN, K.J.R. & DIAZ, M. (1979): Lead isotopes in some Japanese and Chinese glasses. *Ars Orientalis* **11** 87–109.
- BRØNS, C., SKRIVER HEDEGAARD, S. & SARGENT, M.-L. (2016): Painted faces: investigations of polychromy on Etruscan artefacts in the Ny Carlsberg Glyptotek. *Etruscan Studies* **19/1** 1–45.
- CUI, J. & WU, X. (2011): An experimental investigation on lead isotopic fractionation during metallurgical processes. *Archaeometry* **53/1** 205–214.
- CURLEY, A.N., THIBODEAU, A.M., KAPLAN, E., HOWE, E., PEARLSTEIN, E. & LEVINSON, J. (2020): Isotopic composition of lead white pigments on qeros: implications for the chronology and production of Andean ritual drinking vessels during the colonial era. *Heritage Science* **8** 72.
- DARIZ, P. & SCHMID, T. (2021): Trace compounds in Early Medieval Egyptian blue carry information on provenance, manufacture,

- application, and ageing. *Scientific Reports* **11** 11296. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90759-6>
- DELAMARE, F. & REPOUX, M. (2018): Comptendu d'analyse d'une boulette bleue provenant de Magdalensberg. *Römisches Österreich* **41** 43–50.
- DÖRFLER, I. (2009): Die römischen Wandmalereien der Wohnterrassen von Teurnia. *Römisches Österreich* **32** 17–77.
- FAURE, G. & MENSING, T.M. (2005): *Isotopes: Principles and Applications*, Third edition. John Wiley and Sons, New York, 928 pp.
- FENN, T.R. (2015): A review of cross-craft interactions between the development of glass production and the pyrotechnologies of metallurgy and other vitreous materials. *Cambridge Archaeological Journal* **25** 391–398.
- GANIO, M., SALVANT, J., WILLIAMS, J., LEE, L., COISSART, O. & WALTON, M. (2015): Investigating the use of Egyptian blue in Roman Egyptian portraits and panels from Tebtunis, Egypt. *Applied Physics A* **121** 813–821.
- GRIFA, C., CAVASSA, L., DE BONIS, A., GERMINARIO, C., GUARINO, V., IZZO, F., KAKOULLI, I., LANGELLA, A., MERCURIO, M. & MORRA, V. (2016): Beyond Vitruvius: new insights in the technology of Egyptian blue and green frits. *Journal of the American Ceramic Society* **99** 3467–3475.
- HATTON, G.D., SHORTLAND, A.J. & TITE, M.S. (2008): The production technology of Egyptian blue and green frits from second millennium BC Egypt and Mesopotamia. *Journal of Archaeological Sciences* **35** 1591–1604.
- HENDERSON, J., EVANS, J.A., SLOANE, H.J., LENG, M.J. & DOHERTY, C. (2005): The use of oxygen, strontium and lead isotopes to provenance ancient glasses in the Middle East. *Journal of Archaeological Sciences* **32** 665–673.
- JAKSCH, H., SEIPEL, W., WEINER, K.L. & ELGORES, A. (1983): Egyptian blue - cuprorivaite: a window to ancient Egyptian technology. *Naturwissenschaften* **70** 525–535.
- JASCHEK, G. (1993): Einige Überlegungen zu einer geschlossenen keramischen Fundgruppe aus Kalsdorf, Parz. 421/1. in: LORENZ, Th. (ed.) *Ausgrabungen: Die Römer in Kalsdorf. Kalsdorfer Kulturberichte* **1** 7–9.
- KAKOULLI, I. (2009): Egyptian blue in Greek painting between 2500 and 50 BCE. in: SHORTLAND, A.J., FREESTONE, I.C. & REHREN, T. (eds.), *From Mine to Microscope. Advances in the Study of Ancient Technology*. Oxbow Books, Oxford. 79–92.
- KENNER, H. (1985): Die römischen Wandmalereien des Magdalensberges. *Archäologische Forschungen zu den Grabungen auf dem Magdalensberg* **8** Klagenfurt.
- KILLICK, D.J., STEPHENS, J.A. & FENN, T.R. (2020): Geological constraints on the use of lead isotopes for provenance in archaeometallurgy. *Archaeometry* **62** 86 – 105.
- KLEIN, S., BREY, G.P., DURALI-MÜLLER, S. & LAHAYE, Y. (2010): Characterisation of the raw metal sources used for the production of copper and copper-based objects with copper isotopes. *Archaeological and Anthropological Sciences* **2** 45–56.
- KOSTOMITSOPOULOU MARKETOU, A., ANDRIULO, F., STEINDAL, C. & HANDBERG, S. (2020): Egyptian Blue Pellets from the First Century BCE Workshop of Kos (Greece): Microanalytical Investigation by Optical Microscopy, Scanning Electron Microscopy-X-ray Energy Dispersive Spectroscopy and Micro-Raman Spectroscopy. *Minerals* **10** 1063.
- LAZZARINI, L. & VERITÀ, M. (2015): First evidence for 1st century AD production of Egyptian blue frit in Roman Italy. *Journal of Archaeological Sciences* **53** 578–585.
- LING, J., STOS-GALE, Z., GRANDIN, L., BILLSTRÖM, K., HJÄRTHNER-HOLDAR, E. & PERSSON, P.-O. (2014): Moving metals II: provenancing Scandinavian Bronze Age artefacts by lead isotope and elemental analyses. *Journal of Archaeological Sciences* **41** 106–132.
- LING, J., STOS-GALE, Z., GRANDIN, L., BILLSTRÖM, K., HJÄRTHNER-HOLDAR, E. & PERSSON, P.-O. (2014): Moving metals II: provenancing Scandinavian Bronze Age artefacts by lead isotope and elemental analyses. *Journal of Archaeological Sciences* **41** 106–132.
- MORGAN, M.H. (1914): *Vitruvius: The Ten Books on Architecture*. Harvard University Press, Cambridge. 372 pp.
- NICHOLSON, P.T. (2003): New excavations at a Ptolemaic-Roman faience factory at Memphis, Egypt. 15e Congrès de l'Association pour l'Histoire du Verre, 15-20 October 2001. *Annales du 15e Congrès de l'Association pour l'Histoire du Verre*, 49–52.
- NICHOLSON, P.T. (2012): “Stone... That Flows”: Faience and Glass as Man-Made Stones in Egypt. *Journal of Glass Studies* **54** 11–23.
- NICHOLSON, P.T. (2013): Kom Helul, Memphis, its archaeological context and early work. in: NICHOLSON, P.T. (ed.): *Working in Memphis: the production of faience at Roman period Kom*

Helul *Excavation Memoir* **105** London: Egypt Exploration Society, 3–14.

NORD, A.G., BILLSTRÖM, K., TRONNER, K. & OLAUSSON, K.B. (2015): Lead isotope data for provenancing mediaeval pigments in Swedish mural paintings. *Journal of Cultural Heritage* **16** 856–861.

ØSTERGAARD, J.S. (1996): *Catalogue*. Ny Carlsberg Glyptotek, Imperial Rome. Copenhagen, 277–278.

PEARCE, M. (2016): Archaeology and archaeometallurgy: some unresolved areas in the interpretation of analytical data. *Science and Technology of Archaeological Research* **2** 46–53.

PIOVESAN, R., SIDDALL, R., MAZZOLI, C. & NODARI, L. (2011): The temple of Venus (Pompeii): a study of the pigments and painting techniques. *Journal of Archaeological Sciences* **38** 2633–2643.

PRADELL, T., SALVADO, N., HATTON, G.D. & TITE, M.S. (2006): Physical processes involved in production of the ancient pigment, Egyptian blue. *Journal of the American Ceramic Society* **89** 1426–1432.

RADEMAKERS, F.W., VERLY, G., SOMAGLINO, C. & DEGRYSE, P. (2020): Geochemical changes during Egyptian copper smelting? An experimental approach to the Ayn Soukhna process and broader implications for archaeometallurgy. *Journal of Archaeological Science* **122** 105223.

RIEDERER, J. (1997): Egyptian blue. In: WEST FITZHUGE, E. (ed.) *Artists' pigments: a handbook of their history and characteristics*, vol. 3. National Gallery of Art, Washington, pp. 23–45.

RODLER, A.S., ARTIOLI, G., KLEIN, S., FINK-JENSEN, P. & BRØNS C. (2017): Provenancing ancient pigments: lead isotope analyses of the

copper compound of Egyptian blue pigments from ancient Mediterranean artefacts. *Journal of Archaeological Science: Reports* **16** 1–18.

RODRÍGUEZ, J., MONTERO-RUIZ, I., HUNT-ORTIZ, M. & GARCÍA-PAVÓN E. (2020): Cinnabar provenance of Chalcolithic red pigments in the Iberian Peninsula: A lead isotope study. *Geoarchaeology* **35** 871–882.

SHORTLAND, A.J. (2006): Application of lead isotope analysis to a wide range of Late Bronze Age Egyptian materials. *Archaeometry* **48/4** 657–669.

SKOVMOELLER, A., BRØNS, C. & SARGENT, M.L. (2016): Egyptian blue: modern myths, ancient realities. *Journal of Roman Archaeology* **29** 371–387.

STOS-GALE, Z.A. & GALE, N.H. (2009): Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID). *Archaeological and Anthropological Sciences* **1** 195–213.

TOBER, B. (2015): Die römischen Wand- und Deckenmalereien aus Saalfelden/Wiesersberg. *Archäologie in Salzburg, Band 10*, Salzburg Museum, Salzburg, 223–262.

VERRI, G. (2009): The spatially resolved characterisation of Egyptian Blue, Han Blue and Han Purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **394** 1011–1021.

WEDEPOHL, K.H., KRUEGER, I. & HARTMANN, G., (1995): Medieval lead glass from northwestern Europe. *Journal of Glass Studies* **37** 65–82.

WOLF, S., STOS, S., MASON, R. & TITE, M.S. (2003): Lead isotope analyses of Islamic pottery glazes from Fustat, Egypt. *Archaeometry* **45** 405–420.

APPLICATION OF HEAVY MINERAL ANALYSIS FOR CERAMIC PROVENANCE RESEARCH BY THE MICROMINERALOGICAL COLLECTION OF THE MINING AND GEOLOGICAL SURVEY OF HUNGARY – A CASE STUDY •

NEHÉZÁSVÁNY VIZSGÁLAT A KERÁMIÁK EREDETKUTATÁSÁNAK SZOLGÁLATÁBAN A MAGYAR BÁNYÁSZATI ÉS FÖLDTANI SZOLGÁLAT NEHÉZÁSVÁNY GYŰJTEMÉNYÉNEK SEGÍTSÉGÉVEL - ESETTANULMÁNY
SZILÁGYI, V.¹; PÉTERDI, B.²; SZAKMÁNY, Gy.³; JÓZSA, S.³; MIKLÓS, D.G.³ & GYURICZA, Gy.²

¹Centre for Energy Research, H-1121 Budapest Konkoly-Thege M. Str. 29-33.

²Mining and Geological Survey of Hungary, H-1145 Budapest Columbus Str. 17-23.

³Department of Petrology and Geochemistry, Eötvös Loránd University, H-1117 Pázmány P. Str. 1/c.

E-mail: szilagyi.veronika@ek-cer.hu

Abstract

This study introduces a possible archaeometric application of the micromineralogical collection belonging to the Mining and Geological Survey of Hungary. Micromineralogical (heavy mineral) assemblage of natural clastic sediments (clay, silt, sand) can characterize the plastic ceramic raw materials typical for a delimited region (i.e. a river catchment area or a geological subunit). Heavy mineral investigation is a useful method which can complete conventional ceramic provenance studies applying microscopic petrography and instrumental chemical analyses, especially in cases of very fine-grained pottery or mature, less characteristic ceramic compositions. Using the 10th c. pottery of Edelény-Borsod (NE Hungary) as an example, we present the application of the micromineralogical collection. The study points out the difficulties with the evaluation, i.e. different sample preparation and data collecting strategy for archaeological and geological samples. Finally, the benefits of the results are formulated as conclusions on the ceramic provenance.

Kivonat

Tanulmányunkban a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat nehézasvány gyűjteményének egy lehetséges archeometriai alkalmazását ismertetjük. A természetes üledékekből leválasztott nehézasványfrakciók jellemzőek egy adott régió (pl. folyó vízgyűjtő területe vagy kisebb földtani egység) törmelékes üledékes nyersanyagaira (agyag, közetliszt, homok), amelyek a kerámiakészítés alapanyagául szolgálhatnak. A természetes nyersanyagok és a régészeti kerámiák nehézasvány együtteseinek összevetésével a fazekasáru provenienciá vizsgálatában általánosan alkalmazott mikroszkópos petrográfiai és nagyműszeres kémiai módszerektől független adatokat nyerhetünk az eredet meghatározásához. A nehézasvány vizsgálat különösen hasznos a nagyon finomszemcsés vagy érett, túlságosan általános összetételű kerámiaanyagok esetében. A gyűjteményi anyag használatát Edelény-Borsod 10. századi település kerámia leletanyagán mutatjuk be. Tanulmányunk kitér a feldolgozást nehezítő körülményekre, mint például a régészeti és geológiai minták eltérő előkészítési és vizsgálati módja. Végeredményként az összehasonlító vizsgálattal nyert adatokat a régészeti kerámiák nyersanyag eredetének pontosítására használtuk.

KEYWORDS: HEAVY MINERAL, CERAMIC PROVENANCE, COMPARATIVE COLLECTION

KULCSSZAVAK: NEHÉZÁSVÁNY, KERÁMIA NYERSANYAGEREDET, ÖSSZEHASONLÍTÓ GYŰJTEMÉNY

• How to cite this paper: SZILÁGYI, V.; PÉTERDI, B.; SZAKMÁNY, Gy.; JÓZSA, S.; MIKLÓS, D.G. & GYURICZA, Gy., (2021): Application of heavy mineral analysis for ceramic provenance research by the micromineralogical collection of the Mining and Geological Survey of Hungary – a case study, *Archeometriai Műhely XVIII/2* 109–122.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-009](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-009)

Introduction

Provenance of archaeological pottery means the sources of ceramic raw materials, and this approach helps to determine local, regional or long-distance material supply of pottery handicraft in a given ethnic group or culture. Ceramic provenance studies apply different methodologies to determine the sources of ceramic raw materials like chemical investigations (e.g. by XRF, INAA, PGAA, ICP-MS), or detailed textural and mineralogical characterization (e.g. by conventional petrography, SEM-EDS). Describing a ceramic matrix, i.e. the clastic (clay-silt-sand) raw material type may require detailed investigations in case of common mineralogical composition or fine-grained texture (e.g. Szilágyi et al. 2008). Such, less characteristic sediments are frequent in large sedimentary depositional areas, like the Carpathian Basin. In such cases, the exact determination of heavy mineral (HM) components in the clastic raw material type provides possibility to characterize its region of source, and a direct correlation with a ceramic matrix (Mange & Bezezcky 2007, Bong et al. 2010, Sauer 2013). Pottery provenance studies based on HM investigations were recently published by Hungarian researchers (e.g. Obbágy et al. 2014, Kürthy et al. 2018) and the method was described in details in this journal (Józsa et al. 2016).

Heavy minerals – being accessory constituents (usually below 1 wt%) in clastic to clayey sediments, i.e. the raw materials of pottery – are underestimated and considered as difficult to be investigated in material analysis in general. However, due to their resistivity to physical-chemical weathering those are preserved as characteristic components of the original eroded source rock. Hence these subsidiary components in the (natural or artificial) mineral mixture can be considered as ‘fingerprint’ of a given sediment. Most of the HM species differentiated in our study can be connected to specific parent rock lithology, e.g. metamorphic, igneous or sedimentary. There is different importance of each mineral species in different geological regions. For instance, for mature or redeposited sediments rounded zircon, tourmaline and rutile are typical minerals. However, less mature sediments can be characterized by several other minerals, e.g. metamorphic garnet, or igneous pyroxenes and amphiboles. This is the case in the here observed geological settings in NE Hungary.

The knowledge on the HM assemblages of potential raw material territories is the key to the successful provenance determination. The micromineralogical collection of the Mining and Geological Survey of Hungary (MBFSZ) provides a useful database for a direct comparison of mineral species detected in archaeological pottery to phases preserved in

sediments by conventional petrography or SEM-EDS (Péterdi et al. 2020). The MBFSZ micromineralogical collection covers the surficial/near surface alluvial clastic sediments of Hungary with more than 700 localities. Due to the continuous evaluation, qualitative-quantitative information on the overall mineralogy is being accumulated. These data are appropriate for a more exact determining the potential raw material territories, and for the localization of paste or tempering material sources.

This paper presents the first attempt to apply the micromineralogical collection of the MBFSZ for pottery provenance investigations. Survey for sampling points in the observed region and availability of the HM data on sedimentary formations are presented. Comparability of the HM assemblage in archaeological pottery and that in the regional sediments is discussed, both on qualitative and quantitative levels.

Methodological aspect

It is a fundamental requirement in HM analysis to concentrate the HMs in a separatum thus reaching a grain abundance reasonable for investigations and statistical analyses. This enrichment is a complex process encumbered with the risk of losing important information about the subsidiary HM constituent in the natural grain mixture. A major difficulty of the methodology in the presented study – and any future works using the MBFSZ micromineralogical collection – is the different sampling and sample processing of the archaeological and geological materials. The initial 10 to 100 kgs of natural sediments (geological samples) finally resulted in a few grams of the separated material. The process involved wet sieving, preconcentration by spiral and separating funnel, further concentration by bromoform, and finally separation of magnetic and non-magnetic fractions of the 0.063–0.5 mm size range. Five categories were created by magnetic separator using different amperages (Gyuricza 1987; the detailed description will be provided by Péterdi et al. in an article submitted to this journal). In the case of archaeological pottery, such a huge amount of initial material usually is not available. With the exception of special cases (e.g. mass of Roman amphorae admissible to damage, Mange & Bezezcky 2007, Obbágy et al. 2014), the original amount of a ceramic vessel fragment is typically in the range of some tens of grams, so the sample is in the size range of a thin section in a randomly selected plane of the pottery, and the detection of HM species is accidental. In our study, one (30 µm thick) petrographic thin sections was prepared from each archaeological ceramic sample, while the comparative MBFSZ collection is in the form of grain separata.

This difference in the sample preparation method implies that the comparison (especially the quantitative one) is encumbered with significant uncertainties. Despite this limitation the method can be effective due to the nature of HMs. It means that HMs which are usually resistant to erosional processes remain tiny but characteristic constituents indicating the initial raw material even in a late end-product, i.e. in a lower section alluvial sediment far from the source area (e.g. Morton 1991, Mange & Wright 2007).

In case of the comparative materials selected from the micromineralogical collection of the MBFSZ, the large sample amount and the wide grain size range (0.063–0.5 mm) required to change the conventional microscopic method A heterogeneous investigation protocol was developed on more subsamples separated according to their magnetic susceptibility. This separation by the magnetic properties helped the determination of the mineral species. In addition, the shape and habit, color, luster, cleavage/fracture and transparency were the determinative parameters. Mineral abundances (in wt%) were estimated by fields of view in the binocular microscope (Swanson 1981), i.e. area estimations. Observations were done on significantly (approx. two order of magnitude) more grains (2000–6000 grains per sample) than by conventional methods where 200–500 grains of the non-opaque heavy mineral separatum are observed (e.g. Mange & Maurer 1992; von Eynatten & Gaupp 1999). Application of reflected light binocular microscopy instead of transmitted light microscopy provides a less adequate way of determination. Cross-checking of prepared separata by conventional petrographic microscope was necessary. This heterogeneous protocol resulted in individual area percentage values of more fractions per sample.

The original data provided by the MBFSZ is a table of minerals with abundances (see **Table 1.**). The table contains no information on the appearance of the mineral species, and it is not supported by photo documentation. This information must be gained by individual observations with the permission of the MBFSZ. As it can be seen from **Table 1.**, the basic classification of mineral phases contains 25 categories and the collective groups of ‘light minerals’, ‘lithofragments’ and ‘undetermined altered grains’. Group of ‘light minerals’ gathers any crystals of non-HMs (<2.9 g/cm³), e.g. quartz, feldspars, white mica) remaining in the lightest part of the preparatum after the sample treatment. ‘Lithofragments’ are complex grains containing more phases without further description. Any other weathered, encrusted grains or unidentified particles were classified into the last collective group. For a clearer presentation, original sub-categories (e.g. biogenic and crystalline pyrite,

black and red rutile, green and brown and oxiamphibole) are not mentioned here.

The 25 raw categories contain both classical HMs (according e.g. to Lindholm 1987, Mange & Maurer 1992, Mange & Wright 2007, Garzanti & Andò 2019) and phases conventionally not classified as HMs (e.g. opaque (hematite, ilmenite, magnetite, limonite, other opaque), biotite, chlorite). Opaque minerals were separated and determined based on their magnetic properties (i.e. differentiation of magnetite, ilmenite and hematite). For practical reasons, the 25 mineral categories were merged into 17 technical categories (see 25 mineral names, plus 3 collective groups, and 17 separate white/grey groups in **Table 1.**). This process involved merging of the five original opaque mineral categories into three (hematite, ilmenite, other), uniting zircon and monazite categories, combining the Al₂SiO₅ varieties, staurolite and corundum into one class, and merging of titanite and leucoxene categories. The grouping the determined minerals helped the comparison with HM assemblages of the archaeological materials.

As a first step of the comparison, HM distribution patterns in the archaeological material and the two observed alluvial regions were described, and specific characteristics were identified. Second, HM assemblages of the archaeological ceramics were compared to the ‘fingerprints’ of the different possible source materials. The comparison did not follow the classical HM studies focusing exclusively on the allothigenic (deriving from the eroded source rock) HMs, but it also observed the authigenic and epigenic (syn- or post-diagenetic) HMs. In addition, another unconventional method was the joint considering of the transparent and opaque minerals in cases when opaque phases could be differentiated from each other. It might be useful when more and characteristic opaque minerals are present in the sediments.

Samples and selection criteria from the micromineralogical collection

The 10th c. settlement of Edelény-Borsod was situated at the bank of Bódva river in NE Hungary (**Fig. 1.**). The archaeological excavation (Wolf 2001, 2002, 2003a, 2003b, 2019) discovered an 11th c. earthen fortress which was established on a 10th c. settlement comprising a habitation area of wooden houses and a noble’s house. Many household pottery (mainly cooking pots) were excavated from the 10th c. objects together with metal finds. Archaeometric study of pottery from the 10th c. settlement of Edelény-Borsod was described in detail elsewhere (Szilágyi et al. 2004, Szilágyi 2013, Szilágyi 2019 in Wolf 2019). The observed pottery assemblage (45 fragments) was

Table 1.: Results of quantitative heavy mineral analysis of the Sajó and Bódva river valley sediments of the MBFSZ micromineralogical collection (values are in the form of combined piece and weight percentage of several thousands grains per sample; background hue of columns indicate 'technical mineral groups' applied in this study). See the sample codes in Table 2.

1. táblázat: Az MBFSZ mikromineralógiai gyűjteményéből kiválasztott Sajó és Bódva üledékminták nehézasvány összetétele (az adatok a mintánként több ezer szemcse szemeszámolásából és térfogatméréséből származtatott, kombinált százalékos értékek; az oszlopok színzése az ásványfajok összehasonásával készített "technikai kategóriákra" utal). A mintajelek feloldását a 2. táblázat tartalmazza.

Inv. No.	sz-101	sz-201	sz-601	sz-701	sz-801	b-2361	b-2371	sz-2701	sz-2801	b-2391	b-2392	sz-1101	b-2411	sz-1201	sz-2901	sz-301	sz-401	sz-501	sz-1001	sz-901
garnet	31.75	44.53	50.55	16.96	60.07	54.4	32.36	32.21	43.72	27.87	16.5	28.47	5.06	5.88	10.25	2.12	1.87	5.98	12.96	12.05
hematite	1.01	4.17	3.09	0	1.38	0	6.41	0.31	0.61	3.39	4.06	1.83	6.39	0	1.58	19.07	22.4	18.29	7.14	13.14
ilmenite	9.14	8.83	7.9	6.01	7.42	0.16	3.73	5.16	2.81	10.77	13.89	7.45	14.47	6.8	10.76	20.57	8.83	17.42	9.51	7.5
magnetite	0.752	1.82	0.87	0.901	1.16	0.19	0.43	0.691	0.62	0.56	0.36	0.26	0.63	0.38	0.161	2.751	0.5	1.2	2.14	0.86
limonite	2.07	0.53	0.45	1.84	0.19	0.001	6.42	4.24	4.52	3.94	5.39	2.81	3.79	9.1	3.28	4.91	23.79	4.75	4.59	11.25
other opaque	0.02	0	0.03	0.32	0.02	0	0	1.16	0	0.02	0	0.21	0	0	0	0	0	0.3	0.04	0.69
rutile	0.84	0.81	0.78	0.6	0.78	1.52	0.65	0.61	0.88	1.36	1	0.95	0.81	0.63	0.7	0.93	0.94	1.75	1.84	1.17
zircon	0.06	0.23	0.25	0.34	0.27	0.42	0.2	0.34	0.19	0.19	0.04	0.32	0.12	0.15	0.16	0.27	0.59	0.47	0.52	0.36
monazite	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0
tourmaline	0.34	0.12	0.42	0.71	0.17	4.94	4.26	0.09	0.13	1.16	0.49	0.33	0.32	0.14	0.17	0.39	0.28	3.19	6.22	4.56
corundum	0	0	0	0.001	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0.04
andalusite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.13	0.07	0	0
kyanite	0.61	0.28	0.27	0.34	0.19	0.52	0.14	0.04	0.15	0.07	0.13	0.04	0	0.05	0.1	0.1	0	0.12	0.08	0.26
staurolite	0.61	0.03	0.001	1.33	0.14	1.69	0.66	0.25	0.17	1.01	0.37	0.03	1.13	0.04	0.17	0.26	0.06	0.36	0.05	0.01
sillimanite	0.1	0	0	0.06	0.07	0.01	0	0.06	0.03	0.3	0	0.24	0.1	0.04	0.32	0.01	0.06	0	0	0
biotite	0.001	0	0	0.2	0	0	0.83	0.25	0.02	0.09	0	0.03	0.12	0.42	0.04	0	1.37	0.61	0.43	0.05
chlorite	0.73	0.62	0.24	0.22	0.01	1.17	0.49	0.02	0.26	1.37	0	0.01	0.61	0.27	0.26	0.03	1.45	0.6	1.08	0.73
titanite	0.19	0.32	0.21	0.37	0.19	0.23	0.16	0.19	0.38	0.48	0.22	0.16	0.16	0.16	0.01	0.07	0.08	0.11	0.71	0.77
leucoxene	0.94	0.96	0.4	0.88	0.56	0.47	0.75	1.15	0.76	1.22	1.21	1.19	1.35	0.72	1.7	0.96	1.17	3.12	2.59	2.19
apatite	2.66	1.06	0.74	0.78	0.54	1.26	0.58	0.41	0.6	1.94	1.28	0.25	0.66	0.09	0.21	0	0	0.12	0.39	0.12
epidote/zoisite	3.41	1.45	1.94	2.94	0.47	0.181	1.74	2.2	2.59	5.18	3.42	1.45	3.19	1.85	3.65	0.73	0.42	1.61	2.7	3.741
opyroxene	4.23	11.13	10.66	19.38	12.17	2.11	16.89	34.03	24.55	7.13	15.48	38.71	31.02	45.51	34.74	0.271	0.01	0.61	10.75	6.05
epyoxyene	0.03	0.01	0.01	1.53	0.04	2.26	1.07	1.27	1.74	1.56	2.59	0.47	1.32	1.33	0.941	0.02	0.03	0.13	0.13	0.05
amphibole_g-b-o	13.59	10.77	9.21	22.74	5.54	16.32	2.87	2.23	2.41	5.13	8.01	2.09	8.56	6.41	9.79	0.1	0.04	0.04	2.08	1.47
amphibole_alk-bl	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0	0.01	0	0	10.19	4.56	13.42	7.72	5.54
light minerals	7.56	3	2.38	2.39	0.47	0.171	1.41	0.761	0.63	1.92	0.91	0.27	1.15	0.76	1.58	1.41	2.09	1.97	1.61	1.11
lithofragment	3.93	1.1	2.59	4.81	4.04	1.33	4.72	1.4	2.38	3.81	6.43	3.62	4.13	4.02	4.72	24.63	14.77	6.46	5.44	7.67
undetermined_altered	15.44	8.29	7.05	13.83	4.15	10.61	13.23	10.83	9.75	19.29	17.91	8.48	14.91	15.3	14.64	10.23	14.53	17.34	19.14	18.65

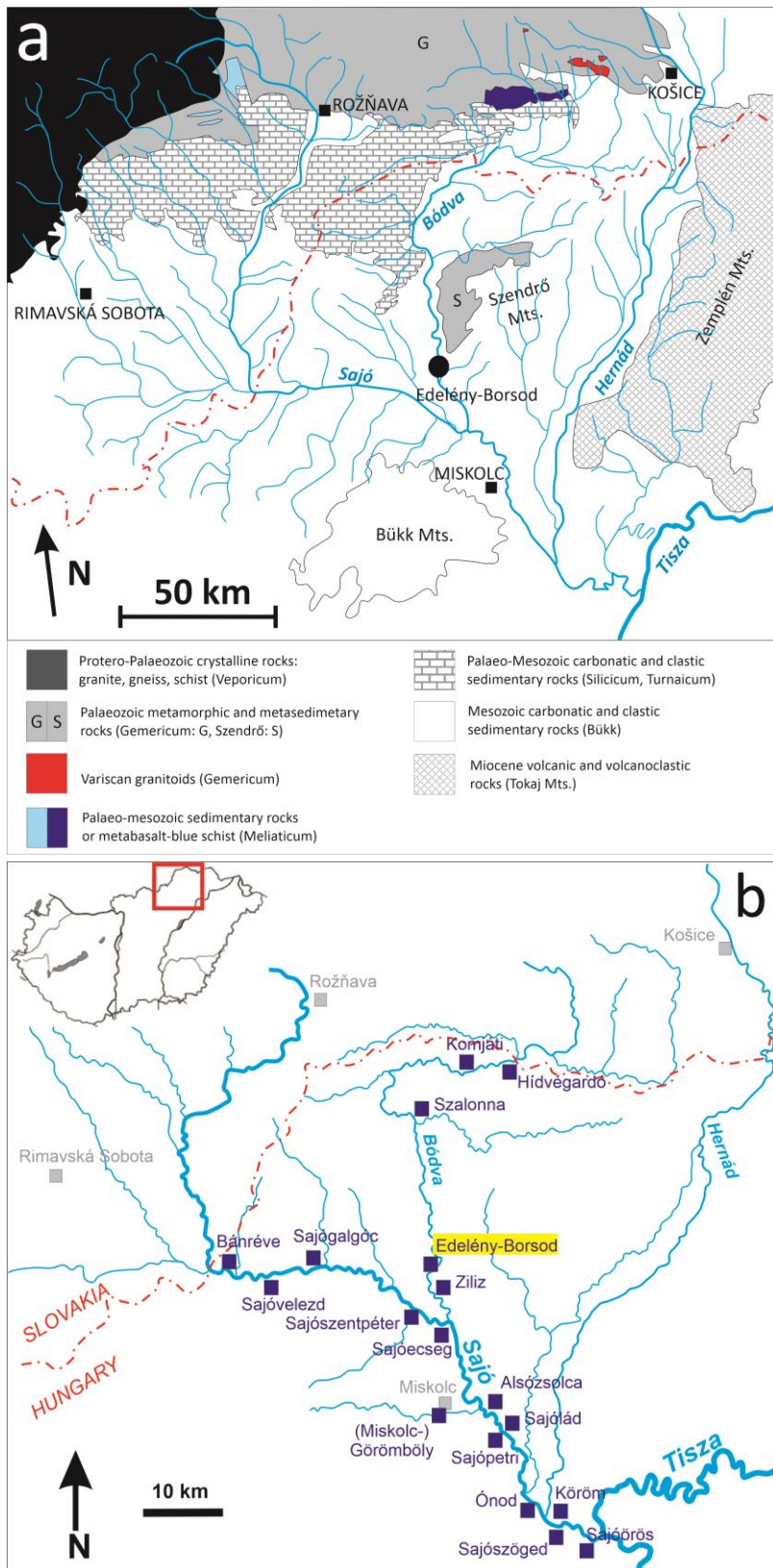


Fig. 1a: The studied area and the geological regions mentioned in the text.

(a) Simplified geological map about the catchment area of the Sajó and Bódva rivers (after Lexa et al. 2000, 2003, Hurai et al. 2010).

1a ábra: A vizsgált terület és a szövegben említett földtani egységek elhelyezkedése.

(a) A Sajó és a Bódva folyók vízgyűjtő területének egyszerűsített földtani térképe (Lexa et al. 2000, 2003, Hurai et al. 2010 nyomán)

Fig. 1b: The studied area and the geological regions mentioned in the text.

(b) Geographic position of the archaeological site (Edelény-Borsod) in the Bódva river valley, and the distribution of geological localities (blue squares) providing comparative HM material from the micromineralogical collection of the MBFSZ.

1b ábra: A vizsgált terület és a szövegben említett földtani egységek elhelyezkedése.

(b) A régészeti lelőhely (Edelény-Borsod) elhelyezkedése a Bódva völgyében, és a nehézasvány adatokat szolgáltató, az MBFSZ mikromineralógiai gyűjteményéből kiválasztott, összehasonlító minták (kék négyzetek) földrajzi helyzete.

classified into three petrographic groups, and the most abundant group (85%, 38 samples) was subjected to detailed heavy mineral investigations.

Heavy mineral composition of pottery from Edelény-Borsod was compared with that of the surrounding Bódva and Sajó river sediments. The MBFSZ micromineralogical collection contained 20 samples from this region (see **Table 2.**, **Fig. 1.**).

The geological localities covered the middle-lower course of Bódva river (Hídvégárdó, Komjáti, Szalonna, Edelény, Ziliz), the middle course of the Sajó river above the inflow of Bódva river (Bánréve, Sajóvelezd, Sajógalgóc, Sajószentpéter, Sajóecseg), the lower course of Sajó river between the inflow of Bódva and Hernád rivers (Miskolc-Görömböly, Alsózsolca, Sajólád, Sajópetri), and the lower course of Sajó river below the inflow of Hernád river (Ónod, Köröm, Sajószöged, Sajóörös). Samples were collected both from riverbeds (indicated with 'sz' in **Table 2.**) and open-air quarries (indicated with 'b' in **Table 2.**).

Heavy mineral composition of 10th century pottery from Edelény-Borsod and of comparative river sediments

The predominant pottery group of Edelény-Borsod is characterized by metamorphic rock-related aplastic inclusions (mono-polycrystalline quartz with undulatory extinction, fine-grained schistose and phyllitic lithofragments) and subordinate amount of weathered volcanic rock fragments (see details in Szilágyi et al. 2004, Szilágyi 2013, Szilágyi 2019 in Wolf 2019). This lithological composition is in agreement with the geology of the Bódva river valley (Fülöp 1994, Kovács 1998) and also the wider geological setting (neighboring river valleys, e.g. Sajó deriving from the N-Carpathian metamorphic crystalline units). HMs comprise part of the accessory minerals in the natural material mixture with 0.1–1.1 wt% (Szilágyi 2004). The HM assemblage of the ceramics is characterized by opaque minerals, tourmaline, garnet, zircon, brown and green amphibole, orthopyroxene and subordinate epidote. Opaque minerals (without detailed mineral determination) are small-sized (50–70 µm) grains, having irregular, isometric or subhedral columnar shapes. Anhedral tourmaline crystals are characterized with green pleochroism and pale zoning (**Fig. 2a,b**). Zircons have small, euhedral crystals (**Fig. 2c**). Garnets are colorless, isotropic, fragmented grains of variable sizes (**Fig. 2d**). Amphiboles with brown-yellow or green-yellowish green pleochroism (**Fig. 2e**) and rare orthopyroxenes (**Fig. 2f**) appear as larger crystals (80–150 µm). Rare epidote with pale yellow

pleochroism is also present. In addition, a few biotite grains were present in the ceramics.

The HM assemblage (**Fig. 3.**) of sediments from the immediate surroundings of the archaeological site, i.e. the Bódva valley, is predominated by iron oxides/hydroxides and opaque minerals (23–55 wt%): hematite, ilmenite (and magnetite). Subordinate (4–13 wt%) but very characteristic constituent is the glaucophane (blue amphibole). In addition, garnet (2–13 wt%), tourmaline (0.3–6 wt%) and epidote-zoisite (0.4–4 wt%) are also important species. The most abundant hematite usually appears as flakes (platy habit). Garnets are colorless and fragmented. Tourmalines show bluish tint in their green pleochroism. Rare, rounded zircon grains are permanent components. Quantitative data on the HM assemblage is presented in **Table 1**. It is worth to mention that biotite and chlorite are tiny but characteristic sheeted silicate phases in these samples. Limonite – as an authigenic/epigenic phase – is also present.

Sediments of the Sajó valley provided another type of raw material. The middle course of the Sajó river (above the inflow of the Bódva river) has sediments of a HM spectrum (**Fig. 3.**) predominated by garnet (17–60 wt%). In addition, green-brown-oxyamphibole (5–23 wt%), orthopyroxene (4–19 wt%), ilmenite (6–9 wt%), epidote-zoisite (0.5–3 wt%) and hematite (0–4 wt%) are also important species. The section of the Sajó between the inflow of Bódva and Hernád is characterized by sediments with similar HM assemblage (**Fig. 3.**). The predominance of garnet (32–54 wt%), orthopyroxene (2–34 wt%), green-brown-oxyamphibole (2–16 wt%), ilmenite (0.2–5 wt%), subordinate epidote-zoisite (0.2–3 wt%) and tourmaline (0–5 wt%) are typical. The lowest section of the Sajó river (just above inflowing into Tisza river) provided sediments of a bit different HM composition (**Fig. 3.**). The predominance of orthopyroxene (7–46 wt%) and/or garnet (5–28 wt%) is accompanied by the moderate amount of ilmenite (7–14 wt%). In addition, green-brown-oxyamphibole (2–10 wt%), epidote-zoisite (1–5 wt%), tourmaline (0.1–1 wt%) and hematite (0–6 wt%) are present. Garnets are colorless (rarely pale rose) and fragmented, weakly rounded-angular. Orthopyroxenes are well preserved, eu-subhedral, columnar, pale green-yellow crystals. Tourmalines show green pleochroism. Quantitative data on the HM assemblage is presented in **Table 1**. Besides, biotite and chlorite are also present in the Sajó sediment samples. Authigenic/epigenic limonite is a relevant component (3–9 wt%) in the assemblage.

Table 2.: Localities selected from the Bódva and Sajó river catchment areas as comparative materials of the micromineralogical collection of the MBFSZ.

2. táblázat: A Bódva és Sajó vízgyűjtőterületén található mintavételi helyek az MBFSZ mikromineralógiai gyűjteményében.

Locality	Code/Inv. No.	Description of the sampling point
Hídvégárdó	sz-301	1 km NW to Hídvégárdó at the shallow, 40 m upstream from the pipe bridge, outcrop in the high bank of Bódva river
Komjádi	sz-401	500 m SW to Komjádi, 250 m downstream from the small bridge of Bódva river, gravelly sand exploited from the riverbed
Szalonna	sz-501	100-200 m upstream from the bridge at Szalonna, gravelly sand exploited from the riverbed
Edelény	sz-1001	N boundary of Edelény behind the Templom Hill at the shallow in a big meander of Bódva river, outcrop in the high bank of the high floodplain
Ziliz	sz-901	1.1 km W to Ziliz railway station, point bars in the riverbed of Bódva river
Bánréve Serényfalva	– sz-101	1.7 km SSE to Bánréve, 100 m upstream from the railway bridge, point bar at the left bank of Sajó river
Sajóvelezd	sz-201	1 km NE to the church of Sajóvelezd in the sharp meander of Sajó, point bar at the right bank of Sajó river
Sajógalgóc	sz-601	2.5 km SSE to Sajógalgóc, 1 km W to Vadna, in the sharp N directed meander of Sajó river, point bar at the left bank of Sajó river
Sajószentpéter	sz-701	800 m NE to the E boundary of Sajószentpéter, in the mild meander of Sajó river, riverbed sediment exploited at the right bank of Sajó river
Sajóecseg	sz-801	500 m NNE to the church of Sajóecseg, in the mild meander of Sajó river, gravel bar on the right bank
Miskolc (Görömböly)	b-2361	sand quarry (Bekecsi Hegyalja MGTSz) in the Téglá street at SW part of Görömböly
Alsózsolca	sz-2801	at the SW boundary of Alsózsolca, in the big meander of Sajó river, outcrop of a point bar in the left high bank
Sajólád	sz-2701	at the SW boundary of Sajólád, 400 m upstream from the road bridge between Sajólád and Sajópetri, point bar in the mild right meander of Sajó river
Sajópetri	b-2371	gravelly sand quarry (Sajópetri Egyetértés MGTSz) 1.5 km NNW to Sajópetri, NE to the road to Kistokaj, in the Bereznó-dűlő, above the ground water level
Ónod – gravel quarry – sorted	b-2391	gravelly sand quarry (Ónodi Rákóczi MGTSz II. "Muhi úti bányá") 1 km S to Ónod, along the road to Muhi, 750 m WSW to the confluence of Sajó and Hernád rivers, sorted sediment from 10-20 m depth
Ónod – gravel quarry – raw	b-2392	gravelly sand quarry (Ónodi Rákóczi MGTSz II. "Muhi úti bányá") 1 km S to Ónod, along the road to Muhi, 750 m WSW to the confluence of Sajó and Hernád rivers, raw dredged sediment
Ónod – shallow	sz-1101	800 m NE to Ónod, in the sharp meander of Sajó river, point bar on the right bank
Köröm	sz-1201	300 m W to Köröm, near the Muhi-Köröm ferry on Sajó river, point bar in the right high bank
Sajószöged	b-2411	abandoned gravelly sand quarry (Nógrádi Sándor MGTSz) on the NW boundary of Sajószöged, on a meadow along the road to the Girincs ferry
Sajóörös	sz-2901	gravelly sand quarry (Sajóörösi TSz) 1 km E to Sajóörös, in a mild meander of Sajó river, flat point bar along the right bank

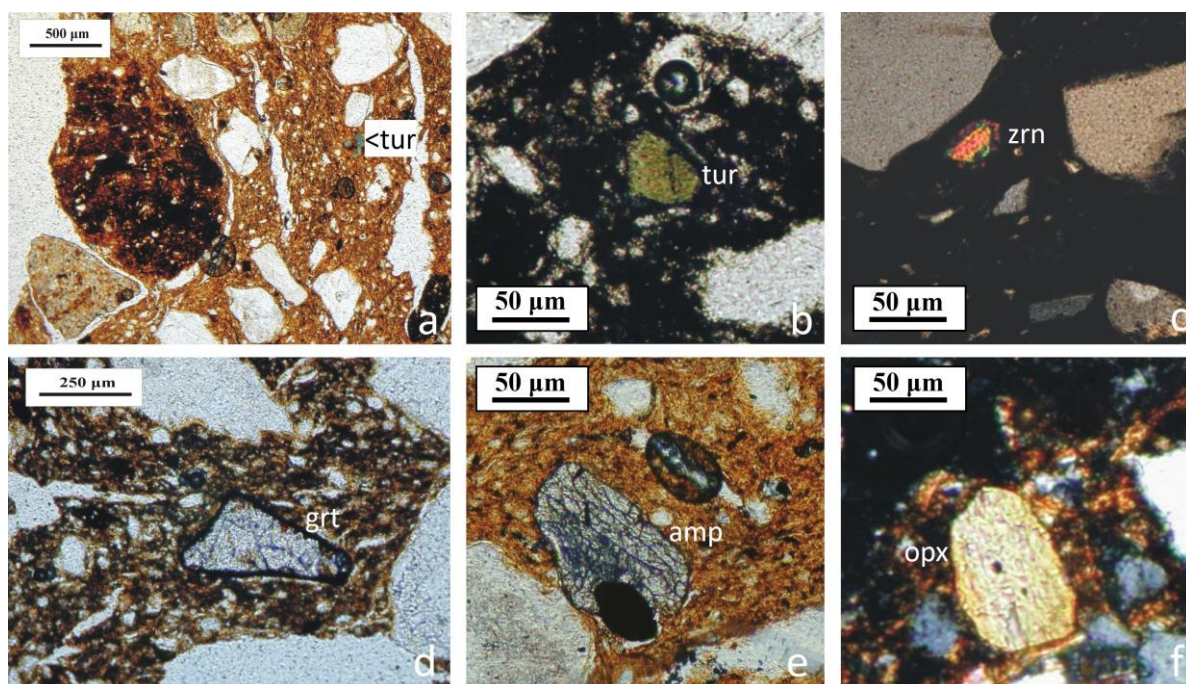


Fig. 2.: Characteristic heavy mineral species in ceramic thin sections (tur: tourmaline, zrn: zircon, grt: garnet, amp: amphibole, opx: orthopyroxene; abbreviations after Whitney & Evans 2010) in 10th c. ceramics from Edelény-Borsod (a, b, d, e: PPL microphotographs, c, f: XPL microphotographs)

2. ábra: Edelény-Borsod 10. századi kerámiáinak jellegzetes nehézasványai vékonycsiszolatban (rövidítések Whitney & Evans 2010 nyomán: tur: turmalin, zrn: cirkon, grt: gránát, amp: amfibol, opx: ortopiroxén) (a, b, d, e: PPL mikroszkópi kép, c, f: XPL mikroszkópi kép)

Fig. 4. demonstrates the anhedral zircon (**Fig. 4a**), bluish tinted pleochroic tourmaline (**Fig. 4b**), blue amphibole (**Fig. 4c**) and fragmented orthopyroxene (**Fig. 4d**) of Bódva sediments. On the contrary, Sajó sediments are characterized with euhedral zircon crystals (**Fig. 4e**), green-brown pleochroic, anhedral tourmaline crystals (**Fig. 4f**), green-brown pleochroic amphibole (**Fig. 4g**) and well preserved, subhedral orthopyroxenes (**Fig. 4h**).

Discussion

The first level of the comparison is the qualitative one. The main HM species in the observed 10th c. ceramics are the opaque minerals-tourmaline-garnet-zircon-brown and green amphibole-orthopyroxene. The Bódva sediments have hematite - limonite - ilmenite - glaucophane - garnet - tourmaline - epidote - zoisite HM assemblage (**Fig. 3**). Sajó sediments are predominated by garnet-green and brown and oxyamphibole - orthopyroxene - ilmenite - epidote - zoisite - hematite HMs with varied ratios along the course (**Fig. 3**). Being a comparative (and not a conventional geological) provenance study, not only the allothigenic transparent but also the authigenic/epigenic and opaque phases were considered in the interpretation. If we compare the most relevant HM species of the ceramics with the

Bódva and Sajó sediments, we can conclude that garnet and zircon are permanent components in every sample and no difference among their appearance can be detected. Tourmaline is more similar in the ceramics and the Sajó sediments due to their green colour, while tourmaline of Bódva sediments has a more bluish tint. Blue tourmaline is characteristic for the granitoids of the Gemericum (Mahel 1986, Broska et al. 1998), which are present on the catchment area of Bódva river (see in **Fig. 1a**). Orthopyroxene is characteristic in all samples, but its eu-subhedral appearance and fresh optical behavior is more similar in the ceramics and the Sajó sediments (orthopyroxene of Bódva sediments has a more fragmented appearance). Amphibole varieties are present in all samples but the blue amphibole, namely glaucophane is exclusively connected to Bódva sediments, while it is missing from both the Sajó sediments and the ceramics. Glaucophane is a characteristic rock-forming mineral in the high-pressure metaophiolites of the Meliaticum (Faryad 1995a, 1995b, Mello et al. 1998, Dallmeyer et al. 2008), which have outcrops on the catchment area of Bódva river (see in **Fig. 1a**). Colored and higher-density sheeted silicates (biotite and chlorite) were present in sediments of both regions, while only biotite was detected in ceramics. Opaque phases were not further

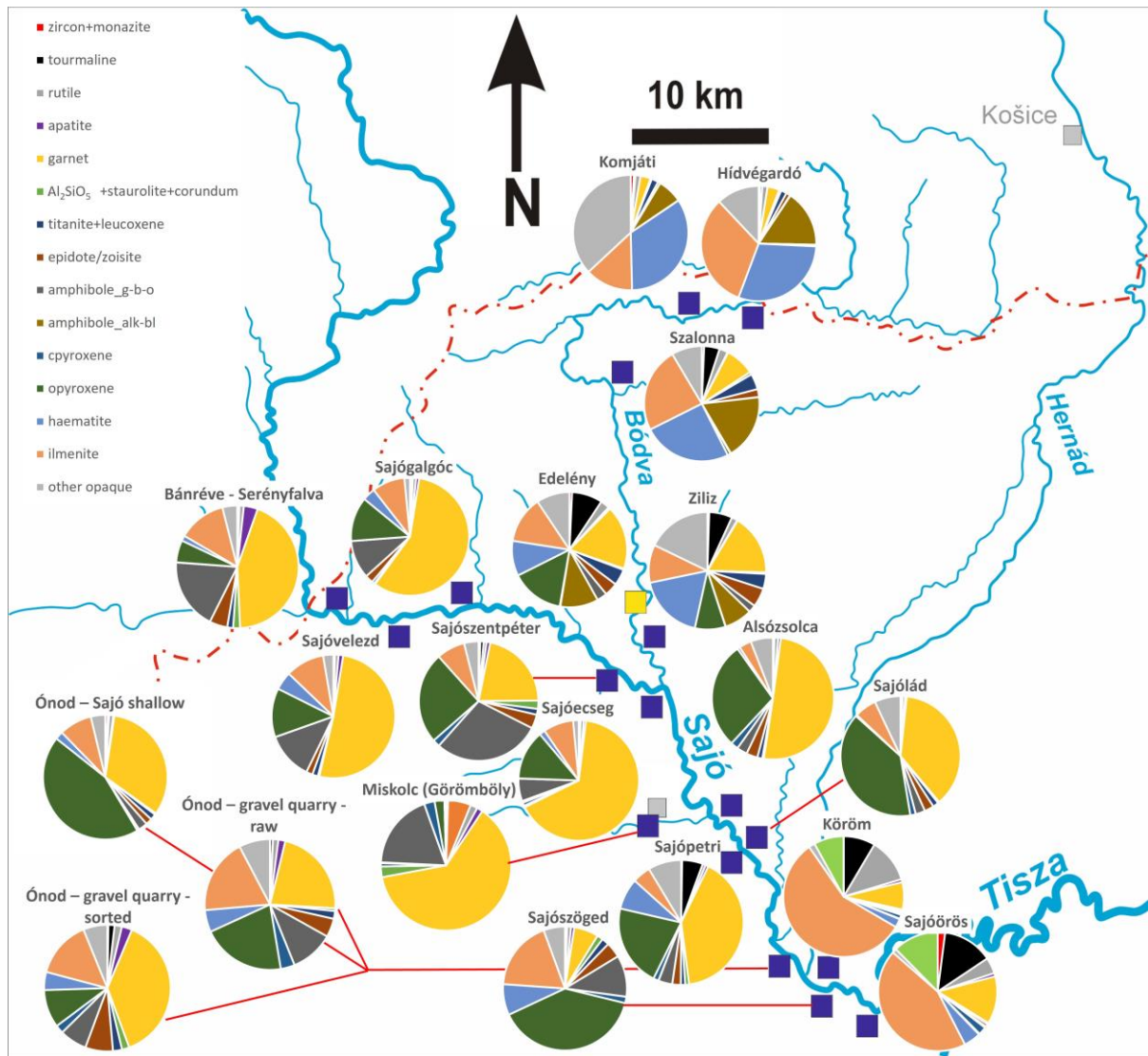


Fig. 3.: Heavy mineral distribution of sediments from the Bódva and Sajó valleys (the interest of our study, the archaeological site is indicated with yellow square). Note that values of the pie diagrams are not equivalent with the values in Table 1, but normalized to 100% without 'biotite', 'chlorite', the 'light minerals', 'lithofragments' and 'undetermined altered grains'. Abbreviations in the figure are pyroxene: clinopyroxene, opyroxene: orthopyroxene, amphibole_g-b-o: green-brown-oxyamphibole, amphibole_alk-bl: alkaline-blue amphibole.

3. ábra: A Bódva és Sajó üledékeinek nehézasvány eloszlása (a jelen tanulmány tárgyát képező régészeti lelőhelyet sárga négyzet jelöli). A tortadiagramokon ábrázolt értékek nem azonosak az 1. táblázat adataival, hanem a 'biotit', 'klorit', 'könnyű ásványok', 'közettörmelékek' és 'meghatározatlan átalakult szemcsék' kategóriák levonását követő 100%-ra normált értékek kerültek ábrázolásra. A rövidítések feloldása cpyroxene: klinopiroxén, opyroxene: ortopiroxén, amphibole_g-b-o: zöld-barna-oxiamfibol, amphibole_alk-bl: alkáli-kék amfibol.

determined in ceramics but proved to be important components. Their detailed investigation is promising since the comparative geological samples show relevant differences (abundance of ilmenite/hematite/limonite).

To sum up, Sajó sediments are characterized by heavy minerals originating from the NW crystalline

formations in the Gemericum (Grecula et al. 1997), while the Bódva sediments predominantly derived from crystalline rocks of the eastern region at the same geological unit (Mahel 1986). Based on our preliminary investigations, ceramics of Edelény-Borsod were manufactured from clayey sediments rather similar to the sediments of Sajó river.

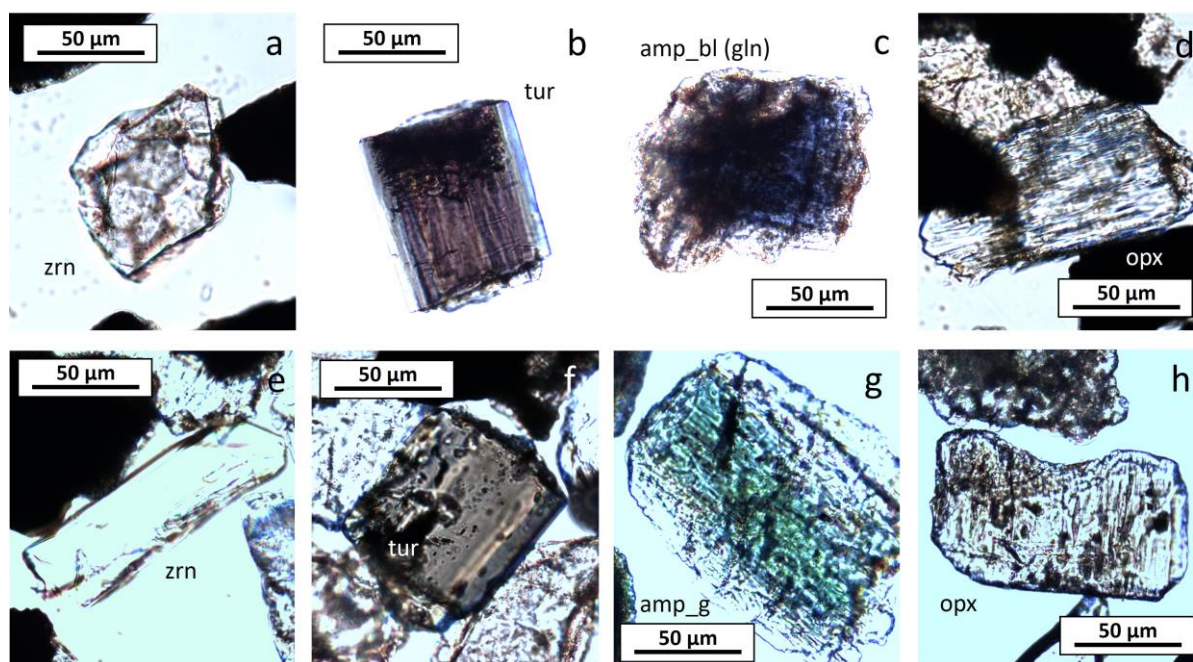


Fig. 4.: Heavy mineral species (PPL microphotographs) of (a-d) Bódva sediments and (e-h) Sajó sediments in HM separata (zrn: zircon, tur: tourmaline, amp_bl or _g: amphibole blue or green, gln: glaucophane, opx: orthopyroxene; abbreviations after Whitney & Evans 2010)

4. ábra: A Bódva (a-d) és a Sajó (e-h) üledékeinek jellegzetes nehézsaványai szemcse szeparátumokban, PPL fotók (rövidítések Whitney & Evans 2010 nyomán; zrn: cirkon, tur: turmalin, amp_bl, illetve _g: kék- és zöldamfibol, gln: glaukofán, opx: ortopiroxén)

The second level of the comparison as another important fact would be the HM species ratios. However, it is not possible to gain representative information from the pottery material due to several reasons. As introduced in the ‘methods’ section, the most crucial part of the HM investigation is the sample processing. For sediments, grain separatum is used. For pottery, thin section is used. It makes the comparison difficult. The quantitative determination of aplastic minerals (e.g. opaques) by thin section petrography in ceramics is limited. These limitations in the quantification make the qualitative comparison even more important. This could be done by the determining the major and minor-trace element composition of HM mineral species (e.g. Józsa et al. 2016, Kürthy et al. 2018), especially garnet (Shimizu 1975; Smith et al. 2004; Ranjbar et al. 2016; Warren et al. 2018), zircon (Belousova et al. 2002; Claiborne et al. 2010), pyroxenes (Shimizu 1975; Smith et al. 2004) and amphiboles (Bong et al. 2010; Parker and Fleischer 1968; Li et al. 2017) applying SEM-EDS and LA-ICP-MS. In addition, Raman spectroscopic investigations could further refine the mineralogical characterization of HMs in thin sections. Determining the possible source rock types of detected heavy minerals can help to better characterize the geological composition of the source region of the ceramic raw materials.

As a result of the comparison, it can be concluded that the HM composition of Edelény ceramics is more similar to Sajó sediments (with garnet-(green, brown and oxy)amphibole-orthopyroxene-ilmenite-epidote-zoisite-hematite-tourmaline HM assemblage) than to the sediments of Bódva river. Both the dominance of iron oxides/hydroxides-hematite-limonite-ilmenite(-magnetite), the different appearance of tourmaline and orthopyroxene, and the presence of blue amphibole are typical for the Bódva sediments and are not characteristic neither for the Sajó sediments nor for the Edelény ceramics. Representative information on HM species ratios from the pottery material is not possible to gain due to the small sample amount (thin section size), the accidental sampling (plane of the thin section), and the limitations of thin section petrography in ceramics. So, much more attention must be dedicated to the qualitative comparison accompanied by mineral chemical investigations of HM mineral species.

Conclusions

To conclude, the existence of micromineralogical collections – such as that of the Mining and Geological Survey of Hungary – is a great opportunity for ceramics provenance studies. Although, adequate HM study of archaeological pottery requires as much amount of sample as

possible, but it results in comparable and informative data on the raw material provenance. The comparison with the HM assemblages of sediment samples is not quantitative but qualitative. And it requires the deliberate synchronization of determination and categorization of HM species. In addition, receiving detailed knowledge on the mineral chemistry is highly recommended.

References

- BELOUSOVA, E., GRIFFIN, W., O'REILLY, S.Y. & FISCHER, N. (2002): Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions in Mineralogy and Petrology* **143** 602–622.
- BONG, W.S.K., MATSUMURA, K., YOKOYAMA, K. & NAKAI, I. (2010): Provenance study of early and middle bronze age pottery from Kaman-Kalehöyük, Turkey, by heavy mineral analysis and geochemical analysis of individual hornblende grains. *Journal of Archaeological Science* **37(9)** 2165–2178.
- BROSKA, I., UHER, P. & LIPKA, J. (1998): Brown and blue schorl from the Spiš-Gemer granite, Slovakia: composition and genetic relations. *Journal of Czech Geological Society* **43** 9–16.
- CLAIBORNE, L.L., MILLER, C.F. & WOODEN, J.L. (2010): Trace element composition of igneous zircon: a thermal and compositional record of the accumulation and evolution of a large silicic batholith, Spirit Mountain, Nevada. *Contributions in Mineralogy and Petrology* **160** 511–531.
- DALLMEYER, R.D., NEUBAUER, F. & FRITZ, H. (2008): The Meliata suture in the Carpathians: regional significance and implications for the evolution of high-pressure wedges within collisional orogens. *Geological Society, London, Special Publications* **298** 101–115.
- FARYAD, S.W. (1995a): Petrology and phase relations of low-grade high-pressure metasediments from the Meliata unit, Western Carpathians. *European Journal of Mineralogy* **7** 71–87.
- FARYAD, S.W. (1995b): Phase petrology and P-T conditions of mafic blueschists from the Meliata unit, Western Carpathians. *Journal of Metamorphic Geology* **13** 701–714.
- FÜLÖP J. (1994): *Magyarország geológiája — Paleozoikum II.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 447 p.
- GARZANTI, E. & ANDÒ, S. (2019): Heavy minerals for junior woodchucks. *Minerals MDPI* **9** 148.
- GRECULA, P., HOVORKA, D., PUTIŠ, M. (eds.) (1997): Geological evolution of the Western Carpathians. *Mineralia Slovaca – Monograph.* 370 p.
- GYURICZA Gy. (1987): Földtani anyagvizsgálási módszerek korszerűsítése. Nagy tömegű nehézasvány szeparálásával kapcsolatos gyakorlati kérdések. *Közöletlen kézirat* (T 14105), Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, Budapest, pp. 14.
- HURAI, V., CHOVAN, M., HURAIÓVÁ, M., KODĚRA, P., KONEČNÝ, P. & LEXA, O. (2010): Slovak Ore Mountains: Origin of hydrothermal mineralization and environmental impacts of mining. *Acta Mineralogica-Petrographica* **28** 1–36.
- JÓZSA, S., SZAKMÁNY, Gy., OBBÁGY, G. & KÜRTHY, D. (2016): Régészeti mikroásványtan - mikroásványok a régészeti kerámiákban, a módszer lehetőségei és korlátai. *Archeometriai Műhely* **XIII/3** 173–190.
- KOVÁCS, S. (1998): A Szendrői- és Upponyi-hegység paleozóos képződményeinek rétegtana. In: BÉRCZI, I. & JÁMBOR, Á. (eds.) *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*, MOL-MÁFI Kiadvány, 107–117.
- 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.
- LEXA, J., BEZÁK, V., ELEČKO, M., MELLO, J., POLÁK, M., POTFAJ, M., VOZÁR, J., SCHNABEL, G.W., PÁLENSKÝ, P., CSÁSZÁR, G., RYLKO, W. & MACKIV, B. (2000): Geological map of Western Carpathians and adjacent areas 1:500 000. Bratislava, Geological Survey of Slovakia.
- LEXA, O., SCHULMANN, K. & JEŽEK, J. (2003): Cretaceous collision and indentation in the West Carpathians: View based on structural analysis and numerical modeling. *Tectonics* **22** 1066.
- LI, L., XIONG, X.L. & LIU, X.C. (2017): Nb/Ta fractionation by amphibole in hydrous basaltic systems: implications for arc magma evolution and continental crust formation. *Journal of Petrology* **58(1)** 3–28.
- LINDHOLM, R.C. (1987): Heavy minerals. In: Lindholm, R.C. (ed.), *A Practical Approach to Sedimentology*, Springer, Dordrecht, 208–230. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-7683-5>
- MAHEL, M. (1986): *Geological structure of Czechoslovakian Carpathians. Palealpine Units 1.* Slovenská Akadémia Vied. 510 p.
- 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** 1007–1033.
- MANGE, M.A. & MAURER, H.F.W. (1992): *Heavy Minerals in Color*. Chapman and Hall, London. 147 p.
- MANGE, M.A. & WRIGHT, D.T. (2007): *Heavy Minerals in Use. Developments in Sedimentology Series*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 58, 1283p.
- MELLO, J., REICHWALDER, P. & VOZÁROVÁ, A. (1998): Bôrka Nappe: high-pressure relic from the subduction-accretion prism of the Meliata Ocean (Inner Western Carpathians, Slovakia). *Slovak Geological Magazine* **4** 261–273.
- OBBÁGY G., JÓZSA S., SZAKMÁNY Gy., BENDŐ Zs. & BEZECZKY T. (2014): Isztriai amforák nyersanyagának nehézsólyan-vizsgálati eredményei. *Gesta* **XIII** 39–58.
- PARKER, R.L. & FLEISCHER, M. (1968): *Geochemistry of Niobium and Tantalum. Geological Survey Professional Paper* **612** United States Government Printing Office, Washington, 43 p.
- PÉTERDI B., SZILÁGYI V., MIKLÓS D. G., SZAKMÁNY Gy., JÓZSA S. & GYURICZA Gy. (2020): Az MBFSZ mikromineralógiai gyűjteménye és felhasználási lehetőségei a kerámia-archeometriában. In: FÜRI J. & KIRÁLY E. (szerk.): *Átalakulások*. 11. Közletani és Geokémiai Vándorgyűlés. Sopron, 2020. szeptember 10-12. Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest, 71–73.
- PÉTERDI B., SZILÁGYI V., MOLNÁR P., CSIRIK Gy., SÁNDOR Á., TOLMÁCS D., MARKOS G., SZAKMÁNY Gy., JÓZSA S., MIKLÓS D.G. & GYURICZA Gy. (in prep): The micromineralogical collection of the Mining and Geological Survey of Hungary. *Archeometriai Műhely*.
- RANJBAR, S., TABATABAEI MANESH, S.M., MACKIZADEH, M.A., TABATABAEI, S.H. & PARFENOVA, O.V. (2016): Geochemistry of major and rare earth elements in garnet of the Kal-e Kafi skarn, Anarak Area, Central Iran: Constraints on processes in a hydrothermal system. *Geochemistry International* **54** 423–438.
- SAUER, R. (2013): Petrology. In: BEZECZKY, T. (ed.) *The amphorae of Roman Ephesus. Forschungen in Ephesos* **15(1)** 197–212.
- SHIMIZU, N. (1975): Rare earth elements in garnets and clinopyroxenes from garnet lherzolite nodules in kimberlites. *Earth and Planetary Science Letters* **25(1)** 26-32.
- SMITH, M.P., HENDERSON, P., JEFFRIES, T.E.R., LONG, J. & WILLIAMS, C.T. (2004): The Rare Earth Elements and Uranium in Garnets from the Beinn an Dubhaich Aureole, Skye, Scotland, UK: Constraints on Processes in a Dynamic Hydrothermal System. *Journal of Petrology* **45(3)** 457–484.
- SWANSON, R.G. (1981): *Sample Examination Manual. AAPG Methods in Exploration Series*, No. 1, AAPG Publisher, Tulsa, USA, ISBN 089181650X. 54 p.
- SZILÁGYI, V. (2004): *Egy 10. századi település kerámia leletegyüttesének archeometriai vizsgálata*, Edelény, Északkelet-Magyarország. Diplomamunka, ELTE TTK Közletan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 90 p.
- SZILÁGYI, V. (2013): Honfoglalás- és Árpád-kori kerámiák anyagvizsgálata Északkelet-Magyarországról I. - Borsod, Karos. In: RÉVÉSZ, L. & WOLF, M. (eds.) *A honfoglalás kor kutatásának legújabb eredményei: tanulmányok Kovács László 70. születésnapjára*. 799–816.
- SZILÁGYI, V. (2019): A borsodi település kerámialeleteinek archeometriai vizsgálata: nyersanyag- és készítésestechnológia-azonosítás. In: WOLF, M. (ed.) *A borsodi földvár. Egy államalapítás kori megyeszékhelyünk kutatása. Monográfiák a Szegedi Tudományegyetem Régészeti Tanszékéről* 6., Borsod-Abaúj-Zemplén megye régészeti emlékei 10., Szeged-Miskolc, Martin Opitz Kiadó, 53–86.
- SZILÁGYI, V., SZAKMÁNY, Gy., WOLF, M. & WEISZBURG, T. (2004): Az edelényi, 10. századi település kerámia leletegyüttesének archeometriai vizsgálata. *Archeometriai Műhely* **I/1** 34–39.
- SZILÁGYI, V., T. BIRÓ, K., CSENGERI, P., S. KOÓS, J., SZAKMÁNY, Gy., TÓTH, M. & TAUBALD, H. (2008): Előzetes eredmények a Bükki kultúra finomkerámiájának nyersanyag azonosítási és technológiai vizsgálatából. *Archeometriai Műhely* **V/3** 27–40.
- VON EYNATTEN, H. & GAUPP, R. (1999): Provenance of Cretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps: constraints from framework petrography, heavy mineral analysis and mineral chemistry. *Sedimentary Geology* **124** 81–111.
- WARREN, C.J., GREENWOOD, L.V., ARGLES, T.W., ROBERTS, N.M.W., PARRISH, R.R. & HARRIS, N.B.W. (2018): Garnet–monazite rare earth element relationships in sub-solidus metapelites: a case study from Bhutan. *Geological Society, London, Special Publications* **478** 145–166.
- WHITNEY, D.L. & EVANS, B.W. (2010): Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* **95** 185–187.

WOLF M. (2001): 10. századi település Edelény-Borsodon. In: CSERI M. & TÁRNOKI J. (eds.) *Népi építészet a Kárpát-medencében a honfoglalástól a 18. századig*. Szentendre-Szolnok, 127–156.

WOLF M. (2002): 10. századi kerámialeletek Borsodon. *Miskolci Herman Ottó Múzeum Évkönyve* **XLI** 39–60.

WOLF M. (2003a): Adatok a 10. századi edényművességünkhöz. A borsodi leletek tanúságai. *Miskolci Herman Ottó Múzeum Évkönyve* **XLII** 85–108.

WOLF M. (2003b): 10-11. századi települések. In: VISY Zs. (ed.) *Magyar régészet az ezredfordulón*. Nemzeti Kulturális Örökség Minisztériuma, Teleki László Alapítvány, 325–327.

WOLF M. (2019): A borsodi földvár. Egy államalapítás kori megyeszékhelyünk kutatása. Monográfiák a Szegedi Tudományegyetem Régészeti Tanszékéről 6., Borsod-Abaúj-Zemplén megye régészeti emlékei 10., Szeged-Miskolc, Martin Opitz Kiadó, 516 p.

THE TRADITION OF FACET-CUT BOWLS FROM PANNONIA: STYLE, DISTRIBUTION AND CHEMICAL COMPOSITION •

A FACETTÁLT-VÉSETT DÍSZÍTÉSŰ TÁLAK TRADÍCIÓJA PANNÓNIABÓL: STÍLUS, ELTERJEDÉS ÉS KÉMIAI ÖSSZETÉTEL

DÉVAI, Kata¹; FÓRIZS, István², LESKÓ, Máté Zsigmond³

¹Research Group for Interdisciplinary Archaeology, Eötvös Loránd University, 1088 Budapest, Múzeum krt. 4/B, Hungary. kata.devai@gmail.com

²Institute for Geological and Geochemical Research, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, ELKH, 1112 Budapest, Budaörsi út 45, Hungary. forizs@geochem.hu

³Institute of Mineralogy and Geology, University of Miskolc, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros A/3. askmate@uni-miskolc.hu

Kata Dévai and István Fórizs contributed equally to the study and the publication

Abstract

The method of facet-cutting was invented in the 1st century A.D. The craftsmen began to create zoned facet-cut decoration to arrange the facets in horizontal zones divided by linear grooves mostly in Isings 96 bowl in the second half of 2nd century and first half of 3rd century A.D. The western part of the Roman Empire is emphasized in production. Above all, we need to highlight the Rhine region (perhaps at Cologne), and Pannonia as production sites from which we now publish chemical compositions of this type for the first time. The existence of workshops at Dura Europos and Tanais is uncertain in the eastern part of the empire. Facet-cut vessels often appear also southern Germany, Bavaria. There are also rich places in Northern Italy as Brescia for example, and also known in France and Great Britain, but not in big quantities. The archaeometric study revealed that the chemical compositions of facet-cut bowls from Brigetio and Intercisa are the same, which indicates that they were made of the same raw glass. The appearance of another high-quality glass ware, the snake-thread beakers, coincided both in time and place in Pannonia with the facet-cut bowls. Therefore, we wondered how similar the composition of the base glass was and whether a further relationship could be assumed between them in terms of production. Interestingly, the chemical compositions of these two types are partly identical (Sb-decolourized facet-cut bowls and snake-thread beakers) and partly different (the two Mn-decolourized snake-thread beakers). The appearance of the Mn-decolourized objects needs further investigation.

Kivonat

A facettált-véselt díszítést a Kr. u. 1. században fedezték fel. Az üvegművesek facettált oválisok és véselt vonalak segítségével vízszintes zónákra osztották az edények felületét és azon komplex díszítési rendszereket hoztak létre a 2. század második felében és a 3. század első felében. Az edény teljes felszínét beborító véselt vonalak és facettált oválisok, körök és rizsszemekből álló komplex díszítés esetén feltételezhető, hogy ezeket szakosodott műhelyekben gyártották. A típus gyártásában a nyugati birodalomrész volt hangsúlyos. A Rajna-vidéket és Pannoniát kell kiemelniük mint biztos gyártóhelyeket, ha az edények elterjedési területét megvizsgáljuk. Pannoniából most először közlünk anyagvizsgálati eredményeket erről a típusról. A keleti birodalomrészben feltételezett műhelyek működése bizonytalan (Tanais és Dura Europos). A facettált tálak gyakoriak Dél-Németországban (Bajorországban) és Észak-Itáliában (például Brescia) is. Franciaországban és Nagy-Britanniában is ismertek, de nem nagy mennyiségben fordulnak elő. Az archeometriai vizsgálat szerint a Brigetioban és Intercisaban feltárt facettált tálak kémiai összetétele azonos, kémiai összetételi alapon nem megkülönböztethetőek, ami arra utal, hogy azonos nyersüvegből készültek. Ugyanakkor azonos időben és azonos helyeken jelentek meg szálrátétes poharak, amelyek szintén kiváló minőségű üvegtérmekek. Ezért kíváncsiak voltunk, hogy mennyire hasonló az alapüveg összetétele a két típusnál és feltételezhető-e további kapcsolat a gyártás tekintetében. Az alapüvegek részben azonos kémiai összetételűek (az Sb-szintelenítettek), részben eltérők (2 db Mn-szintelenített szálrátétes pohár). A Mn-szintelenített üvegek megjelenése további vizsgálatokat igényel.

• How to cite this paper: DÉVAI, K.; FÓRIZS, I. & LESKÓ, M. Zs., (2021): The tradition of facet-cut bowls from Pannonia: style, distribution and chemical composition, *Archeometriai Műhely* XVIII/2 123–134.
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-010](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-010)

KEYWORDS: FACET-CUTTING, ROMAN GLASS VESSELS EXCAVATED IN PANNONIA, SNAKE-THREAD GLASSWARE, ISING 96 BOWL, EDS

KULCSSZAVAK: FACETTÁLÁS, PANNONIÁBAN FELTÁRT ÜVEGEDÉNYEK, SZÁLÉRÁTÉT DÍSZÍTÉSŰ POHARAK, ISINGS 96 TÁL, EDS

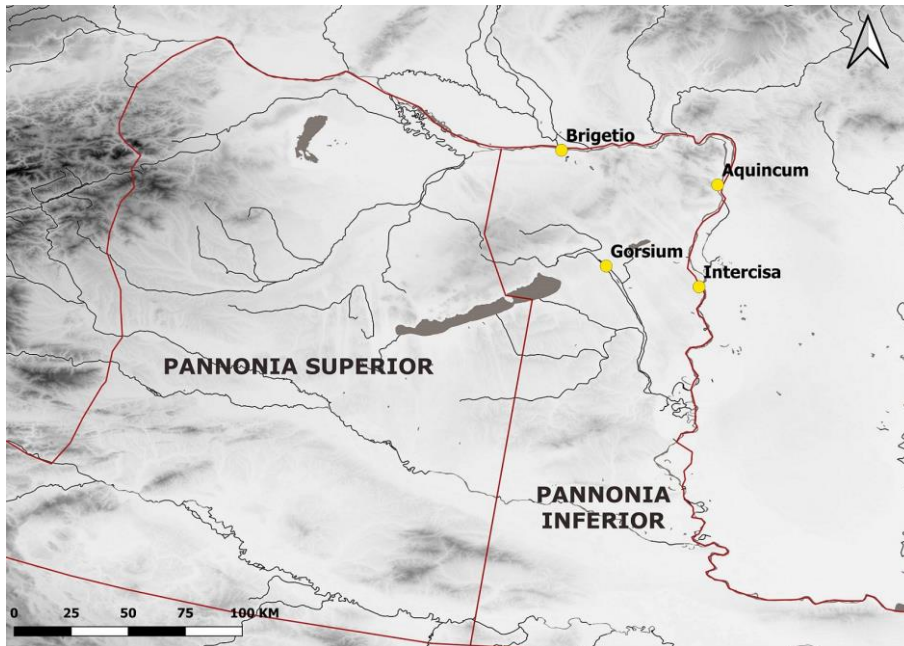


Fig. 1.:
The characteristic sites of
facet-cut bowls (Isings
96) in Pannonia

1. ábra:
A facettált-véselt tálak
(Isings 96) jellegzetes
lelőhelyei Pannóniában

Introduction

Hemispherical bowls with facet-cut ornamentation were used during a brief period in Pannonia (Figs. 1-4.). These colourless, good quality vessels have a fairly thick wall of 3–4 mm and are decorated with carefully designed and executed engraved motifs. The vessel body is divided into bands by one or more wheel-cut lines, while the bands are filled with oval or round facets separated by single or double rod-shaped motifs (Barkóczy 1988a, Form 25. A-B; Isings 1957, Form 96; Rützi 1991, Form AR 56 and 60.1; Harter 1999, Form A 16; Hoffmann 2002, Form C3.3.1.9; Paolucci 1997, 100–101; Sakl–Oberthaler & Tarcsay 2001, Taf. 3.23–24; Šaranović-Svetek 1986, Tab. I.4,8). One essential precondition to the spread of this decorative mode was the growing popularity of colourless glass for tableware on which this type of ornamentation was truly attractive.

The use of facet-cut motifs arranged into rows can be noted from the 60s and 70s AD in Italy, where it was employed to decorate beakers and bowls, which soon became highly popular. Decoration of glassware with engraved lines spread across the entire empire and attained immense popularity on colourless or greenish bowls (Fünfschilling 2015). Simple wheel-cut and incised lines could be easily added at the place of production, in the glass workshops. However, it seems more likely that more elaborate designs of engraved lines and facet-cut oval and circular motifs combined with rice-

grain facets were made in specialised workshops (Fünfschilling 2015).

An upswing in the use of this decorative technique can be noted in the later second century AD, when it was principally employed on hemispherical bowls, whose ornamentation followed elaborate decorative schemes that covered the entire vessel surface (Paolucci 1997) (Figs. 2-4.). Several origins have been proposed for facet-cut motifs, which made their first appearance in the band under the rim of first-century AD *terra sigillata* vessels. However, on glass vessels, facets were made in a different size and as part of an elaborate decorative system; moreover, glass vessels have no other motifs aside from the facet-cut ones, while these are often used in combination with other motifs on *terra sigillata* bowls. Moreover, the vessel forms differ substantially and thus we can only speak of the similarity of the motifs (Paolucci 1997). It has been convincingly demonstrated that the workshops and artisans producing this type of engraved decoration worked closely together with the glass-blowers. Bowls and beakers decorated in this manner were distributed across entire Western Europe, from Scandinavia to Britain, and from Gaul and Germany to Spain and Italy. Nevertheless, a visible concentration can be noted in the Cologne area. In the east, this glass ware is attested in Pannonia, Syria and Palestine, Egypt and the Pontic (Stern 2001).

A look at the distribution and the major concentrations of sites reveals that they had been manufactured in four main regions according to previous research: the Rhine region (perhaps at Cologne), Pannonia, Syria (possibly at Dura Europos) and the Pontic, at Tanais (Stern 2001, 137; Paolucci 1997, 68). The first two regions are certain, however, there is little evidence for facet-cut glass vessel production at the second two regions. It is certain that in the production of facet-cut bowls, the western part of the empire is emphasized, including one of the manufacturing sites in Pannonia. The area around Pannonia and Cologne seems to be the safest place to produce in terms of distribution and density of facet-cut bowls (Isings 96). Two Eastern workshop circles have also been hypothesized in the past, and their existence is possible, but we have little evidence of it. Its popularity is best indicated by the fact that this elegant ornamental technique began to be applied on silverware, which clearly imitated the glass bowls, as shown by the adoption of the Isings 96 hemispherical bowl form that was lacking from among silver vessels (Paolucci 1997, 67). The peak in the production of these vessels fell into the later second and early third century, after which their production ceased in the Pontic, Syria and Pannonia, although their manufacture continued up to the fourth century in the west, alongside the creation of increasingly more sophisticated and elaborate geometric patterns (Stern 2001, 137).

Archaeological evaluation

The facet-cut bowls from Pannonia were first analysed in detail by L. Barkóczi, who distinguished three main groups (Barkóczi 1986, 166–189). Vessels representing the types principally came to light in Intercisa, Gorsium, Brigetio and Aquincum, but were also attested at Poetovio, Mursa and Sirmium (**Fig. 5**).

Barkóczi distinguished three main groups among the intact and fragmentary bowls known to him based on their decorative motifs (**Fig. 5**). As a matter of fact, only his Groups I and II can be regarded as independent groups since his Group III is essentially made up of the vessels with a unique design that could not be fitted into his other two (Barkóczi 1986, 166). Group I is made up of the earlier vessels dating from later second century, while Group II of vessels with a more elaborate decorative scheme that can be clearly distinguished from the earlier pieces (**Figs. 2-4**).

The detailed publication of the glass finds and the identification of stylistic groups is essential to gaining a better understanding of the exact distribution of this attractive and highly decorative ornamental system. The localisation of workshops likewise calls for reports with a focus on the detailed description of the sophisticated patterns



Fig. 2.: Facet-cut bowl fragment from Intercisa. Inv. Nr.: 68.112.2. Intercisa Museum (Intercisa Múzeum), Dunaújváros, Hungary. Photo: K. Dévai

2. ábra: Facettált-véssett tál töredéke Intercisából. Leltári szám: 68.112.2. Intercisa Múzeum, Dunaújváros. Fotó: Dévai K.



Fig. 3.: Facet-cut bowl fragment from Intercisa. Inv. Nr.: 1.142.18. Intercisa Museum (Intercisa Múzeum), Dunaújváros, Hungary. Photo: K. Dévai

3. ábra: Facettált-véssett tál töredéke Intercisából. Leltári szám: 1.142.18. Intercisa Múzeum, Dunaújváros. Fotó: Dévai K.



Fig. 4.: Facet-cut bowl fragment from Brigetio. Inv. Nr.: 4.1932.82. Hungarian National Museum (Magyar Nemzeti Múzeum), Budapest, Hungary. Photo: K. Dévai

4. ábra: Facettált-véssett tál töredéke Brigetióból. Leltári szám: 4.1932.82. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest. Fotó: Dévai K.



Fig. 5.: Facet-cut bowls. Barkóczi L., 1988, Taf. IV. Kat. Nr. 39, 41-42.

5. ábra: Facettált-vésett tálak. Barkóczi L., 1988, Taf. IV. Kat. Nr. 39, 41-42.

and decorative schemes created from the combination of wheel-cut lines and oval, round and rice-grain facets covering the vessel bodies. The exact description of the patterns themselves and of the thickness of the cuts, an indication of the size of the cutting wheel, is similarly important, as is the description of the design's layout, of whether the facets are loosely or, conversely, closely set, or virtually touching, since this can provide useful clues regarding workshop traditions.

Conclusions of archaeological evaluation

This decorative technique is wholly perfected on this type, which flourished during a briefer period in Pannonia, for a few decades around the mid-third century. Several pieces, both intact and fragmented, are known principally from Intercisa, Gorsium, Aquincum and Brigetio (**Fig. 1**). These bowls disappear from the Pannonian material as abruptly as they had appeared. One curious coincidence is that the period during which these bowls were used

as well as the sites on which they came to light more-or-less coincides with the popularity of the bowls with snake-thread beakers, suggesting an association between the two finely decorated glass types. In the case of snake-thread glassware we have evidence of production from workshops in Pannonia and can be clearly linked to the migration of the Syrian population to Pannonia, while in the case of faceted bowls we have no data for this.

Although we have no evidence of this connection, the following can be said of snake-thread glass vessels: "It is particularly interesting to consider that snake-thread beakers in Pannonia were found primarily in a settlement context (examples are known from Brigetio and Intercisa), and it seems that they were not deposited in graves. There is an evidence for glass workshops operating in all two towns." (Dévai 2019, 337) and "At Intercisa five glass kilns as well as 220 kilograms of waste (raw glass, molten glass, semi-finished products) were recovered by Zs. Visy. This workshop was in

operation until the 260s AD. After the Roman *cohors I Aurelia Antoniniana milliaria Hemesenorum* had been assigned to station at Intercisa, a considerable amount of civilian settlers must have arrived in several waves from the recruitment area. According to the testimony of grave inscriptions and personal names many people of Eastern origin settled in the canabae of Intercisa, to whom we may attribute the introduction of glass making tradition in Pannonia. As we have seen it was in this period when the first examples of snake-thread beakers appeared in Brigetio and it was this time when the production of similar beakers at the Brigetio workshop started. Thus, one may hypothetically conclude that Intercisa and Brigetio were the major production centres where snake-thread beakers were produced in Pannonia, and that the activity of these workshops was connected to glass manufacturers migrating here from the East” (Dévai 2019, 337 and see also: Dévai 2021, 55-66).

Archaeometric study

From two archaeological sites twelve facet-cut glass fragments – all colourless – were submitted to archaeometric analyses to determine whether the particularly good quality, thick-walled, colourless vessels had a specific composition and whether there are any differences in their composition. We were also curious to learn whether these complex ornamental schemes with deep-cut facets called for a special composition and whether the raw glass used for these bowls came from one specific location. Because the appearance of these facet-cut bowls coincided both in time and place with another high-quality glass vessel, the snake-thread beakers (in few cases bottles or goblets), we compared the chemical composition of facet-cut bowls with the colourless base glass of the snake-thread beakers to check whether they were made from the same raw glass or not. The base glass of the snake-thread beakers is colourless with a faint bluish-greenish tint in few cases. The snake-thread decorations are coloured on some vessels, while colourless on other vessels. As an illustration of snake-thread decoration, **Fig. 6** shows two of the best-preserved snake-thread vessels with basically colourless decorations. For analytical investigations 11 small fragments were selected (those on **Fig. 6** have not been analysed). In this paper only the base glass chemical composition of snake-thread vessels is used.

Samples and applied methods

Three facet-cut bowls from Brigetio and 9 facet-cut bowls from Intercisa have been submitted for chemical analysis in the Institute for Geological and Geochemical Research, (Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, Budapest, Hungary) by EPMA-EDS (JEOL Superprobe 733 attached with X-Act (Oxford Instruments) energy

dispersive X-ray spectrometer). Applied conditions: 20 kV accelerating voltage, 3 nA beam current, spot size: between 50×50 micrometre and 100×100 micrometre rectangle, acquisition time: 5 minutes. The eleven snake-thread beakers from Intercisa have been analysed in the same institute by SEM-EDS (JEOL JSM-IT700HR scanning electron microscope attached with X-Act (Oxford Instruments) energy dispersive X-ray spectrometer). Applied conditions: 20 kV accelerating voltage, 2.5 nA beam current, spot size: between 50×50 micrometre and 150×150 micrometre rectangle to prevent the escape of sodium (Na) from the glass, acquisition time: 5 minutes. For the above-mentioned analyses, small pieces (0.5 to 2 mm) have been taken off from the archaeological glass fragments, then were embedded in resin, polished and coated with thin layer of carbon. In both cases, factory calibration was applied and the results were normalized to 100%. The reliability of the measurements was checked with glass standards (reference glasses) from the Corning Museum (Adlington 2017). See **Appendix 1** for the accepted and measured chemical compositions of the Corning glass standards. Data are given in mass percent (m%) throughout the paper. For the detection limits see **Appendix 2**. Because the same EDS detector was used for both sets of samples (the Oxford Instruments X-Act detector first was attached to the JEOL Superprobe 733 electron microprobe, then the same detector was reinstalled on the JEOL IT700 scanning electron microscope), only one table of the measured composition of Corning glass standards (**Appendix 1**), and one table of the detection limits (**Appendix 2**) is provided.

Results of chemical analyses

Facet-cut samples

The results of the analyses of facet-cut samples can be seen in **Table 1**. The glass is a typical Roman composition (soda-lime-silica glass: low-magnesia, low-potash (LMLK)) with manganese (Mn) below detection limit and very low iron (Fe), which means that the raw material was of good quality. Just 0.5 m% antimony was used as decolouriser. The calcium content, which is characteristic for the sand used for glass making, varies in a narrow range around 6%. The chemical compositions of the facet-cut samples from Brigetio and Intercisa are rather close to each other. Not only the major components, but also the minor ones (Cl, Al, Mg, K, S, Fe) are very similar to each other. It seems to be there is a small difference in the antimony contents between the two sets of samples (Brigetio, Intercisa), but we have to keep in mind that the uncertainty of antimony data is very high (cca. 0,4 m%), because of the strong overlap between the

Table 1.: Chemical composition (m%) of facet-cut samples from Brigetio and Intercisa determined by EPMA-EDS

1. táblázat: A Brigetióból és Intercisából származó facettált-vésett minták EPMA-EDS módszerrel meghatározott kémiai összetétele tömeg%-ban.

	Brigetio			Intercisa								
	DKD64	DKD65	DKD66	DKD3	DKD4	DKD5	DKD6	DKD7	DKD8	DKD9	DKD10	DKD11
Na ₂ O	18.75	18.20	18.36	16.65	18.37	19.40	19.97	18.77	17.63	19.57	19.90	17.23
MgO	0.59	0.63	0.64	0.44	0.60	0.45	0.41	0.28	0.63	0.47	0.46	0.46
Al ₂ O ₃	1.73	1.94	1.94	1.70	1.94	1.64	1.63	1.83	1.87	1.69	1.69	1.72
SiO ₂	69.91	70.22	69.68	72.24	70.16	69.44	68.80	71.08	71.41	69.45	69.31	71.80
P ₂ O ₅	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.29	0.33	0.33	0.25	0.32	0.38	0.39	0.31	0.30	0.40	0.39	0.22
Cl	1.17	1.13	1.10	1.11	1.14	1.18	1.26	1.17	1.08	1.16	1.14	1.12
K ₂ O	0.35	0.39	0.39	0.36	0.43	0.38	0.36	0.39	0.39	0.39	0.38	0.36
CaO	5.95	5.97	6.20	6.34	5.98	6.04	6.06	5.21	5.70	5.85	5.72	6.21
TiO ₂	0.07	0.06	0.09	0.07	0.04	0.06	0.06	0.04	0.08	0.03	0.07	0.07
MnO	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.03	0.01	0.00	0.02	0.02
Fe ₂ O ₃	0.36	0.40	0.43	0.29	0.40	0.36	0.40	0.28	0.39	0.36	0.34	0.31
Sb ₂ O ₃	0.78	0.71	0.81	0.53	0.60	0.64	0.63	0.61	0.50	0.62	0.59	0.48
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

characteristic X-ray peaks of antimony and calcium. Actually, the 0.2 m% difference in Sb₂O₃ content is less than the analytical uncertainty, therefore we have to neglect this virtual difference. Practically the two sets of samples are indistinguishable by their chemical composition. This fact indicates that they were made by the same recipe and may be that from the same raw glass which was produced in the same workshop.

Snake-thread samples

The chemical composition of the base glass of eleven snake-thread beakers found at Intercisa is shown in **Table 2**. Unlike facet-cut vessels, the set of snake-thread beakers is not homogeneous, it consists of two groups: antimony (Sb)-decolourized (9 pieces: DKR1-3, 6-7) and manganese (Mn)-decolourized (2 pieces: DKR4-5) samples. The difference is manifested not only in the type of decolourant, but also in the major components like calcium (Ca). The calcium content of the Mn-decolourized samples (mean CaO = 7.6 m%) are higher than those of Sb-decolourized ones (mean CaO = 5.8 m%). Seemingly the sample DKR4 contains 0.25 m% Sb₂O₃, but this value is around the detection limit, and we have to keep in mind that there is a strong overlap between the peaks of antimony and calcium, therefore the existence of antimony in this sample is not proved, further analysis is needed to validate the measured value. The SiO₂/CaO ratio characterizes the sand used for

glass making. This ratio in the final glass should vary in a narrow range when the sand comes from the same place. On **Fig. 6**, we can see that the ratio of Mn-decolourized snake-thread beakers (yellow) is significantly lower than the others, practically inversely mirroring the difference in the CaO content. From this fact, we can infer that different sand was used for the Mn-decolourized and for the Sb-decolourized glass vessels. If raw glass was transported from the Mediterranean region, then likely it originated from different primary workshops. Comparing the chemical compositions of the antimony decolourized base glass of snake-thread beakers and the facet-cut bowls we can see that not only the major components (Na, Si, Ca), but also the minor components (Mg, Al, S, Cl, K, Fe) are similar to each other (**Table 1-2**). This similarity is well demonstrated on the plot of SiO₂ vs. Na₂O (**Fig. 7**), where the two Mn-decolourized samples are outliers. The SiO₂/CaO ratio of the two sets, facet-cut and snake-thread (**Fig. 8**), varies in the same range with the exception of the two Mn-decolourized samples. The similarity (almost identity of major and trace elements) between the chemical compositions of the antimony decolourized base glass of snake-thread beakers and the facet-cut bowls is an indication that they were made probably from the same batch of raw glass. Further trace element analyses could prove this hypothesis.

Table 2.: Chemical composition (m%) of snake-thread samples from Intercisa determined by SEM-EDS

2. táblázat Az Intercisából származó szálrátétes minták SEM-EDS módszerrel meghatározott kémiai összetétele tömeg%-ban.

	DKR1	DKR2	DKR3	DKR4	DKR5	DKR6	DKR7	DKR8	DKR9	DKR10	DKR11
Na ₂ O	17.10	16.98	17.08	17.84	16.28	19.14	20.00	18.47	19.93	16.67	16.89
MgO	0.40	0.39	0.39	0.60	0.52	0.33	0.43	0.44	0.43	0.44	0.40
Al ₂ O ₃	1.94	2.01	1.98	2.22	2.73	1.75	1.71	1.91	1.69	2.04	1.95
SiO ₂	72.40	72.43	72.39	68.58	68.88	70.48	68.68	69.73	68.76	71.90	72.49
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.25	0.27	0.23	0.23	0.18	0.33	0.39	0.31	0.36	0.22	0.24
Cl	1.12	1.12	1.14	1.06	1.22	1.24	1.19	1.14	1.30	1.09	1.14
K ₂ O	0.45	0.45	0.44	0.58	0.65	0.42	0.43	0.45	0.44	0.46	0.46
CaO	5.58	5.61	5.55	7.05	8.06	5.20	5.94	6.30	5.85	6.21	5.64
TiO ₂	0.04	0.03	0.09	0.08	0.08	0.03	0.08	0.10	0.07	0.10	0.09
MnO	0.00	0.00	0.00	0.97	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.39	0.40	0.39	0.52	0.42	0.32	0.43	0.41	0.40	0.51	0.41
Sb ₂ O ₃	0.37	0.34	0.37	0.25	0.00	0.78	0.75	0.78	0.79	0.38	0.33
Total	100.00	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01	100.00	99.99	100.00



Fig. 6.: Snake-thread goblet decorated with tendrils and leaves (left) and bottle with snake-thread decoration (right). Intercisa Museum (photo: Tamás Keszi).

6. ábra: Kígyózó szálrátétes kehely levelekkel és indákkal díszítve (balra) és kígyózó szálrátéttel díszített palack (jobbra). Intercisa Múzeum. Fotó: Keszi Tamás.

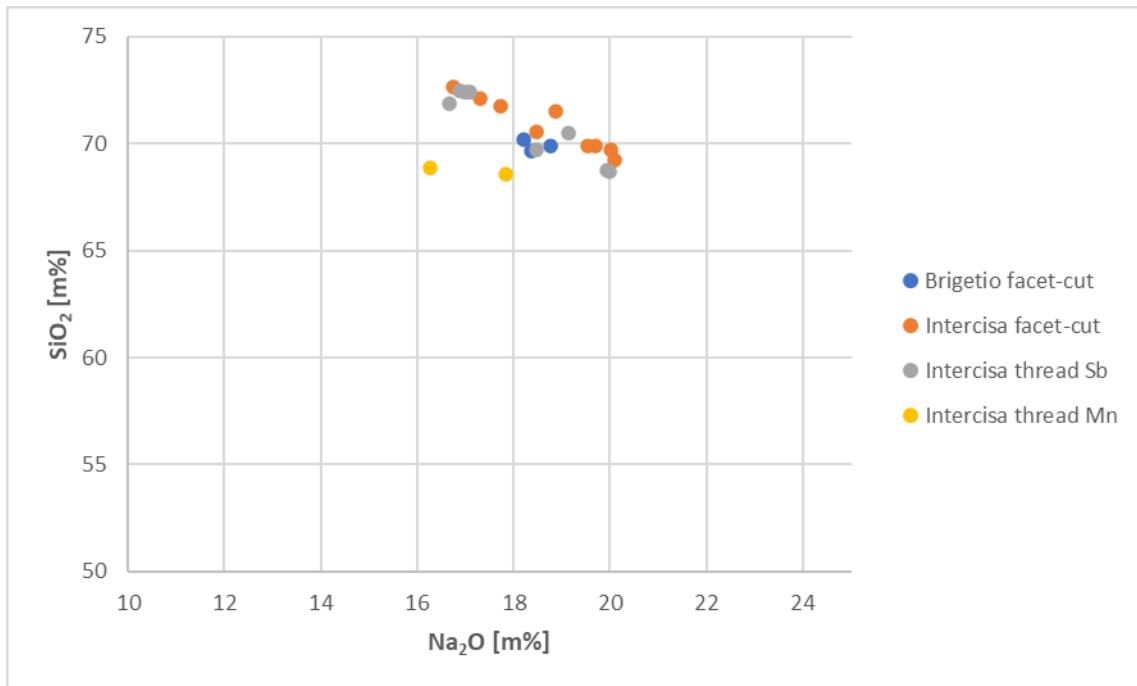


Fig. 7.: The SiO₂ vs. Na₂O plot of all the analysed samples. Legend: Brigetio facet-cut = facet-cut beaker from Brigetio, Intercisa facet-cut = facet-cut beaker from Intercisa, Intercisa thread Sb = antimony decolourised snake-thread cup from Intercisa, Intercisa thread Mn = manganese decolourised snake-thread cup from Intercisa.

7. ábra: Az összes elemzett minta a SiO₂ - Na₂O ábrán. Jelmagyarázat: Brigetio facet-cut = facettált-véssett tál Brigetióból, Intercisa facet-cut = Facettált-véssett tál Intercisából, Intercisa thread Sb = Sb-szintelenített szálrátétes pohár Intercisából, Intercisa thread Mn = Mn-szintelenített szálrátétes pohár Intercisából.

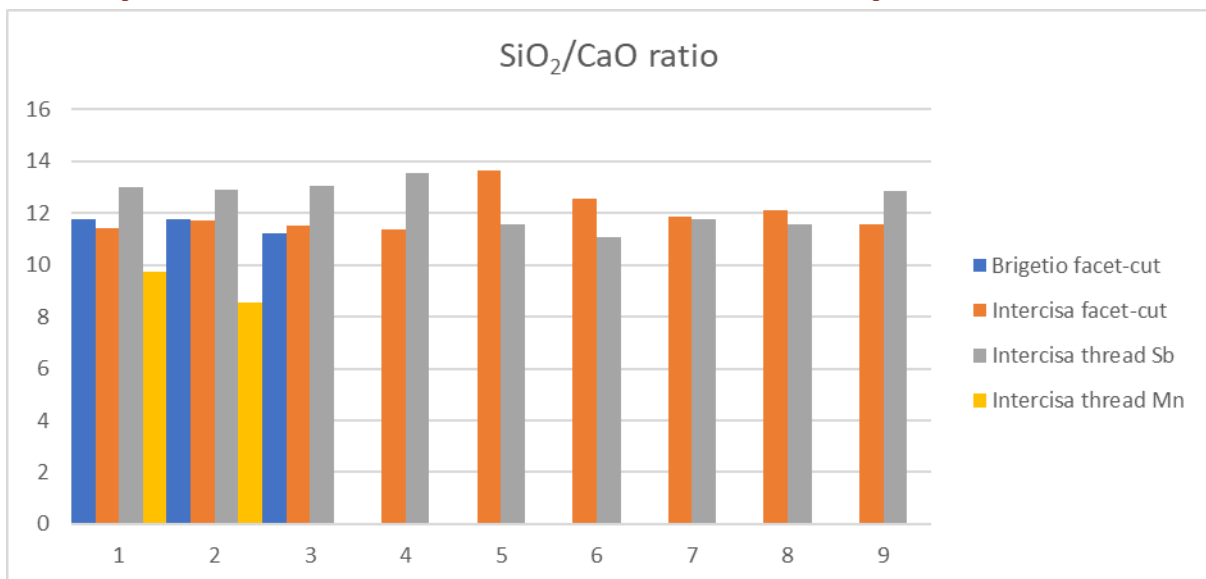


Fig. 8.: The SiO₂/CaO ratio of all the analysed glass fragments. For the legend, see Fig. 7.

8. ábra: Az összes elemzett üvegtörödékek SiO₂/CaO aránya. A jelmagyarázatot lásd a 7. ábránál.

Chemical composition of facet-cut glass vessels in other parts of the Roman Empire

Although the Ising 96 type facet-cut vessel findings are concentrated in four distinct regions (see above), our survey for their published chemical

analyses have been unsuccessful. Therefore, we compare our data to all types of facet-cut glass vessels. It is interesting that the majority of the chemical data comes from Britain (Paynter 2006, 2010; Paynter & Jackson 2019; Baxter et al. 1995; Baxter et al. 2005; Charlesworth & Price 1987; Jackson 2005), and one from Egypt (Rosenow &

Rehren 2014). The British findings have got some interesting features. For example, based on an extensive data base Baxter et al. (2005) found that facet-cut beakers are generally compositionally distinct from cast bowls, wheel-cut beakers and cylindrical cups. What is more interesting they found that there were at least two subgroups of facet-cut beakers distinguished by different levels of iron, aluminium, calcium, antimony and lead oxides in the glasses. The variations in the levels of aluminium, calcium and iron oxides suggest that distinct silica sources were used to make these glasses found in Britain. The mean chemical composition of our Pannonian pieces is very similar to that of "High Al" facet-cut beakers (Table 4 in Baxter et al. 2005), but not identical, there is some difference in MgO and K₂O contents, but this small difference between the average values may be resulted from the bad statistics (small number of samples) of Pannonian vessels. There is a strong similarity between the chemical composition of our Pannonian facet-cut bowls and those facet-cut vessels published by Paynter & Jackson (2019) from different sites in Britain. Actually, the range of concentrations of components of the Pannonian samples are narrower than those of British ones, and there is total overlap between the Pannonian and British sets. Paynter (2010) published the chemical composition of 12 facet-cut samples among other types of glass vessels excavated in Binchester (1st-3rd centuries). Their calcium (3.49-6.41 m% CaO) contents vary in such a wide range, that most probably they were made of raw materials from different sources. Having a look over the chemical compositions of all the facet-cut vessels we can state that most probably they were made of raw glasses from different workshops. Regarding the major and minor elements there are strong similarities between the Pannonian and some British facet-cut vessels indicating that they may have been made from the same raw glass, but this statement should be checked by trace element analyses in the future.

Sb- vs. Mn-decolourized glasses in the Roman Empire

As we could see above, the CaO content of the Mn-decolourized snake-thread vessels are significantly higher than those of Sb-decolourized ones. If we have a look generally on these two types of Roman glasses, not only the snake-thread ones, this character seems to be valid for the majority of the colourless glasses. Foy et al. (2004) categorized the colourless Roman glasses (2nd/3rd c. AD.) found in a cargo of a shipwreck at Ambiez and at several Mediterranean sites and Gaul (cca. today France) into four groups, where Group 3 is the Mn-decolourized glass having 7.81 m% CaO, and Group 4 is the Sb-decolourized glass having 5.56 m% CaO. Based on an extensive database (792

analyses) Gliozzo et al. (2017) published mean chemical composition for Roman colourless Sb- and Mn-decolourized glasses. They got almost the same CaO content as Foy et al. above: 5.5 m% for Sb-decolourized, and 7.8 m% for Mn-decolourized. These numbers are very close to what we have got for just a few samples from Pannonia: 5.9 m% in Sb-decolourized, 7.6 m% in Mn-decolourized. This character seems to be common for Roman colourless glasses, although not exclusive (e.g. Foster & Jackson 2010 "Colorless 2a", Silvestri et al. 2018, Maltoni et al. 2015). Gliozzo (2017) put this question into chronological context based on a set of 1496 analyses. For Sb-decoloured glass she determined average CaO content as 5.36 m% for the period of 1st-3rd c. AD, and 5.62 m% for the period of 4th-7th c. AD. For the Mn-decoloured glass she determined average CaO content as 7.84 m% for the period of 1st-3rd c. AD, and 7.30 m% for the period of 4th-7th c. AD. May be there was some change in time, but not significant and it does not modify our observation above.

Summary

The facet-cut decoration flourished during a briefer period in Pannonia, for a few decades around the mid-third century. Several pieces, both intact and fragmented, are known principally from Intercisa, Gorsium, Aquincum and Brigetio (see also for the distribution of facet-cut glass bowls from Pannonia: Dévai 2021, 253-265, Figure 1). Interestingly the period during which these bowls were used as well as the sites on which they came to light more-or-less coincides with the popularity of the bowls with snake-thread beakers, suggesting an association between the two finely decorated glass types. It is possible, although we have no evidence that they had been produced in the same workshops and by the same craftsmen. Because they were used during the same period and have a similar distribution, it is possible that the two types of glassware may be combined, however our evidence is only for the manufacture of snake thread glass vessels.

The archaeometric study revealed that the chemical composition of facet-cut bowls from Brigetio and Intercisa are the same (both major and minor components), practically they are indistinguishable on chemical basis. This fact indicates that they were made of the same raw glass. However, the snake-thread beakers fall into two categories, antimony-decolourized and manganese decolourized, with significantly different calcium content indicating that different raw glasses were used for their production. The chemical composition of the facet-cut and Sb-decolourized snake-thread vessels are very close to each other, they are practically identical. Further trace element analyses would be needed to answer the question whether their raw glass came from the same source or not.

Acknowledgement

This study is part of a research project funded by the Premium Postdoctoral Fellowship Program of the Hungarian Academy of Sciences (working title: K. Dévai, “Glass Vessels in Pannonia: Everyday Usage and Production from the First to Third Centuries A.D.”; ID number: 462032, host institution: ELTE-Eötvös Loránd University, H1088 Budapest, Múzeum krt 4/b). The paper was supported by the Janos Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences (BO/00163/21/2).

References

- ADLINGTON, L. W. (2017): The Corning Archaeological Reference Glasses: New Values for “Old” Compositions. *Papers from the Institute of Archaeology* **27** 1/2 1–8.
- BARKÓCZI, L. (1981): Kelche aus Pannonien mit Fadenaufgabe und Gravierung. *Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **33** 35–70.
- BARKÓCZI, L. (1986): A 3. sz. első feléből származó vésett díszű üvegek Pannoniában. *Archeológiai Értesítő* **113** 166–189.
- BARKÓCZI, L. (1988): Pannonische Glasfunde in Ungarn. *Studia Archaeologica* **IX**. Budapest. 64–66.
- BAXTER, M.J., COOL, H.E.M., HEYWORTH, M.P. & JACKSON, C.M. (1995): Compositional variability in colourless Roman vessel glass. *Archaeometry* **37** 129–41.
- BAXTER, M.J., COOL, H.E.M. & JACKSON, C.M. (2005): Further studies in the compositional variability of colourless Romano-British vessel glass. *Archaeometry* **47** 47–68.
- CHARLESWORTH, D. & PRICE, A.J. (1987): The Roman and Saxon glass. In: FRERE, S.S., BENNET, P., RADY, J., STOW, S. (Eds.), *Canterbury Excavations: Intra- and Extra-Mural Sites 1949-55 & 1980-84. The Archaeology of Canterbury* **8**. Kent Archaeological Society, Maidstone, 220–231.
- DÉVAI, K. (2019): The tradition of snake-thread glass in Pannonia. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **70/2** 325–342.
- DÉVAI, K. (2021): Finds and remains of furnaces related to glass workshops in Pannonia. In: HÖPKEN, C., BIRKENHAGEN, B., BRÜGLER, B. (Eds.), *Römische Glasöfen-Befunde, Funde und Rekonstruktionen in Synthese*. Denkmalpflege im Saarland 11 Herausgeber: Landesdenkmalamt Saarland, 55–66.
- DÉVAI, K. (2021): The tradition of facet-cut bowls from Pannonia – New fragments from Brigetio. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **72/2** 253–265.
- FOSTER, H.E. & JACKSON, C. M. (2010): The Composition of Late Romano-British Colourless Vessel Glass: Glass Production and Consumption. *Journal of Archaeological Science* **37** 3068–3080.
- FOY, D., THIRION-MERLE, V. & VICHY, M. (2004): Contribution à l’étude des verres antiques décolorés à l’antimoine. *Revue d’Archéométrie* **28** 169–177.
- FÜNFSCHILLING, S. (2015): Die römischen Gläser aus Augst und Kaiseraugst: kommentierter Formenkatalog und ausgewählte Neufunde 1981-2010 aus Augusta Raurica. *Forschungen in Augst* **51** 85–87.
- GLIOZZO, E., LEPRI, B., SAGUI, L. & MEMMI, I. (2017): Colourless glass from the Palatine and Esquiline hills in Rome (Italy). New data on antimony- and manganese-decoloured glass in the Roman period. *Archaeological and Anthropological Sciences* **9** 165–180.
- HARTER, G. (1999): *Römische Gläser des Landesmuseums Mainz*. Wiesbaden, 50 p.
- HOFFMANN, B. (2002): *Römisches Glas aus Baden-Württemberg*. Jan Thorbecke Verlag, Stuttgart, 449 p.
- ISINGS, C. (1957): Roman glass from dated finds. J.B. Wolters, Groningen/Djakarta, 185 p.
- JACKSON, C. M. (2005): Making colourless glass in the Roman Period. *Archaeometry* **47** 763–780.
- MALTONI, S., CHINNI, T., VANDINI, M., CIRELLI, E., SILVESTRI, A. & MOLIN, G. (2015): Archaeological and archaeometric study of the glass finds from the ancient harbour of Classe (Ravenna- Italy): new evidence. *Heritage Science* **3/13** doi:10.1186/s40494-015-0034-5.
- PAOLUCCI, F. (1997): *I vetri incisi dall’Italia settentrionale e dalla Rezia. Nel periodo medio e trado imperiale*. All’insegna del Giglio, Firenze, 228 p.
- PAYNTER, S. (2006): Analyses of colourless Roman glass from Binchester, County Durham. *Journal of Archaeological Science* **33** 1037–1057.
- PAYNTER, S. (2010): Analyses of Colourless Roman Glass. In: FERRIS, I. 2010. *The Beautiful Rooms are Empty. Excavations at Binchester Roman Fort, County Durham 1976-1981 and 1986-1991. Part 2*. Durham County Council, 333–338.
- PAYNTER, S., JACKSON, C. (2019): Clarity and brilliance: antimony in colourless natron glass explored using Roman glass found in Britain. *Archaeological and Anthropological Sciences* **11** 1533–1551.
- RÜTTI, B., (1991): Die römischen Gläser aus Augst und Kaiseraugst. *Forschungen in Augst* **13** 61–70.

SAKL–OBERTHALER, S. & TARCSAY, K. (2001): Römische Glasformen aus Wien. Fundort Wien. *Berichte zur Archäologie* 4 78–112.

SILVESTRI, A., GALLO, F., MALTONI, F., DEGRYSE, P., GANIO, M., LONGINELLI, A. & MOLIN, G. (2018) Things that travelled: a review of the Roman glass from northern Adriatic Italy In: ROSENOW, D., PHELPS, M., MEEK, A., FREESTONE, I.C. (Eds.) *Things that travelled. Mediterranean glass in the first millennium CE*, 346–367.

STERN, E. M. (2001): *Römisches, byzantinisches und frühmittelalterliches Glas. 10 v. Chr.–700 n. Chr. Sammlung Ernesto Wolf*. H. n. 2001, 137 p.

ŠARANOVIC-SVETEK, V. (1986): *Antičko staklo u Jugoslovenskom delu provincije donje Panonije*. Posebna izdanja (Vojvođanski muzej) 7, Novi Sad, 87 p.

BRASS BROOCH: A FAKE 'LATE BRONZE AGE VIOLIN-BOW FIBULA FROM ESZTERGOM-DUNAPART'

SÁRGÁZRÉZ BROSS: "KÉSŐ BRONZKORI HEGEDŰ ALAKÚ FIBULA" HAMISÍTVÁNYA "ESZTERGOM-DUNAPARTRÓL"*

János Gábor **TARBAY**¹ & Boglárka **MARÓTI**²

¹ Hungarian National Museum, Department of Archaeology, Prehistoric Collection, Múzeum krt. 14–16, H-1370, Budapest, Hungary, tarbay.gabor@hnm.hu

² Centre for Energy Research, Nuclear Analysis and Radiography Department, KFKI Campus, Konkoly-Thege Miklós Street 29–33, H-1121, Budapest, Hungary, maroti.boglarka@ek-cer.hu

Abstract

The study discusses a previously published find, a 'Late Bronze Age violin-bow fibula' from the prehistoric collection of the Hungarian National Museum, Department of Archaeology. The object was bought by the institute in 1948 from a certain Elemér Szabó, who stated that it was found by his son on the bank of the Danube River in Esztergom. In 2021, we re-studied the find by metalwork production and use-wear analysis and X-ray fluorescence spectrometry (XRF). The results of both analyses revealed that this specimen has a highly unusual character regarding its traces of manufacturing and elemental composition. In our opinion, based on these atypical characteristics, this 'artefact' can be determined as a modern forgery and therefore must not be included in further studies on the so called Unterradl type violin-bow fibulae.

Kivonat

A tanulmány egy korábban publikált "késő bronzkori hegedűvonó alakú fibulát" vizsgál a Magyar Nemzeti Múzeum, Régészeti Tárának őskori gyűjteményéből. A tárgyat az intézmény 1948-ban vette egy bizonyos Szabó Elemértől, akinek állítása szerint az ékszert fia találta a Duna esztergomi partszakaszán. 2021-ben, makroszkópos megfigyelésekkel és röntgenfluoreszcencia spektrometriával (XRF) vizsgáltuk újra a leletet. Mindkét elemzés eredménye arra utal, hogy ennek a tárgyak meglehetősen szokatlan készítőtechnikai és elemösszetételi jellemzői vannak. Megítélésünk szerint, atipikus tulajdonságai alapján, ez a "műtárgy" modern hamisítványként határozható meg, ennél fogva a hegedűvonó fibulák Unterradl típusával foglalkozó munkákból ki kell hagyni.

KEYWORDS: FORGERY, XRF (X-RAY FLUORESCENCE SPECTROSCOPY), METALWORK PRODUCTION AND USE-WEAR ANALYSIS, LATE BRONZE AGE, BRASS, UNTERRADL TYPE VIOLIN-BOW FIBULA

KULCSSZAVAK: HAMISÍTVÁNY, XRF (RÖNTGENFLUORESZCENCIA SPEKTROMETRIA), FÉMTECHNOLÓGIAI ÉS HASZNÁLATI NYOM ELEMZÉS, "KÉSŐ BRONZKOR", SÁRGÁRÉZ, UNTERRADL TÍPUSÚ HEGEDŰVONÓ FIBULA

Introduction

Some may think that it 'makes no sense' to re-examine previously published archaeological artefacts. This statement is incorrect of course, as science goes through a continuous transformation with developing questions, concepts, methods, and analytical techniques. A re-analysis of 'old' finds may reveal some new aspects of these long-known objects and assemblages, which can be radically surprising, as we will see in the case of the following ornament.

In this brief study, a violin-bow fibula will be examined by metalwork production and use-wear analysis (Eöry 2009; Tarbay 2012, 121–122; Szabó 2013, 36–39; Dolfini & Crellin, 2016) and X-ray fluorescence technique. It was purchased by the Hungarian National Museum (HNM) in 1948. According to the inventory book of the HNM, the institute bought the object from Elemér Szabó, who stated that the ornament was found on the bank of the Danube River (Dunapart) in Esztergom (Komárom-Esztergom County, HU) (Inventory Book of the HNM, 1948.6).

* How to cite this paper: **TARBAY, J. G. & MARÓTI, B. (2021): Brass brooch: a fake 'Late Bronze Age violin-bow fibula from Esztergom-Dunapart' *Archeometriai Műhely* XVIII/2 135–142.**
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-011](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-011)

Table 1.: Published dimension and weight of the Unterradl type, Podumci variant violin-bow fibulae

1. táblázat: Az Unterradl típus, Podumci variánsába sorolható hegedűvonó alakú fibulák publikált méret és tömeg adatai

	L (mm)	W / H (mm)	Th (mm)	Wt (g)	Condition	Data
Badacsonytomaj-Korkován hegy	58	17	2×2	4	f	Tarbay 2018, 473, Pl. 1.73
Cornocchio	101.00	14.00	unpubl.	unpubl.	f	Montelius 1895, 151, Pl. 24.2; Riemann 1979, 71
Esztergom-Dunapart	53.11	8.82-11.55	3.44×2.61	2.20	"f"	
Mosonszolnok-Haidehof-pusztá	65	unpubl.	unpubl.	unpubl.	c	Patek 1968, 132, Pl. 46.1
Peschiera del Garda	106	unpubl.	unpubl.	unpubl.	f	von Eles Masi 1986, 1, Pl. 1.1
Peschiera del Garda	93	unpubl.	unpubl.	unpubl.	f	von Eles Masi 1986, 1, Pl. 1.2
Podumci	98	unpubl.	unpubl.	unpubl.	c	Glogović 2003, 4, Pl. 1.1
Servirola	129+	37	unpubl.	unpubl.	f	Säflund 1939, 63, Pl. 55.15; Riemann 1979, 72
Servirola	100+	20	unpubl.	unpubl.	f	Säflund 1939, 63, Pl. 55.16; Riemann 1979, 71
Servirola	100	20	unpubl.	unpubl.	c	Säflund 1939, 63, Pl. 55.17; Riemann 1979, 72

L: Length; W: Width; H: Height; Th: Thickness; Wt: Weight; f: fragmented, c: complete

The object was first published by Erzsébet Patek in her seminal monograph on the Transdanubian Urnfield culture in 1968 (Patek 1968, 125, Pl. 64.7).

Metalwork production and use-wear analysis

The object was studied with high-resolution photographs and microscope-camera images made by a dnt DigiMicro mobile camera (image sensor: 5.0MP CMOS, magnification range 20x-500x). In the original publication, the artefact was photographed upside down, from an angle at which it appeared to be a common Late Bronze Age fibula. The unusual technological details of the object were not visible, and these were not described either (see Patek 1968, 125, Pl. 64.7). The object was re-measured (Length 53.11 mm, Width 8.82–11.55 mm, Thickness 3.44×2.61 mm, Weight 2.2 g) as a standard procedure. Even during this process, it was striking that the fibula differed from average Late Bronze Age finds. It is unusually small (see **Table 1.**)

The pin of the fibula is too short to securely fasten. The ‘torsion’ on its bow part is highly uncharacteristic for prehistoric objects. In the Carpathian Bronze Age, craftsmen applied two different technologies to make torsion-like patterns. Naturally, one of these is *torsion*, which is technically made by twisting a wire with a rectangle cross-section (Armbruster 2000, 107–108). This was most likely the main technology applied for the so-called Unterradl type, where the ‘Esztergom fibula’ belongs, as most specimens have a rectangle-cross section near to the bow (e.g., Mozsolics 1949, Pl. 22.3; von Eles Masi 1986, Pl. 1.1; Glogović 2003, Pl. 1.1). The other is *pseudo-torsion*. In this case, the twisting was done on a wax model, or the torsion-like patterns were carved into the wax model, and the bronze artefact was cast by lost-wax-casting technique. Patterns could also be engraved into the surface of the cast ornaments, but this process is more time consuming than decorating a wax model. The ‘torsion’ on the bow of the ‘fibula from Esztergom-Dunapart’ does not resemble any of the above-mentioned techniques.

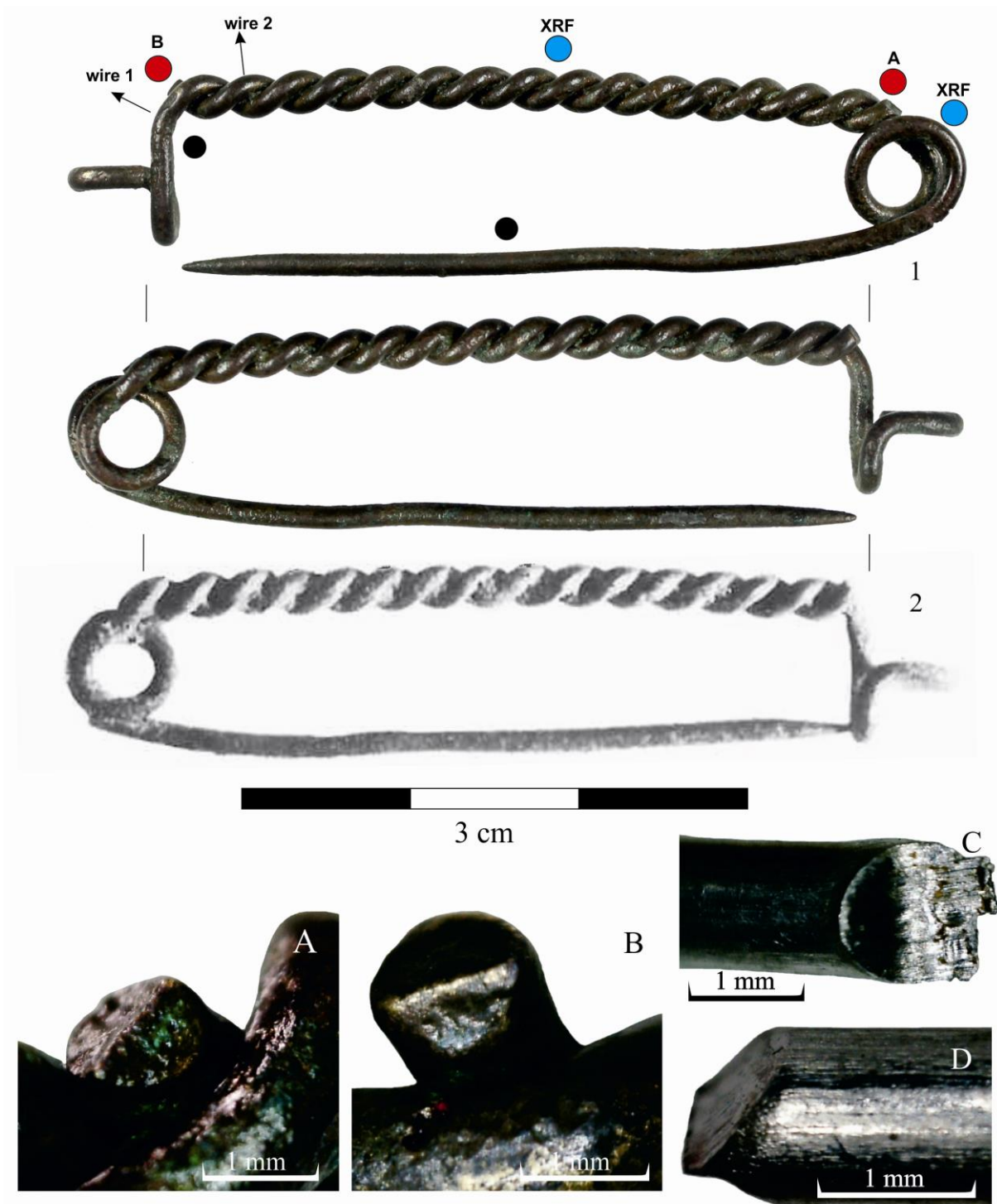


Fig. 1.: 1. The fake fibula from ‘Esztergom-Dunapart’ (Photo: J. G. Tarbay), 2. The photo of the fibula after Erzsébet Patek (Patek 1968, Pl. 64.7), A–B. Asymmetric double cut surface left by end cutting pliers/combination pliers on the fibula from ‘Esztergom’, C. Single cut surface made by straight-edged chisel (modern galvanized steel wire), D. Asymmetric double cut surface left by a combination pliers (modern galvanized steel wire) (Micrographs: J. G. Tarbay).

1. ábra: 1. A hamisított fibula „Esztergom-Dunapartról“ (Fotó: Tarbay J. G.), 2. A fibula képe Patek Erzsébet nyomán (Patek 1968, Pl. 64.7), A–B. Aszimmetrikus, kettős vágási felület az „esztergomi” fibulán, C. Egyenes vésővel ejtett egyenes vágási felület (modern drót), D. Kombinált fogóval ejtett aszimmetrikus kettős vágási felület (modern horganyozott acéldrót) (Mikroszkóp-kamera felvételek: Tarbay J. G.).

The bow consists of two wires, one forms the body of the fibula with the pin, spring, and hinge (**Fig. 1.**, wire 1) while the other is only present in the bow part (**Fig. 1.**, wire 2). These two wires were simply twisted together, and the terminals of the second were cut off. This ‘technique’ has no parallels in the known Late Bronze Age material. The cut marks at the two ends of the second wire were not caused by prehistoric tools (**Fig. 1a-b**). During the Late Bronze Age, chisels with straight-cutting edges with or without sockets were mainly used besides gouges, small chisels, and awls (Mozsolics 1985, 38–39; Wanzek 1992, 262, 269–271; Hansen 1994, 150–154; Bălan 2009). Such chisels are still in use, and they are applied for different purposes by silversmiths, bronzesmiths, and woodcarvers. A straight-edged chisel is used with a hammer during partitioning (see Farkas 1981, 96–97) and this tool leaves a single cut surface (**Fig. 1c**). However, on the ‘Esztergom fibula’ an asymmetrical double-cut surface was observable. Such traces can be created by modern end-cutting pliers or combination pliers (**Fig. 1d**). These are common tools that can be found in almost every 20th century household in Hungary, but obviously they were not used by prehistoric bronzesmiths more than 3,000 years ago.

In brief, the metalwork production and use-wear analysis revealed several unusual characteristics on the object that was found allegedly in Esztergom-Dunapart: 1. atypical dimensions, 2. a bow consisting of twisted wires which poorly imitates torsion technique, 3. modern cut marks made by pliers. These observations suggest that the object is a modern forgery. The interpretation of the results requires further examination of the find’s elemental composition to reassure this technological hypothesis.

X-ray fluorescence spectroscopy (XRF)

The application of X-ray fluorescence method to ancient bronzes in various states of preservation divided the archaeological scientific community in the last two decades of the 20th century (Szabó 2010; Szabó et al. 2019). The experts who were aware of the limits of the technique were concerned

about handling and publishing XRF results without proper interpretation and considering the presence of the surface patina, previous chemical treatments on the object, and the inhomogeneities of the alloy (Szabó 2010; Shugar & Mass 2013; Pearce 2019). Nowadays, researchers are more familiar with the technique, its possibilities and limits (Maróti et al. 2018, Nørgaard 2017, Maróti et al. 2020; May 2020; Mozgai et al. 2020; Charalambous et al. 2021).

The application of the X-ray fluorescence technique in museum collections, especially on ancient bronzes, received a second boost with the appearance of commercially available handheld XRF spectrometers a decade ago. The non-destructive nature of the method makes it attractive for use in the analysis of cultural heritage objects. The semi-quantitative or qualitative compositional information that can be obtained with the help of the device is often more important than the analytical accuracy. Due to the quick measurement time, numerous objects can be analysed within a relatively short period of time, which allows the on-site examination of complete assemblages (Shugar 2013). It is also a good choice for identifying poor quality forgeries with an atypical elemental-composition pattern (Rózsa et al. 2019).

The elemental composition of the fibula was determined with a handheld Innov-X (now Olympus) Delta Premium XRF spectrometer (**Table 2.**). This device was used earlier in the analysis of numerous Bronze Age objects to determine their alloy-type and to gain preliminary compositional information before the application of different analytical techniques (e.g., prompt gamma neutron activation analysis; Maróti et al. 2018).

The XRF results revealed that the fibula was made of brass instead of bronze (**Fig. 2., Table 2.**). Brass-making probably emerged around the 3rd millennium BC somewhere in the Caucasus and the Middle East (Morton 2019, 3–27). The appearance of brass objects in Central Europe was not typical during the Late Bronze Age. According to Z. Czajlik, zinc-containing objects are unknown in the Carpathian Basin.

Table 2.: Semi-quantitative elemental composition results determined with the handheld XRF spectrometer (Alloy Plus mode)

2. táblázat: Kézi XRF spektrométerrel (Alloy Plus üzemmóddal) végzett mérések félkvantitatív eredményei

Fe	Fe +/-	Cu	Cu +/-	Zn	Zn +/-	Pb	Pb +/-	Zn / Cu
0.42	0.02	89.37	0.13	9.75	0.04	0.31	0.01	<i>0.11</i>
0.114	0.007	89.48	0.13	9.90	0.04	0.41	0.02	<i>0.11</i>
0.249	0.009	93.82	0.14	5.49	0.04	0.41	0.02	<i>0.06</i>

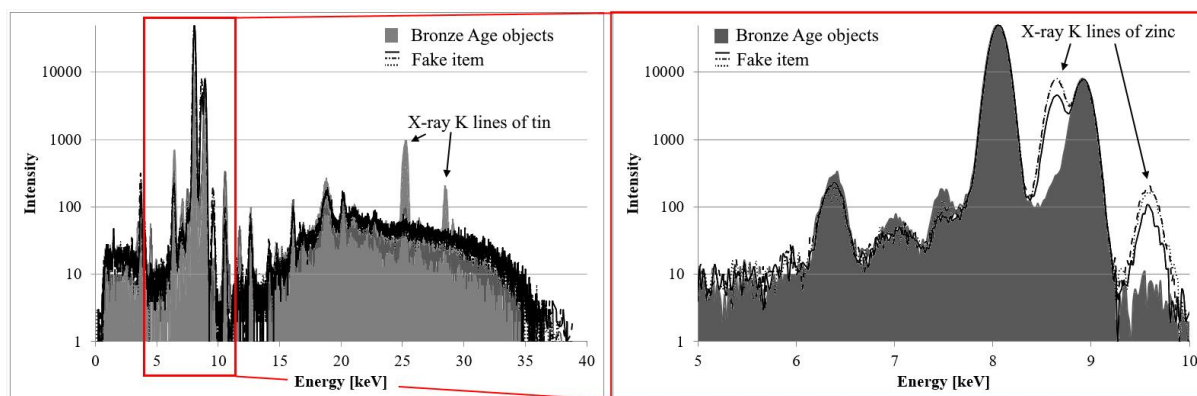


Fig. 2.: XRF spectra of Bronze Age objects from an authentic excavation (gray colour) and the studied ‘fibula’ (black continuous and dotted lines).

2. ábra: Hiteles ásatásból származó bronzkori tárgyak (szürke színnel) és a jelen tanulmányban vizsgált “fibula” (folytonos és szaggatott fekete vonalak) XRF spektrumai.

High zinc content became common in Central Europe during the Late Iron Age and the Roman Period (Czajlik, 2012, 53, 98). However, there are sporadic cases when zinc also appears in Bronze Age materials, because of zinc’s occurrence as an impurity in the copper mineral used for casting (Tylecote 1992, 57; Czajlik 2012, 53, 98). Based on the fibula’s zinc content obtained with surface XRF (between 6–10 wt%), the alloy is possibly CuZn10 which has good cold working properties. The material itself is cheap and easily accessible, which makes it a good raw material to produce ornaments and other decorative objects (http://copperalliance.org.uk/_uploads/2018/03/cuzn10-cw5011-datasheet-d2.pdf, last accessed: 25.02.2021, 13:18). Brass has several fine characteristics compared to bronze; brass objects have a rich yellow-golden colour. They are harder and stronger but malleable and ductile as well, which makes them a perfect choice for wire objects in modern industry and silversmithing (Morton 2019, 1).

Discussion

The XRF analysis revealed that the studied fibula consisted of a CuZn10 alloy, i.e., brass, a modern material. There is no need for further detailed comparison with original artefacts to conclude that, along with the result of the production and metalwork use-wear analysis, this object can be identified as a poor-quality forgery. It most likely imitated the violin-bow fibula of similar length and style from Mosonszolnok-Haidehof-pusztá (Győr-Moson-Sopron County, HU), which was re-published several times at that time and has certainly been known to the public as well (Sötér 1892, 207, Pl. I.7; Hampel 1896, 132–133, Pl. 186.7; Reinecke 1899, 249, Pl. 9.5; Márton 1911, 334–336, Pl. 1.2). The studied ‘fibula from Esztergom-Dunapart’ has uncharacteristic manufacturing traces and was made of a material

used in modern metallurgy. The results of our analysis allow us to formulate two conclusions:

First, Elemér Szabó intentionally sold a fake artefact from a fictional site to the Hungarian National Museum back in 1948. In this case, it is important to know the research historical context as well. In the 1940s and 1950s, Late Bronze Age archaeological research focused primarily on the typo-chronological evaluation of artefacts. Seminal typological syntheses and archaeometric studies with large series suitable for comparison have not yet been completed (Czajlik 2012, 11–24; Szabó 2013, 7–27; Szabó et al. 2019). Metalwork production and use-wear analysis in the current archaeological sense were not practiced in Hungary. The possibility to acquire a unique, relative chronologically important fibula had great significance, which could have blinded the expert who made the deal with Elemér Szabó. This is also highly likely because even the exact class (‘*arco di violino*’) of the object appears in the inventory book (Inventory Book of the HNM, 1948.6). This data was usually not recorded. It should be noted that the alleged provenance also seemed believable, as two original Late Bronze Age swords and a socketed axe have been recovered from the Danube River in Esztergom (See von Kenner 1860, 351, Fig. 34; Mozsolics 1975, 10, Fig. 2.3; Horváth, Kelemen, Torma 1979, 223, no. 8/133).

Second, the sale of the fake fibula created a chain of damage in the archaeological literature dealing with Italian connections or ornament typo-chronology. All conclusions made about this fibula should be dismissed in the future. In the following, we shall briefly discuss the most relevant publications where this ornament has appeared. Erzsébet Patek published it as an original find, and she also catalogued the ‘Esztergom-Dunapart’ as a Br D/Ha A1 site. Erzsébet Patek has also suggested that this fibula, along with the one from Mosonszolnok, is

closely related to the Italian Peschiera metalwork, as both are decorated with torsion (Patek 1968, 74, 77, 84–85, 125, Pl. 64.7). It should be noted that the Italian connection had already been proposed in 1899 in the case of the fibulae from Hungary (e.g., Mosonszolnok) by Moriz Hoernes (See Hoernes 1899, 97–98). His concept was later discussed and rejected by Paul Reinecke (Reinecke 1899, 250) and Lajos Márton (Márton 1911, 334). The forgery fibula was also catalogued in the 5th volume of the Hungarian Archaeological Topography, where it has been mentioned as an original find after Erzsébet Patek with the provenance of Esztergom-Dunapart. However, in this version, it was not the son but Elemér Szabó himself who found the fibula (Horváth, Kelemen, Torma 1979, 226, fn. 26). In 1971, Amália Mozsolics mentioned the object as a violin-bow fibula made of two twisted wires among the characteristic Peschiera types. It is worth noting that she refers only to the plates of Erzsébet Patek's monograph. The otherwise correct statement of Erzsébet Patek, according to which these Transdanubian violin-bow fibulae can be related to their Italian counterparts, particularly to the finds from Peschiera, was not quoted, nor the original idea of Moriz Hoernes (Hoernes 1899, 97–98; Patek 1968, 84–85; Mozsolics 1971, 70–71, fn. 93; Pabst 2011, 219). In 1985, the fake fibula was compared to the specimen from the Badacsonytomaj hoard by Amália Mozsolics (Mozsolics 1985, 68, fn. 92). Tiberius Bader listed the 'Esztergom-Dunapart' find as an original fibula belonging to the Unterradl 'variant' of Paul Betzler (Betzler 1974, 16–21; Bader 1983, 17, fn. 23). In 1988, Frigyes Kőszegi also catalogued and discussed the fibula under the provenance of 'Esztergom-Dunapart'. He connected it to the metal products of the 2nd phase of the Transdanubian Urnfield culture and, without citing the work of T. Bader, he identified the studied specimen as an Unterradl 'type' after the classification of P. Betzler (Kőszegi 1988, 35, fn. 223, 138, no. 358). Recently, the object was catalogued as 'Esztergom-Donauufer' among the 'Podumci' variant of the Unterradl type by Sabine Pabst. Then the distribution map of the Podumci variant with the Esztergom find was then republished at least four times (Pabst 2011, 219, List 1B, Fig. 1.2; Pabst 2012, 317, fn. 6, Map 32; Pabst 2014, 91, fn. 24, Fig. 2; Pabst 2018, 168, Fig. 2).

Conclusions

In this study an old find, a 'violin-bow fibula' allegedly 'from the bank of the Danube River in Esztergom' was re-studied by metalwork production and use-wear analysis and X-ray fluorescence technique (XRF). The results of our analyses suggest that this ornament can be identified as a modern forgery based on its modern manufacturing technological traces and elemental

composition (CuZn10). In future analysis, the object should not be included in analytical studies dealing with Re1. Br D–Ha A1/Ha A1 site topography or ornaments, particularly the so-called Unterradl type violin-bow fibulae.

Acknowledgement

János Gábor Tarbay is grateful for the János Bolyai Research Fellowship of the Hungarian Academy of Sciences.

References

- ARMBRUSTER, B. R. (2000): *Goldschmiedekunst und Bronzetechnik. Studien zum Metallhandwerk der Atlantischen Bronzezeit auf der Iberischen Halbinsel*. Monographies instrumentum 15, Edition Monique Mergoil, ISBN: 2-907303-27-9, Montagnac. 107–108.
- BADER, T. (1983): *Die Fibeln in Rumänien. Prähistorische Bronzefunde XIV/6*, C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München. 17 pp.
- BALĂN, G. (2009): Cronologia și tipologia dăților de bronz cu toc de înmănușare din România – Chronology and Typology of the Bronze Socketed Chisels from Romania. *Apulum* 46 1–40.
- BETZLER, P. (1974): *Die Fibeln in Süddeutschland, Österreich und der Schweiz I. (Urnenfelderzeitliche Typen)*. Prähistorische Bronzefunde XIV/3. C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München. 16–21.
- CHARALAMBOUS, A., PAPASAVVAS, G. & KASSIANIDOU, V. (2021): Enkomi (Cyprus): Using pXRF spectroscopy to identify LBA copper alloys. *Journal of Archaeological Science: Reports* 35 102726
<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102726>
- CZAJLIK, Z. (2012): *A Kárpát-medence fémnyersanyag-forgalma a későbronzkorban és a vaskorban*. Talentum könyvek, ISSN 2063-7837, Budapest. 11–24, 53, 98 pp.
- DOLFINI, A. & CRELLIN, R. J. (2016): Metalwork wear analysis: The loss of innocence. *Journal of Archaeological Science* 66 78–87.
- VON ELES MASI, P. (1986): *Le fibule dell'Italia settentrionale*. Prähistorische Bronzefunde XIV/5. München. 1 pp.
- EÖRY, B. (2009): Késő bronzkori fibula rekonstrukciója – Rekonstruktion einer spätbronzezeitlichen Fibel (Posamentieriefibel). *Ősrégészeti Levelek* 11 135–138.
- FARKAS, L. (1981): *A vésnök*. Ipari szakkönyvtár. Műszaki könyvkiadó, Budapest. 96–97.
- GLOGOVIĆ, D. (2003): *Fibeln im kroatischen Küstengebiet (Istrien, Dalmatien)*. Prähistorische

Bronzefunde XIV/13, Franz Steiner Verlag, Stuttgart. 4 pp.

HANSEN, S. (1994): *Studien zu den Metalldeponierungen während der älteren Urnenfelderzeit zwischen Rhônetal und Karpatenbecken*. Teil 1-2. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 21, Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn. 150–154.

HAMPEL, J. (1896): *A bronzkor emlékei Magyarhonban. III. rész: áttekintő ismertetés*. Orsz. Rég. és Embertani Társulat, Budapest. 132–133.

HOERNES, M. (1899): Ueber den Ursprung der Fibel. In: *Serta Harteliana*. Verlag von F. Tempsky, Vienna, 97–103.

HORVÁTH, I., KELEMEN, M. H. & TORMA, I. (1979): *Komárom megye régészeti Topográfiája. Esztergom és a Dorogi Járás. Magyarország Régészeti Topográfiája 5*, Akadémiai Kiadó, Budapest. 223, 226 p.

VON KENNER, F. (1860): Beiträge zu einer Chronik der archäologischen Funde in der österreichischen Monarchie (1856–1858). *Archiv für Kunde österreichischer Geschichts-Quellen* 24 225–423.

KÖSZEGI, F. (1988): *A Dunántúl története a késő bronzkorban*. BTM Műhely 1, Budapesti Történeti Múzeum, Budapest. 35, 138 p.

MAY Z. (2020): Tíz év a hordozható XRF társaságában, azaz egy archeometriai utazás története / Ten years using portable XRF. Our story of a journey in archaeometry (in Hungarian with English abstract). *Archeometriai Műhely* XVII/3 229–242.

MARÓTI, B., RÉVAY, Zs., SZENTMIKLÓSI, L., KLESZCZ, K., PÁRKÁNYI, D. & BELGYA, T. (2018) Benchmarking PGAA, in-beam NAA, reactor-NAA and handheld XRF spectrometry for the element analysis of archeological bronzes. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 317 1151–1163

<https://doi.org/10.1007/s10967-018-5990-2>

MARÓTI, B.; SZILÁGYI, V.; HARSÁNYI, I.; KASZTOVSZKY, Zs. & SZENTMIKLÓSI L., (2020): Régészeti kőszközök és bronztárgyak vizsgálata hordozható készülékekkel - Investigation of stone artifacts and bronze objects with portable devices. *Archeometriai Műhely* XVII/3 243–252.

MÁRTON, L. (1911): A magyarhoni fibulák osztályozása. *Archaeologiai Értesítő* 31 329–352.

MONTELIUS, O. (1895): *La Civilisation Primitive en Italie*. Stockholm. 151 p.

MORTON, V. (2019): *Brass from the past. Brass made, use and traded from prehistoric times to 1800*. Archaeopress, Oxford. 1, 3–27.

MOZGAI, V.; BAJNÓCZI, B.; MAY, Z. & MRÁV, Zs., (2020): A hordozható XRF alkalmazási lehetőségei és korlátai római ezüsttálak archeometriai vizsgálatában / Possibilities and limitations of the use of handheld XRF in the archaeometric study of Roman silver platters, *Archeometriai Műhely* XVII/3 253–270.

MOZSOLICS, A. (1949): Két dunántúli bronzlelet a Hallstattkorból – Deux trouvailles de bronze Hallstattiennes, retrouvées en Transdanubie. *Archaeologiai Értesítő* 76 26–29.

MOZSOLICS, A. (1971): Some remarks on 'Peschiera' bronzes in Hungary. In: BOARDMAN, J. & BROWN, M. A. (eds.), *The European Community in Later Prehistory. Studies in honour of C. F. C. Hawkes*, Routledge, ISBN 9781138817098, London, 59–76.

MOZSOLICS, A. (1975): Bronzkori kardok folyókból. – Bronzezeitliche Schwertfunde aus Flüssen. *Archaeologiai Értesítő* 102 3–24.

MOZSOLICS, A. (1985): *Depotfundhorizonte von Aranyos, Kurd und Gyermely*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 38–39, 68 p.

NØRGAARD, H. (2017) Portable XRF on prehistoric bronze artefacts: limitations and use for the detection of Bronze Age metal workshops. *Open Archaeology* 3/1 101–122.

PATEK, E. (1968): *Die Urnenfelderkultur in Transdanubien*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 7, 77, 84–85, 125, 132 p.

PABST, S. (2011): Die Grossräumige Ausbreitung der Brillenfibeln am Übergang von der Bronze- zur Eisenzeit – Kommunikationswege und Soziale Hintergründe. In: JOCKENHÖVEL, A. & DIETZ, U. L. (eds.), *Bronzen im Spannungsfeld zwischen praktischer Nutzung und symbolischen Bedeutung*. Beiträge zum internationalen Kolloquium am 9. und 10. Oktober 2008 in Münster. Prähistorische Bronzefunde XX/13, Franz Steiner Verlag, ISBN 978-3-515-09918-9, Stuttgart, 199–234.

PABST, S. (2012): *Die Brillenfibeln. Untersuchungen zu spätbronze- und ältereisenzeitlichen Frauentrachten zwischen Ostsee und Mittelmeer*. VML Verlag Marie Leidorf GmbH, Marburger Studien zur Vor- und Frühgeschichte 25, Rahden/Westf. 317 pp.

PABST, S. (2014): Der Beginn der Fibeltracht im Karpatenbecken und das Verhältnis der Bz D/Ha A A1-zeitlichen Hortfundhorizonte. In: LOŽNJAK DIZDAR, D. & DIZDAR, M. (eds.), *The Beginning of the Late Bronze Age between the Eastern Alps and the Danube. Proceedings of the International conference in Osijek, October 20-22, 2011*, Serta Instituti Archaeologici 1, Archaeological Institute, ISBN 978-953-6064-16-8, Zagreb 2014, 83–99.

- PABST, S. (2018): Spätbronzezeitliche Violinbogenfibeln zwischen Donau, mittlerer Adria und Ägäis – Poznobronzastodobne fibule v obliki violinskega loka med Donavo, srednjim Jadranom in egejskim prostorom. *Arheološki vestnik* **69** 135–178.
- PEARCE, M. (2019): The Curse of the pXRF: the Negative Consequences of the Popularity of Handheld XRF Analysis of Copper-Based Metal Artefacts. *Metalla* **24/2** 81–85.
- REINECKE, P. (1899): Tanulmányok a magyarországi bronzkor chronológiájáról (Első közlemény). *Archaeologiai Értesítő* **19** 225–251.
- RIEMANN, HANS (1979): Studien zu den Violinbogenfibeln. *Mitteilungen des Deutschen Archaeologischen Instituts Roemische Abteilung* **86** 5–86.
- RÓZSA, Z., TÓTH, Sz. & MAY, Z. (2019): Preliminary archaeometric studies and results of fake denars from Friesach found in the inheritance of a community in the Árpád-era dealing with money exchange, *Archeometriai Műhely* **XVI/1** 57–62.
- SÄFLUND, G. (1939): Le Terremare delle Provincie di Modena, Reggio Emilia, Parma, Piacenza. Skrifter Utgivna av Svenska Institutet i Rom 7, Lund/Leipzig. 66 pp.
- SHUGAR, A. N. (2013): Portable X-ray Fluorescence and Archaeology: Limitations of the Instrument and Suggested Methods To Achieve Desired Results, *Archaeological Chemistry VIII*. **January 1**, 173-193. <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1147.ch010>
- SHUGAR, A. N. & MASS, J. L. (2013): Handheld XRF for Art and Archaeology. Leuven: Leuven University Press, muse.jhu.edu/book/24930.
- SÖTÉR, Á. (1892): Mosony-Szolnok és Mosony-Jessehofi bronz kori leletek. *Archaeologiai Értesítő* **12** 207–212.
- SZABÓ, G. (2010): Az archaeometallurgiai kutatások gyakorlati és etikai kérdései – Practical and ethical issues of archaeometallurgical research. *Archeometriai Műhely* **VIII/2** 111–122.
- SZABÓ, G. (2013): *A dunántúli urnamezős kultúra fémművessége az archaeometallurgiai vizsgálatok tükrében – The Metallurgy of the Transdanubian Urnfield Culture in Light of Archaeometallurgical Investigations*. Specimina Electronica Antiquitatis – Libri 1, Pécs. 7–27, 36–39 p.
- SZABÓ, G., BARKÓCZY, P., GYÖNGYÖSI, Sz., KASZTOVSZKY, Zs., KÁLI, Gy., KIS, Z., MARÓTI, B. & KISS, V. (2019): The possibilities and limitations of modern scientific analysis of Bronze Age artefacts in Hungary – Lehetőségek és korlátok a bronztárgyak modern műszeres vizsgálatában Magyarországon. *Archeometriai Műhely* **XVI/1** 1–12.
- TARBAY, J. G. (2012): Újabb paszományos fibulák a Dunántúlról: Kesztlőc és Dunaújváros – New passementerie fibulae from Kesztlőc and Dunaújváros in Transdanubia. *Ősrégészeti Levelek* **12** (2010 [2012]) 115–136.
- TARBAY, J. G. (2018): A gyermelyi típusú kincsek és koruk. Eötvös Loránd Tudományegyetem, PhD Disszertáció. Budapest. 473 p. DOI: 10.15476/ELTE.2018.167
- TYLECOTE, R. F. (1992): *A History of Metallurgy*. 2nd Edition. Maney for the Institute of Materials, London. 57 p.
- WANZEK, B. (1992): Der älterurnenfelderzeitliche Hortfund von Lengyeltóti („Lengyeltóti II”) Komitat Somogy, Ungarn. Eine Vorlage. *Acta Praehistorica et Archaeologica* **24** 249–288.

KÜLÖNLEGES „GAGÁT” GYÖNGY EGY KÜLÖNLEGES KÉSŐ RÉZKORI SÍRBÓL

SPECIAL „JET-LIKE” BEAD FROM A SPECIAL LATE COPPER AGE GRAVE*

BONDÁR Mária^{1*}; DEMÉNY Attila^{2*}; NÉMETH Péter^{2,3}; KARLIK Máté²;

FINTOR Krisztián⁴ & †TÓTH Mária²

¹Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat,
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.

²Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat,
1112 Budapest, Budaörsi út 45.

³Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat,
1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.

⁴Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Közöttani Tanszék, 6722, Szeged Egyetem u. 2.

*levelező szerzők: bondar.maria@abtk.hu, demeny.attila@csfk.org

Abstract

Two Late Copper Age inhumation burials were uncovered in 2005 during the large-scale rescue excavations ahead of road construction in the vicinity of Balatonlelle (Somogy County). In addition to the burial proper, both graves contained the skulls of additional individuals.

Beside the vessels, the 8–9-year-old child interred in Grave 415 had a bracelet of almost pure copper on the wrist, a black bead fashioned from jet or some similar organic material on the neck and a bead hammered from sheet copper. The burial practice and the jewellery items – currently unparalleled in the archaeological record – that were deposited in the grave clearly indicate that the child buried in the grave enjoyed a special status. The DNA analyses revealed the child’s genetic sex, and kinship ties between the boy and the other skulls placed in his burial.

The sample from the black bead was studied by means of optical microscopy, X-Ray fluorescence spectroscopy (XRF), scanning electron microscopy (SEM), Fourier Transform infrared spectroscopy (FTIR), and stable isotope mass spectrometry. The bead is a light, black material with a network of fractures, and breaks with a shiny, conchoidal surface. The inner structure shows elongated pores under an optical microscope, similarly to coalified wood textures. The XRF spectrum indicates subordinate amount of silicate material, hence a shale origin can be excluded. The FTIR spectrum of the sample differs from those of the historical jet occurrences, but resembles those of sub-bituminous coals, especially Carboniferous coals from Spain and France. Stable hydrogen and carbon isotope compositions are closest to those of the latter occurrences, while local or closer regional coal and true jet locations with their special formation conditions can be excluded. The data collectively suggest Carboniferous coals, most likely from Spain or France as a source material. However, further systematic collection and geochemical investigations are needed to resolve the provenance of the „jet-like” bead.

Kivonat

2005-ben Somogy megyében autót út építését megelőző nagyfelületű ásatáson, Balatonlelle határában két késő rézkori csontvázás sír került elő. Mindkét sírban az elhunytakon kívül további koponyák maradványait is megtalálták.

A 415. sírba temetett 8–9 éves gyermek csuklóján csaknem tiszta rézből készült pántkarperec, a nyakán szerves anyagból kialakított fekete, gagát jellegű gyöngy, és egy kalapált lemezgyöngy volt az edénymellékleteken kívül. A temetkezési mód és az analógia nélküli ékszer mellékletek arra utalnak, hogy a sírba különleges státuszú

* How to cite this paper: BONDÁR, M.; DEMÉNY, A.; NÉMETH, P.; KARLIK, M.; FINTOR, K. & TÓTH, M., (2021): Különleges „gagát” gyöngy egy különleges késő rézkori sírból / Special „jet-like” bead from a special Late Copper Age grave (In Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely XVIII/2* 143–156. doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-012](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-012)

gyereket temettek. A DNS elemzés rokonságot is ki tudott mutatni az elhunyt fiú és a sírjába tett egyes koponyamaradványok között.

A fekete gyöngyöt kombinált optikai mikroszkópos, röntgenfluoreszcens spektroszkópos (XRF), pásztázó elektronmikroszkópos, Fourier transzformációs infravörös spektroszkópos (FTIR) és stabilizotóp-geokémiai vizsgálatoknak vetítettük alá. A gyöngy könnyű, hálózatosan repedezett anyag, ami meglehetősen törékeny és a törési felület fényes, kagylós törést mutat. A belső szerkezet csiszolt felületen hosszúkás, irányított pórusokat mutat, a szénült fa szerkezetéhez hasonlóan. Az XRF elemzések a szilikátok alárendelt mennyiségét jelzik, így a szervesanyag-dús üledékes kőzet (pala) kizárható. A szakirodalomban gagátnak (angolul jet) nevezett minta FTIR spektruma jelentősen különbözik az ismert gagát/jet előfordulásokétól, viszont erősen hasonlít a karbon korú kőszenekhez, különösen a francia és spanyol előfordulásokhoz. A stabilhidrogén- és -szénizotóp-összetételek a leginkább a karbon korú szenekhez állnak közel, a helyi és a közeli regionális szenek, valamint a speciális képződési környezetet jelentő gagát (jet) előfordulások elvethetőek forrásanyagként. Az adatok együttesen legvalószínűbb forrásként a spanyol vagy francia karbon korú szenekre utalnak, mint potenciális forráskőzetre. Mindazonáltal további szisztematikus gyűjtés és elemzések szükségesek a „gagát” gyöngy eredetének feltárására.

KEYWORDS: LATE COPPER AGE, GAGAT, JET, FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY, STABLE HYDROGEN ISOTOPE COMPOSITION, STABLE CARBON ISOTOPE COMPOSITION

KULCSSZAVAK: KÉSŐ RÉZKOR, GAGÁT, FOURIER TRANSZFORMÁCIÓS INFRAVÖRÖS SPEKTROSKÓPIA, STABIL HIDROGÉNIZOTÓP-ÖSSZETÉTEL, STABIL SZÉNIZOTÓP-ÖSSZETÉTEL

Régészeti elemzés

2005-ben Somogy megyében a 67. sz. autót út építését megelőző nagyfelületű ásatáson, Balatonlelle határában, közel egy hektárnyi területen 650 objektumot tártak fel a kaposvári múzeum régészei. Előkerült két késő rézkori különleges csontvázas sír is Molnár István ásatásán, amelyek vizsgálata 2016-ban megkezdődött (Bondár 2020). Az egyik sír, a 415. számú, több szempontból is rendkívül érdekes.

Miért különleges a 415. sír?

A sírba egy gyermeket és több, töredékes koponyát temettek. A 8–9 éves gyermek vékonyka csuklóján szorosan feszült egy 2 cm széles, 3,7 cm átmérőjű 14 gramm súlyú, csaknem szintiszta rézből kalapált pántkarperec, belső oldalán bőrlenyomatra utaló rajzolattal. Nyakánál szintén kalapált rézlemezből készült, mállékony gyöngy és egy ismeretlen anyagú fekete gyöngy volt (1. ábra), sírjába a badeni kultúrához köthető edénymellékleteket is tettek. Az ékszereket általában nőkhöz kötik a kutatók, esetünkben genetikai vizsgálat alapján fiúgyerek volt a viselője. A halott fiú koponyájától É-ra négy, jobb alkarja alatt egy egyén koponyacsontjai is előkerültek. A leletek és a sírban rögzült kontextus a halott fiú előkelő státuszát jelzik (Bondár 2019).

A sír komplex elemzéséhez végzett eddigi antropológiai és archeometriai vizsgálatok

A különleges sírral több szempontból foglalkoztunk már, több természettudományos vizsgálatot is el tudtunk végeztetni. A rézkarperec és a rézgyöngy roncsolásmentes elemzését a Régészeti Intézetben (sztereomikroszkópos pásztázás, Mihácsi-Pálfi 2019) és a Budapesti Gazdasági és Műszaki Egyetemen (XRF elemzés, Gresits 2019) végezték.

A radiokarbon korhatározásra a 8–9 éves halott és a 2. számmal jelölt koponya volt alkalmas, a vizsgálatokat a Scottish Universities Environmental Research Centre Laboratóriumában (Glasgow) végeztették (SUERC 93338 és SUERC 93339). Mindkét vizsgált maradvány kora a IV. évezred közepére keltezhető. Külön tanulmányban vizsgáltuk a koponyatemetkezés problematikáját és késő rézkori előfordulásait. Köhler Kitti antropológiai elemzése a gyermek és a további koponyák alapján meghatározható egyének (négy gyermek és egy felnőtt nő) halálozási korát, a Régészeti Intézet Archeogenetikai Laboratóriumában elvégzett aDNS elemzések a genetikai nemet határozták meg. Egy új módszerű genetikai vizsgálat anyai ágon tudott rokonsági kapcsolatokat kimutatni az eltemetett fiú és két további Inf. I. korú gyermek koponyája között, valamint a sírba helyezett két másik, szintén gyermekhez tartozó fejmaradvány között is (Bondár & Szécsényi-Nagy 2020). Az antropológus megfigyelései szerint rituális gyilkosságra utaló sérülés nem látható a maradványokon, így a halottakkal való időszakonként ismétlődő kapcsolattartás emlékeit láthatjuk a koponyatemetkezésben. Régészeti és antropológiai feldolgozásban összegeztük a sír különböző vizsgálatainak eddigi eredményeit is (Bondár 2020, Köhler 2020).

A leletek közül azonban a fekete gyöngy anyagának azonosítása és a lelet párhuzamai még nyitott kérdések maradtak annak ellenére, hogy korábban már készültek XRF és Raman vizsgálatok, valamint sztereomikroszkópos felvételek is a gyöngyről, amelyek szerint szerves anyagból készült a tárgy. A továbbiakban a fekete gyöngy régészeti jelentőségével, analógiájával és anyagának meghatározásával foglalkozunk.



1. ábra: Balatonlelle-Rádpusztá, 67/5. lelőhely 415. sír (Bondár 2020, 8. kép).

Fig. 1.: Balatonlelle-Rádpusztá, site 67/5, grave 415 (Bondár 2020, Fig. 8).

A különleges fekete gyöngy jelentősége, kontextusa

A gyöngy első ránézésre szénült, feltekert falevéltre emlékeztet. Fényes felületű, kemény anyagból készült párhuzamosan vagdalt(?), repedezett(?), ovális alakú, lapos, két oldalán teljesen átfúrt gyöngy, hossza: 2,5 cm, szélessége: 2 cm, vastagsága kb. 0,8 cm.

Késő rézkori lelőhelyről nem ismerünk ilyen anyagból készült tárgyat. A sztereo-mikroszkópos felvételek alapján merült fel, hogy gagát (angolul jet) – vagy más néven fekete borostyán (R. Facsády 2003, Gutierrez Blanco et al. 2008) – lehet az ismeretlen anyag. A hazai szakirodalom (R. Facsády 2003, 2009) elsősorban gagátnak nevezi a fekete, szerves anyagból készült ékszereket, míg a nemzetközi szakirodalom a jet megnevezést használja. Annak érdekében, hogy mindkét szóhasználatot jelezzük, a továbbiakban a gagát/jet megnevezést alkalmazzuk (kivéve, ahol az adott tanulmány kifejezetten gagátról vagy jetről szól). A *sensu stricto* gagát/jet anoxikus üledékbe behordódott uszadékfát jelent, ami az üledéken belül zárt rendszerben, bitumenes anyaggal átitatva alakult át homogén, jól polírozható, fekete anyaggá (Allason-Jones & Jones 2001, Bechtel et al. 2001). Ugyanakkor a hazai szakirodalom a nem azonosított eredetű, fekete, szerves anyagból készült tárgyakat is gagátnak nevezi. A félreértés elkerülésére az utóbbi esetben a „gagát” jelölést alkalmazzuk, így a balatonlellei „gagát” ékszer esetében is ezt követjük.

A gagát a Kárpát-medencében a római korban gyakori ékszer alapanyag. Nevét, *gagates*, amelyet minden hasonló tulajdonságú fekete vagy barnásfekete szerves anyagra használnak, a Kr.e. 1. században élt id. Plinius az ókori Lukia, a mai Törökország területén található Gages folyó illetve város nevéből származtatta. Az antik szerzők mágikus vagy gyógyító erőt tulajdonítottak ennek az anyagnak. A gagát összefoglaló név több, hasonló tapintású és tulajdonságú fekete anyagra, amelyek szénszármazékok. Megkülönböztetésük csak szerves-közzetani/geokémiai és vitrinitreflexiós vizsgálatokkal lehetséges. A római korban a legfontosabb bányák Nagy-Britanniában voltak, de Franciaországból, Németországból, Spanyolországból, Törökországból és Oroszországból is kerültek elő különböző szénfajtákból készült fekete ékszerek (R. Facsády 2009). Római kori, Szentendréről és Bátaszékről származó, gagátként azonosított ékszerek esetében vitrinitreflexiós mérések alapján Hámorné Vidó (2010) ausztriai vagy balkán-félszigeti eredetet valószínűsített.

A fekete féldrágakönből készült leletek vizsgálatára a kilencvenes években – a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek előretörésével –

Skóciában kutatási program jött létre, amelynek előzetes eredményeit 2002-ben az *Antiquity*-ben megjelent cikkben mutatták be röviden (Sheridan et al. 2002). A Skót Nemzeti Múzeum projektjében – Scottish Archaeological Research Framework (ScARF) – a vaskor előtti összes jet leletet összegyűjtötték (Downes 2012). A ScARF archeometriai vizsgálatok apropója egy látványos, fekete gyöngyökből készült többsoros nyaklánc és karkötő volt, amely East Kinwhirrie (Angus, Skócia) lelőhelyen került elő. A két tárgyon végzett számtalan anyagvizsgálat nyomán évek óta vita folyt arról, hol is készülhettek ezek a presztízs ékszerek és honnan származhat a fekete gyöngyök alapanyaga. A program keretében összegyűjtött vaskor előtti leleteket egy illusztrált kötetben kívánják közreadni a szerzők, anyagvizsgálatokkal, proveniencia meghatározással és a készítési folyamatot is feltáró elemzésekkel. A cikk megjelenéséig 170 skóciai leletet tartott számon a projekt, amely Skócián kívül kibővült Wales-i és néhány angliai lelettel is. A szerzők szerint a jet és a hasonló (jet-like) anyagok legkorábbi használata a Kr. e. 4. évezred második felére tehető. Ebből a korai időszakból négy, esetleg öt tárgy ismert. A legkorábbi a Cairmholyban talált fekete gyöngy volt, amely ugyancsak sírből került elő (Piggott & Powell 1949, Fig. 9. 2). A fekete anyagból készített ékszerelemek (különböző típusú gyöngyszemek, gombok, stb.) száma jelentősen megnőtt a 3. évezred utolsó évszázadaiban, elsősorban a sírokban. A program keretében összehasonlító elemzéseket is végeztek, hogy megbízhatóan elkülönítsék a jetet és a hozzá hasonló egyéb anyagokat. A leletek elemösszetételét összevetették különböző helyeken előforduló forrásokkal. Módszerükkel elkülöníthető az angliai Whitbyben bányászott nyersanyag a többi lelőhelytől. Whitby a római korban válik igazán jelentőssé, innen szállítják a kontinensre a borostyánhoz hasonló tulajdonságokkal bíró gagátot.

Hasonlóan nagy gyűjtést és anyagvizsgálatokat végzett Portugáliában J.T. Thomas (Thomas 2014). Nagy-Britannián kívül az Ibériai-félszigeten (Caramé et al. 2011, Jorge 2014, Thomas 2014), Franciaországban, Németországban és Hollandiában (Brasser 2015), Olaszországban (Viola et al. 2019) és Ausztriában is előfordulnak a fekete anyagból készült kisméretű gyöngyök, csüngők a neolitikumtól a középkorig, jellemzően a későneolitikum–korai bronzkorban, valamint a római korban. Az őskori leletek döntő többsége temetkezésekből került elő, olykor nagy távolságra a nyersanyag forrásának helyétől. E távoli leletek időrendjének és kontextusának behatóbb elemzése egy következő tanulmány tárgya lesz, most a balatonlellei fekete gyöngyöt mutatjuk be.

Archeometriai elemzés: a fekete gyöngy anyagának meghatározása

A fekete gyöngy anyagának meghatározására és esetleges származás kiderítésére az ásványtan-kőzettan és geokémia eszköztárából az optikai mikroszkópos megfigyelés mellett pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokat, Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiás és stabilizotóp-geokémiai elemzéseket is alkalmaztunk. Mivel ez utóbbi vizsgálatok a hidrogénnek és a szénnek csak a stabilis, radioaktív bomlás nem mutató izotópjával (^2H , ^1H , ^{13}C , ^{12}C) foglalkoznak, ezért a továbbiakban a stabil jelzőt elhagyva csak hidrogén-, illetve szénizotóp-összetételekként hivatkozunk az adatokra.

Az első kérdés a gyöngy anyagának meghatározása volt. A fényes, fekete felszín, a kőzet- vagy üvegyöngyökhöz viszonyított kis sűrűség, a könnyű karcolhatóság és meleg tapintási érzet mind gagát jellegű anyagra utal, így a továbbiakban „gagát”-nak nevezzük a kéziratban. Mint már említettük, a gagát/jet definíció szerint olyan megkövesedett fát jelent, aminek a darabjai üledékes anyagba hordódtak, majd szénhidrogénnel itatódtak át a kőzetté válás során. Ennek az átítatódnak és az üledék betemetődése és diagenezise során bekövetkező termikus érésnek a következménye, hogy az eredeti faanyag fényes, fekete, kagylósan törő, de a fényreflexiók mérések során termikus átalakulással arányos reflexiónövekedést mutató anyaggá válik. A gagát/jet jó megmunkálhatósága és polírozhatósága miatt kedvelt az ékszerkészítésben, amint azt a római kortól számos lelet bizonyítja. Gagát vagy jet jellegű anyagot a történelmi korokban is bányásztak és használtak, a leghíresebbek az angliai (Whitby) lelőhelyen (Allason-Jones & Jones 2001) vagy a hasonlóan híres, spanyolországi (Asztúria) előfordulásokban (Gutierrez Blanco et al. 2008) található, de ismert ékszerkészítési alkalmazás dél-franciaországi, németországi (Holzmaden) (Allason-Jones & Jones 2001), illetve a középkortól ausztriai (Gosau terület) lelőhelyeken is (Bechtel et al. 2001), hogy a legfontosabbakat említsük Európa területén. Törökország keleti részén, az Erzurum-i Oltu lelőhelyen fejtettek gagátot, amelyről geokémiai adatok is rendelkezésre állnak (Kara-Gülbay et al. 2018). A publikált adatokat így össze tudjuk vetni a saját elemzési eredményeinkkel.

Módszerek

A mintavételezés változtatható fordulatszámú Proxxon fúróval történt, a fúrás során kinyert, <1 mm-es szemcséket vizsgáltuk pásztázó elektronmikroszkóppal, majd porítást követően elemeztük infravörös spektroszkóppal és stabilizotópmérő tömegspektrométerrel. A limitált

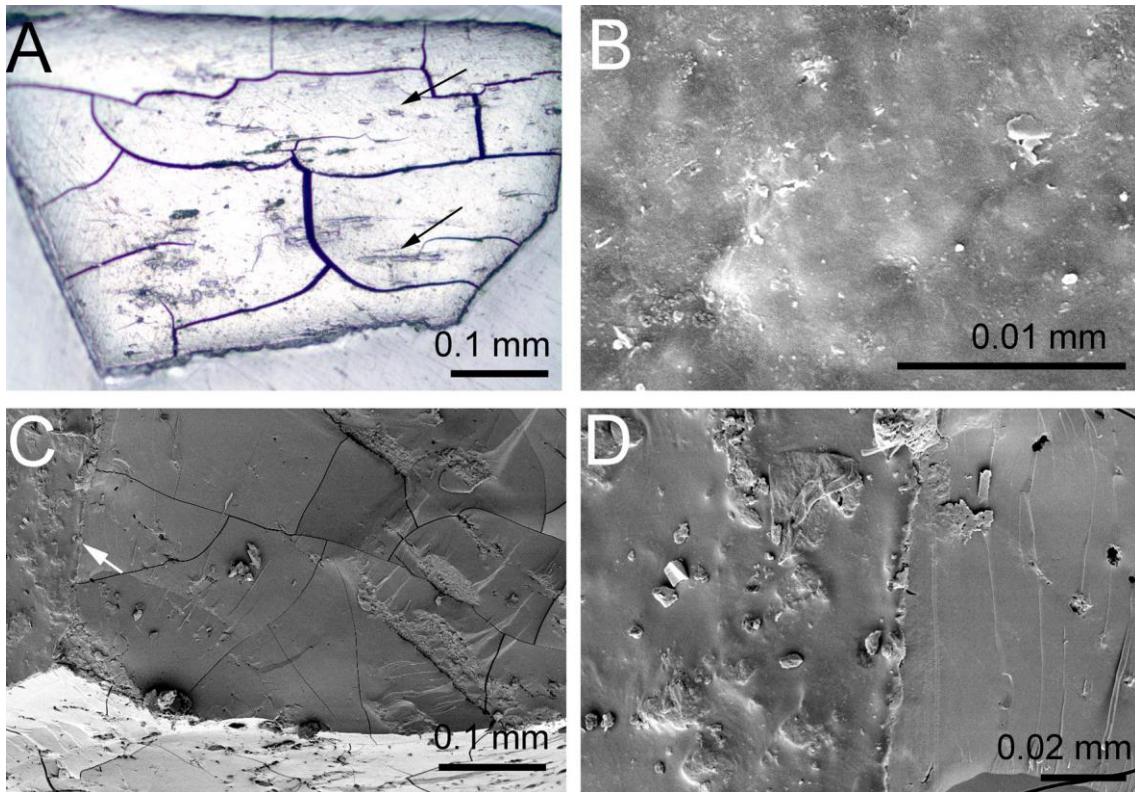
mintavételezésből következően hagyományos petrográfiai vizsgálatra nincs lehetőség. Az elemzéseket a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálaton kívül (ami a TTK Anyag- és Környezetkémiai Intézetben történt) a Földtani és Geokémiai Intézet műszerparkjával végeztük.

A morfológiai megfigyeléseket egy Zeiss EVO 40 pásztázó elektronmikroszkóppal 20 és 5 keV gyorsítófeszültség alkalmazásával, a Fourier transzformációs infravörös spektroszkópos méréseket Bruker Vertex 70 spektrométerrel, Bruker Platinum ATR egységgel végeztük. Minden mintából három darab átlagminta mérése történt, ezzel garantálva a mérés reprezentativitását. A mérés 400 cm^{-1} től 4000 cm^{-1} közötti tartományban valósult meg 4 cm^{-1} -es felbontással, DTGS detektorral. A leolvasás száma mérésenként a háttér és a minta esetén is 64 volt. A kiértékeléshez a Bruker OPUS programját alkalmaztuk. A „gagát” minta kémiai elemzését egy Jobin-Yvon Horiba XGT 5000 mikro röntgenfluoreszcens spektrométerrel végeztük (50 kV feszültség, $100\ \mu\text{m}$ nyalábméret; 300 mp adatgyűjtés, 0.220 mA nyalábáram). A műszer ródium (Rh) röntgensugárforrással dolgozik, és a Na-nál nehezebb elemek kimutatására alkalmas.

A hidrogén- és szénizotóparányok meghatározása egy Thermo Finnigan Delta V Advantage típusú tömegspektrométerrel történt, a hidrogénizotóp-összetételek esetében egy High Temperature Conversion Elemental Analyser (TC/EA), a szénizotóp-összetételek esetében egy Flash 2000 elemanalizátor segítségével. A hidrogénizotóp-összetétel mérése előtt a mintákat 110°C -ra fűtöttük a TC/EA készülékhez kapcsolt fűthető mintaadagoló készülékben folyamatos vákuumra szívás mellett, ami az abszorptívan kötött vizet eltávolította. Ezzel ugyan nem a szerves anyagban levő nem-lecserélhető hidrogén összetételét határoztuk meg (lásd Mastalerz & Schimmelmann 2002-es, a nem-lecserélhető hidrogén izotópp összetételével foglalkozó munkáját), viszont a korábbi adatokkal (Redding et al. 1980) összehasonlítható eredményeket kaptunk. Az eredményeket a hagyományos $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{13}\text{C}$ értékben fejezzük ki:

$$\delta = (R_{\text{minta}}/R_{\text{sztenderd}} - 1) \cdot 1000,$$

ahol az R érték a $^2\text{H}/^1\text{H}$ és a $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ arányokat jelenti. Az 1000-rel történő szorzás jelzésére a $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{13}\text{C}$ értékek dimenziója ‰. A $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{13}\text{C}$ értékek sztenderdizálása az NBS-22 és IAEA-CH-7 ($\delta^2\text{H}$), valamint az IAEA-CH-6 és IAEA-CH-7 ($\delta^{13}\text{C}$) nemzetközi sztenderdek felhasználásával, kétpontos kalibrációval történt. A $\delta^2\text{H}$ és a $\delta^{13}\text{C}$ elemzések reprodukálhatósága $\pm 1,5\ \text{‰}$ -nél, illetve $\pm 0,1\ \text{‰}$ -nél jobb.



2. ábra: **2a:** Száradási repedésekkel átjárt, mállott „gagát” szemcse polírozott, reflexiós optikai mikroszkópos képe. A felvétel száraz objektívvel, normál ráeső fényben készült. A nyilak irányított, hosszúkás pórusokat jeleznek. **2b:** A csiszolt külső felület pásztázó elektronmikroszkópos képe. **2c:** Törött felület (jobbra) és külső csiszolt felület (balra) találkozására. **2d:** a 2/c ábrán fehér nyíllal jelölt rész nagy felbontású képe.

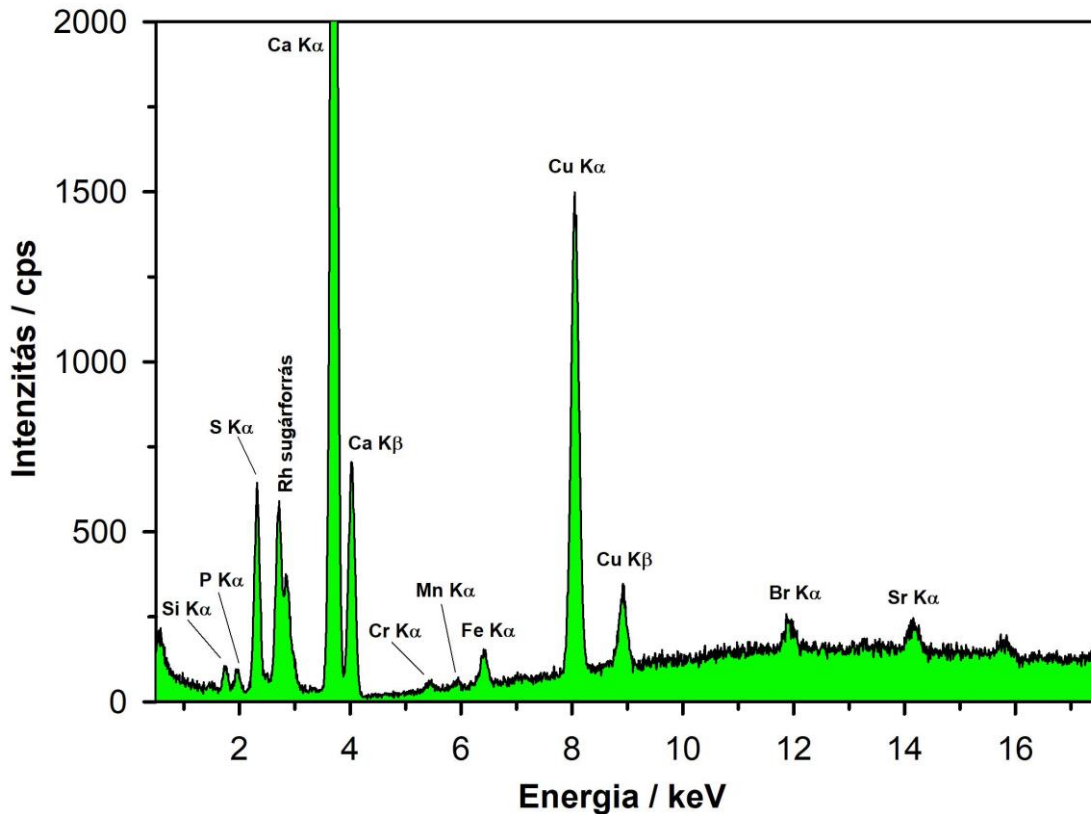
Fig. 2.: **2a:** Optical microscopic image of the „jet-like” sample. The sample is weathered, with ubiquitous drying cracks. The image was taken with dry objective, in reflected light. Arrows indicate elongated pores. **2b:** Scanning electron microscopic image of the outer, originally polished surface. **2c:** Scanning electron microscopic image of the outer surface (to the right) and broken surface (to the left). **2d:** Higher resolution image of the part marked by white arrow in Fig. 2/c.

Eredmények és értelmezés

A balatonlellei „gagát” erősen mállott, törékeny és ennek megfelelően töredezett képet mutat mind a külső felületen (**1. ábra**), mind a mintavétel során kinyert szemcse belső szerkezetében (**2a ábra**). A szemcse műgyantába történő beágyazását, elvágását és felpolírozását követően a belső szerkezetben irányított, hosszúkás pórusok válnak megfigyelhetővé (**2a ábra**), ami hasonló a szenekben megfigyelhető szövetekhez (Cardott & Curtis 2018). A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételeken a külső, csiszolt felületen felhős, lencsés szerkezet látható (**2b ábra**), ami elmosódottan emlékeztet a lignitekben még megmaradt szerkezetre (lásd a 8. ábrát Hunter et al. 1993 munkájában). A törött felület SEM képe (**2c** és **2d ábra**) szépen mutatja a kagylós törési

felületet, ami az érettebb szenekre, pl. antracitra jellemző.

A mintából röntgenfluoreszcens spektrométeres (XRF) mérés is készült, ami mutatja a detektált elemek előfordulását és relatív mennyiségét (**3. ábra**). A szilícium (Si) és a vas (Fe) mennyisége csekély, így a „gagátban” a szilikátos anyag mennyisége elhanyagolható és a pirit hozzájárulása is alárendelt. Ez arra utal, hogy az ékszerkészítésben használt szervesanyagdús pala (Allason-Jones & Jones 2001) kizárható (Pollard et al. 1981). Ugyanakkor a „gagát” jelentős mennyiségű kén (S) tartalmaz, ami a kis Fe csúcs miatt valószínűleg a szén szerves kén tartalmához kapcsolódik (Hámor-Vidó & Hámor 2007, Körmös et al. 2020). A jelentős réztartalom (Cu) a sírban elhelyezett rézészter mállásából származhat.



3. ábra: A balatonlelle „gagát” röntgenfluoreszcens spektruma

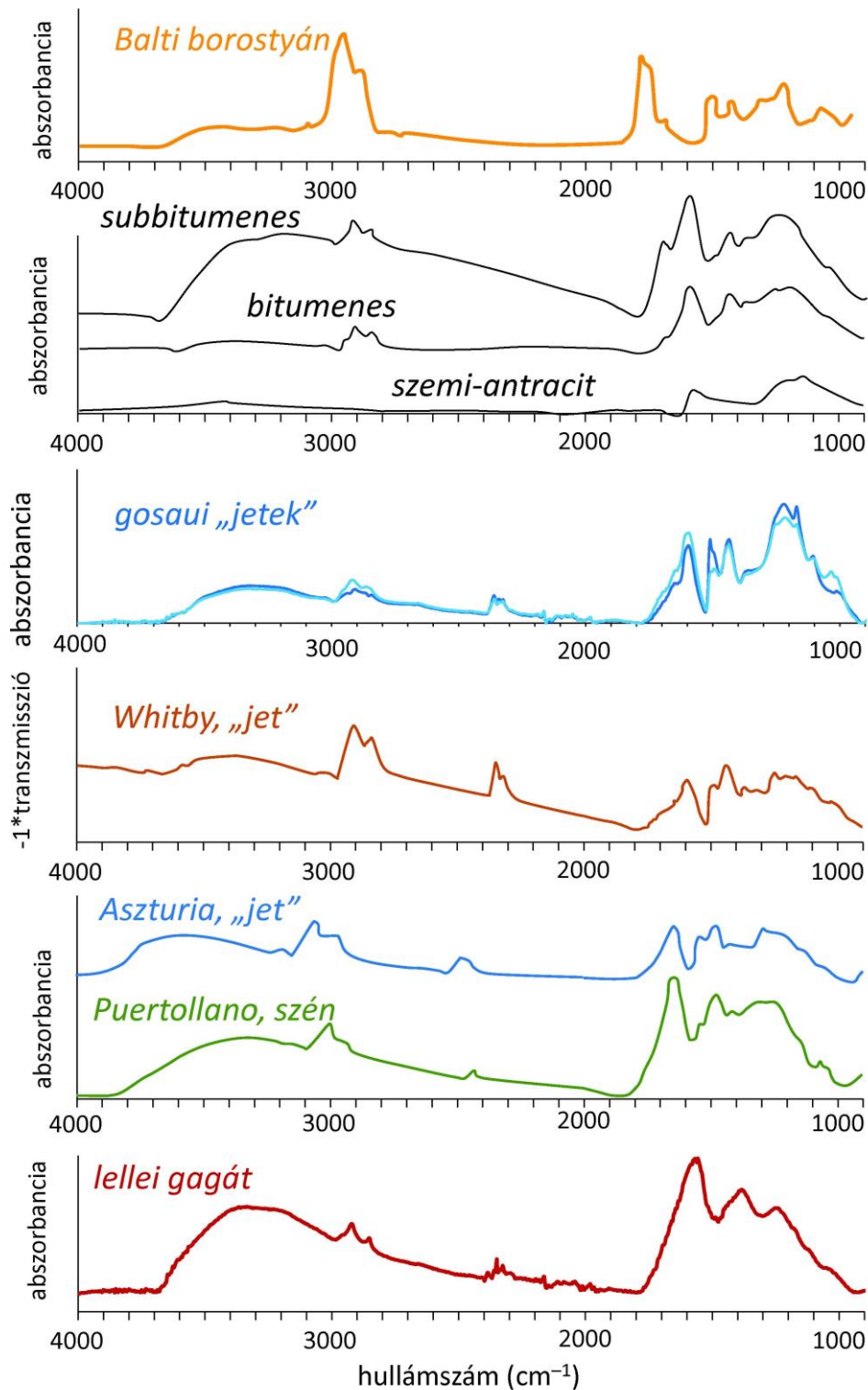
Fig. 3.: X-Ray fluorescence spectrum of the Balatonlelle „jet”



4. ábra: Fontosabb gagát/jet és kőszén lelőhelyek, ahol a jelen munkával összevethető vizsgálatok készültek

Fig. 4.: Locations of selected jet and coal occurrences where similar analyses had been conducted as in the present study

A további elemzéseket egyéb lelőhelyek adataival fogjuk összehasonlítani, az e munkában vizsgált minták lelőhelyeit, illetve a fontosabb szakirodalmi adatokat szolgáltató lelőhelyeket a **4. ábrán** foglaltuk össze. A jet/gagát jellegű anyagok vizsgálatában egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR) (Watts & Pollard 1998). A balatonlelle „gagát” FTIR spektrumából (5. ábra) az anyagásványok 800 és 1200 cm^{-1} közé eső csúcsai (Madejová et al. 2017) egyértelműen hiányoznak, ami alátámasztja az XRF elemzésekből levont következtetést, miszerint a gyöngy nem palaanyagból vagy szervesanyag-dús üledékből készült. A **5. ábrán** összefoglaltuk azoknak a jet-jellegű anyagoknak és más szénközeteknek a tipikus FTIR spektrumait, amelyeknek az általunk vizsgált „gagáttal” történő összehasonlítása felmerülhet. Mivel fekete színű, csillogó, szerves anyagból készült ékszer lehet akár „fekete borostyán” is, ezért egy tipikus borostyán FTIR spektrumot is ábrázoltunk. Az **5. ábrán** bemutatott balti borostyán spektrum (Mänd et al. 2018) gyökeresen különbözik a szenektől, a jektől és a balatonlelle „gagáttól” is, így a borostyán kiindulási anyagként elvethető.



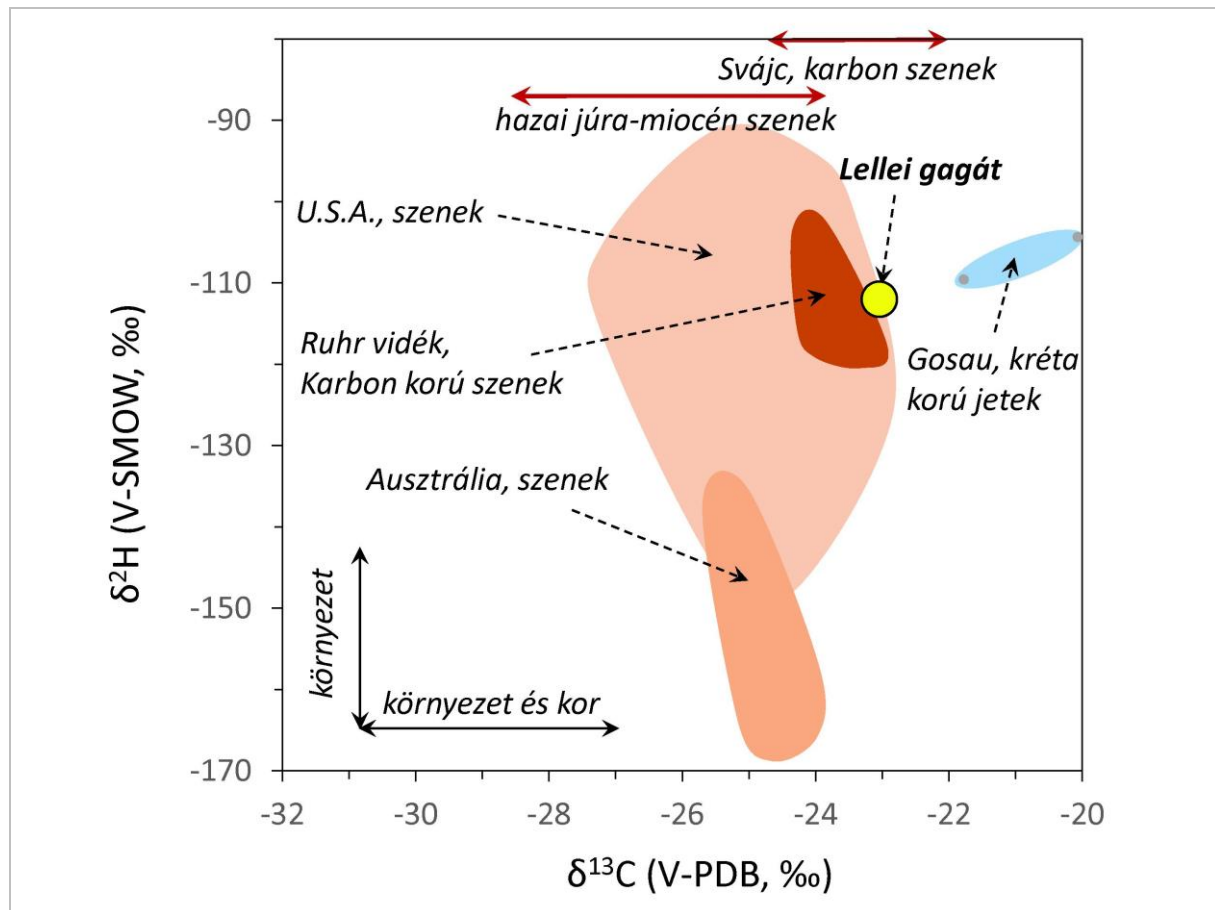
5. ábra: A balatonlellel „gagát” és összehasonlító anyagok Fourier transzformációs infravörös spektrumai. Borostyán: Mänd et al. (2018). Szub-bitumenes, bitumenes és antracit szenek: Ibarra et al. (1996). Whitby jet: Watts et al. (1997). Asztúriai jet és puertollano-i szén: Iglesias et al. (1995). A gosai jetek és a balatonlellel „gagát” spektrumai a jelen tanulmányban készültek.

Fig. 5.: Fourier Transform Infrared spectra of the Balatonlelle „jet” and comparison materials. Amber: Mänd et al. (2018). Sub-bituminous, bituminous and anthracite coals: Ibarra et al. (1996). Whitby jet: Watts et al. (1997). Asturian jet and Puertollano coal: Iglesias et al. (1995). The spectra of the Gosau jets and the Balatonlelle „jet” were obtained in this study.

A két legjelentősebb jura korú jet lelőhely, Whitby és Asztúria anyagainak spektrumai (Watts et al. 1997) az 1000 és 1800 cm^{-1} közötti tartományban egymáshoz nagyon hasonlóak, de a balatonlellel „gagától” eltérnek, amit az aromás és alifás gyökökben a C-C és C-O kötések, valamint a COOH gyökök abszorpciós csúcsai határoznak meg. Ezzel szemben a spanyolországi Puertollano (Igleasias et al. 1995) és a németországi Ruhr-vidék (Zieger et al. 2018) karbon korú szeneinek FTIR spektrumai (lásd a **5. ábrán** a Puertollano szén spektrumát) hasonló csúcsokat és csúcsarányokat mutatnak a balatonlellel „gagáthoz”. Az antracitok (a legerősebb diagenetikus hatáson, a legnagyobb hőmérsékletű és nyomású átalakuláson keresztülment szenek) különös jelentőséggel bírhatnak a balatonlellel „gagát” eredetének meghatározásában, mivel a jetek vizsgálatának szakértője, Sarah Steele a fényképek alapján az antracit eredetet valószínűsítette (Sarah Steele, 2021, *szíves szóbeli közlése*). Ibarra et al. (1996) tanulmánya a különböző érettségű spanyolországi szeneket vizsgálta FTIR elemzések segítségével. A közölt spektrumok közül a balatonlellel „gagát” a szubbitumenes szenek spektrumával nagyon hasonló jellegzetességeket mutat, az antracit alapvetően eltér. Chen et al. (2012) szintén a kőszén érettségének és FTIR jellemzőinek összefüggését vizsgálta lengyel, olasz, kanadai és az Amerikai Egyesült Államokból származó minták segítségével. Az általuk közölt spektrumok közül a balatonlellel „gagát” meglepően jó egyezést mutat egy kanadai kréta korú, és viszonylag erős érettségi fokú szénnel. A szén érettségi fokát a vitrinitreflexiós érték alapján lehet megállapítani, ami a jetek esetében 0,2% körül van (Allason-Jones & Jones 2001), míg a szenek kb. 0,2-től az antracit 5%-os értékéig terjednek. A szóban forgó kanadai szén értéke 0,43% (Chen et al. 2012). Az FTIR spektrumokban mutatkozó egyezés nyilvánvalóan nem a származásra utal, hanem arra, hogy az FTIR spektrumok alapján ennek megfelelő termikus érettségű szerves anyag lehetett a balatonlellel „gagát” forrásanyaga. A spektrumok alapján a *sensu stricto* jet és az antracit, mint forrásanyag elvethető. Ugyan a holzmadeni (Németország) júra korú posidonias pala szintén szóba jöhetne, mint forrásanyag (Teichmüller 1992, Allason-Jones & Jones 2001), a teljes kőzet, valamint a kerogén koncentrátumok FTIR spektrumai (Stock et al. 2017) mind az 1000–1800 cm^{-1} , mind a 2800–3000 cm^{-1} tartományokban olyan mértékben térnek el a balatonlellel „gagát” spektrumától, ami a posidonias pala teljesen különböző termikus érettségi fokát jelzi, így a publikált minta forrásközetként nem valószínűsíthető, de a formáció egyéb, alacsonyabb termikus érettségű és felszín közelben található előfordulásaival esetleg összevethető. Az összehasonlító vizsgálatok esetében kézenfekvő a vizsgált temetőhöz közeli

helyszínek, kereskedelmi útvonalak menti előfordulások elemzése. Ugyan az ausztriai Gosau területén levő, késő kréta korú jet előfordulások kitermelésére csak a 15. századtól van adat (Bechtel et al. 2001), a hasonló előfordulást a rézkor embere is ismerhette és felhasználhatta. A földrajzi közelségre való tekintettel három, gosai lelőhelyről származó jet mintát vizsgáltunk meg, amelyeket Prof. Dr. Reinhard Sachsenhofer bocsátott a rendelkezésünkre. A Bad Ischlből származó minta jelentős mennyiségű kalcitot (CaCO_3) tartalmazott, ami a balatonlellel „gagátban” nem volt jelen, ezért ezt, mint összehasonlító anyagot nem vettük figyelembe. Az egymástól kb. 11 km-re levő Gams bei Hieflau és Unterlaussa területről (**4. ábra**) származó jet minták FTIR spektrumait az **5. ábrán** mutatjuk be. A spektrumok nagyon hasonlóak a jet típuselőfordulások (Whitby és Asztúria) spektrumaihoz, de alapvetően különböznek a balatonlellel „gagától”.

A szénizotóp-összetételek mérése további adalékot nyújthat a forrásanyag valószínűsítéséhez. A balatonlellel „gagát” $\delta^{13}\text{C}$ értéke $-23,0\text{‰}$ (**6. ábra**), aminek az értékeléséhez a szenekre jellemző összetételeket kell áttekintenünk. Mint azt a közép-európai és magyarországi kőszenek is jól példázzák, a mezozoikumot követően a szárazföldi növények, és így a szénanyag $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ aránya egyre inkább eltolódott a negatívabb $\delta^{13}\text{C}$ értékek felé (Bechtel et al. 2008, Hámor-Vidó & Hámor 2007). A paleocénben (kb. 55 millió évvel ezelőtt) még -23‰ körül volt, majd egyre inkább eltolódott a pliocénben (kb. 5 millió évvel ezelőtt) jellemző -26‰ felé. A magyarországi kőszenek $\delta^{13}\text{C}$ értékei -24‰ -nél negatívabbak (Hámor-Vidó és Hámor 2007). Európai borostyánok $\delta^{13}\text{C}$ elemzésével Mänd et al. (2018) a paleocén és eocén során -22 és -25‰ közé eső értékeket mutattak ki, bár megjegyzendő, hogy ezen a tartományon belül a paleocén és eocén korszakok közötti határhoz egy jól meghatározott, több ezrelékes negatív $\delta^{13}\text{C}$ eltolódás tartozik, ami úgy tűnik, hogy a borostyánokban is megjelenik, és ami a $\delta^{13}\text{C}$ tartományt a negatív összetételek felé tágítja ki. Tappert et al. (2013) és Dal Corso et al. (2017) a jelentősen a triász korig visszamenően gyűjtött borostyánok és növényi maradványok $\delta^{13}\text{C}$ értékeit határozták meg, és kimutatták, hogy a borostyánok összetétele a kréta korban kb. -20 és -24‰ közé esett. Mindezek alapján a -23‰ -et adó balatonlellel „gagát” forrásanyaga eocén vagy annál idősebb, szubbitumenes érettségű kőszén lehetett. A Kárpát-medence jurától miocén időszakig terjedő kőszeneinek $\delta^{13}\text{C}$ értékei -24‰ -nél negatívabbak (Hámor-Vidó és Hámor 2007), míg a Redding et al. (1980) által vizsgáltakhoz képest földrajzi értelemben sokkal közelebb eső svájci karbon korú szenek (Williams et al. 2008) adatai átfednek a



6. ábra: A balatonlellel "gagát" és kőszén előfordulások szén- és hidrogénizotóp-összetételei. U.S.A., Ruhr vidék, Ausztrália: Redding et al. (1980). Hazai júra-miocén korú szenek $\delta^{13}\text{C}$ -tartománya: Hámor-Vidó és Hámor (2007). Svájci karbon korú szenek $\delta^{13}\text{C}$ -tartománya: Williams et al. (2008). Gosau terület, kréta korú jetek: jelen tanulmány.

Fig. 6.: Stable hydrogen and carbon isotope compositions of the Balatonlelle "jet" and coal occurrences. U.S.A., Ruhr area, Australia: Redding et al. (1980). $\delta^{13}\text{C}$ range of Hungarian Jurassic to Miocene coals: Hámor-Vidó and Hámor (2007). $\delta^{13}\text{C}$ range of Carboniferous coals in Switzerland: Williams et al. (2008). Gosau area, Cretaceous jets: this study.

balatonlellel "gagát" értékével. A gosai jet minták $\delta^{13}\text{C}$ értékei ($-20,1$ and $-21,8$ ‰) ettől jelentősen eltérnek, pozitív irányú eltolódást mutatva. Mivel a kőszén kiindulási anyagát jelentő szárazföldi növényzet a globális szénháttérrel jelentő légköri szén-dioxidból nyeri a széntartalmát, ezért a lokális hatásokon felül alapvetően meghatározó a globális légköri összetétel. Ennek következtében jelenik meg a $\delta^{13}\text{C}$ értékek korfüggése, mint fentebb láttuk. Ennek alapján a balatonlellel "gagát" anyagát leginkább a karbon korú szenekkel lehet párhuzamosítani. A nagyon kevés összehasonlító adat következményeként a vizsgált "gagát" hidrogénizotóp-összetétele (-112 ‰) egyelőre csak néhány kőszén előfordulással vethető össze. A hidrogénizotóp-összetétel (a $^2\text{H}/^1\text{H}$ arány, $\delta^2\text{H}$ értékben kifejezve) elsősorban a szén anyagát adó növényzet környezetével függ össze, mivel a helyi klímaviszonyoktól függően változik a csapadékvíz összetétele. Így jelentős a különbség az azonos korú

növényzet esetében a trópusoktól a sarkok felé és a tengerparttól a kontinensek belseje felé haladva, valamint a kontinensen belül a tengerszint feletti magassággal változóan. Ezen felül a kőszén anyagát számos szerves komponens adja, amelyek között erőteljes a stabilizotópos frakcionáció. Éppen ezért a $\delta^2\text{H}$ értéket a pontos értelmezés helyett az FTIR spektrumokhoz hasonlóan összehasonlító adatként kezeljük. A kőszén esetében Redding et al. (1980) tanulmánya nyújt teljes köztetre vonatkozó $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^2\text{H}$ adatokat a balatonlellel "gagát" forrásanyagához legalább kis mértékben hasonló előfordulásról (a nagyszámú kínai kőszénelfordulás eredményeivel a nagy földrajzi távolság és ebből eredő különbségek miatt itt nem foglalkozunk). Redding et al. (1980) munkájában a Ruhr vidéki karbon korú kőszéneket vizsgálta az U.S.A. és Ausztrália különböző szénelőfordulásaival együtt (megjegyzendő, hogy az utóbbiak a jelen tanulmány szempontjából nem

relevánsak). A $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^2\text{H}$ értékek nagy szórása a változatos képződési körülményeket tükrözik, de kiemelendő, hogy a balatonlellel "gagát" adata igen közel esik a Ruhr vidéki szenekéhez. Természetesen ez csak egy összehasonlító eredmény, a későbbiekben további, szóba jöhető előfordulások anyagát kell megvizsgálnunk. Ezek közül megtörtént a gosai jetek elemzése, amelyek a karbon korú szenekhez és a balatonlellel "gagáthoz" hasonló $\delta^2\text{H}$ adatokat (-104 és -110 ‰) adtak. Mindazonáltal a szénizotóp-összetételek és az FTIR spektrumok eltérése kizárja a vizsgált gosai előfordulásoknak megfelelő anyagokból történő származtatást.

Összefoglalás

Összefoglalásképpen megállapítható, hogy a komplex optikai, pásztázó elektronmikroszkópos, röntgenfluoreszcens és infravörös spektroszkópos, valamint stabilizotóp-geokémiai elemzések alapján a balatonlellel "gagát" gyöngy anyaga eocénnél idősebb, valószínűleg karbon korú, szubbitumenes, alacsony érettségi fokú kőszénképződési környezetből származik, a klasszikus gagát/jet eredet (üledékbe hordódott faanyag, ami bitumennel átítatódott a kőzetté válás és a diagenezis során), vagy az antracit származás elvethető. A karbon korú szenek közül a szakirodalmi adatokkal (Iglesias et al. 1995) való összevetés alapján a spanyolországi és franciaországi jellegű szénelőfordulások valószínűsíthetőek a balatonlellel "gagát" forrásanyagaként. Munkánk legfontosabb eredményeként megállapíthatjuk, hogy a IV. évezred közepére keltezhető fekete gyöngy jelenleg a legkorábbi "gagát" lelet Európa középső részéről.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Mihácz-Pálfi Anettnek a BTK Régészeti Intézetben készített sztereo-mikroszkópos felvételeket és a gagátra vonatkozó információit (2018).

A különböző természettudományos vizsgálatok elvégzésére a *Kárpát-medence késő rézkori temetkezéseinek komplex elemzése* c. NKFI K-128413. sz. projekt (2018–2022) keretében nyílt lehetőség.

A gosai jet mintákat Prof. Dr. Reinhard F. Sachsenhofer (Montanuniversität Leoben, Ausztria) bocsátotta a rendelkezésünkre.

Irodalomjegyzék

ALLASON-JONES, L. & JONES, J.M. (2001): Identification of 'jet' artefacts by reflected light microscopy. *European Journal of Archaeology* **4** 233–251.

BECHTEL, A.; GRATZER, R. & SACHSENHOFER, R.F. (2001): Chemical characteristics of

Upper Cretaceous (Turonian) jet of the Gosau Group of Gams/Hieflau (Styria, Austria). *International Journal of Coal Geology* **46** 27–49.

BECHTEL, A.; GRATZER, R.; SACHSENHOFER, R.F.; GUSTERHUBER, J.; LÜCKE, A. & PÜTTMANN, W. (2008): Biomarker and carbon isotope variation in coal and fossil wood of Central Europe through the Cenozoic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **262** 166–175.

BONDÁR M. (2019): A késő rézkori fémművesség magyarországi emlékei – Relics of Late Copper Age Metallurgy in Hungary. *Archaeolingua, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest*.

BONDÁR M. (2020): Késő rézkori különleges temetkezések Balatonlelléről (Somogy m.) – Unusual burials of the Late Copper Age at Balatonlelle (County Somogy, Hungary). *A Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei* **7**, 89–105.

BONDÁR, M. & SZÉCSÉNYI-NAGY, A. (2020): Skull cult in the Late Copper Age. *Ziridava* **34** 91–104.

BRASSER, J. P. (2015): Jet artifacts from two Neolithic sites on the Dutch coast: An experimental approach. *Master of Science, Material Culture Studies Leiden University, Faculty of Archaeology*. Thesis. Leiden. pp.106.

CARAMÉ, M. E. C.; SANJUÁN, L. G.; MURILLO-BARROSO, M.; GIRÁLDEZ, R. P. & WHEATLEY, D. W. (2011): Artefactos elaborados en rocas raras en los contextos funerarios del IV-II milenios cal ANE en el sur de España: Una revisión. In: *Explorando el Tiempo y la Materia en los Monumentos Prehistóricos: Cronología Absoluta y Rocas Raras en los Megalitos Europeos Proceedings of the 2nd European Megalithic Studies Group Meeting (Seville, Spain, November 2008)*. *Menga. Journal of Andalusian Prehistory (Monograph 1)*, 253–293.

CARDOTT, B.J. & CURTIS, M.E. (2018): Identification and nanoporosity of macerals in coal by scanning electron microscopy. *International Journal of Coal Geology* **190** 205–217.

CHEN, Y.; MASTALERZ, M. & SCHIMMELMANN, A. (2012): Characterization of chemical functional groups in macerals across different coal ranks via micro-FTIR spectroscopy. *International Journal of Coal Geology* **104** 22–33.

Dal CORSO, J.; SCHMIDT, A.R.; SEYFULLAH, L.J.; PRETO, N.; RAGAZZI, E.; JENKYNS, H.C.; DELCLÒS, X.; NÉRAUDEAU, D. & ROGHI, G. (2017): Evaluating the use of amber in palaeoatmospheric reconstructions: The carbon-isotope variability of modern and Cretaceous conifer resins. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **199** 351–369.

- DOWNES J. ed. (2012): Chalcolithic and Bronze Age Scotland: Panel Report. ScARF Summary Bronze Age Panel Document. September 2012. <https://scarf.scot/wp-content/uploads/sites/15/2015/12/ScARF%20Bronze%20Age%20Sept%202012.pdf>
- GUTIERREZ BLANCO, C.; GONZALEZ AZPIROZ, M.D. & FERNANDEZ VALDES, A. (2008): Relationship between the working quality of asturian jets (Spain) and their structure using parameters defined by $^1\text{H-NMR}$. *Archaeometry* **50** 877–886.
- GRESITS I. (2019): Késő rézkori tárgyak ED-XRF elemzése. In: BONDÁR M. (ed.) A késő rézkori fémművesség magyarországi emlékei – Relics of Late Copper Age Metallurgy in Hungary. *Archaeolingua, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest*, 193–208.
- HÁMORNÉ VIDÓ, M. (2010) Római kori gagát ékszerek vitritreflexió mérése a nyersanyagok származási helyének azonosítása céljából. In: KREITER, A.; PETŐ, Á.; TUGYA, B.; LÁSZLÓ, O. & CSIPPÁN, P. (szerk.) *Környezet-Ember-Kultúra Konferencia, "Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde"* Absztrakt kötet, Budapest, Magyarország: Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ, p. 53
- HÁMOR-VIDÓ, M. & HÁMOR, T. (2007): Sulphur and carbon isotopic composition of power supply coals in the Pannonian Basin, Hungary. *International Journal of Coal Geology* **71** 425–447.
- HUNTER, F.J.; MCDONELL, J.G., POLLARD, A.M.; MORRIS, C.R.; & ROWLANDS, C.C. (1993): The scientific identification of archaeological jet-like artefacts. *Archaeometry* **35** 69–89.
- IBARRA, J.B.; MUÑOZ, E. & MOLINER, R. (1996): FTIR study of the evolution of coal structure during the coalification process. *Organic Geochemistry* **24** 725–735.
- IGLESIAS, M.J.; JIMÉNEZ, A.; LAGGOUN-DÉFARGE, F. & SUÁREZ-RUIZ, I. (1995): FTIR Study of Pure Vitrains and Associated Coals. *Energy & Fuels* **9** 458–466.
- JORGE, A. (2014): Reconnecting the Late Neolithic Social Landscape: A Micro-Regional Study of Objects, Settlements and Tombs from Iberia. *European Journal of Archaeology* **17/3** 434–467.
- KARA-GULBAY, R.; KORKMAZ, S.; YAYLALI-ABANUZ, G. & ERDOĞAN, M.S. (2018): Organic Geochemistry and Depositional Environment of the Oltu Gemstone (Coal) in the Erzurum Area, NE Anatolia, Turkey. *Energy & Fuels* **32** 1451–1463.
- KÖHLER K. (2020): Balatonlelle-Rádpusztá 67/5. lelőhely embertani leleteinek vizsgálati eredményei. Appendix. *A Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei* **7** 106–108.
- KÖRMÖS, S.; BECHTEL, A.; SACHSENHOFER, R.F.; RADOVICS, B.G.; MILOTA, K. & SCHUBERT, F. (2020): Petrographic and organic geochemical study of the Eocene Kosd Formation (northern Pannonian Basin): Implications for paleoenvironment and hydrocarbon source potential. *International Journal of Coal Geology* **228** 103555.
- MADEJOVÁ, J.; GATES, W.P. & PETIT, S. (2017): IR Spectra of Clay Minerals. *Developments in Clay Science* **8** 107–149.
- MÄND, K.; MUEHLENBACHS, K., MCKELLAR, R.C.; WOLFE, A.P. & KONHAUSER, K.O. (2018): Distinct origins for Rovno and Baltic ambers: Evidence from carbon and hydrogen stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **505** 265–273.
- MASTALERZ, M. & SCHIMMELMANN, A. (2002): Isotopically exchangeable organic hydrogen in coal relates to thermal maturity and maceral composition. *Organic Geochemistry* **33** 921–931.
- MIHÁCSI-PÁLFI A. (2019): A balatonlellei késő rézkori karperec mikroszkópos vizsgálata In: BONDÁR M. (ed.) A késő rézkori fémművesség magyarországi emlékei – Relics of Late Copper Age Metallurgy in Hungary. *Archaeolingua, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest*, 183–188.
- PIGGOTT, S. & POWELL, T. (1949): The excavation of three Neolithic chambered tombs in Galloway, 1949. *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland* **83** 103–161.
- POLLARD, A.M.; BUSSELL, G.D. & BAIRD, D.C. (1981): The analytical investigation of early Bronze age jet and jet-like material from the Devizes Museum. *Archaeometry* **23** 139–167.
- R. FACSAĐY, A. (2003): Római ékszerek. *Ókor* **II/4** 31–37.
- R. FACSAĐY, A. (2009): Aquincumi ékszerek. Jewellery in Aquincum. Budapest. Budapesti Történeti Múzeum (*Az Aquincumi Múzeum gyűjteménye* **1**) pp 132.
- REDDING, C.E.; SCHOELL, M.; MONIN, J.C. & DURAND, B. (1980): Hydrogen and carbon isotopic composition of coals and kerogens. *Physics and Chemistry of the Earth* **12** 711–723.
- SHERIDAN, A.; DAVIS, M.; CLARK, I. & REDVERS-JONES, H (2002): Investigating jet and jet-like artefacts from prehistoric Scotland: the National Museums of Scotland project. *Antiquity* **7**, 812–825.

STOCK, A.T.; LITTKE, R.; SCHWARZBAUER, J.; HORSFIELD, B. & HARTKOPF-FRÖDER, C. (2017): Organic geochemistry and petrology of Posidonia Shale (Lower Toarcian, Western Europe) – The evolution from immature oil-prone to overmature dry gas-producing kerogen. *International Journal of Coal Geology* **176–177** 36–48.

TAPPERT, R.; MCKELLAR, R.C.; WOLFE, A.P.; TAPPERT, M.C.; ORTEGA-BLANCO, J. & MUEHLENBACHS, K. (2013): Stable carbon isotopes of C₃ plant resins and ambers record changes in atmospheric oxygen since the Triassic. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **121** 240–262.

TEICHMÜLLER, M. (1992): Organic petrology in the service of archaeology. *International Journal of Coal Geology* **20** 1–21.

THOMAS, J. T. (2014): *Emerging economies: Late Neolithic and Copper Age beads and pendants of the Portuguese Estremadura*. PhD (Doctor of Philosophy) Thesis, University of Iowa, 2014, pp. 291.

VIOLA, S.; GAJ, G.; DEL CARO, D. & BESSE, M. (2019): Techno-functional Study of the "lignite" Ornament Elements of the Boira Fusca Cave (Cuornè, loc. Salto-Torino) Research project: The manufacturing techniques of the microbeads of the Copper and Early Bronze Age in alpine region and northern Italy. In: 11th Experimental Archaeology Conferences EXARC-EAC11 Trento, May 2-4, 2019. <https://exarc.net/eac/archive/2019>, 7. poster, <https://www.printfriendly.com/p/g/YJFGaW>

WATTS, S.; POLLARD, A.M. & WOLFF, G.A. (1997): Kimmeridge jet – a potential new source for British jet. *Archaeometry* **39** 125–143.

WATTS, S. & POLLARD, A.M. (1998): Identifying archaeological jet and jet-like artifacts using FTIR. *Infrared and Raman Users Group, Postprints*, Department of Archaeological Sciences, University of Bradford, 37–52.

WILLIAMS, D.J.A.; HOFMANN, B.A. & GLASSPOOL, I.G. (2008): Coalification in Carboniferous sediments from the Lötschberg base tunnel. *Swiss Journal of Geosciences* **101** 651–658.

ZIEGER, L.; LITTKE, R. & SCHWARZBAUER, J. (2018): Chemical and structural changes in vitrinites and megaspores from Carboniferous coals during maturation. *International Journal of Coal Geology* **185** 91–102.

A DOMBÓI VÁR TÉGLÁINAK KORMEGHATÁROZÁSA TERMOLUMINESZCENS MÓDSZERREL

THERMOLUMINESCENCE DATING OF BRICK SAMPLES FROM THE DOMBÓ CASTLE*

REKECZKI Kinga^{1,2}; FILYÓ Dávid¹; BERTA Adrián³; BARTYIK Tamás¹; WOLF Mária²;
†TÓTH Mária⁴; El HAMMED, Dīa¹ & SIPOS György¹

¹Szegedi Tudományegyetem, Geoinformatikai, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék, Geomorfológiai és Geokronológiai Kutatócsoport, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

²Szegedi Tudományegyetem, Régészeti Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

³ELKH Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet, Ókori, népvándorlás kori és középkori régészeti osztály, 1097 Budapest, Tóth Kálmán u. 4.

⁴ELKH Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

E-mail: gysipos@geo.u-szeged.hu

Abstract

The Castle of Dombó is situated south of the city of Dombóvár, on a hill emerging from the floodplains of the River Kapos. From the former castle, only three mixed brick-stone wall blocks and the remains of a brick pillar can be seen today. The systematic archaeological research of the site started in 2014 and has been going on till the very day. On the basis of the results of the excavations performed so far, five major construction periods can be distinguished from the building of the castle until its perishing in 1702. However, the dating carried out by traditional archaeological methods needs confirmation from more aspects as the findings of dating value did not come forth from their original places, but from secondary or tertiary site raisings due to the intense devastation of the site and the disturbances occurring until recently. As a result of the problematic dating of the castle and considering that the most part of the stronghold was built of brick, the thermoluminescence (TL) dating method seemed to be the most suitable absolute dating method. The aim of our research is to define the chronology of each construction phase by using TL dating and to specify or possibly revise the existing periodization established on an archaeological basis.

By the help of the TL dating, we can determine the firing time of ceramics, pottery, terracotta works of art, bricks and other objects related to industrial archaeology. To our investigations, we collected 13 brick samples from the different points of the castle. During the TL measurements, we employed the additive method, and the most optimal settings for the measurements had been established by plateau tests. To achieve even more precise results, we also conducted fading tests and alpha efficiency inspections.

We tried to provide our results regarding each construction period on the basis of the average of several samples. The majority of the age data given by the TL measurement suitably adjusted to the ages identified by the archaeological methods, in the case of two construction phases, however, further analyses are necessary because their assessments were solely based on a single sample respectively. Besides the above, our investigations have also highlighted that the direct measurement of the alpha efficiency is of crucial importance and that the measurement results can be made more accurate by preferably collecting more samples from the same phenomenon.

Kivonat

A dombói vár Dombóvár városától délre, egy a Kapos folyó árteréből kiemelkedő dombon helyezkedik el. Az egykori várból ma mindössze három vegyes téglakő alapanyagú faltömb és egy téglalapítványú pillér maradványa látható. A lelőhely szisztematikus régészeti kutatása 2014-ben kezdődött, és azóta is folyamatosan tart. Az eddigi

* How to cite this paper: REKECZKI, K.; FILYÓ, D.; BERTA, A.; BARTYIK, T.; WOLF, M.; TÓTH, M.; El HAMMED, D. & SIPOS Gy., (2021): A dombói vár tégláinak kormeghatározása termolumineszcens módszerrel (Thermoluminescence dating of brick samples from the Dombó Castle). In Hungarian with English abstract, *Archeometriai Műhely* XVIII/2 157–174.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-013](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-013)

ásatások eredményei alapján a vár építésétől az 1702. évi fennállásáig öt nagyobb építési periódust lehet elkülöníteni. A hagyományos régészeti módszerekkel történő keltezés azonban több szempontból is megerősítésre szorul, ugyanis a datáló értékkel bíró leletek, a lelőhely nagyfokú pusztulása és a közelmúltig tartó bolygatások miatt, nem eredeti helyükről kerültek elő, hanem másodlagos vagy harmadlagos feltöltésekből. A vár keltezésének problematikájából kifolyólag, illetve figyelembe véve, hogy az erősség legnagyobb része téglából épült, a termolumineszcens (TL) kormeghatározás tűnt a leginkább alkalmazható abszolút kormeghatározási módszernek. Kutatásunk célja az egyes építési fázisok kronológiájának meghatározása TL kormeghatározás segítségével, illetve a meglévő, régészeti alapon felállított periodizáció pontosítása, esetleges felülvizsgálata.

A TL kormeghatározás segítségével kerámiák, cseréptárgyak, terrakotta műalkotások, valamint téglák és egyéb iparrégészeti vonatkozású objektumok kiégetési ideje állapítható meg. Vizsgálatainkhoz 13 téglamintát gyűjtöttünk a vár különböző pontjairól. A TL mérések során az additív módszert alkalmaztuk, a mérésekhez a legoptimálisabb beállításokat pedig plató tesztekkel állapítottuk meg. Az eredmények pontosítása érdekében fakulási tesztek és az α -hatásfokra vonatkozó vizsgálatokat is végeztünk. Az építési periódusokra vonatkozó eredményeinket igyekeztünk több minta átlaga alapján megadni. A TL mérés által kapott koradatok többsége megfelelően igazodott a régészeti módszerekkel meghatározott korokhoz, két építési fázis esetében viszont további elemzések elvégzésére van szükség, mivel csak egy-egy minta alapján történt az értékelés. Vizsgálataink mindemellett rámutattak arra is, hogy elengedhetetlenül fontos az α -hatásfok közvetlen mérése, valamint hogy lehetőség szerint egy jelenségből több minta gyűjtésével a mérési eredmények pontosíthatók.

KEYWORDS: DOMBÓ CASTLE, THERMOLUMINESCENCE DATING, PERIODIZATION, ALPHA EFFICIENCY

KULCSSZAVAK: DOMBÓI VÁR, TERMOLUMINESZCENS KORMEGHATÁROZÁS, PERIODIZÁCIÓ, α -HATÁSFOK

Bevezetés

Dombóvár városától délre, a Kapos folyó déli partján, az ártérből szigetszerűen kiemelkedő dombon található a Gólyavár néven ismert középkori erősség maradványa. Az egykori sziget kiterjedése kb. 70x100 méter, tengerszint feletti magassága 117 méter, és kb. 6 méterrel emelkedik ki az ártérből. Az egykori várból ma már mindössze négy falcsont látható a felszínen: az északi oldalon három vegyes téglakő alapanyagú faltömb, a délkeleti oldalon pedig egy téglalapítmény pillér maradványa (Miklós 2007). A lelőhelyen kisebb léptékű, elsősorban roncsolás mentes régészeti kutatások már az 1960-as évektől kezdve történtek, azonban a szisztematikus feltárás megkezdése egészen 2014-ig váratott magára (**1. ábra**).

A 2014 és 2020 között végzett régészeti ásatások során az egykori erősség maradványainak megközelítően a 23%-a lett feltárva (**2. ábra**) (Berta 2020), így az alább vázlatosan ismertett építészeti periodizáció egyelőre még csak egy munkahipotézis, amely a folyamatosan felszínre kerülő újabb és újabb részletek fényében, a terepi munkák befejezéséig még többször is módosulhat. Az egyes falmaradványok egymáshoz való viszonya és relatív kronológiai sorrendje a falcsatlakozások és az azokkal kapcsolatba hozható rétegződések sztratigráfiai elemzésével került meghatározásra. Ennek során még az épületmaradványok építőanyagának (elsősorban a különböző típusú téglák mérete, készítménye, stb.) (Eszes 2018) és az építési módnak (falazástechnika, habarcsok, stb.) a jellegzetességeiből levonható következtetéseket sikerült hasznosítani. A falak maradványainak és az

egykori építmények abszolút keltezését eddig csak közvetett módon és építészeti párhuzamok felhasználásával lehetett megkísérelni, mivel a várra vonatkozó ismert írott források száma elenyésző, illetve az épületek pusztulása során és azt követően is jelentős bolygatás érte a területet. A közvetett keltezéshez elsősorban a már lepusztult vagy az eredeti állapotához képest erősen módosult rétegződésekből származó kályhacsempék (Boldizsár 2018) és a kevés számú érme nyújtott némi támpontot (sajnos ezek többségükben nem az eredeti helyükről, hanem másodlagos vagy harmadlagos feltöltésből, bolygatásból kerültek elő). Ezen kívül az abszolút kronológia felállításához, az eddigi feltárások és a 2018-ban végzett geofizikai vizsgálatok során megismert alaprajzi elrendezéséből kiindulva, párhuzamként a hasonló elrendezésű és egykorúnak vélt építmények lettek felhasználva (Berta 2020).

A vár az eddig ismert legkorábbi időszakában, a 14. század végén vagy a 15. század elején felépült formájában egy szabálytalan téglalap alaprajzú téglalapítmény volt, melynek északi és déli végében egy-egy épületszárny kapott helyet. A további feltárásokig feltételeesen ebbe a periódusba soroltuk az ez utóbbinak a várudvar felé néző homlokzati falához csatlakozó bejárati építmény maradványaként értelmezett falszakaszokat is, még ha ezt néhány körülmény (falazástechnika, nem egyértelmű falelválások) erősen megkérdőjelezte is. A vár eredeti bejárata ekkor is már a nyugati oldalon állhatott (a későbbi kaputorony helyén), ennek tisztázásához azonban szintén további terepi munkák lesznek szükségesek (Berta 2018).



1. ábra: A dombói vár felszínén lévő falmaradványai, valamint a 2016/1, 2017/1, és 2019/1-es ásatási szelvényekben feltárt felszín alatti falszakaszok

Fig. 1.: Dombó Castle wall remains above and below the ground. The later were exposed by the 2016/1, 2017/1 and 2019/1 excavation trenches

Az első eddig ismert nagyobb átépítés során, talán a 15. sz. első felében, a déli épületrész szélességét közel a kétszeresére növelték és a keleti végét három pillérrel megtámogatták. Az épület déli és északi, udvari homlokzati falának ilyen jellegű, a bővítés során történő megerősítésének egyelőre nem kerültek elő a nyomai; az épületszárny nyugati végén azonban a georadaros felmérés során kirajzolódott két további pillér körvonala. Az épület belső elrendezésére, a pincszint egyes építészeti elemeire és átépítésére vonatkozóan eddig csak töredékes adatok állnak a rendelkezésünkre, ezek tisztázása a további feltárások feladata lesz. Szintén ebben a periódusban épülhetett fel a nyugati oldalon a kaputorony, valamint az északi szárny udvari homlokzati fala elé emelt két belső torony is (Berta 2018).

A harmadik időszakban, a 15. század közepén kerülhetett sor a délkeleti, ma is álló pillér tetején történt utólagos át- és ráépítésre, valamint az északkeleti L-alakú fal kialakítására. Ezek a maradványok talán a 17. század végi forrásokból ismert, azóta már teljesen elpusztult, a keleti várfalon végigfutó folyosóhoz köthetők. Ezeknek a maradványoknak a relatív keltezése viszonylag biztosnak tűnik, azonban a funkciójuk meghatározása és az említett „függőfolyosóval” való kapcsolatuk a feltárási munkák előre haladtával egyre bizonytalanabbá vált (vö. Berta 2020).

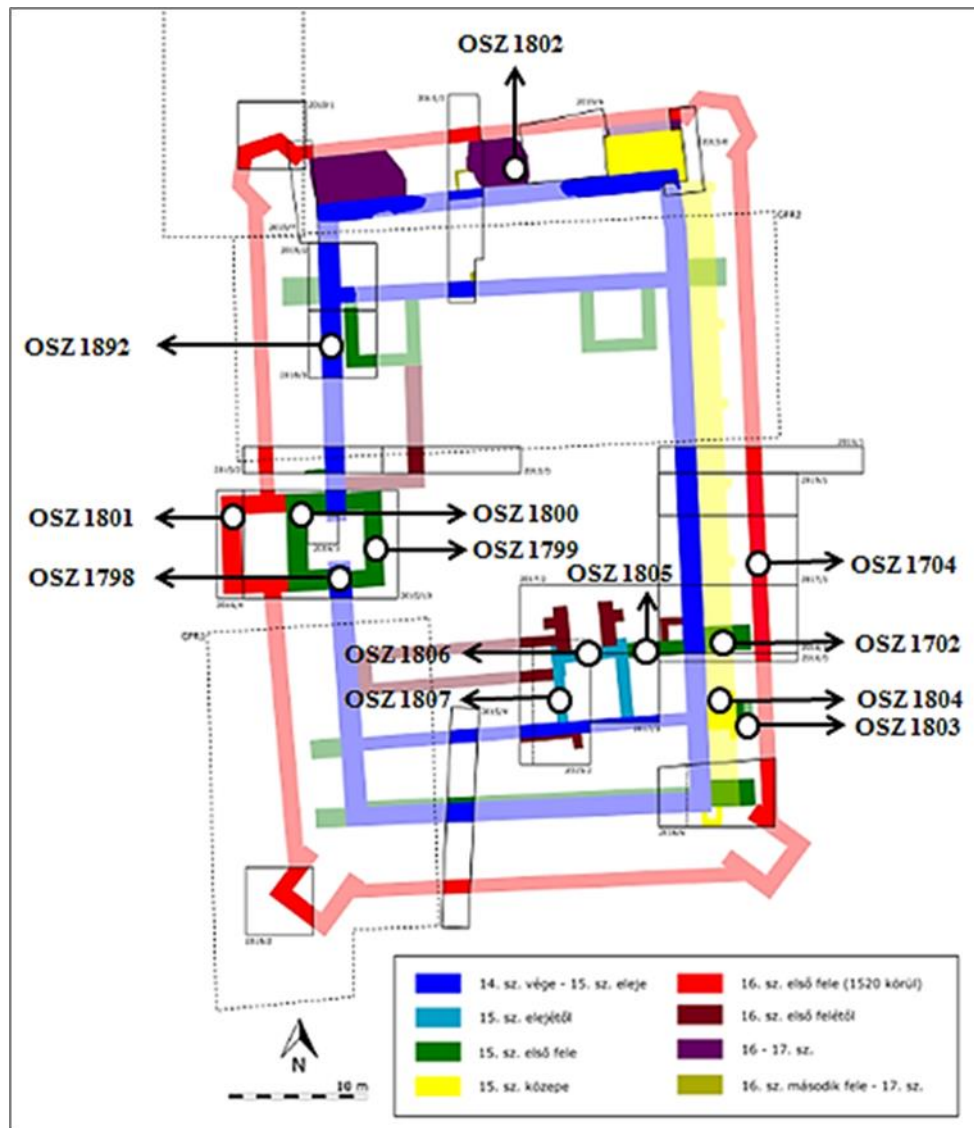
A negyedik periódusban, feltételezhetően a 16. század elején az egész építményt egy külső, kőalapozású téglafallal vették körül, melynek

sarkaira négy- és ötszögletű tornyokat emeltek, valamint a vár kaputornya elé egy védművet építettek. A külső kerítőfállal egy időben épülhetett a korábban kibővített déli palotaszárny udvari homlokzati falánál lévő bejárati építmény, melyet kisméretű pillérekkel erősítettek meg. A kaputorony mellett közvetlenül, észak felé, az első periódusú várfalhoz hozzáépített, azzal párhuzamos új épületszárnyat alakítottak ki (Berta 2020).

A vár építésének ötödik periódusára, vagyis a török hódoltság korára datálható építészeti maradványok eddig csak elenyésző mennyiségben kerültek elő. A 16. század második felében vagy a 17. század folyamán keletkezhetett az északnyugati és az északi középső fal, amelyeket az északi falköz megerősítése és feltöltése során alakíthattak ki. A falcsonkok közötti feltöltésből viszonylag nagyszámú, 16. századi reneszánsz kályhacsempe-töredék került elő, melyek a török kori kelteztést támasztják alá (Boldizsár 2018, Berta 2020).

A várat 1702-ben robbantották fel, majd a 18. századi bontómunkát követően az egykori épület építőanyagát a helybeliek a 20. századig folyamatosan hordták el és használták fel saját építkezéseikhez (Berta 2017).

A keltezés fentebb ismertetett nehézségei miatt a periodizációban feltételeesen megadott időintervallumok pontosításához más módszerek használatát is meg kellett kísérelni. Mivel a vár legnagyobb hányada, néhány részlettől eltekintve, téglából épült, ezért a termolumineszcens kormeghatározás tűnt a legkézenfekvőbb módszernek e tekintetben.



2. ábra: A dombói vár régészeti megállapított építési periódusai, valamint a TL kormeghatározásra gyűjtött téglaminták elhelyezkedése

Fig. 2.: Previously identified construction phases of the Dombó Castle, and the location of brick samples subjected to TL dating

A fentiek alapján kutatásunk célja tehát az egyes építési periódusok numerikus időkeretbe helyezése termolumineszcens kormeghatározás segítségével, a meglévő régészeti alapon összeállított periodizáció megerősítése, vagy újraértelmezése, valamint a régészeti viszonylag jól datálható falszakaszok építési idejének esetleges pontosítása.

Termolumineszcens kormeghatározás alkalmazása téglákon

A termolumineszcens (TL) kormeghatározás segítségével kerámiák, cseréptárgyak, terrakotta műalkotások, valamint téglák és egyéb iparrégészeti vonatkozású objektumok kiégetési ideje állapítható meg. Ennek meghatározásához a minta által a természetben elnyelt radioaktív dózis

(paleodózis), valamint az egységnyi idő alatt elnyelt dózis (dózteljesítmény) értékének megadása szükséges. Előbbi megállapításának alapja, hogy az elnyelt, természetből származó radioaktív dózis hatására töltések csapdázódnak a téglá anyagát képező kvarc és földpát ásványokban, melyeket hővel kiszabadítva TL jelenség figyelhető meg. Laboratóriumi mérések segítségével kapcsolat állítható fel a besugárzott radioaktív dózisok és az általuk generált TL intenzitások között, így a kiégetés óta elnyelt dózis nagysága közvetett módon ugyan, de mérhető. A dózteljesítmény nagyságát pedig a téglá anyagában, illetve a környezetében lévő természetes radioaktív elemek koncentrációja határozza meg. A módszert részletesebben Aitken (1985) tárgyalja, magyar

nyelven Sipos & Papp (2009), valamint Tóth et al. (2014) nyújt áttekintést.

A TL módszert számos esetben alkalmazták kerámia építőanyagok kormeghatározására. Ennek során több más keltezési módszerrel is sikerült az eljárás megbízhatóságát tesztelni. Így például égető kemencék esetében több alkalommal is mód nyílt a TL és az archeomágneses korok összevetésére. Ezen vizsgálatok kapcsán Tema et al. (2013) rámutatott arra, hogy akár 100-200 éves téglák is keltezhetők a TL segítségével, illetve az ugyanazon időpontot (kemencék használatának felhagyása) datáló módszerekkel kapott korok közel azonos eredményeket szolgáltattak. Hasonló következtetésre jutott Kondopoluou et al. (2015) pénzérmékkel jól datálható 4-5. századi kemencék vizsgálata során. Az archeomágneses módszernél pontosabb radiokarbon keltezés alapján is megbízható korok várhatók az építőanyagok TL kormeghatározásának igénybevételével. Erre a megállapításra jutott Blain et al. (2011) egy franciaországi harangtorony építési idejének vizsgálata során, ahol mind a falazatból származó habarcs mintákból, mind pedig a téglákból mért TL korok a torony építésének kezdetét 200 évvel korábbra keltezték (11. helyett 9. századra), mint az írott források, illetve a régészeti bizonyítékok.

Az utóbbi években egyre több kutatásban alkalmazzák egyedüli keltezési módszerként a TL kormeghatározást, és kísérleteznek különböző mérési protokollok (SAR TL, SAR OSL, MAAD – Multiple Aliquot Additive Dose, azaz additív dózis módszer) tesztelésével is. Az alkalmazott mérési eljárások közül Chruścińska et al. (2014) a SAR OSL-t részesítette előnyben, ugyanis az e protokollal vizsgált minták egybehangzó keltezésük tekkel lehetséges. Így a kutatók templom, illetve kolostor építési idejének kezdetét a téglaminták korának átlagolásával a 13. századra datálták, ami alátámasztotta az ismert történelmi adatokat. A különböző minták mérési eredményeiből történő átlagszámítást használta Nakata et al. (2007) is egy Japánban álló templom keltezésénél, azzal a különbséggel, hogy a vizsgálat tárgyát tetőcserepek képezték. Az ily módon kapott eredmények igazolták a régészek azon feltételezését, miszerint a templom az 1258-as évek környékén épült. Ugyancsak a több téglaminta gyűjtésének eljárását fontosságát húzta alá Stella et al. (2014) is, akik egy franciaországi templom 4. századi építési idejét határozták meg a minták eredményeinek összevonásával.

A fentiekből az a konklúzió vonható le, hogy több téglaminta mérésének átlaga ad megbízható eredményt a lumineszcens kormeghatározás során. Ugyanakkor a mérések átlagolása mellett szintén rendkívül fontos szempont a környezeti dózisteljesítmény meghatározása (Baillif et al. 2007), és modellezése (Chruścińska et al. 2014).

A TL kormeghatározás jól alkalmazható az olyan épületek esetében is, amelyek különböző építési/átépítési periódusokkal rendelkeznek, melyek időben egymáshoz közel helyezkednek el. Ezt támasztja alá Stella et al. (2018) vizsgálata is, amiben egy portugáliai kolostor 2 építési fázisát különítették el, téglá és habarcs minták együttes vizsgálatával, az előbbin TL, az utóbbin pedig OSL méréseket végeztek. Az eredmények az elsőként meghatározott periódus idejét a 17. századtól a 18. század első felére, míg a másodikat a 18. század második felétől a 19. század első felére helyezték. Emellett Stella et al. (2018) arra is rávilágítottak, hogy a TL keltezésnél kitűnik, ha a régebbi épületek anyagait újra felhasználták egy-egy új építkezés alkalmával. Ezzel az észrevétellel Guilbert et al. (2009) is egyetértettek, ugyanis az általuk vizsgált franciaországi apátság helyén egy korai kezdetleges/primitív templom állt, ami a Karoling időszakban, a 9. században épülhetett. A TL kormeghatározást 4 különböző laboratóriumban is elvégezték (Bordeaux, Catane, Durham, Milánó), melyek 3 különböző építési időt határoztak meg, ami arra utal, hogy a téglákat nem ugyanazon építési periódusban gyártották.

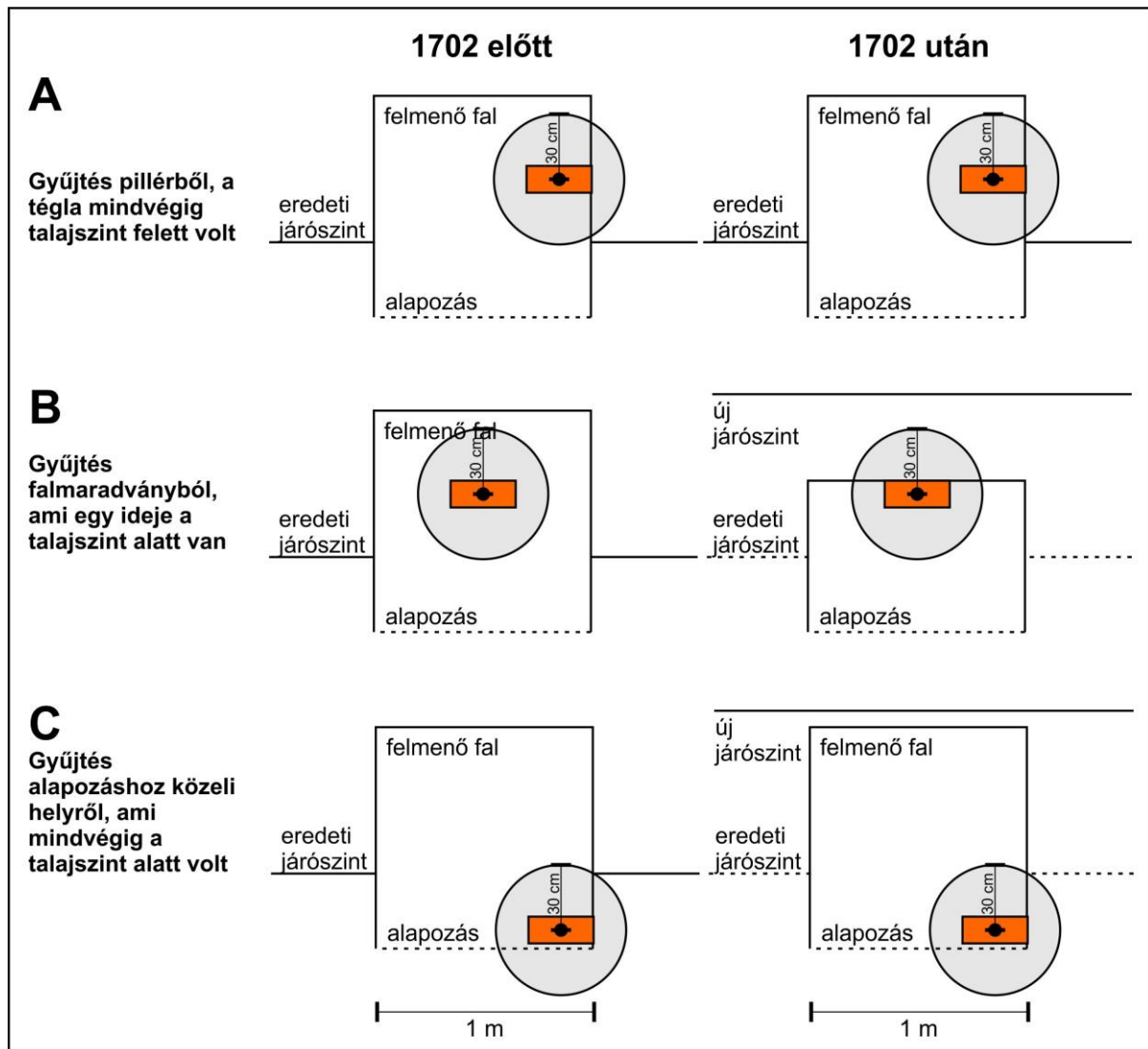
Az előzőekben szemléltetett példákból jól kitűnik, hogy a különböző építési periódusokkal rendelkező épületek esetében gyakori a téglák újrahaznosítása (Bouvier et al. 2014), ez a tény alátámasztja azt az eljárást, hogy a vizsgálni kívánt épületből több téglamintát kell gyűjteni, így az esetleges kiugró koradatokat ki lehet szűrni (Blain et al. 2007).

Anyag és módszer

Mintagyűjtés

A terepi mintavételezés első lépéseként kijelöltük azokat a helyeket, ahonnan később a mintagyűjtés történt. A téglamintákat a vár maradványainak különböző pontjairól, három különböző pozícióból gyűjtöttük: 1.) alapozási szintről, 2.) alapozáshoz közeli felmenő falból, 3.) mindvégig álló faltömbökből és pillérből (**3. és 4. ábra**).

Az utolsó két esetben a környezeti dózisteljesítmény rekonstruálása céljából a falmaradványt befoglaló talajból is gyűjtöttünk mintát. Itt az egyes falszakaszok esetében vagy már az építés ideje óta (alap), vagy pedig a vár lerombolását követően (alapozáshoz közeli felmenő fal) a talajból érkező γ -sugárzás is hozzájárult a külső vagy környezeti dózisteljesítmény értékéhez, mivel a γ -részecskék hatótávolsága földtani közegben nagyjából 30 cm (**3. és 4. ábra**). A mintákat érő γ -dózisteljesítmény időbeli eltéréseit a **3. ábrán** látható koncepcionális modell alapján határoztuk meg, a pusztulás előtti és a pusztulás utáni időszakra számított értékeket időarányosan összegezve.



3. ábra: A gyűjtött téglák előtörténete a környezeti γ -dózisteljesítmény vonatkozásában. A szürke körök a minta 30 cm-es környezetét jelölik.

Fig. 3.: The environmental γ -dose radiation history of the collected brick samples. Grey circles mark the 30 cm surroundings of the samples

A mintavételezett téglák nagyságukat tekintve eltérőek, de többségük negyed-, illetve féltégla. A kivett téglák esetében megfigyeltük a falban való eredeti elhelyezkedésüket, valamint megjelöltük a téglá azon részét, ami leginkább védve volt a környezeti hatásoktól, ugyanis innen történt a laboratóriumi mintagyűjtés.

A régészeti tárgyak termolumineszcens kormeghatározása kizárólag roncsolásos mintagyűjtéssel lehetséges. Az alkalmazott mérés technikáknak megfelelően poranyag gyűjtése volt a cél. Ezt jelen esetben a téglaminták nagy részénél reszeléssel értünk el, csupán egy mintánál történt fűrésszel a mintagyűjtés (**5. ábra**), ugyanis a mintavételezett téglá túlétettnek bizonyult, így rendkívül tömör volt. Utóbbi esetben a mintavétel 2,5, illetve 2,8 mm átmérőjű Dremel típusú

wolfram-karbid fűrészárrakkal történt, alacsony fordulatszám mellett, a túlhevülés elkerülése érdekében. Mindkét esetben a tárgy külső felületének 2–3 mm-ét eltávolítottuk, hogy a kis hatótávolságú α és β sugárzás csak magából a tárgy anyagából származzon.

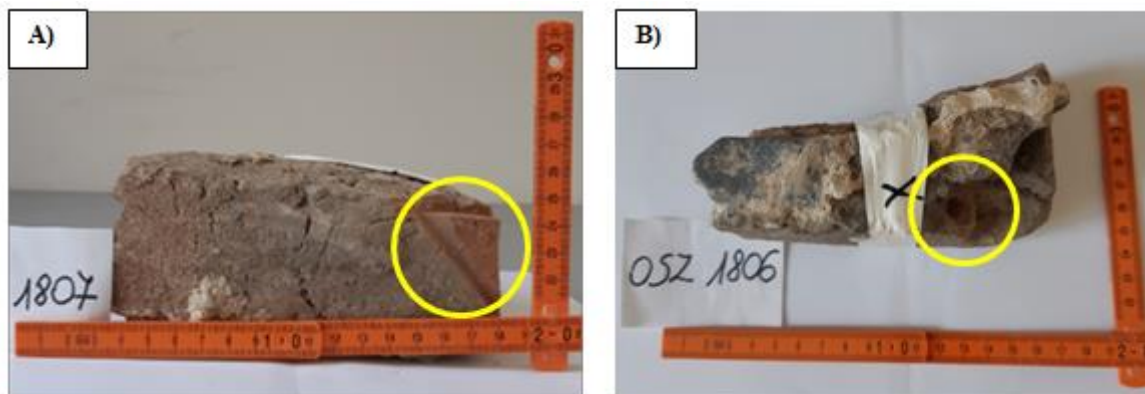
A mintavételt hordozható, kis nyomású Na fényforrások tompított sárga fényénél végeztük, ugyanis a lumineszcens jel fény hatására is törlődik. Ezen lámpák kibocsátási spektruma 589 nm hullámhossztartományon helyezkedik el, melynek következtében nem ürítik a csapdákat, vagyis a jelvesztéség lehetősége nem áll fenn.

A gyűjtött mintákat több lépésben készítettük elő a termolumineszcens mérésekre. A feltárások során az ún. finomszemcsés eljárást alkalmaztuk (Aitken



4. ábra: Mintagyűjtés három különböző pozícióból: A) mindvégig álló pillérből, B) alapozáshoz közeli felmenő falból, mely a vár lerombolása előtt a földfelszín felett, a lerombolást követően pedig a föld alatt helyezkedett el, C) mindvégig földfelszín alatt lévő alapozási szintről.

Fig. 4.: Sampling at three different positions: A) pillar standing all the time, B) wall just over the foundations, being above ground before the destruction of the castle and being buried after that, C) foundation being below the ground all the time



5. ábra: Mintagyűjtés különböző technikákkal: A) reszeléssel és B) fúró segítségével

Fig. 5.: Sampling for TL using either: A) a rasp, or B) a drill

1985; Mauz et al. 2002; Sipos & Papp 2009), először 10%-os HCl hozzáadásával eltávolítottuk a minta karbonát tartalmát, ezt követően ismét 10%-os H₂O₂ oldattal a minta szervesanyag tartalmát is elmarattuk. A savas kezelést a pH semlegesre történő beállítása követte. Következő lépésként a 4–11 µm közötti szemcsefrakciót különítettük el. A szemcseméret szerinti elkülönítés centrifugáción, 6 cm-es acetone oszlopban történt, az eltérő szemcseméretű üledékek idejét figyelembe véve (Sipos et al. 2010). A feltárási folyamat végére megmaradt polimíneralikus anyagból desztillált vizes szuszpenziót készítettünk, melyet néhány percre ultrahang fürdőbe helyeztünk. Ezt követően 9,8 mm átmérőjű alumínium korongokra 0,25 ml szuszpenziót pipettáztunk, így hozzávetőleg 2,0 mg mennyiségű anyag jutott egy-egy korongra. Végeredményben 24 db részmintát, azaz korongot állítottunk elő a mérésekhez.

Mérés

A lumineszcens mérések 0,0890±0,0004 Gy/s dózisteljesítményű (alumínium korongra kalibrált) ⁹⁰Sr/⁹⁰Y β és ²⁴¹Am α sugárforrással rendelkező, automatizált RISØ DA-15 TL/OSL műszer segítségével történtek, a minták TL fénylési görbéjét 5°C/s-os hevítés mellett 450°C-ig rögzítettük Corning 7-59 és Schott BG 45 szűrők kombinációját alkalmazva (Sipos et al. 2017).

A polimíneralikus, finomszemcsés kerámiaminták TL vizsgálatához az ún. additív dózis módszert (MAAD) használtuk. Az eljárás során 3-3 részmintából álló korongcsoportokat különítettünk el, melyeket növekvő béta dózissal sugároztunk be. Az erre válaszul kapott TL intenzitásokat használtuk az ún. dózis-válasz görbe felállításához. A természetes lumineszcens intenzitásból és az egyre nagyobb additív dózisok által előidézett lumineszcens intenzitásokból, azaz a dózis és TL növekmény közötti összefüggésből ugyanis meghatározható a minta által a kiegészítés óta eltelt radioaktív dózis nagysága, illetve annak laboratóriumi megfelelője (egyenérték dózis - D_e). A kezdeti TL növekmény azonban sok esetben nem lineáris, a válaszgörbe ezen kezdeti szakaszát korábban már kisütött részminták regenerálásával lehet vizsgálni (Feathers 1997; Wintle 2008; Tóth et al. 2014). Ez esetben szintén 3-3 részmintából álló korongcsoportokat alakítottunk ki. A mérések alapján felállított regenerációs dózis lumineszcens válasz összefüggésnek ideális esetben az origóba kellene tartania, amennyiben ez nem így van, akkor a dózis tengelyen mért eltéréssel (I) kell korrigálni az additív módszerrel meghatározott egyenérték dózist. Ezután a minták mindegyikén 30 s előmelegítést végeztünk 230°C-on, melyet a minták egy hónapos szobahőmérsékleten történő pihentetése követett.

Mivel a TL méréseket polimíneralikus mintákon végeztük, szükség volt a fakulás (fading) mértékének meghatározására is. Ezt a vizsgálatot szintén különböző korongcsoportok kialakításával végeztük el, amelyeket azonos, 4,5 Gy dózissal sugároztunk be, majd az egyes csoportok TL intenzitását 0, 1, 10, és 100 óra késleltetéssel megmértük, ami alapján logaritmikus fakulási rátát (g-érték) állapítottunk meg, mellyel aztán korrigáltuk az additív dózis módszerrel meghatározott egyenérték dózis értékét (Aitken 1985, Huntley és Lamothe 2001).

A mintában a természetes TL jelet előidéző radioaktív dózisteljesítmény (D*) két részre bontható, egy a minta anyagából származó belső (α és β) és egy a minta környezetéből származó külső (γ és kozmikus sugárzás) dózisteljesítményre.

A belső dózisteljesítmény meghatározásához szükséges radioaktív elemkoncentrációk (²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K) mérését Canberra típusú nagy felbontású, kibővített méréstartománnyal rendelkező koaxiális HpGe detektorral felszerelt gamma spektrométerrel végeztük 100 cm³ porított mintából. Az α sugárzás határfokának meghatározása céljából további mérésekre volt szükség, amelyhez szintén a MAAD típusú mérési protokollt használtuk. Ennek során a korábban kisütött minta összes részmintáját 14 Gy α dózissal sugároztunk be, majd pedig β additív dózissal vizsgáltuk, hogy az α dózis mekkora effektív β dózissal felel meg. Az így kapott határfokkal (a-érték) korrigáltuk az α dózisteljesítmény értékét a számítások során.

A környezetből származó γ dózisteljesítményt a terepi mintavételezés alkalmával gyűjtött talajminták gamma spektroszkópiás mérése (450 cm³), illetve a téglákból korábban meghatározott értékek alapján számítottuk ki.

Mivel a dózisteljesítmény értékét a téglák nedvességtartalma jelentősen befolyásolja, ezért ennek mértékét, illetve változását is igyekeztünk minél pontosabban számszerűsíteni. A nedvességtartalmat utólagosan begyűjtött téglák, illetve talajminták alapján határoztuk meg. A falak anyagából, a talajból, valamint a nyílt felszínnek felől érkező külső γ dózisteljesítményt a téglák helyzete alapján súlyoztuk. Végül az időbeli változásokat is figyelembe vettük azon téglák esetében, ahol a környezet (a falak föld alá kerülése miatt) változott.

A mintákra vonatkozó kozmikus dózisteljesítmény értékét a téglák helyzete alapján számítottuk Prescott & Hutton (1994) módszerét felhasználva, átlagosan 50 cm-es mélységi tényezővel számolva, ugyanis bár a mintákat érő kozmikus sugárzás intenzitása a vár lerombolásával időben szintén változhatott, ennek mértéke elenyészően befolyásolja az össz dózisteljesítmény értékét.

Eredmények és interpretáció

Dózisteljesítmény

A környezeti dózisteljesítmény értéke két komponensből tevődik össze (**1. táblázat**). A belső dózisteljesítményt a téglá anyagából vett minta alapján határoztuk meg. Ehhez elsőként a minták ^{238}U , ^{232}Th és K koncentrációját mértük meg. A ^{238}U -tartalom 2,78 és 4,27 ppm között váltakozott, az összes mérésből számolt átlagérték 3,56 ppm volt. A ^{238}U -koncentráció bizonytalansága 0,02 és 0,04 ppm között ingadozott, azaz összességében az értékek átlagosan 1%-os relatív hibával jellemezhetők (**1. táblázat**). A mintákban a ^{232}Th -tartalom 6,94 és 11,26 ppm közötti értékeket vett fel, az átlagos ^{232}Th -koncentráció így 9,23 ppm volt, az értékek relatív hibája pedig 2% körülnek adódott. A K-tartalom 1,22 és 2,74% között váltakozott, az átlagérték 1,68 ppm volt, míg a mért értékek átlagosan 3%-os relatív hibával rendelkeztek (**1. táblázat**).

A vizsgált 13 mintában az α -hatásfok értéke 0,10 és 0,24 közötti tartományba esett, ez alapján az α -hatásfok átlagértéke 0,18-nak adódott (**6. ábra**). Az egyes minták α -hatásfokának relatív hibái viszonylag alacsony értékekkel (5–8%) bírtak (**1. táblázat**). A közvetlen mérés fontosságát alátámasztja, hogy amennyiben a legalacsonyabb α -hatásfokkal ($a=0,10\pm 0,01$) rendelkező OSZ1802 minta esetében a fent megállapított átlagos értékkel számolnánk, akkor a teljes dózisteljesítmény értéke $4,33\pm 0,12$ Gy/ka-ról $5,36\pm 0,15$ Gy/ka-ra emelkedne, ami mintegy 24%-os növekménynek felel meg. Ez pedig a kort hasonló mértékben befolyásolná, azaz ez esetben akár egy évszázaddal is eltolhatja az eredményt.

A vizsgált mintákban, illetve a környezetükben mért dózisteljesítmény együttes értékei 3,65 és 6,50 Gy/ka közötti tartományba estek, az átlagos dózisteljesítmény így 5,16 Gy/ka volt. A teljes

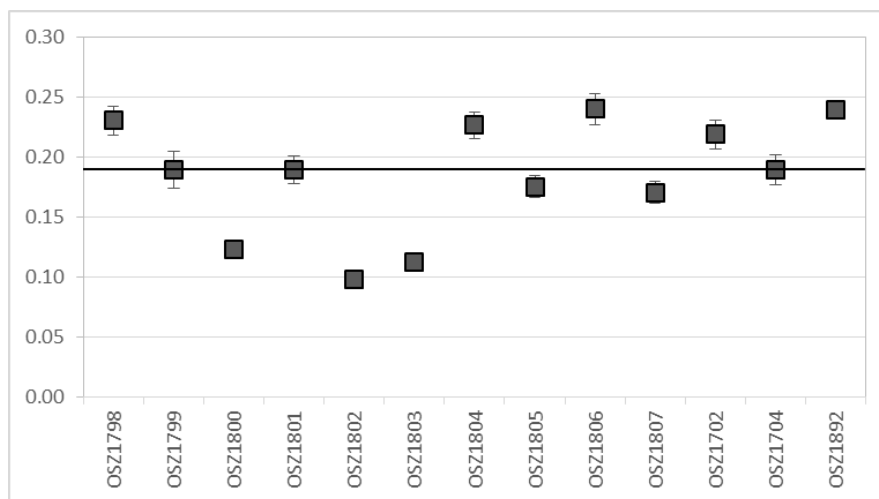
dózisteljesítmény hibahatára 0,12 és 0,16 Gy/ka között váltakozott, ami azt jelenti, hogy a relatív hiba átlagosan 3% volt (**1. táblázat**).

Egyenérték dózis

A minták alapvető alkalmasságát a lumineszcens mérések szempontjából TL plató tesztekkel vizsgáltuk, melynek során a természetes TL görbe és a legnagyobb additív dózis besugárzását követően mért TL görbe hányadosát vizsgáltuk (**7. ábra**).

Az eredmények alapján elmondható, hogy 300–350°C tartományban a minták mindegyikénél a két görbe hányadosa közel állandó, s van, ahol ez tágabb tartományra is igaz (**7. ábra** - OSZ1798). Ez azt jelenti, hogy a természetes és az additív besugárzás hasonló hatást gyakorol a mintára, azaz ebből a szempontból a minták alkalmasak a TL kormeghatározásra.

A hozzáadott dózisok lumineszcenciára gyakorolt hatását az OSZ1798 minta TL görbéi jól szemléltetik (**8. ábra**). A megközelítően hasonló alakú görbék csúcsa a hozzáadott dózisok növelésével csaknem lineárisan növekedett. Megfigyelhető azonban, hogy a TL görbék csúcsa egymáshoz képest némileg el van csúszva, nem ugyanazon a hőmérsékleten jelentkeznek. Ennek hátterében a műszeres mérés bizonytalanságai (pl. Duller 2007), esetleg a minták radioaktív besugárzás hatására bekövetkező eltérő mértékű TL érzékenységváltozásai állhatnak (Zimmerman 1971). Ezért is fontos, hogy a dózis/TL összefüggésekhez a TL intenzitást ne egy pontból vegyük, hanem a görbék egy hosszabb szakasza alapján integráljuk. Azt, hogy a görbék melyik szakaszának értékeit kell alapul venni a TL jel és az additív dózis összefüggések meghatározásához, minden mintánál dózis-plató tesztek elvégzésével állapítottuk meg.



6. ábra:

A vizsgált minták α -hatásfoka (a-érték) és a mérések standard hibái

Fig. 6.:

The α -efficiency (a-value) of the investigated samples and the standard error of measurements

1. táblázat:

A téglaminták belső és külső dózisteljesítmény értékei, az ezek meghatározásához szükséges radioaktív elem-koncentrációk, valamint az α -dózisteljesítményt módosító a-érték

Table 1.:

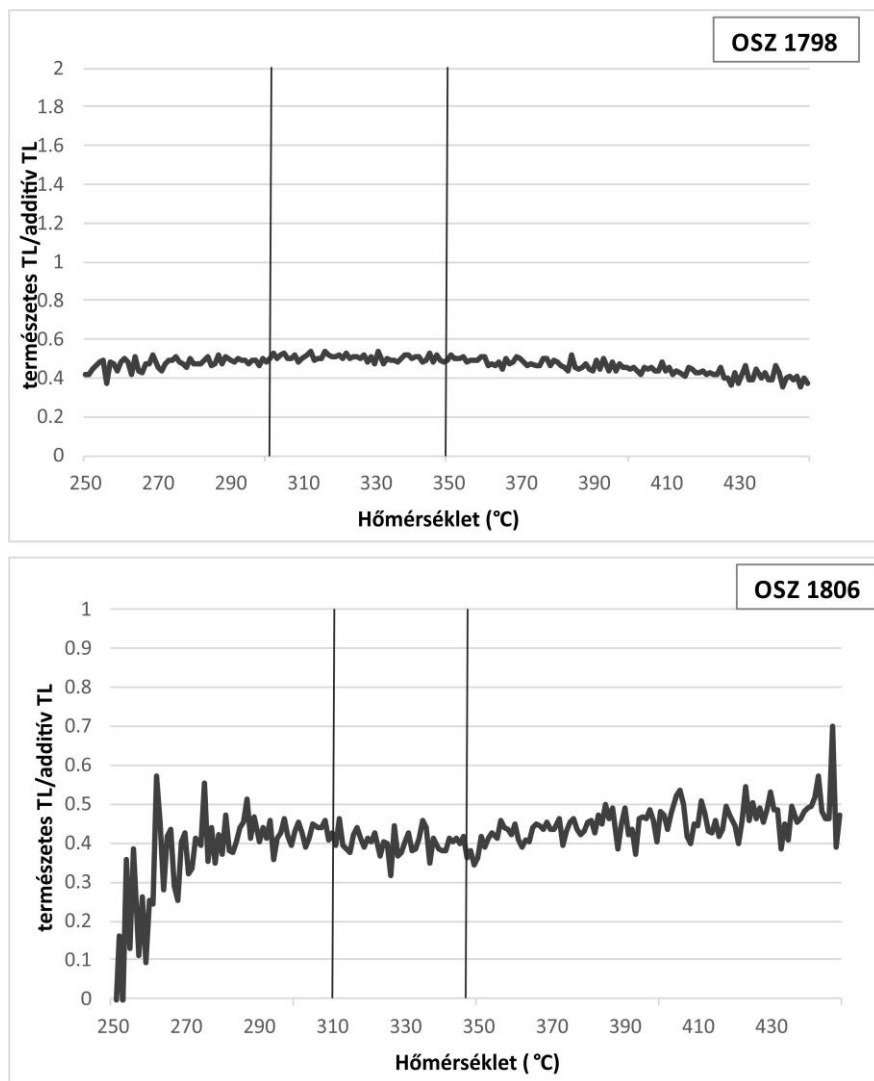
Table 1.: Internal and external dose rates of brick samples, radioactive element contents used for dose rate calculation, and a-values used for α -dose rate correction

Terepi azonosító	Laboratóriumi azonosító	D*belső ¹						D*külső ³ (Gy/ka)
		²³⁸ U (ppm)	²³² Th (ppm)	K (%)	a-érték ²	α (Gy/ka)	β (Gy/ka)	
M06	OSZ 1702	4,27±0,03	10,60±0,17	1,63±0,05	0,219±0,012	2,99±0,13	1,88±0,07	0,90±0,07
M04	OSZ 1704	3,81±0,04	10,04±0,17	1,63±0,05	0,190±0,012	2,42±0,13	1,84±0,07	0,90±0,07
DB-2015/10-1	OSZ 1798	4,08±0,03	10,37±0,16	1,77±0,05	0,231±0,012	3,16±0,13	2,01±0,07	1,33±0,05
DB-2015/10-2	OSZ 1799	2,78±0,02	6,94±0,12	1,22±0,04	0,190±0,015	1,76±0,12	1,37±0,07	1,00±0,05
DB-2015/10-3	OSZ 1800	2,95±0,02	7,44±0,13	1,26±0,05	0,123±0,008	1,19±0,08	1,42±0,07	1,04±0,05
DB-2015/10-4	OSZ 1801	3,48±0,04	9,08±0,16	1,62±0,05	0,190±0,011	2,21±0,11	1,77±0,07	1,20±0,05
DB-2015/3-5	OSZ 1802	3,38±0,04	9,41±0,16	1,77±0,05	0,098±0,005	1,23±0,08	1,99±0,08	1,11±0,05
DB-DK-PILLER-6	OSZ 1803	3,30±0,04	9,14±0,17	2,74±0,07	0,113±0,007	1,38±0,09	2,68±0,09	1,25±0,05
DB-DK-PILLER2-7	OSZ 1804	3,77±0,04	9,33±0,16	1,71±0,06	0,227±0,011	3,01±0,13	2,00±0,08	1,13±0,05
DB-2017/3-8	OSZ 1805	4,27±0,03	11,26±0,17	1,47±0,04	0,176±0,009	2,46±0,11	1,78±0,07	1,22±0,05
DB-2017/3-9	OSZ 1806	3,53±0,03	8,99±0,14	1,60±0,04	0,240±0,013	2,74±0,12	1,73±0,07	1,13±0,05
DB-2016/2-10	OSZ 1807	4,08±0,04	10,35±0,16	1,68±0,05	0,171±0,009	2,25±0,10	1,88±0,07	1,22±0,05
DB-2018/3-12	OSZ 1892	3,76±0,03	9,33±0,15	1,74±0,05	0,244±0,012	2,28±0,14	1,86±0,07	1,33±0,07

¹ belső dózisteljesítmény – téglaminták anyagából meghatározva

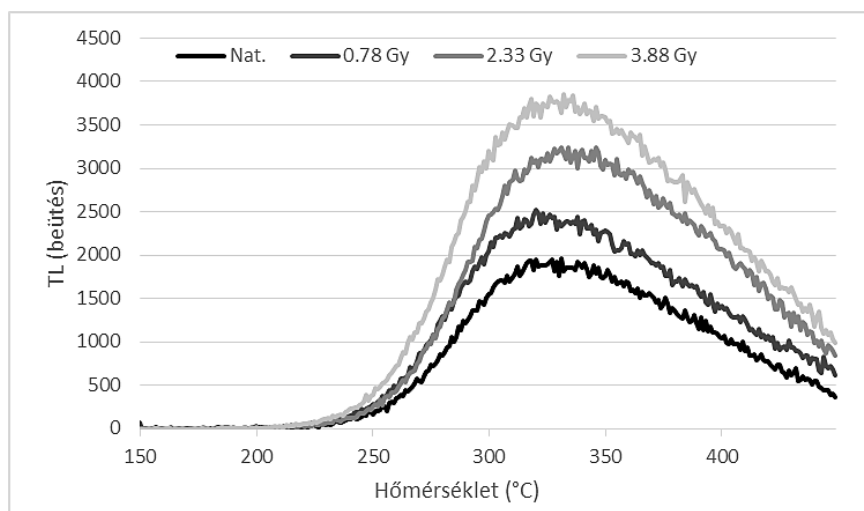
² α -hatásfok értékét jelző paraméter

³ külső dózisteljesítmény – a téglamintákkal gyűjtött talajmintából meghatározva, a kozmikus dózisteljesítmény hozzáadásával



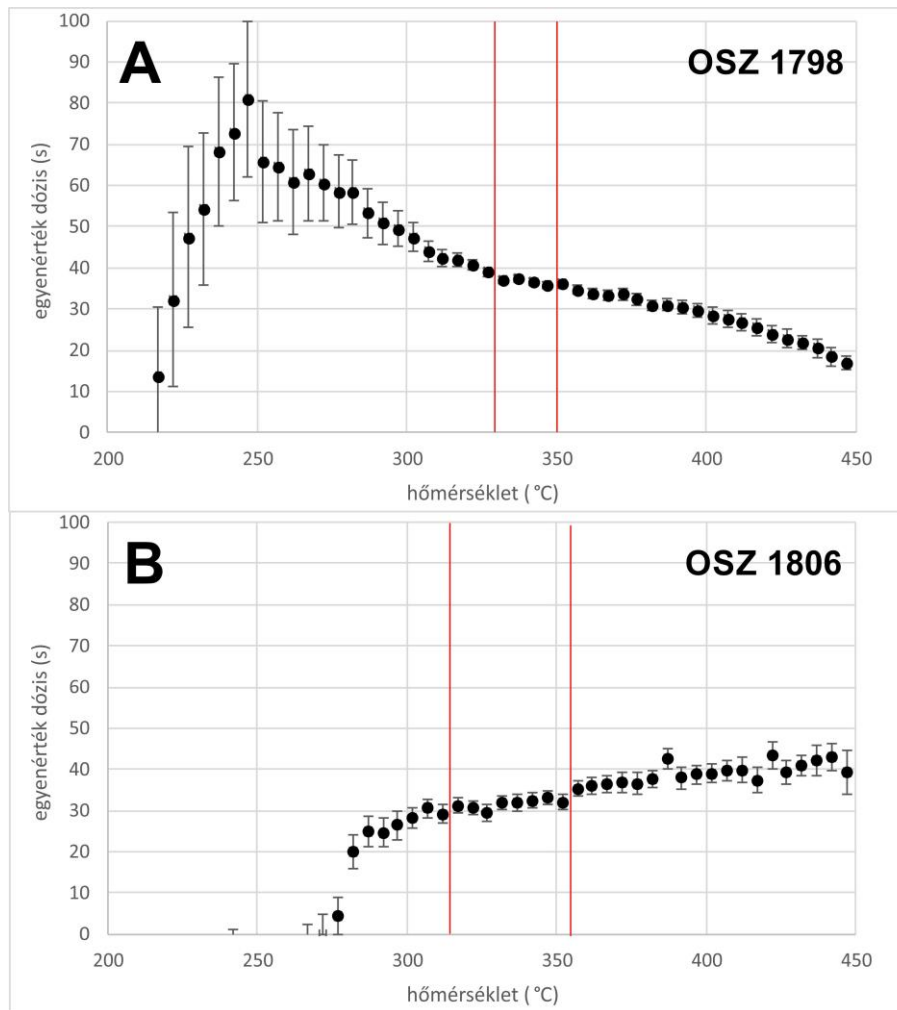
7. ábra: Jellegetes TL plató tesztek, melyek a természetes és a legnagyobb additív dózishoz tartozó TL görbe hányadosa alapján készültek

Fig. 7.: Representative TL plateaus, derived from the ratio of the natural TL curve and the curve recorded in response to the highest additive dose



8. ábra: Természetes és additív TL görbék az OSZ1798 minta esetében

Fig. 8.: Natural and additive dose TL glow curves of sample OSZ1798



9. ábra: Két reprezentatív minta egyenérték dózis plató tesztje. A) A plató igen kis kiterjedésű, alig kijelölhető, a különböző hőmérsékleten meghatározott dózis értékek csökkennek. B) A plató szélesebb, a különböző hőmérsékleten meghatározott dózis értékek növekednek.

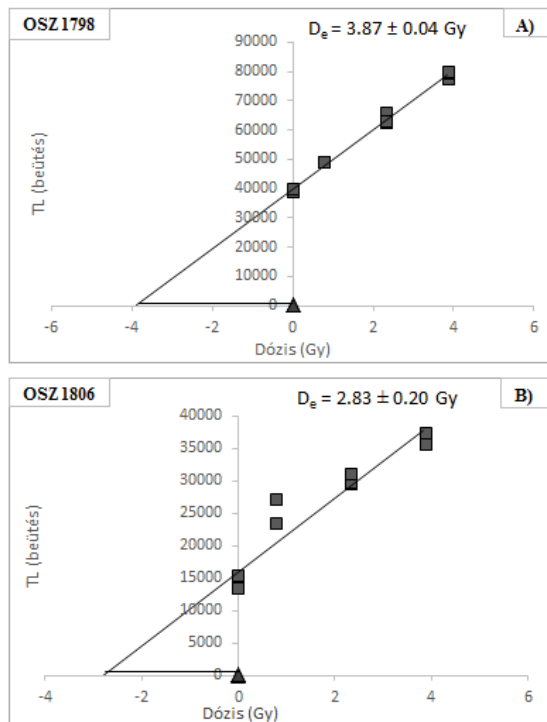
Fig. 9.: The equivalent dose plateau test of two representative samples. A) the plateau is narrow, hardly identifiable, equivalent doses determined at different temperature intervals exhibit a decreasing trend. B) the plateau is wider, and equivalent dose values exhibit an increasing trend.

Ennek során lépcsőzetesen, 5°C fokként dózis lumineszcens összefüggéseket generáltunk és meghatároztuk az adott tartományra vonatkozó D_e értéket. Az így felállított grafikonon (9. ábra) jól látható, hogy mely hőmérséklettartományban viselkedik stabilan, azaz hol mutat platót a minta. A végső D_e érték számításakor felállított MAAD összefüggéshez már ezen tartományra vonatkozóan integráltuk az intenzitás értékeket. A tesztek alapján a mintákra vonatkozó dózis-plató átlagosan 320–350°C között jelentkezett. A plató egy minta (OSZ1807) esetében jelentkezett magasabb (345–375°C), míg másik két minta (OSZ1800 és OSZ1801) esetében pedig valamivel alacsonyabb tartományban (300–340°C). Minden minta esetében igaz volt ugyanakkor, hogy a dózis-plató nagyjából 30–40°C szélességű volt.

Egyes minták esetében az additív dózis lumineszcens válasz összefüggés egyes

korongcsoportokra vonatkozó értékei jelentősebb szórást mutattak (10. ábra), ez a jelenség leginkább az OSZ1800 és OSZ1806 minták esetében volt számottevő, így esetükben a számított D_e relatív hibája 10%, illetve 5% volt. A többi minta D_e értéke ennél jóval alacsonyabb, mindösszesen 1–2%-os relatív hibával volt jellemezhető (2. táblázat), ami általánosságban véve jó eredménynek tekinthető.

A regenerációs mérésekkel meghatározott, a dózis növekmény görbe kezdeti szakaszának korrekciójára vonatkozó értékek az additív módszerrel megállapított egyenérték dózisokat általában 1% vagy az alatti mértékben, azaz mindösszesen 0,01–0,02 Gy-jel módosították. Egyedül az OSZ1801 minta esetében kellett 5%-os, azaz 0,1 Gy nagyságú korrekciót alkalmaznunk (11. ábra). Összességében tehát az ez irányú korrekció mértéke elhanyagolható volt.

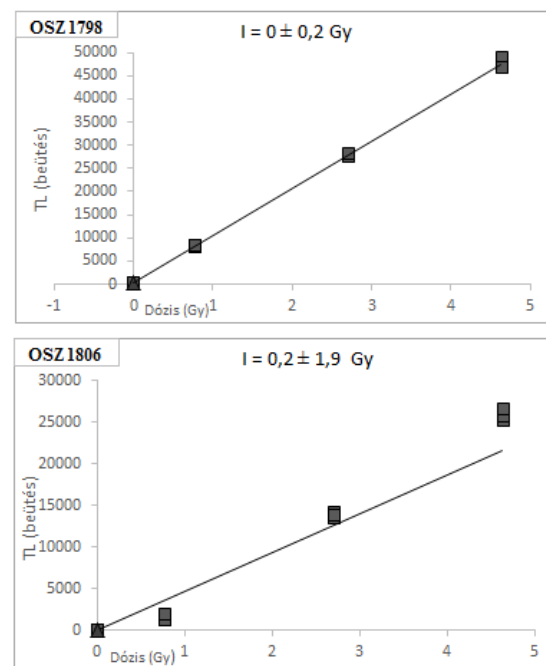


10. ábra: Additív dózis lumineszcens válasz összefüggések két reprezentatív minta esetében. A) A mérési adatok kevésbé szórnak, B) a mérési adatok egy-egy dózis esetében jelentősebb szórás mutatnak

Fig. 10.: Additive dose response curves in terms of two representative samples. A) At some samples multiple aliquot results had a low scatter, B) in other cases some of the dose points may exhibit a considerable scatter

Az egyenérték dózis nagyságát a fentiekén túl jelentősen befolyásolhatja a spontán fakulás, mely a földpát tartalmú, polimínerezus minták esetében igen jellemző. A **12. ábrán** bemutatott két minta jól szemlélteti egy átlagos, és egy átlagosnál jelentősen nagyobb fakulási rátával (g -érték) rendelkező minta esetében a laboratóriumi elvesztés arányát, illetve a meghatározás bizonytalanságát, hiszen bizonyos esetekben a g -érték relatív hibája a 20–25%-ot is elérheti, igaz máskor akár mindössze 1–2%-os is lehet (**2. táblázat**).

Az összes mintát figyelembe véve a legmagasabb fakulási ráta $g=5,80\pm 1,59$ volt, ami az eredetileg mért egyenérték dózist jelentősen, mintegy 25%-kal növelte. Mindazonáltal a tapasztalt legalacsonyabb fakulási ráta ($g=1,18\pm 0,81$) mindössze 5%-kal növelte a korrigált dózis értéket. Az összes mérést figyelembe véve azt tapasztaltuk, hogy a fakulási ráta átlagos értéke és standard hibája $g=3,22\pm 0,40$. Ez alapján a fakulás jelensége 12,9%-kal növelte a kapott egyenérték dózisokat és korokat. Mindez rávilágít a paraméter mérésének fontosságára, hiszen a fent említett százalékos eltérések a számított TL korokban is visszaköszönek.



11. ábra: Regenerációs mérések által kapott dózis növekmény görbék két minta (OSZ1798 és OSZ1806) példáján bemutatva

Fig. 11.: Exemplary dose response curves in terms of regeneration dose measurements (sample OSZ1798 and OSZ1806)

Számított korok

A téglák TL kora a mért egyenérték dózis (D_e) és a dózisteljesítmény (D^*) hányadosaként adható meg (**2. táblázat**). A vizsgált 13 téglaminta adatai jól elkülönülő csoportokat mutatnak (OSZ1704 és OSZ1801, vagy OSZ1702 és OSZ1806), melyek nagyjából igazodnak az egyes, korábban meghatározott régészeti periódusok időintervallumaihoz. Ugyanakkor a mérések eredményeiből kitűnik két kiugróan idős adat (OSZ1799 és OSZ1803) (**2. táblázat**), melyeket kétféleképpen lehet magyarázni. Egyrészt előfordulhat, hogy a vizsgált téglaminták korábbi építkezések anyagából származnak, azaz a téglákat újrahasznosították. Ez azonban kevésbé valószínű, hiszen az egyik esetben a TL a 9. századra, azaz valószínűtlenül korai időszakra keltezte a vizsgált téglát. Összességében realisabb azt feltételezni, hogy a két kiugró kort mutató téglát viszonylag alacsony hőmérsékleten lett kiégetve, így az üledékben korábban felhalmozódott, az égetés hatására csak részben törlődő TL-jel növelte meg a minták egyenérték dózisát, s így a korát. E feltételezés megerősítéséhez ugyanakkor további archeometriai vizsgálatok (XRD mérés, vékonycsiszolat készítése) elvégzésére lesz szükség a későbbiekben.

2. táblázat:

A minták nyers, illetve spontán fakulással (g-érték) korrigált egyenérték dózisa, valamint az ezek alapján számított TL korok

Table 2.:

Uncorrected and fading (g-value) corrected equivalent doses, and calculated TL ages

Terepi azonosító	Laboratóriumi azonosító	D^*_{teljes} (Gy/ka)	D_e^2 (Gy)	g-érték ³ (%)	$D_{e\ korr.}^4$ (Gy)	Kor ⁵ (ka)	Régészeti keltezés	TL naptári kor
M06	OSZ 1702	5,77±0,17	2,60±0,11	5,80±1,59	3,24±0,23	0,60±0,05	15. sz. első fele	AD 1411-1496
M04	OSZ 1704	5,16±0,16	2,31±0,04	4,22±1,04	2,72±0,11	0,57±0,03	16. sz. első fele	AD 1461-1516
DB-2015/10-1	OSZ 1798	6,50±0,16	3,87±0,04	2,38±0,30	4,25±0,07	0,60±0,02	14.sz. vége-15. sz. eleje	AD 1345-1384
DB-2015/10-2	OSZ 1799	4,13±0,15	3,55±0,06	1,18±0,81	3,72±0,13	0,86±0,03	15. sz. első fele	AD 1074-1165
DB-2015/10-3	OSZ 1800	3,65±0,12	1,87±0,20	3,35±0,39	2,13±0,23	0,51±0,06	15. sz. első fele	AD 1368-1501
DB-2015/10-4	OSZ 1801	5,18±0,14	2,08±0,09	3,26±0,16	2,36±0,11	0,40±0,02	16. sz. első fele	AD 1538-1587
DB-2015/3-5	OSZ 1802	4,33±0,12	1,49±0,04	2,17±0,11	1,63±0,05	0,34±0,01	16-17. század	AD 1628-1659
DB-DK-PILLER-6	OSZ 1803	5,31±0,14	5,88±0,12	1,45±0,95	6,25±0,28	1,11±0,04	15. sz. első fele	AD 782-903
DB-DK-PILLER2-7	OSZ 1804	6,14±0,14	2,90±0,03	3,61±0,26	3,29±0,05	0,47±0,01	15. sz. közepe	AD 1467-1499
DB-2017/3-8	OSZ 1805	5,46±0,14	3,50±0,07	2,40±0,90	3,81±0,14	0,64±0,02	15. sz. első fele	AD 1291-1353
DB-2017/3-9	OSZ 1806	5,59±0,15	2,83±0,20	5,75±0,05	3,42±0,25	0,51±0,04	14.sz. vége-15. sz. eleje	AD 1359-1455
DB-2016/2-10	OSZ 1807	5,34±0,13	2,38±0,09	3,98±0,01	2,73±0,11	0,45±0,02	14.sz. vége-15. sz. eleje	AD 1485-1533
DB-2018/3-12	OSZ 1892	5,47±0,17	3,09±0,07	2,40±0,36	3,38±0,09	0,57±0,02	14.sz. vége-15. sz. eleje	AD 1362-1423

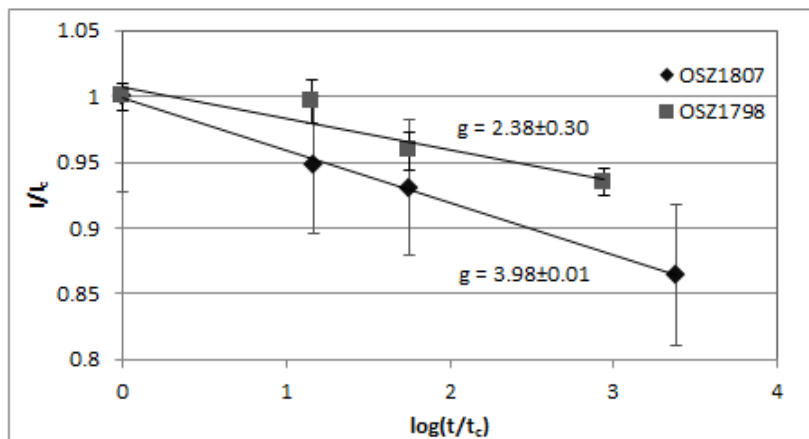
¹ teljes dózisteljesítmény

² egyenérték dózis

³ spontán fakulás dekadonkénti értéke

⁴ spontán fakulással korrigált egyenérték dózis

⁵ a korrigált egyenérték dózis és a teljes dózisteljesítmény hányadosából számított TL kor évben (ka) megadva

**12. ábra:**

A mért TL intenzitás csökkenése ugyanazon regenerációs dózis besugárzása mellett, de a TL mérés késleltetési idejének növelésével (OSZ1798 és OSZ1807 minták)

Fig. 12.:

The decrease of TL intensities using the same regeneration doses but inserting a growing time delay between irradiation and TL measurements (samples OSZ1798 and OSZ1807)

A TL korok és a régészeti periodizáció összevetése

A vizsgált 13 téglaminta döntő többsége igazolta a vár régészeti módszerekkel meghatározott periódusainak korát (2. táblázat). Fontos azonban megjegyezni, hogy a különböző építési fázisok pontosabb elkülönítése érdekében érdemes az egyazon periódusokhoz sorolt falszakaszokból több téglaminta eredményét is figyelembe venni (2. ábra), így ugyanis jól kiküszöbölhetők a téglaminták anyagából, valamint esetlegesen a mérésből adódó pontatlanságok, illetve kiugró értékek. Ezt a megközelítést alkalmazva, ahol erre lehetőségünk adódott, a dombói vár öt építési/átépítési periódusába sorolt téglaminták mérési eredményeiből átlagot számítottunk. Két periódusból (a harmadikból és az ötödikből) azonban így is csak 1-1 (OSZ1804 és OSZ1802) mintával rendelkezünk. E két építési fázis korának pontosítása további méréseket igényel.

A vár első építési periódusát a régészeti keltezés a 14. század végére vagy a 15. század elejére teszi. Az ezzel a fázissal összefüggésbe hozható falmaradványok közül a vár nyugati oldalának középtengelyéből, a feltételezett eredeti várkapu közelében levő falszakaszból egy mintát (OSZ1798), a nyugati várfal északi szakaszának keleti falsíkjából (OSZ1892), valamint a déli épületszárny udvari homlokzati falához épített bejárati építmény északi (OSZ1806) és északnyugati falának sarkából (OSZ1807) további egy-egy mintát gyűjtöttünk. Megvizsgálva a kapott korokat, igen szembetűnő, hogy a mintavételezési hely alapján jól elkülönül a déli palotaszárny falából gyűjtött két téglaminta (OSZ1806 és OSZ1807) a nyugati bejárat maradványából (OSZ1798) és a nyugati várfalról (OSZ1892) származóktól. Míg a déli épületszárny falából származó téglaminták közül az OSZ1806 minta

korát 1359-1455 közé, az OSZ1807 mintáét pedig 1485-1533 közötti időszakra, vagyis a 15. század közepére/végére – 16. század elejére kelteztük, addig az OSZ1798 minta kora 1345-1384 közé, az OSZ1892 mintáé pedig 1372-1423 közé, vagyis a 14. század végére tehető. Ezen észrevétel felveti annak a lehetőségét, hogy a déli épületszárny bejárati építménye nem az első periódusban épült, mint ahogy azt a régészeti adatok alapján feltételezték, hanem egy későbbi időszakban, a palotaszárny második periódusú kibővítésébe való utólagos hozzáépítés eredményeként. Meg kell ehelyütt azt is említeni, hogy az épület északi traktusának eddig csak egy részlete lett részlegesen feltárva, ezért számos tisztázatlan kérdés maradt az érintett falmaradványok egymással való viszonyával kapcsolatban, így egyelőre a régészeti keltezésük is csak hipotetikus. Mindennek tudatában a vizsgált négy téglaminta kora nem vonható össze, átlagszámításra csak a fent említett két csoport elkülönítésével van lehetőség. Eszerint a vár első periódusára keltezett két téglamintából (OSZ1798 és OSZ1892) származó, standard hibával megadott átlagos TL kor (637±18 év) naptári évben kifejezve 1365 és 1401 közé helyezi a nyugati falmaradványok építési idejét. Mindeközben a régészetileg 15-16. századra keltezett déli épületszárnyból származó minták (OSZ1806 és OSZ1807) korának átlaga (562±51 év) alapján a déli szárny építési ideje 1407 és 1509 közé tehető.

A második építési periódus régészetileg meghatározott időszaka a 15. század első felére keltezhető. Az ebben az időintervallumban kiépült nyugati kaputorony délkeleti (OSZ1799) és északnyugati (OSZ1800) falából, a déli épületszárny középső pillérének nyugati oldaláról (OSZ1803), a déli palotaszárny hozzáépített traktusának északi falából (OSZ1805), valamint a déli épületszárny keleti oldalának északi pilléréből (OSZ1702) gyűjtöttünk téglamintákat. Ezek közül

három téglaminta (OSZ1800, OSZ1805 és OSZ1702) bizonyult alkalmasnak TL mérésre és átlagolásra. Az OSZ1800 minta kiégetési ideje dátum szerint 1368-1501 közé, míg az OSZ1805 mintáé 1291-1353 közé, az OSZ1702 mintáé pedig 1411-1496 közé tehető a TL vizsgálatok alapján. Összességében a három minta korának átlaga (615 ± 42 év, azaz AD 1363-1447) viszonylag jelentős bizonytalanság mellett ugyan, de összhangot mutat a 15. század eleji, régészeti módszerekkel behatárolt időszakokkal. A fennmaradó két minta (OSZ1799 és OSZ1803) a vártnál jóval idősebb kort eredményezett (2. táblázat).

A vár harmadik periódusához kapcsolható építkezések a régészeti megfigyelések alapján a 15. század közepére datálhatók. Ennek a fázisnak a kormeghatározásához mindössze egy téglaminta állt rendelkezésünkre, amit a déli épületszárny keleti oldalához épített középső pillér keleti oldaláról (OSZ1804) gyűjtöttünk. Ezen minta kora a 15. század közepe utánra tehető (1467-1499), ami viszonylag kis eltérést mutat a régészeti kortól (kb. 20 év), azonban az eredmény megerősítéséhez további téglaminták gyűjtésére van szükség, lehetőleg különböző falszakaszok bevonásával.

A negyedik építési időszakot közvetlenül a 16. század elejére kelteznek az előkerült leletek és egy fennmaradt 17. század végi történeti forrás alapján (Miklós 2007, Boldizsár 2018). E periódus TL kormeghatározása céljából a keleti, külső várfalból (OSZ1704, AD 1538-1587) és a nyugati kaputorony elé emelt elővédmű északi falából (OSZ1801, AD 1461-1516) gyűjtöttünk téglamintákat. A két minta alapján számított átlagos TL kor 492 ± 35 évnek adódott, ami 1493-1562 közé datálja ezt az építési fázist. Figyelembe véve, hogy a fent megjelölt időszak középpontú dátum szerint 1528, míg a források alapján az építés 1520 körülre tehető, a kapott TL kor és a történeti keltezés jó összhangot mutat.

A vár átépítésének utolsó periódusa a régészeti információk alapján a 16-17. századra esik. Ehhez az időszakhoz meglehetősen kisszámú falszakasz/építészeti emlék tartozik, így ez esetben is csupán egy téglaminta alapján tudunk TL kort megadni. E mintát a vár északi oldalának középső faltömbjéből (OSZ 1802) gyűjtöttük, korát pedig a 17. század közepére (AD 1628-1659) kelteztük, ami belesik a régészeti behatárolt időszakba, sőt le is szűkíti azt. Itt is érvényes azonban az a megjegyzés, miszerint több minta vizsgálatával adható meg biztosabban egy periódus kora, azaz ez esetben is hasznos lenne további minták kormeghatározása.

Összegzés

A kutatás során a régészeti leletek és az építészeti párhuzamok alapján keltezett dombói vár öt különböző építési/átépítési periódusának korát

vizsgáltuk TL módszerrel. A mérési bizonytalanság csökkentése végett minden minta esetében térben és időben is súlyoztuk a környezeti dózisteljesítmény értékét a minták helyzetének, illetve a vár lerombolása következtében való esetleges eltemetődésének figyelembevételével. Ez alapján megállapítható, hogy a dózisteljesítmény előtörténet rekonstruálása a vizsgált időszakban akár évtizedekkel is befolyásolhatja a kapott kort, azaz az ilyen irányú megközelítés mindenképp hasznos a hasonló körülmények között gyűjtött minták esetében.

A minták döntő többségének D_e értéke igen alacsony, mindössze 1–2%-os relatív hibával volt jellemezhető, s tekintetbe véve a plató tesztek eredményeit is, elmondható, hogy téglaminták jó tulajdonságokkal bírtak a TL kormeghatározás szempontjából. A földpátokat is tartalmazó polimínalikus minták esetében gyakran problémát okozó spontán fakulás (*anomalous fading*) változatos, de korrekcióra alkalmas értékeket vett fel, és 10–25%-kal növelte a kapott egyenérték dóziseket, s a korokat. A dózisteljesítményt jelentősen befolyásoló α -hatások esetében jelentős eltéréseket találtunk, ami rávilágított e paraméter közvetlen mérésének fontosságára, hiszen amennyiben átlag értékekkel számoltunk volna, ez esetenként akár 25%-os túlbecslést eredményezett volna a TL korokban.

A TL vizsgálatok során kapott koradatok az ötből négy esetben jól összeegyeztethetők a régészeti módszerekkel meghatározott periódusok korával. A vár első időszakára keltezett négy téglaminta közül kettő igazolta a 14. század végére feltételezett legkorábbi periódus építését, a másik két téglaminta korát azonban csaknem egy évszázaddal későbbre datáltuk a TL segítségével. Ez azt jelenti, hogy a déli épületszárny bejáratí építménye nem az első periódusban keletkezhetett, hanem egy későbbi időszakban építhették hozzá a déli palotaszárnyhoz. Összességében elmondhatjuk, hogy a TL mérések által kapott koradatok megerősítették és igazolták, illetve egy esetben módosították a régészeti módszerekkel való keltezés eredményeit. Az egyes periódusokba sorolt téglaminták koradatainak átlagolása jól alkalmazható eljárásnak bizonyult, hiszen ez által részben kiszűrhetők az esetleges kiugró értékek, valamint a környezeti változók okozta hibák.

Két téгла esetében további vizsgálatok szükségesek, mert ezek túl idősnek bizonyultak. Ennek okaként az esetlegesen nem megfelelő égetési hőmérsékletet jelölhetjük meg legvalószínűbben, de ennek igazolása vagy elvetése további archeometriai vizsgálatokat igényel. Mindemellett a kort nagymértékben befolyásoló dózisteljesítmény értékének megbízhatóságát részletes *in situ* nedvességtartalom méréssel lehet tovább növelni a későbbiekben.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnénk főt hajtani Tóth Mária emléke előtt, aki nemcsak e cikk létrejöttét, de a magyarországi lumineszcens mérések archeometriai alkalmazását is nagyban elősegítette. A jelen tanulmányhoz kapcsolódó régészeti kutatás Dombóvár Város Önkormányzata finanszírozásával és a Nemzeti Kulturális Alap Örökségvédelmi Kollégiumának a támogatásával valósult meg. A termolumineszcens mérések az Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal K135793 számú pályázatának támogatásával valósultak meg.

Irodalomjegyzék

AITKEN M. J. (1985): *Thermoluminescence Dating*. Academic Press, London. pp. 153-215.

BAILIFF I. K. (2007): Methodological developments in the luminescence dating of brick from English late-medieval and post-medieval buildings. *Archaeometry* **49/4** 827–851.

BERTA A. (2017): Rövid beszámoló a Dombóvár-Gólyavár területén 2016-ban végzett régészeti kutatásról. *Castrum* **20** 115–122.

BERTA A. (2018): A dombói vár 2015. évi régészeti feltárása. *Wosinsky Mór Megyei Múzeum Évkönyve* **XL** 207–266.

BERTA A. (2020): Rövid beszámoló a Dombóvár-Gólyavár területén 2017 és 2019 között végzett régészeti kutatásról. *Castrum* **23** 97–110.

BLAIN S., GUIBERT P., BOUVIER A., VIEILLEVIGNE E., BECHTEL F., SAPIN C. & BAYLÉ M. (2007): TL-dating applied to building archaeology: The case of the medieval church Notre-Dame-Sous-Terre (Mont-Saint-Michel, France). *Radiation Measurements* **42** 1483–1491.

BLAIN S., GUIBERT P., PRIGENT D., LANOS P., OBERLIN C., SAPIN C., BOUVIER A. & DUFRESNE P. (2011): Combined dating methods applied to building archaeology: The contribution of thermoluminescence to the case of the bell tower of St Martin's Church, Angers (France). *Geochronometria* **38/1** 55–63.

BOLDIZSÁR P. (2018): A dombói vár 2014-2015. évi feltárásainak középkori kályhacsempe leletei. *Wosinsky Mór Megyei Múzeum Évkönyve* **XL** 291–304.

BOVIER A., REYNAUD J-F., GUIBERT P. & SAPIN C. (2014): Luminescence dating applied to Saint-Irénée's church (Lyon, France). *Open Journal of Archaeometry* **2** 28–31.

CHRUŚCIŃSKA A., CICHA A., KIJEK N., PALCZEWSKI P., PRZEGIĘTKA K. R. & SULKOWSKA-TUSZYŃSKA K. (2014): Luminescence dating of bricks from the gothic

Saint James Church in Toruń. *Geochronometria* **41/4** 352–360.

DULLER G. A. T. (2007): Assessing the error on equivalent dose estimates derived from single aliquot regenerative dose measurements. *Ancient TL* **25** 15–23.

ESZES A. (2018): Rövid ismertető a dombói vár területén végzett 2015. évi régészeti feltáráson előkerült téglákról. *Wosinsky Mór Megyei Múzeum Évkönyve* **XL** 267–289.

FEATHERS J. K. (1997): The application of luminescence dating in American archaeology. *Journal of Archaeological Method and Theory* **4/1** 1–66.

GUIBERT P., BAILIFF I. K., BLAIN S., GUELI A. M., MARTINI M., SIBILIA E., STELLA G. & TROJA S. O. (2009): Luminescence dating of architectural ceramics from an early medieval abbey: The St Philbert Intercomparison (Loire Atlantique, France). *Radiation Measurements* **44** 488–493.

KONDOPOULOU D., AIDONA E., IOANNIDIS N., POLYMERIS G. S. & TSOLAKIS S. (2015): Archaeomagnetic study and thermoluminescence dating of Protobyzantine kilns (Megali Kypsa, North Greece). *Journal of Archaeological Science: Reports* **2** 156–168.

MAUZ B., BODE T., MAINZ H., BLANCHARD W., HILGER R., DIKAU R. & ZÖLLER L. (2002): The luminescence dating laboratory at the University of Bonn: equipment and procedures. *Ancient TL* **20** 53–61.

MIKLÓS ZS. (2007): *Tolna megye várai*. Varia Archaeologia Hungarica **XXII**. Budapest, 171–180.

NAKATA Y., TAMAKI M. & HASHIMOTO T. (2007): Red-thermoluminescence dating using quartz grains extracted from a roof-tile of an old Japanese temple. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **272/2** 433–438.

PRESCOTT J. R. & HUTTON J. T. (1994): Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long term variations. *Radiation Measurements* **23** 497–500.

SIPOS GY., KISS T., PÁLL D. G., TÓTH O., SCHUBERT G. & TÓTH M. (2010): Mintagyűjtés, minta-előkészítés, mintavesztés TL kormeghatározás során. *Archeometriai Műhely* **VII/2** 131–136.

SIPOS GY. & PAPP SZ. (2009): Terrakotta műalkotások eredetiségvizsgálata és kormeghatározása termolumineszcens módszerrel.

Szépművészeti Múzeum, Budapest. *Archeometriai Műhely* **VI/1** 61–64.

SIPOS GY., TÓTH O. & BOZSÓ G. (2017): *A Szépművészeti Múzeum Antik Gyűjteményében őrzött, határon lefoglalt kerámiadolok eredetiségvizsgálata TL módszerrel.* In: Interdiszciplinaritás. Archeometriai, régészeti és művészettörténeti tanulmányok. Magyar Nemzeti Múzeum; Szépművészeti Múzeum, Budapest, 253–266.

STELLA G., ALMEIDA L., BASÍLIO L., PASQUALE S., DINIS J., ALMEIDA M. & GUELI A. M. (2018): Historical buildings dating: A multidisciplinary study of the Convento de São Francisco (Coimbra, Portugal). *Geochronometria* **45** 119–129.

STELLA G., FONTANA D., GUELI A. M. & TROJA S. O. (2014): Different approaches to date bricks from historical buildings. *Geochronometria* **41/3** 256–264.

TEMA E., FANTINO F., FERRARA E., GIUDICE A. LO, MORALES J., GOGUITCHAICHVILI A., CAMPS P., BARELLO F. & GULMINI M. (2013): Combined archaeomagnetic and thermoluminescence study of a brick kiln excavated at Fontanetto Po (Vercelli, Northern Italy). *Journal of Archaeological Science* **40** 2025–2035.

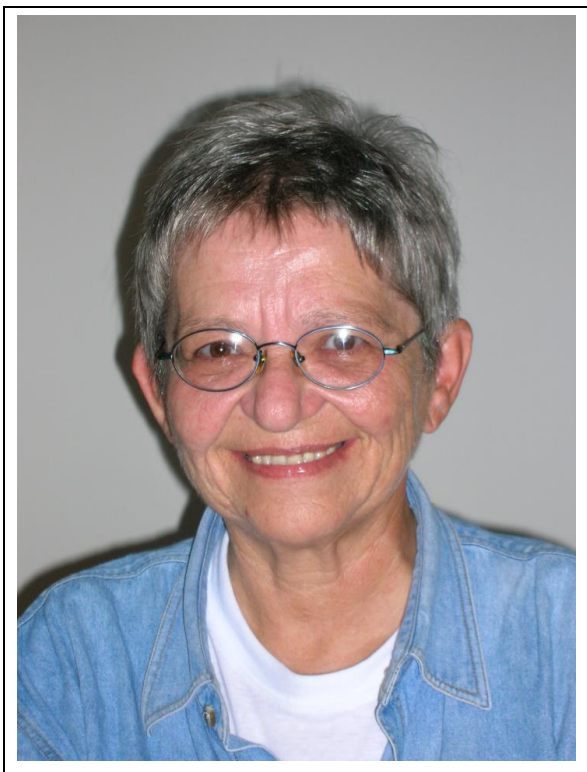
TÓTH O., SIPOS GY. & HAVAS Z. (2014): TL/OSL kormeghatározás tesztelése római kori bélyeges téglákon. *Archeometriai Műhely* **XI/1** 13–26.

WINTLE A. G. (2008): Luminescence dating: where it has been and where it is going. *Boreas* **37** 471–482.

ZIMMERMAN, J. (1971): The radiation-induced increase of the 100°C thermoluminescence sensitivity of fired quartz. *Journal of Physics C Solid State Physics* **4** 3265–3276.

KÖZLEMÉNYEK

*

*In memoriam****Tóth Mária (1946-2021)**

2021. június 19-én, életének 75. évében elhunyt Tóth Mária, „Totyi”. Hirtelen halálával egy sokak által tisztelt és szeretett személyt veszítettünk el, aki a hazai archeometriai, tágabb értelemben a kulturális örökséghez kapcsolódó kutatásokban kiemelkedően fontos, katalizáló szerepet töltött be.

1970-ben szerzett geofizikus diplomát az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Már a végzése előtti félévben elkezdett dolgozni a Magyar Tudományos Akadémia Szádeczky-Kardoss Elemér vezette Geokémiai Kutatólaboratóriumában (MTA GKL, későbbi nevén MTA Geokémiai Kutatóintézet, majd (MTA) Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézet). Két év után a röntgendiffrakciós laboratórium munkatársa, később a vezetője lett, ahol az ásványok – elsősorban az agyagásványok – röntgendiffrakciós elemzésére, szerkezetkutatására specializálódott. A természetes anyagok mellett a mesterséges anyagok (pl. szilícium-karbid, szilícium-nitrid, fulleren) anyagtudományi kutatásában is intenzív szerepet játszott.

Az 1990-es évek elejétől jelen volt a műemlékvédelmi kutatásokban, idővel az Állami

Műemlék helyreállítási és Restaurálási Központ (ÁMRK) tanácsadójaként.anyagismerete és analitikai tudása révén számos műemléki felújítást megelőző művészettörténeti kutatáshoz kapcsolódott, és részt vett a restaurálást előkészítő munkákban. Anyagvizsgálatai hozzájárultak az építőanyagok (építő- és díszítőkövek, festékek, vakolatok-habarcok) készítés technikájának, illetve provenienciájának meghatározásához, a károsodási folyamatok feltárásához. Részt vett többek között a fertődi Esterházy-kastélyhoz, az esztergomi palotakápolnához, a feldebrői, a jáki és az ócsai templomokhoz, a Székesfehérvár Nemzeti Emlékhelyhez, a Budavári Nagyboldogasszony templomhoz kötődő kutatásokban. Egyik társszerzője volt „A jáki apostolszobrok – Die Apostelfiguren von Ják” (szerkesztette: Szentesi Edit – Újvári Péter, Balassi Kiadó, Budapest, 1999) című kötetnek, amely a magyarországi román kori építészet emblematikus alkotásáról, a jáki Szent György templom nyugati kapuját díszítő Krisztusról és apostolszobrokról közölt új művészettörténeti és természettudományos eredményeket.

Idővel fokozatosan áttért a régészeti leletek és a jelentős múzeumi gyűjtemények anyagának kutatására, archeometriai feldolgozására, a kerámia (tégla, mázas kerámia), fém, kőzet, üveg és csont anyagú leletek és műtárgyak, valamint a festmények anyagvizsgálatára. Az ország jelentős múzeumaival – mint a Szépművészeti Múzeum, a Magyar Nemzeti Múzeum, az Iparművészeti Múzeum, a Budapesti Történeti Múzeum – valamint számos régész, művészettörténész, restaurátor és természettudós kollégával állt munkakapcsolatban. Specialitása volt az agyagok hőkezelés hatására történő fázisátalakulásain végzett kutatásaira alapozva a kerámiák röntgendiffrakciós vizsgálata, amely a felhasznált nyersanyag és az égetési körülmények, elsősorban a hőfok meghatározását teszi lehetővé. Szinte minden régészeti korból származó kerámia megfordult a kezei között, az őskortól a kora újkorig, valamint a Zsolnay kerámiáig.

Totyi szívügyének tekintette a tanítást, a fiatalokkal való foglalkozást, mentorálást. Az oktatással elősegítette a régészek és a restaurátorok körében a természettudományos kutatások ismertebbé, elismertebbé és elfogadottabbá válását, a régészeti és művészettörténeti kutatások interdiszciplináris szűkítését, valamint céljának tekintette a restaurátorok korszerű, nemzetközi színvonalú képzését is. Tanított a Szegedi Tudományegyetem földtudományi és régész képzésén, posztgraduális geoarcheológia kurzusán, a Pécsi Tudományegyetem régész és történelem képzésén,

* doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-014-1](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-014-1)

valamint a Magyar Képzőművészeti Egyetem szilikátrestaurátor képzésén. A TDK dolgozatok, szakdolgozatok és diplomamunkák elkészítését az anyagvizsgálatok oldaláról segítette. Számos tanítványa sajátította el tőle az archeometria alapjait, tanulmányainak befejezése után is felkeresve őt tanácsokért, anyagvizsgálati segítségért. Emellett tevékeny szerepet töltött be a múzeumi szakemberek (restaurátorok, művészettörténészek) továbbképzésében: több alkalommal tartott és szervezett előadásokat a Szépművészeti Múzeumban a műtárgyak vizsgálatára alkalmazható módszerekről.

A kutatói létszám bővülése lehetővé tette, hogy a Geokémiai Kutatóintézetben 2007-ben informális Archeometriai Kutatócsoportot alakítsunk, amelynek szellemi vezetője volt. Az ő javaslata nyomán alakult meg az MTA X. (Földtudományok) Osztálya Geokémiai és Ásvány-Közzetani Tudományos Bizottsága keretén belül az Archeometriai Munkabizottság. A munkabizottság az intézetben tartott, általa is szervezett „A geokémiai interpretáció jelentősége az archeometriai kutatásban” című sikeres előadóülésen alakult meg 2008-ban, 2011-től pedig albizottságként működik.

Életének utolsó éveiben is folyamatosan és intenzíven dolgozott. Nemcsak a röntgendiffrakciós felvételeket értékelte ki fáradhatatlanul, két jelentős munkában tanácsadóként is részt vett. 2014 és 2019 között közreműködött a Seuso-kincs teljes körű tudományos feldolgozására alakult Seuso Kutatási Projekt archeometriai alprojektjében. Emellett – a Szépművészeti Múzeum felkérésére – megtervezte a Liget Budapest projekt keretében megvalósult Országos Múzeumi Restaurálási és Raktározási Központ (OMRRK) anyagvizsgálati részlegét, a helyiségek kialakításától a múzeum gyűjteményeinek kutatási igényeit szem előtt tartó műszerparkig, hozzájárulva ezzel a múzeumi

restaurálás és tudományos kutatómunka szemléletváltásához, színvonalának emelkedéséhez.

A Magyar Nemzeti Múzeum tiszteletbeli tagjának számított, 2013-ban a múzeum Széchényi Emlékérmét adományozott számára, amely a múzeum alaptevékenységének ellátásában nyújtott kiemelkedő segítségét ismerte el.

Hetvenedik születésnapjára a Magyar Nemzeti Múzeumban tartott előadóülésen ünnepséggel leptük meg, ahol természettudósok, restaurátorok, régészek, művészettörténészek és ókortörténészek köszöntötték őt. Tisztelői, barátai és tanítványai tanulmányaiból kötet jelent meg *„Interdiszciplinaritás – Archeometriai, régészeti és művészettörténeti tanulmányok”* címmel (szerk.: Ridovics Anna – Bajnóczi Bernadett – Dági Marianna – Lővei Pál, Magyar Nemzeti Múzeum–Szépművészeti Múzeum, Budapest, 2017).

A tiszteletkötet mottójának *„Szeresd a magad kis mesteriségét, amibe beletanultál, és találd benne kedvedet”* idézetet választottuk Marcus Aurelius *Elmélkedések* című művéből. Nem véletlenül, hiszen ez az idézet volt Totyi kedvence. Mindig úgy alakította a munkáit, hogy élvezettel végezhesse azokat. Ahogy nagy élvezettel merült el a kultúra különböző területeiben is.

Totyival fiatalos, nyitott, energiával teli, rendkívüli munkabírású kollégát veszítettünk el. Nagyon fog hiányozni.

2017-ig megjelent archeometriai tárgyú publikációi megtalálhatók az *Interdiszciplinaritás* kötetben, amelyeket kiegészítettünk az azóta megjelent írásokkal. ([ld. melléklet](#))

Bajnóczi Bernadett

CSFK Földtani és Geokémiai Intézet

Obszidián konferencia a COVID árnyékában*

2021. április 30-május 2.



Amikor elvállaltuk a 2019-es obszidián konferencia szervezését, (IOC-2019, Biró & Markó 2019, http://www.ace.hu/am/2019_2/AM-2019-2-kozl.pdf), nem tudtuk, milyen szerencsénk volt, hogy mindössze a síneket szedték fel a Sárospatak felé tartó vasút vonalában. Azóta sajnos számos rendezvényt, találkozót kellett elhalasztani vagy a személytelen on-line térbe száműzni, és akkor az ennél fájóbb veszteségekről szót sem ejtettünk.

2021-re egy kicsit hozzácsokolt a világ az új módihoz, hiszen iskolába és orvoshoz is hálózaton (zoom-on, teams-ben stb.) jártunk. Ennek egyik hozománya, hogy a 2021-ben előjegyzett kaliforniai obszidián konferencia is on-line részvétellel, személyes találkozások és kirándulás nélkül került megrendezésre.

A konferencia szervezői Kyle Freund, Lucas R. M. Johnson, Lisa Maher, Tom Origer és Nicholas Tripevich voltak, a Far Western Anthropological Research Group és a University of California Berkeley, Archaeological Research Facility képviselőiben.

A konferencián 78 fő vett részt és összesen 36 szóbeli előadás és 11 poszter bemutató valósult meg.

Elérhetőség:

<http://arf.berkeley.edu/projects/ioc2021>

A konferencia főbb témakörei az alábbiak voltak:

- Obszidián eredet meghatározási tanulmányok a régészetben (*Obsidian Sourcing Studies in Archaeology*)

Ezt a szekciót területi bontásban rendezték meg: Dél-Amerika, Közép-Amerika, Észak-Amerika, majd Európa és Ázsia (együtt).

- Anyagvizsgálati módszerek (*Analytical Methods*)

A vizsgálati módszerek között az obszidián korának mérésére alkalmas módszerek (Cl/Na₂O) index, obszidián hidrációs vizsgálatok, a vizsgálati eredmények statisztikus értékelése, XRF és LA-ICP-MS vizsgálatok szerepeltek.

- Kőeszköz vizsgálati és technológiai szempontok (*Lithic and Technological Concerns*)

Ebben a rövid szekcióban obszidián ékszerek és obszidián hegyek előállításának technológiai kérdései kerültek szóba.

- Elméleti és kulturális szempontok (*Theoretical and Cultural Concerns*)

A szekció részben az adatarchiválás, digitalizálás, megőrzés és hozzáférés kérdéseivel foglalkozott. Ugyanitt az értékviszonyok, a származási hely vizsgálatok segítségével támogatott betelepülési (kolonizációs) folyamatokról is tartottak előadást.

Az előadások mellett szintén on-line megrendezett poszter szekciók is voltak. A bemutatott posztereket és az előadások anyagát az International Association for Obsidian Studies honlapján, illetve a konferencia honlapján keresztül (<http://arf.berkeley.edu/projects/ioc2021>) hozzáférhetővé tették.

Magyar részvétel és magyarországi leletanyagokat érintő előadások a konferencián

A konferencia programjában két magyar előadás és további négy, magyarországi, illetve Kárpát-medencei anyagot érintő közlemény szerepelt.

A regionális eredet-meghatározási szekcióban T. Biró Katalin tartott összefoglaló előadást "A Timeline for the Utilization of the Carpathian Obsidian Sources" címmel. Az elméleti szekcióban hangzott el Szilágyi Kata előadása, aki a kőeszközök eltérő értékeinek (gazdasági, társadalmi és rituális) azonosítási lehetőségeit mutatta be az obszidián eszközök példáján ("Depositional Pattern of Obsidian Artefacts: Understanding the Diverse Value Concepts in the Neolithic Carpathian Basin"). Magyarországi lelőhely anyagáról számolt be Elisabetta Starnini és munkatársai Hódmezővásárhely-Gorzsa lelőhely obszidiánjairól bemutatott előadása ("Obsidian Artefacts from Tell Hódmezővásárhely-Gorzsa (SE Hungary): Preliminary Results of a Provenance Study using

* doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-014-2](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-014-2)

pXRF). További, a Kárpáti obszidiánokat érintő előadások: Dagmara H. Werra, Richard E. Hughes, Marcin Szeliga, “*Geochemical and Technological Characterization of Obsidian Artefacts from the Neolithic Site of Opatów in Southeast Poland*” és poszterek: Péter Rózsa, Árpád Csámer, Sándor Tóth, Zita Szikszai, Zsófia Kertész, Ákos Csepregi, Sándor Gönczy, Béla Rácz, “*Provenance Study of Silicic Stone Tools from Hajdúság (E Hungary) by Using PIXE and PIGE Techniques*” és Milan Kohút, Adrián Biroň, František Hrouda, Tomáš Mikuš, Stanislava Milovská, Juraj Šurka, “*The Carpathian Obsidian – Differences between C1, C2, and C3 Types*”. A konferenciát Akira Ono zárta, aki bejelentette a következő (2023-as) obszidián konferencia helyszínét (Engaru, Hokkaido/Japán).

Az előadások és poszterek jelentős részét a szervezők megjelentetik, az előadások azonban már most is megtekinthetők a youtube videomegosztó portálon (az Archaeological Research Facility, UC Berkeley csatornáján).

Lásd:

1. nap:

https://www.youtube.com/watch?v=Wjv7wAP-Y3U&ab_channel=ArchaeologicalResearchFacility%2CUCBerkeley

2. nap:

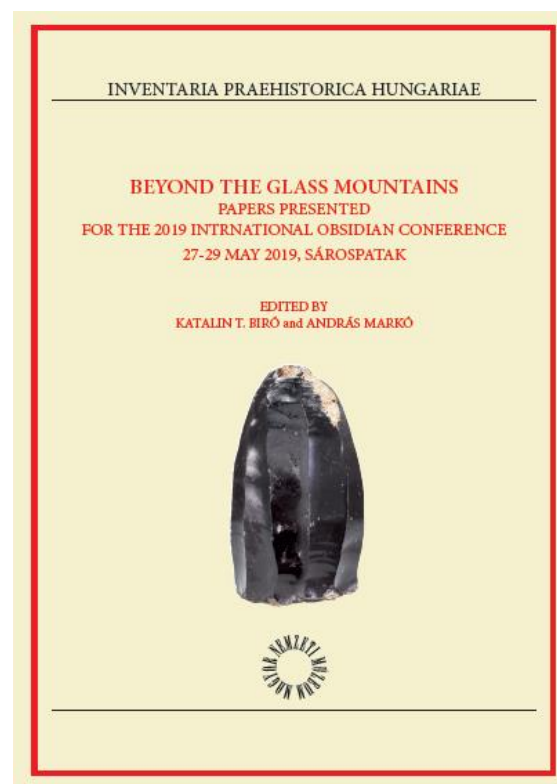
https://www.youtube.com/watch?v=JZ4PpTP9KvA&ab_channel=ArchaeologicalResearchFacility%2CUCBerkeley

3. nap:

https://www.youtube.com/watch?v=a4wlY0_qtw4&t=9347s&ab_channel=ArchaeologicalResearchFacility%2CUCBerkeley

Nagy örömmünkre szolgált, hogy a konferencián már beszámolhattunk a 2019-es, sárospataki obszidián (IOC) konferencia anyagát tartalmazó tanulmánykötetről, amely mostanára nyomtatásban és elektronikus úton is hozzáférhető a Magyar Nemzeti Múzeum kiadványai közt, mint az IPH (*Inventaria Praehistorica Hungariae*) sorozat legújabb, XIV. kötete (<https://mnm.hu/hu/publication-issue/beyond-glass-mountains> / <https://mnm.hu/en/publication-issue/beyond-glass-mountains-1>).

T. Biró Katalin
Magyar Nemzeti Múzeum



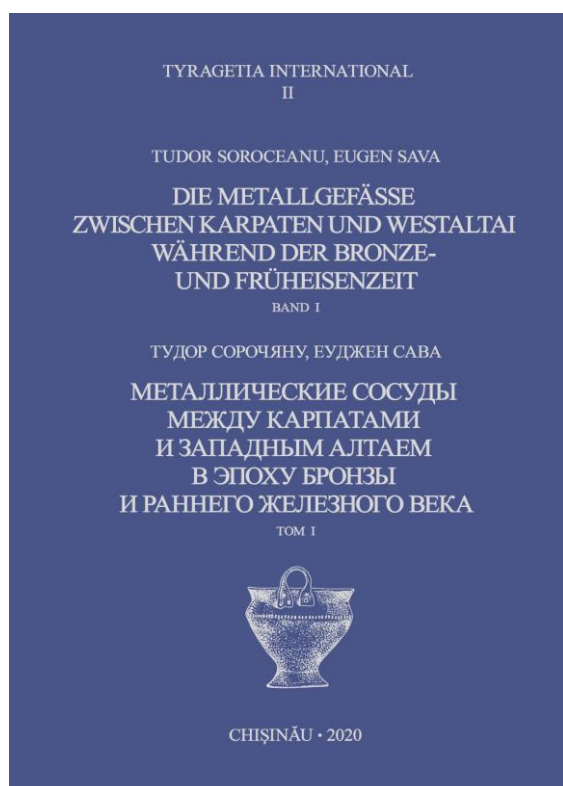
Könyvismertetés*

Tudor Soroceanu – Eugen Sava: Bronz- és kora vaskori fémedények a Kárpátok és a Nyugat-Altaj között.

Tudor Soroceanu-Eugen Sava: Die Metallgefäße zwischen Karpaten und Westaltai während der Bronze- und Früheisenzeit.

Тудор Сорочяну-Еуджен Сава: Металлические сосуды между Карпатами и Западным Алтаем в эпоху бронзы и раннего железного века.

I-II. Kötet. Chişinău 2020. (Tyragetia International, ISBN 978-9975-87-101-3; 2). – ISBN 978-9975-87-728-2. I. 569 p., 232+31 ábra, 5 táblázat; II. 309 p., 60 ábra.



Moldova fővárosában röviddel ezelőtt egy széles spektrumú könyv jelent meg, és a széles szó mind a tér-, mind az időbeli viszonyokra értendő. Két régész, Tudor Soroceanu (Berlin) és Eugen Sava (Chişinău) két vaskos kötetben gyűjtötte össze azon késő bronzkori, kora vaskori fémedényeket és -töredéket (többnyire bronz, néha réz, ritkábban arany), amelyek a Kárpátoktól a kazah steppéig, valamint a Kaukázus lábaitól a steppe és erdős steppe határáig terjedő területről kerültek napvilágra. Természetesen leírták a velük együtt előkerült egyéb leleteket is. A szerzők számára minta volt a többnyire német nyelvű PBF-sorozat

(Prähistorische Bronzefunde), azonban nagyon okosan a kétnyelvű formát választották, mivel a vizsgált terület lakóinak többsége érti az orosz nyelvet. Azt, hogy ez a döntés mennyire helyes volt, mi sem mutatja jobban, mint az, hogy az általuk idézett művek többségét cirill betűkkel nyomtatták.

Már a bevezetőből is nyilvánvaló, hogy a szegecselt üstök állnak a kutatás középpontjában, és rögtön az első sorokban megtaláljuk az orosz terminus technicust is, latin betűkkel, „kljopanye kotly”. Ez a jelenség uralja a teljes szöveget, a második kötet végéig, olykor ebben a formában: „kljopannye kotly”.

A főkatalógus 86 bejegyzést tartalmaz a réz- és a bronzedényekre, és hármat az aranyakra, a lelőhelyek nevei a német ábécé sorrendjében szerepelnek. A főkatalógushoz még egy kiegészítő felsorolás is csatlakozik, 16 lelőhely adataival. Ezután kapunk egy listát, vázlatos rajzokkal, hasonló, Elő-Ázsiában és Európa középső és nyugati részén előkerült leletekről. Ennek célja, hogy „könnyebb legyen a fontosabb és gyakrabban idézett analógiák áttekintése”. Itt olyan lelőhelyeket említenek, amelyek nevére lépten-nyomon rábukkannak a szakirodalomban a késő bronzkor kutatói: pl. Ballyshannon, Feltwell (Nagy-Britannia); Tli (Grúzia); Mykenai, Tylissos (Görögország); Ur (Irak); Sümeg, Tiszanagyfalu (Magyarország). Különösen pompás darabok szerepelnek az „Új leletek Ukrajnából és Kazahsztánból” c. fejezetben, a 106–127. szám alatt, ezek sajnos illegális ásatásokból származnak, így a lelet-körülményeik ismeretlenek.

Az első kötet utolsó lapjait fémek kémiai elemzési eredményeit összefoglaló táblázatoknak tartották fenn. Az adatok többsége ukrán szerzők könyvéből származik: T. Ю. Гошко – С. А. Агапов – В. В. Отрощенко: Металеві казани з великого степу за доби пізньої бронзи (Kiev, 2018). Steffen Kraus kutatási eredményeit is gyakran idézik, aki a második kötetben önálló fejezetet kapott.

A második kötet bevezetője még kétnyelvű, azaz egymás mellett áll a német és az orosz nyelvű hasáb, éppúgy, mint ahogyan az első kötetben történt. A szövegből viszont kiviláglik, hogy alább ennek a módszernek „a szükséges finanszírozás hiánya” miatt nem lesz folytatása. A német nyelvű rész olyannak maradhatott, amilyenek eredetileg tervezték, miközben az orosz nyelvű változat sokkal rövidebb lett. Különös hangsúlyt kap, hogy ezen a hatalmas területen, az Európa nyugatabbi területeihez képest a lelőhelyek száma nagyon kicsi: „... a mi óriási kutatási területünkön az összes fémedény kb. 5%-át teszi ki a fémedény-felfedezéseknek a földrész egyéb részén, amely körülbelül kétszeres nagyságnak felel meg.”

* doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-014-3.hu](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-014-3.hu)

A kötet ezt követő részei annyira szerteágazóak, hogy ezek alapos tárgyalása szétfeszítené egy kicsiny könyvismertetés kereteit. Annak érdekében, hogy legalább röviden szemléltethessük – véleményünk szerint – a két szerzőnek mely megállapításai, véleményei, gondolatmenetei, hipotézisei, stb. érdemelnek leginkább figyelmet, célszerűnek látszik, hogy két didaktikus kérdést felállítsunk, és erre történő válaszokként csoportosítsuk Soroceanu és Sava megállapításainak, véleményeinek, gondolatmeneteinek, hipotéziseinek, stb. esszenciáját.

1. kérdés: Hogyan és mikor készítették a szegecselt üstöket?

Ebből a szemponttól különösen gondolatgazdag a következő fejezet: „A fémmedények és díszítéseiknek az előállításáról és a javításaik módjáról”. Részletesen tárgyalják a készítés során használt eszközöket, elvileg három csoportra osztják őket: aktív (kalapács, véső, pontozó, poncoló, fűrész), passzív (üllő, öntőformák, agyag fúvócsövek), közvetett „szerszámok” (körző, segédeszközként csiszoló anyagok, szurok, viasz). Az esetek többségében ezek nem valóságos leletek, sokkal inkább a használatuk nyoma figyelhető meg az edényeken. A lehetséges munkafolyamatokat néprajzi fényképekkel és az ókorból származó ábrázolásokkal szemléltetik. A tipológiának szentelt fejezet a második kötet harmadát teszi ki. A szerzők mindenekelőtt áttekintést adnak az eddigi kutatások eredményeiről, a különböző kutatók típusábráival és az elterjedési területet mutató térképekkel. Ezt követően részletes, hagyományos osztályozást kapunk a különböző edényrészekről (fül, perem, nyak, alj és talp), azonban a még ezután következő „felépítési tipológia” az igazán informatív, felállítottak ugyanis hat kategóriát. Az elsőbe tartoznak az egy részből álló üstök, talppal vagy anélkül. A következő négyet a vízszintes lemezcsíkok elhelyezkedése és ezek különféle szegecselése határozzák meg. A hatodikra inkább a függőlegesen húzódó szegecselések a jellemzők. „A munkaterületünkön az első, szegecselt üstök kétségtelenül a Majkop kultúrához köthetők (a Kr. e. 4. és 3. évezred fordulója), ehhez fokozatosan jönnek hatások a Közel-Keletről (a Kr. e. 3. évezred folyamán).” Ezt az állítást illusztrálja egy vázlatos, de meggyőző, rajzos kompozíció (246. ábra).

2. kérdés: Hogyan és milyen körülmények között kerültek a szegecselt üstök a földbe, véletlenül vagy tudatos, ill. (spi)rituális cselekedet révén?

A választ a „Leletkontextusok, leletkörülmények, lelőhelyek” fejezetből remélhetjük. A szerzők a következőképpen csoportosítják a lelőhelyek neveit: egy darabos leletek, több darabos depóleletek, sírleletek, telepleletek. Ebből a szempontból lehet jelentősége a fémmedény

helyzetének, attól függően, hogy milyen pozícióban találták meg: oldalra billenve, eldőlve, „normál módon, egyenesen állóan deponált fémmedény, behelyezett tárgyakkal vagy körülötte különleges pozícióban...”. A kör alakzatban talált edényeket bizonyára nem véletlenül helyezték így el, hanem – éppen úgy, mint a balták és a csákányok esetében – az adott közösség szigorú szabályai szerint. A deponált edények számának is lehet rituális jelentősége. „Ezeknek a nyomoknak a vizsgálata és rendszerezése messzemenően rituális cselekményekre utal, ezáltal jobban elkülöníthetjük a fémmedények leletkategóriáját a mindennapok világától, mint az egyéb leletfajták esetében.” Tudor Soroceanu évtizedeken át úttörő munkát végzett a késő bronzkori deponálási szokások kutatásának terén, az ő gazdag tapasztalatai nagyon hasznosak voltak a Kelet-Európa/Nyugat-Azsia bizonyos területein gyér számban talált leletek értékelésekor.

Az utolsó, „Conclusio” címet viselő fejezet egy kicsit részletesebben tárgyalja a Kárpátok vidékével való érintkezéseket, pl.: „A katalógus által felölelt edények száma mintegy 225-re rúg, ennek kb. a negyede közép-európai forma, amelyek többségében egy kicsiny térségben, a Dnyeszter felső folyásánál, közvetlenül a Kárpátoktól keletre otthonosak.”

Függeléként illeszkedik a műbe Steffen Kraus értekezése „Archeometallurgiai vizsgálatok késő bronzkori fémmedényeken” címmel. Az alapot ehhez 3 moldovai lelőhelyről származó, összesen 4 edény szolgáltatta, valamint még egy Oroszország területéről. A mintavételek az edények különböző részein történtek: a fülön, a peremen, a középső részen, a hason, az aljon vagy a talpon. „A vizsgálatokat a manheimi Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH-ban végezték,

Thermo Scientific (ARL Quant’X) típusú energiadiszipatív, röntgenfluoreszcens készülékkel. A minták gerjesztése itt ródiium anódos röntgensóval történik, a detektálás Peltier-hűtéses, lítiummal adalékolt szilícium detektorral, a Lutz-Pernicka által 1996-ban leírt, azóta kissé módosított eljárással”, azaz ED-XRF-módszerrel. A szerző a további gondolatmenetébe bevont kb. 40 edényből származó, további, több mint 150 vizsgálatot, amelyek az első kötet II. függelékében, táblázatokban szerepelnek, és amelyeket „hat ország különböző laboratóriumaiban végeztek”. E bázist alapul véve megkísérli az idők során bekövetkezett változásokat követni, azaz hogyan alakult a különböző elemek százalékos aránya az egymást követő kultúrák fémmedényeiben. A legkorábbi három üst a Majkop kultúra (kb. Kr. e. 3700-3000) egyik sírjából származik, ezeket magas arzén tartalmú, nem ötvözött rézből készítették. Az utána következő, Andronovo-kori üst (Kr. e. 3. évezred vége/2. eleje) ugyancsak tiszta rézből van.

Türkmenisztánbeli, egyidős leletek azonban arról tanúskodnak, „hogyan ott az edénykészítéshez az arany és az ezüst mellett különböző rézötvözeteket is használtak”. A következő időszakra tett megállapítás szerint: ... „az ónbronzzal való felhasználása fémmedények előállításához a Szabatinovka kultúrában (Kr. e. 1700-1250) is széles körben elterjedt” volt. Bizonyos vidékeken a fémmedényekhez még sokáig „túlnyomórészt ötvözetlen rézet használtak, természetes nyomelemekkel”. Ennek egyik lehetséges magyarázata: „Az ón nem mindenütt volt egyformán hozzáférhető.”

Mind a két kötet végén található román nyelven egy-egy rövid rezümé, illetve egy-egy jegyzék az ábrákról.

Valószínűleg nem tévedünk, amikor azt állítjuk, hogy ez a mű Kelet- és Közép-Európában egyfajta kézikönyvként szolgál majd a késő bronzkor/kora vaskor kutatói számára. A könyvismertetések végén található rendszerint a kritikai észrevételek, ide csak egyetlen kiváncsok, de nem a régészek, hanem a germanisták. A német helyesírási reform után, 1998-tól ugyanis számúzták a korábbi „daß” kötőszót, és azóta a „dass” formulát használják szabály szerint. Ez az egyetlen ellentmondás, amely végigvonul (kivéve a Steffen Kraus-féle függelék) mind a két kötetben: egy nagyon fontos könyv, egészen új kutatási eredményekkel, azonban a nyelvi forma kissé régimódi.

Szabó János József
Szentés
co4711@gmail.com

(A fenti könyvismertetés német nyelvű teljes szövege [itt \(kozl-2021-2-SzJJ-ger.pdf\)](#) olvasható)

Könyvismertetés*

Környezettörténet

Tanulmányok Sümegi Pál professzor 60 éves születésnapjára

Szerkesztők: Töröcsik Tünde, Gulyás Sándor, Molnár Dávid, Náfrádi Katalin

GeoLittera Szeged, 2020.

Töretlen lendület + lelkes érdeklődés + nem pihenő munkakedv + iskola-teremtő aktivitás = Sümegi Pál 60 éves.



Tanítványai, munkatársai, a társtudományok képviselői egy gondosan szerkesztett, szép kiállítású tanulmány gyűjteménnyel köszöntik.

Az 575 oldalas könyv fejezetei:

Sümegi Pál önvallomása (tudományos életrajz)

a gratulálók névsora, a tudományos közlemények listája: 1781. (!) nyomtatott oldal, szakdolgozat- és PhD témavezetés 83113. oldal.

Majd a szakmai dolgozatok sora: 81 szerző 59 tanulmánya.

Külön köszönet a szerkesztők munkájáért.

* doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-014-4](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-014-4)

Sümei Pál és a szegedi stáb szorosan együttműködve a hazai és külföldi társintézmények szakértőivel, szinte minden lelőhelyen megtalálja azt az új adatot, jelenséget, ami beilleszthető a környezettörténet eseményeinek sorába.

A fizikai-kémiai változások kutatásához, hajdani életfeltételek rekonstruálásához a természettudományok csaknem teljes spektruma rendelkezésre áll.

Ezt a munkát az ember megjelenése utáni lelőhelyeken „súlyos zaj terheli, a korabeli emberi hatás” (K.D. Thomast idézi Bartosiewicz 148. o.) Bár az emberi tevékenység, akár tudatos, akár nem, valóban megbolygatja az evolúció természetes folyamatát, magam Homo-párti vagyok: az ember jelenléte immár több százezer éve megkerülhetetlen.

Az adott térség népességének életmódját, gazdálkodásának körülményeit, irányát befolyásoló tényezők által létrejött vagy létrehozott változások maga a környezettörténet. A *terminus technicus* új, kifejező megnevezése annak a tudományos szemléletnek, ami volt már inter- és multidiszciplina, részben újrégészet, a frazeológia változik, s a kutatási terület és módszer bővül a természettudományok javára egyre tovább.

Az 59 tanulmány ismertetése meghaladja egy recenzió kereteit.

A tanulmányok – kissé foghíjasan felölelik a teljes spektrumot: a paleolitikumtól Szulejmán türbéjéig.

Az adottságok nem egységesek. Hol sok, hol kevés az adat, de a törekvés minden esetben a kötet címében megfogalmazott cél megközelítése/elérése.

Régészeti szempontból vannak „egy kultúrás” lelőhelyek, a gigaberuházásokat megelőző feltárások szükségszerűen felérnek a kiadós régészeti/anyagismereti kurzussal. Vannak baráti köszöntések, méltatások, nosztalgikus emlékezések a Sümei Pállal végzett közös munkákról (Tóth Cs. 127-128.o., Vicze, M. 571-575.o.),

A dolgozatok zöme a hagyományos, igényes tudományos munka, precíz helymeghatározás, pontos mintavétel, megalapozott eredmények, környezettörténet kisebb-nagyobb szelete, tudományos közlemények.

Egy szűkebb területen, Ny-Dunántúlon végzett munka eredményeiről számol be, s egyúttal hiányolja az ígéretes indulás folytatását, Ilon G. (107-113.o.).

Két dolgozat (Gulyás S. munkája az antarktisi üledékekről és egy öt fős csapat: négy kínai és egy angol kutató dolgozatának eredményei a MIS 15-13 időszak kelet-ázsiai kedvező klíma viszonyainak a hominizációra gyakorolt hatásáról) eredményei

egyelőre még nem hasznosíthatók a Kárpát-medencében.

A személyes gratuláción túl Dr. Szónokiné Dr. Ancsin G. a társadalomföldrajz (481-491.o.), Szónoky M. a művészettörténet és környezettörténet kapcsolatát elemzi (473-481.o.)

Tímár G. Poirrot felügyelőt (!) is meghívja a tiszai síkság felszínfejlődésének tanulmányozására (507-515.o.).

A lehetőségek kihasználásának, a kutatási eredmények hasznosításának kitűnő példája a Knipli I. Sümei P. által jegyzett dolgozat. A Kiskunsági Homokhátság és a Kalocsai Sárköz találkozásának etnikai sokszínűsége a neolitikumtól a későközépkori falvakig követhető.

Neolitikum a témája a NASKA projektnek (143-146.o.): a növénytermesztést (pollenanalízis) tanulmányozták a csárdaszállási neolitik lelőhelyen.

Egy hét szerzős tanulmány a kétegyházi Török-halmok morfológiájának és a vegetáció változásának kutatásáról számol be (153-165.o.).

Érdekes régészeti megfigyelés, további kutatás kiinduló pontja lehet a Cegléd 4/4 lelőhely, ahol a rézkori-kora bronzkori népek egymás mellett élése bizonyított (Patay R. 365-374.o.).

Bocsánatos elfogultság, de nagyobb érdeklődéssel a régészeti vonatkozású dolgozatokat olvastam.

Ilyen pl. Csorna-Lórét rézkori, bronzkori, avar kori, Árpád-kori jelenségei, Pesti K. dolgozata (381-389.o.); Rákóczi-falva Bagi és Rokkant földek 13 régészeti kultúra leletei, R. Tugya B. dolgozata (543-549.o.). Somogyvári Á. (441-447.o.) írásában egy tervezett út nyomvonalának 10 km-nyi szakaszán a neolitikumtól a késő avarokig minden régészeti kor képviselve van. Felérnek egy minőségi anyagismeret kurzussal.

A bronzkor: kurgán kurgán hátán: Ecse-halom, Karcag, a Kalocsai Sárköz ideális helyszín a megtelepedésre, Kunmadaras között, a kétegyházi két Török-halom, Kaszaper, Végegyháza Zsibrik domb.

Lehet, hogy csak a témában járatlan recenzensnek tűnt fel, de a régészeti lelőhelyek számához képest a halmok kissé túltengenek. Hiába, nem lehet ellenállni a több méteres profilok szépségének és a tömördek elemezni valóknak.

A halmok építése átrendezi a tágabb környezet természetes sztratigráfiáját, sok jó emberi munkával méltó, és máig fennmaradó sírt építenek. A jelen kutatások „...nem csupán a kurgánok építésének eddig feltáratlan mozzanataiba adnak betekintést, ... de tényanyaggal is szolgálnak a ... táji struktúrák élőhelyek fejlődéséről” (Deák B., 183.o.).

A római kort Keszthely-Fenekpuszta képviseli. A pollen vizsgálatok eredményeképpen bebizonyosodott, hogy a kert- és szántóföldi kultúra kelta gyökerű. Sümegi P. leleménye a szubmediterrán triád: vagyis a mezőgazdaságban vezet a búza, dió és a szőlő. (Gyulai F. dolgozata)

Egy kis lazulásképpen Makó-Mikócsa halmon koraavar temetőt tárt fel Balogh Cs. (129-142.o.).

A végére marad, a paleolitikum.

A hazai őskőkor kutatás gyermekkorában, a huszadik század legelején megfelelő „koros” szakember hiányában a természettudományok szakértőire bízta a kutatást (elvégre barlang az is, legalább kezdetben). A szakma nagy hasznára a paleolit kutatás természettudományos szemlélettel indult, s ez ma sem változik. Elég csak a közelmúlt nagy monográfiáit (Érd, Gáboriné Csánk Veronika ásatása és Vértesszőlős, Vértés László ásatása) említeni.

Őskőkori témában alig jelenik meg cikk a megfelelő természettudományos támogatás, megerősítés nélkül. A kutatástörténetben az őskőkor mégsem szerepel a kellő súllyal.

F. Lehmkuhl, J. Böskén és Ch. Zeeden (239-245.o.) Bodrogkeresztúr és Ságvár régészeti lelőhelyek geoarcheológiai vizsgálatának eredményeit elemzik. Bodrogkeresztúron (hol?) egy, Ságváron két (1,3 és 2.6 méteres) szelvényben régészeti leleteket nem találtak. A komplex értékelés szerint az észak-magyarországi dombvidék viszonylag enyhe, kedvező klímája (és következményeként a gyér fás vegetáció) a magyarázat a lelőhelyek sűrűségére. A végkövetkeztetés meglepő: „...it was demonstrated that later Upper Palaeolithic occupation at Ságvár in the central parts of Carpathian Basin took place a „typical” cold and dry LGM phase” (244.o.).

Ha a ságvári, merőlegesen beásott, elszenesedett cölöpök átmérőjére gondolok, inkább Gábori-Csánk Verának hiszek. Ő ismerte föl, gyűjtötte össze a bizonyítékokat és publikálta a Ságvár-Lascaux interstadiálist: Une oscillation climatique a la fin du Würm en Hongrie. Acta Arch Hung 43 1978 3-117.

Bodrogkeresztúr-Kopaszhegy (Makó, L., Molnár, D., Sümegi P., 259-166.o.) kormeghatározásának módszereiben sajnos, nem vagyok jártas. A szigorú és szűkszavú tanulmány következtéseiből két megállapítás volt számomra fontos:

1. Bár további vizsgálatok szükségesek, a Bodrogkeresztúr-Henye régészeti lelőhely kora a tűrészhatáron belül illeszkedik a Kopaszhegy üledék kronológiájába. Sümegi P mintavétele Henyén 55 cm mélyről a korábbi eredménynél némileg idősebb: 30 376 ± 715 cal. BP és (a lelőhelyhez közeli szelvényből nyert adat) 29 500 ± 2 200, eredményre jutott (263.o.). A környező

talajszelvényekben a Tokaji Felső Fosszilis faszenes paleotalaj „a Gravetti kultúra életjeleit” tartalmazta (264.o.).

Szeged-Óthalom (Molnár D.Makó L.Sümegi P. (273-280.o.) esetében a szerzők éltek a lehetőséggel, amit a Duna-Tisza-közi alluviális hordalékkúp és a Tisza ártéri síkjának határán fekvő lelőhely kínált. A topográfiaileg kiemelt helyzete „ideális telephely lehetett” (278.o.). A két eolikus, és infúziós szelvény grafikonjai hasonló trendeket mutatnak. Az újabb, kalibrált radiokarbon koradatok alapján a Kárpát-medence déli területének paleolit telepei (Ságvár, Madaras, SzegedÓthalom) a késő Epigtavetti települési hullám legfiatalabb telepei.

Tóth Z. H. tanulmánya (523-534.o.) alapos áttekintés az adott időszak felső paleolit kultúráinak környezetéről, megjelent eredmények jelentőségéről. Örömmel tapasztaltam, hogy a korszak hármastagolását elfogadják. Az, hogy alsó-, felső-, késői: kronológia. Higgyük el, hogy objektív. Hogy epi-e vagy nem – szigorúan ragaszkodva az „epi”-hez: „valami mellett, fölött, körülötte” (Idegen szavak szótára, 175.o.)? Most már csak azt kellene tudni, hogy mi volt mellette. A késői-vel nem hibázhatunk nagyot. Nomenklatura kérdése: attól függ, hogy a régészeti lelőhely melyik karakterét tekintik döntőnek/meghatározónak, ki melyik kapcsolatot tudja beilleszteni az európai események sorába.

Közeli érintettként életem felét a gravettiek társaságában töltöttem engedtessek meg néhány kérdés/megjegyzés a szerzőhöz. Érdekelne, milyen terepi tapasztalatok után szűrte le az alábbi lesújtó következtetést:

„... egyes lelőhelyek kormeghatározása régészetileg valószínűleg nem releváns, az emberi településhez nem köthető rétegekből származó faszén-, vagy csont minták alapján történt...” (524.o.). Hadd maradjak meg naiv hitemben: a régészek betartják a játékszabályokat, s néhány innen-onnan összevakart minta kedvéért nem kockáztatják hosszas és aprólékos munkával feltárt lelőhelyük hitelességét. Miért is tennék?

„Magyarország területén még a legzordabb időszakban is maradtak erdők, az akkori emberek nem csak állati eredetű tüzelőanyagokat /friss zsíros csont, száraz ürülék) hanem fát is használhattak” (526.o.).

Csontból rakott tűzhely tudtommal csak Vértesszőlős alsópaleolit lelőhelyen került elő (mediterrán flórával: *Juglans*, *Syringa*). Milyen bizonyítéka maradhat az (esetleges) trágyával tüzelésnek? Ha ismereteim hiányosak, elnézést. Akár a nem releváns datálás, akár a csonttűzhelyek léte vagy nem léte nagy horderejű kérdések. Javaslom, hogy a lehetőségek határain belül pontos

adatokkal erősítse meg, egyúttal hitelesítse mondanivalóját.

A Kárpátokon túlról, több száz kilométer távolságból származó nyersanyagok eredetét, hazai előfordulását adatolni kell. A szerző szerint Bodrogkeresztúr és Arka az északról, például a Vág völgyén át bevándorolt késő gravetti vadászok, első állomásai lehettek (525 o.).

Bodrogkeresztúrt és Arkát egy települési hullámba sorolni több okból (legalább is) megfontolandó:

- a legszkeptikusabb kronológia szerint a két települést több ezer év, mondhatni geológiai léptékű időszak (és megszámlálhatatlan generáció!), választja el egymástól

- a fiatalabb Arka-Herzсарéten ismereteink szerint a korlátlan mennyiségű (ma is mázsaszám gyűjthető) nyersanyag volt a vonzerő, két alkalommal is

- az idősebb Bodrogkeresztúron a változatos biotóp: Zemplén ellaposodó dombjai, a Tisza-Bodrog vízi és a Takta lapály alföldi miliője eredményes vadászatokkal kecsegtet (Vörös I. több nagyvad zsákmány maradványait azonosította).

Három új *terminus technicus*-sal is ismerkedhetünk:

1. életjelek (Makó L., Molnár, D. Sümegi P., 264.o.) = A (szokatlan) kifejezés illene a kultúrrétegre, de itt a szerzők faszén szemcséket említenek. A faszén önmagában nem jelent feltétlenül emberi tevékenységet.

2. sátorvermek (Tóth Z. H., 526. o.) = „földbe süllyesztett veremház nyeregterővel” (Ságvár) hosszú életű találmány, írásos források még a XIX. században is említik. Bóna I. dolgozata: *Ethnographia* XCIX 3-4 401-411.

3 „északi tűzkő-hőmérő” (Tóth Z. H., 528. o.) = azaz az északi tűzkő aránya alapján „megtippelhető, melyik gravetti korszakba tartozhat” a lelőhely.

Konzervatív vagyok, hiszem, hogy ennél objektívabb módszerek is vannak. Mi számít pl. egy darabnak: egy magkő, egy eszköz, egy marék szilánk, amihez egy darab északi tűzkőgumó kell. A tippelésen túl ezen még dolgozni kell. Alapkövetelmény lenne minden kétséget kizáróan a teljes feltárás, amivel egyelőre csak igen kevesen dicsekedhetnek, ha egyáltalán!

A kötetben nem találtam Esztergom-Gyurgalagot (1991, *Acta Arch Hung* 43, 233-270). Konvencionális kora: Deb 116: 16 100, ± 200, Hertelendi 260.o.) Bátran állíthatom, ha kőeszközökről szokatlan is ezt mondani, – a lelegegásabb, és a leginkább tompított hátú leletanyag a hazai gravettiben. A túlnyomó többség (az eszközök 92%-a) nyersanyaga pruti vagy (a nyomelemek alapján alternatíva) nagyteveli eredetű. Biztosan nem északi. Honnan jöttek, hová mentek? Egyelőre titok. Attól tartok, vándorlások lehetséges irányát, ütemét, intenzitását még sokáig nem lehet véglegesen megrajzolni.

A Sümegi Pálnak tisztelgő tanulmánykötet minden szakmabelinek szívből ajánlott. Bár napi olvasásához, böngészéséhez kell némi elszántság, mert a kötet tartalmában is, megjelenésében is súlyos. Módszereket, eredményeket, lehetőségeket, ötleteket, világlátást tanulhatunk belőle.

Gratulálunk az ünnepeltnek, és további eredményes munkálkodást kívánunk.

*T. Dobosi Viola
Budapest*

Appendix 1.: Chemical composition of the Corning glass standards (reference materials) expressed in mass%. “Accepted” composition is from Adlington 2017, and “measured” composition is we measured by the X-act EDS system in the Institute for Geological and Geochemical Research, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, Budapest.

1. melléklet: A Corning üvegsztenderdek (referencia anyagok) kémiai összetétele tömeg%-ban. Az „accepted” az Adlington (2017) közleményből származó elfogadott összetétel, míg a „measured” a CSFK Földtani és Geokémiai Intézetben (Budapest) X-Act EDS rendszerrel mért összetétel.

	A		B		C	
	accepted	measured	accepted	measured	accepted	measured
Na ₂ O	14.30	14.94	17.00	17.08	1.07	1.05
MgO	2.66	2.67	1.03	0.97	2.76	2.71
Al ₂ O ₃	1.00	0.84	4.36	4.00	0.87	0.81
SiO ₂	66.56	66.69	61.55	61.16	34.87	34.56
P ₂ O ₅	0.08	0.05	0.82	0.80	0.068	0.00
SO ₃	0.14	0.18	0.49	0.62	0.1	0.00
Cl	0.09	0.10	0.16	0.09	0.1	0.00
K ₂ O	2.87	2.95	1.00	1.07	2.84	2.90
CaO	5.03	5.03	8.56	8.93	5.07	5.00
TiO ₂	0.79	0.81	0.09	0.12	0.79	0.90
MnO	1.00	1.05	0.25	0.27	0.0011	0.00
Fe ₂ O ₃	1.09	1.10	0.34	0.35	0.34	0.30
CoO	0.17	0.16	0.05	0.00	0.18	0.20
NiO	0.02		0.10	0.10	0.02	
CuO	1.17	1.25	2.66	3.09	1.13	1.29
ZnO	0.04		0.19	0.34	0.052	0.17
SrO	0.10	0.00	0.02		0.29	0.33
SnO ₂	0.19	0.17	0.02		0.19	0.12
Sb ₂ O ₅	1.75	1.56	0.46	0.48	0.0001	0.00
BaO	0.46	0.48	0.08	0.00	11.4	12.10
PbO	0.07	0.00	0.61	0.58	36.7	37.60
Total	99.59	99.99	99.83	100.02	98.84	100.02

• doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-010.app1](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-010.app1)

Appendix 2.: The standard deviation (σ) and three times sigma (3σ) of the measured elements in mass%. The 3σ can be regarded as detection limit of the element. In the case of silicon and calcium it is over estimated (the real detection limit is lower). In the case of antimony (Sb) the detection limit is very uncertain because of the strong overlap between the K peaks of calcium and L peaks of antimony.

2. melléklet: A mért elemek szórása (σ) és a szórás háromszorosa (3σ). A szórás háromszorosát tekinthetjük az adott elem kimutatási határának. A szilícium és a kalcium esetében ezek túlbecsült értékek (a valódi kimutatási határ ennél valamivel kisebb). Az antimon esetében a kimutatási határ nagyon bizonytalan a kalcium K csúcsai és az antimon L csúcsai közötti nagyon erős átfedés miatt.

	σ	3σ
Na ₂ O	0.060	0.18
MgO	0.025	0.08
Al ₂ O ₃	0.035	0.11
SiO ₂	0.090	0.27
P ₂ O ₅	0.030	0.09
SO ₃	0.025	0.08
Cl	0.015	0.05
K ₂ O	0.015	0.05
CaO	0.040	0.12
TiO ₂	0.025	0.08
MnO	0.025	0.08
Fe ₂ O ₃	0.030	0.09
Sb ₂ O ₃	0.065	0.20

Tóth Mária archeometriai tárgyú publikációi (2021. októberig) •

2021

BAJNÓCZI, B., SZABÓ, M., MAY, Z., ROSTÁS, P., TÓTH, M. (2021): A first approach to reconstruct the production technology of Zsolnay ceramic panel paintings with oil painting effect. *Journal of Archaeological Science: Reports* 37, no. 102941

KREITER, A., MAY, Z., PETŐ, Á., TÓTH, M., BAJNÓCZI, B., MÁTÉ, L. VIKTORIK, O., SZABÓ, L., SKLÁNITZ, A., MÉSZÁROS KIS, ZS., GÓDÉNY, M., CSERI, ZS., RACZKY, P. (2021): Bucrania revisited: Exploring the chaîne opératoire of bucranium figurines of the Körös culture from the 6th millennium. *Journal of Archaeological Science: Reports* 37, no. 102982

REKECZKI, K., FILYÓ D., BERTA A., BARTYIK T., WOLF M., TÓTH, M., EL HAMMED, D., SIPOS, GY. (2021): A dombói vár tégláinak kormeghatározása termolumineszcens módszerrel. *Archeometriai Műhely* 18/2, 157–174.

BONDÁR, M.; DEMÉNY, A.; NÉMETH, P.; KARLIK, M.; FINTOR, K., TÓTH, M. (2021): Különleges „gagát” gyöngy egy különleges késő rézkori sírból / Special „jet-like” bead from a special Late Copper Age grave (In Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* 18/2, 175–188.

2020

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., MILKE, R., ARADI, L., TÓTH, M. (2020): Provenance and production technology of late medieval ‘Besztercebánya/Banská Bystrica-type’ high-quality stove tiles. *Archaeological and Anthropological Sciences* 12, no. 284.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2020): Mázas és mázatlan késő római kerámiák Környe külterületéről – az alaptestek petrográfiai és röntgen-pordiffrakciós vizsgálati eredményei. *Archeometriai Műhely* 17/1, 43–56.

TÓTH, M. (2020): Az Intercisa Múzeum négy ractiai edény-töredékének hXRF vizsgálata. Appendix Visy Zsolt tanulmányához. In: MERCZI, M. (szerk.): "Testas, turres, tegulas, titulosque litterate tractavit". Ünnepi kötet H. Kelemen Márta 80. születésnapjára (Festschrift für Márta H. Kelemen zum 80. Geburtstag). MNM Balassa Bálint Múzeuma, Esztergom, 219–222.

TUBAY, T., MOZGAI, V., FÓRIZS, I., SIPOS, GY., PÁLL, D. G., FILYÓ, D., TÓTH, M. (2020): Korai székely írásos feliratok (Homoródkarácsonyfalva, Vargyas, Székelyderzs, Székelyudvarhely)

archeometriai vizsgálata: előzetes közlemény. *Archeometriai Műhely* 17/2, 171–198.

2019

BAJNÓCZI, B., SZABÓ, M., HAJTÓ, K., NUBER, N., ROSTÁS, P., TÓTH, M. (2019): Reconstruction of the production technology of Zsolnay ceramic paintings with oil painting effect. EMAC 2019 – 15th European Meeting on Ancient Ceramics, 16-18 September 2019, Barcelona, Spain, Abstracts, p. 136.

BAJNÓCZI, B., MOZGAI, V., GYÖRKÖS, D., FÓRIZS, I., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2019): Tárgyakba zárt történetek – szemelvények az MTA CSFK FGI Archeometriai Kutatócsoport eredményeiből. In: PÁL-MOLNÁR, E., H. LUKÁCS, R., HARANGI, SZ., SZEMERÉDI, M., NÉMETH, B., MOLNÁR, K., JANKOVICS, M. É. (szerk.): *Saxa loquuntur – Kőbe zárt történetek*, 10. Közletani és Geokémiai Vándorgyűlés (2019. szeptember 5-7., Mátraháza) absztraktkötete, Budapest, p. 36.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2019). Petrographic and XRD analysis of the ceramic body of late Medieval Besztercebánya/Banská Bystrica-type stove tiles (Analyse pétrographique et diffraction des rayons X (XRD) du corps céramique des carreaux de fourneaux de la fin du Moyen Age de type Besztercebánya/Banská Bystrica). *Archeosciences, Revue d'Archéométrie* 43/2, 287–294.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., PETÉNYI, S., TÓTH, M. (2019): A Környe külterületén előkerült késő római mázas edénytöredékek anyagvizsgálati eredményei. *Fiatalkorosi Római Koros Kutatók XIII. Konferenciája, PTE BTK TTI Régészeti Tanszék, Pécs, 2019. május 3–5., Absztrakt-füzet*, pp. 15–16.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., BALOGH-LÁSZLÓ, E., SZABÓ, M., MAY, Z., TÓTH, M. (2019): Late Medieval Besztercebánya (Banská Bystrica) type stove tiles: provenance and production technology. EMAC 2019 – 15th European Meeting on Ancient Ceramics, 16-18 September 2019, Barcelona, Spain, Abstracts, pp. 116–117.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., PETÉNYI, S., TÓTH, M. (2019): Petrographic and X-ray diffraction analysis of the ceramic body of late Roman glazed ceramics found at Környe (Hungary). EMAC 2019 – 15th European Meeting on Ancient Ceramics, 16-18 September 2019, Barcelona, Spain, Abstracts, pp. 176–177.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., MAY, Z., TÓTH, M. (2019): A besztercebányai típusú kályhacsempék készítése technikája és műhelykérdései az archeometriai kutatás tükrében. *Fiatalkorosi Régészek XI. Konferenciája*, 2019. november 21-

• doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-014-1.app1](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-014-1.app1)

23., Laczkó Dezső Múzeum, Veszprém, Absztraktfüzet, p. 15.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., MRÁV, ZS., KOVACSÓCZY, B., TÓTH, M. (2019): Application of a laboratory micro-X-ray diffractometer (RIGAKU DMAX RAPID II) in the archaeometric analysis of archaeological artefacts – case studies of metal objects. *Archeometriai Műhely* 16/1, 29–42.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., PERNICKA, E., MAY, Z., FÓRIZS, I., MRÁV, ZS., DÁGI, M., TÓTH, M. (2019): The Seuso Treasure – detailed archaeometric study on composition, raw material provenance and technology for understanding the late Roman silver-smithing. 5th International Conference Archaeometallurgy in Europe, 19-20 June 2019, Miskolc, Abstracts, p. 51.

SZÓCS, M., KÁLDI, R., MAY, Z., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2019): Material analysis of the marble reliefs attributed to Benedetto da Maiano representing King Matthias Corvinus and Beatrice of Aragon and aspects of their technical execution. *Bulletin du Musée Hongrois des Beaux-Arts – A Szépművészeti Múzeum Közleményei* 123, 51–65.

2018

BAJNÓCZI, B., NAGY, G., SIPOS, GY., MAY, Z., VÁCZI, T., TÓTH, M., BOROS, I., PATTANTYÚS, M. (2018). Material analysis and TL dating of a Renaissance glazed terracotta Madonna statue kept in the Museum of Fine Arts, Budapest. *Journal of Cultural Heritage* 33, 60–70.

BAJNÓCZI, B., FINTOR, K., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2018): Preliminary micro-XRF study of mosaic face beads found in an Early Sarmatian grave excavated at Dunakeszi – implications for the base glass composition and colourants. In: RÁCZ, ZS., KONCZ, I., GULYÁS, B. (szerk.): „Hadak útján”. A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXVI. konferenciája (26th Conference of Young Scholars on the Migration Period). *Dissertationes Archaeologicae (ex Instituto Archaeologico Universitatis de Rolando Eötvös nominatae) Supplementum 2*, Budapest, 33–44.

BALOGH-LÁSZLÓ, E., GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2018): Besztercebányai jellegű kályhacsempék régészeti és archeometriai kutatása. In: RINGER, I. (szerk.): *A Fiatal Középkoros Régészek VIII. Konferenciájának Tanulmánykötete.* (Petőfi Irodalmi Múzeum – Kazinczy Ferenc Múzeum, Sátoraljaújhely, 2016. november 17-19.), Sátoraljaújhely, 303–318.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., KOVÁCS, J., MAY, Z., SZABÓ, M., SZABÓ, CS., TÓTH, M. (2018). Chemical durability of lead-bearing glazes in sulphuric acid solutions – Laboratory experiments performed on Zsolnay architectural ceramics from Budapest (Hungary). *International Journal of Architectural Heritage* 12/2, 216–236.

FÓRIZS, I., RÓZSA, Z., MESTER, E., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2018): Üvegleletek egy 12-13. századi település területéről (Orosháza-Bónum, Faluhely). *Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei* 6, 51–60.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., BALOGH-LÁSZLÓ, E., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2018): A besztercebányai (Banská Bystrica) típusú kályhacsempék archeometriai kutatásának előzetes eredményei. *Archeometriai Műhely* 15/1, 45–56.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., BALOGH-LÁSZLÓ, E., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2018): What glazes can add to the production technology studies? A case study on the medieval “Besztercebánya/Banská Bystrica” stove tiles. In: NEUBAUER, F., BRENDL, U., FRIEDL, G. (eds.): *Advances in geology in southeast European mountain belts. XXI International Congress of the Carpathian Balkan Geological Association (CBGA), 10-13 September 2018, Salzburg, Austria; Geologica Balcanica*, p. 374.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., BALOGH-LÁSZLÓ, E., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2018): Glazes of the medieval “Besztercebánya” (Banská Bystrica) stove tiles: A production technology and provenance study. 2nd Workshop Young Researchers in Archaeometry (YRA), 24-25 September 2018, Freie Universität Berlin, Abstract book, A5.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., PETÉNYI, S., TÓTH, M. (2018). Petrographic and X-ray diffraction studies on late Roman glazed ceramics found in kilns at Környe (Hungary). *Annual Meeting of the Ceramic Petrology Group (CPG)*. 8-9 November 2018, Tübingen, Germany, Book of Abstracts, p. 6.

KONDÉ, ZS., KREITER, A., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., VIKTORIK, O. (2018): The organization of ceramic production: A comparative analysis of typology and petrography at the Avar Age settlement of Daruszentmiklós (Hungary). In: RÁCZ, ZS., KONCZ, I., GULYÁS, B. (szerk.): „Hadak útján”. A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXVI. konferenciája (26th Conference of Young Scholars on the Migration Period). *Dissertationes Archaeologicae (ex Instituto Archaeologico Universitatis de Rolando Eötvös nominatae) Supplementum 2*, Budapest, 177–231.

KOVACSÓCZY, B., MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2018): Anyagvizsgálat és készítés-technológiai megfigyelések a Kecskemét-Mindszenti-dűlőn előkerült hun kori sír nemesfémleletein. „Hadak útján” – A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXVIII. konferenciája, 2018. október 5-6., Hansági Múzeum, Mosonmagyaróvár, Absztraktkötet, p. 10.

MOLNÁR, K., SZILÁGYI, V., WOLF, M., TÓTH, M. (2018): Kecskemét-Nagykőrösi utca 7–9. lelőhely késő középkori – kora újkori fehérre égő

kerámiáinak archeometriai (ásvány-kőzettani) vizsgálata. *Archeometriai Műhely* 15/1, 13–28.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., MAY, Z., PERNICKA, E., FÓRIZS, I., MRÁV, ZS., DÁGI, M., TÓTH, M. (2018). The use of handheld XRF supplemented with LA-QICP-MS in the analysis of composite silver artefacts – the case study of the late Roman Seuso Treasure. European Conference on X-ray Spectrometry (EXRS 2018), 24-29 June 2018, Ljubljana, Slovenia, In: KAVČIČ, M., ŽITNIK, M., HRASST, M., BUČAR, K. (eds.): Book of Abstracts, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, p. 200.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., MAY, Z., PERNICKA, E., FÓRIZS, I., MRÁV, ZS., DÁGI, M., TÓTH, M. (2018): The use of handheld XRF and LA-QICP-MS in the analysis of the late Roman Seuso Treasure – implications on composition, provenance and technology. In: NEUBAUER, F., BRENDL, U., FRIEDL, G. (eds.): Advances in geology in southeast European mountain belts. XXI International Congress of the Carpathian Balkan Geological Association (CBGA), 10-13 September 2018, Salzburg, Austria; *Geologica Balcanica*, p. 357.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., PERNICKA, E., MAY, Z., FÓRIZS, I., MRÁV, ZS., DÁGI, M., TÓTH, M. (2018): Composition, raw material provenance and technology of late Roman silver objects from the Pannonian provinces. In: ŠMIT, Ž., PAVLOVIČ, D. (eds.): 6th Balkan Symposium on Archaeometry, 25-28 September 2018, Ljubljana, Slovenia, Book of abstracts, p. 24.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., MRÁV, ZS., KOVÁCSÓCZY, B., TÓTH, M. (2018): RIGAKU D/MAX RAPID II mikro-röntgendiffraktométer alkalmazása régészeti fémtárgyak archeometriai vizsgálatában. „A nemes- és színesfémek régészete, története és néprajza a Kárpát-medencében. Készítéstechnikai, archeometriai és társadalomtörténeti megközelítések” c. interdiszciplináris konferencia, 2018. november 14-15., Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, *Absztraktkötet*, p. 28.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., PERNICKA, E., MAY, Z., FÓRIZS, I., MRÁV, ZS., DÁGI, M., TÓTH, M. (2018): Multi-analytical archaeometric investigation of late Roman silver objects from the Pannonian provinces – implications on composition, raw material provenance and technology. In: MILOGLAV, I. (ed.): Abstractbook of 6th International Scientific Conference „Methodology & Archaeometry”, 6-7 December 2018, Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences of the University of Zagreb & Croatian Archaeological Society, p. 43.

SZABÓ, M., MÁTYÁS, V. B., MOZGAI, V., BÓNA, I., KESJÁR, D., FARKAS, B., HALLAI, J. L., PINTEA, A. R., KÜRTÖSI, B. M., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2018): Multi-analytical X-ray study of a pop art secco. European Conference on X-ray Spectrometry (EXRS 2018), 24-29 June 2018, Ljubljana,

Slovenia, In: Kavčič M, Žitnik M, Hrast M, Bučar K (eds.): Book of Abstracts, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, p. 201.

VARGA, B. Zs, TÓTH, M., SZILÁGYI, V. (2018). A dombóói vár kerámialeleteinek archeometriai vizsgálata. In: BERTA, A. (szerk.): *Castrum Dombo 2014-2018. A dombóói vár régészeti kutatásának első öt éve. Absztraktkötet*, MTA Régészeti Intézet, 26–29.

2017

BAJNÓCZI, B., MAY, Z., RIDOVICS, A., RINGER, I., PAJER, J., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2017): Fingerprinting Hutterite-Haban faience – implications for provenance. EMAC 2017 – 14th European Meeting on Ancient Ceramics, 6-9 September 2017, Bordeaux, France, Abstract book, p. 54.

BERTA, A., TÖRÖK, B., TÓTH, M., BARKÓCZY, P., KOVÁCS, Á., FINTOR, K. (2017): Archaeometallurgical examination of finds from medieval bell casting foundries in Hungary. In: MONTERO-RUIZ, I., PEREA, A. (eds.): *Archaeometallurgy in Europe IV. Bibliotheca Praehistorica Hispana*, vol XXXIII, Editorial CSIC, Madrid, 259–267.

CZIFRA, SZ., KREITER, A., KOVÁCS-SZÉLES, É., TÓTH, M., VIKTORIK, O., TUGYA, B. (2017): Scythian age settlement near Nagytarcsa. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 68, 241–298.

GYÖRKÖS, D., BALOGH-LÁSZLÓ, E., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2017): Production technology studies on a unique collection: the Medieval Besztercebánya (Banská Bystrica) stove tiles. EMAC 2017 – 14th European Meeting on Ancient Ceramics, 6-9 September 2017, Bordeaux, France, Abstract book, W31.

GYÖRKÖS, D., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., SZABÓ, M., PETÉNYI, S., TÓTH, M. (2017): Archaeometric investigation on Late Roman glazed ceramics found in kilns at Környe (Hungary). EMAC 2017 – 14th European Meeting on Ancient Ceramics, 6-9 September 2017, Bordeaux, France, Abstract book, F24.

KREITER, A., SKRIBA, P., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., VIKTORIK, O., PÁNCZÉL, P. (2017): A dunaszentgyörgyi avar temető kerámiái az archeometria tükrében. In: TÜRK, A., BALOGH, CS., MAJOR, B. (szerk.): *Hadak útján XXIV. A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXIV. konferenciája*. Esztergom, 2014. november 4–6., 2. kötet, PPKE BTK Régészeti Tanszék – MTA BTK Magyar Őstörténeti Témacsoport, *Studia ad Archaeologiam Pazmaniensia (A PPKE BTK Régészeti Tanszékének kiadványai, Magyar Tudományos Akadémia Bölcsészettudományi Kutatóközpont Magyar Őstörténeti Témacsoport*

Kiadványok), 3.2 kötet, *Archaeolingua*, Budapest-Esztergom, 21–102.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., FÓRIZS, I., MAY, Z., HATVANI, I. G., DÁGI, M., MRÁV, ZS., TÓTH, M. (2017): Handheld XRF mapping of elemental composition of Roman silver artefacts: preliminary results. In: MONTERO-RUIZ, I., PEREA, A. (eds.): *Archaeometallurgy in Europe IV. Bibliotheca Praehistorica Hispana*, vol XXXIII, Editorial CSIC, Madrid, 237–247.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., WEISZBURG, T. G., FÓRIZS, I., MRÁV, ZS., TÓTH, M. (2017): Multi-analytical examination of the Late Roman Seuso Treasure and contemporary silver artefacts from Pannonia province, Hungary. 1st Workshop for Young Researchers in Archaeometry and Conservation Studies, 10-12 September 2017, Frankfurt, Abstractbook, p. 11.

MOZGAI, V., TOPA, B., WEISZBURG, T. G., BAJNÓCZI, B., FÓRIZS, I., MRÁV, ZS., TÓTH, M. (2016): SEM-EDX analysis of the niello inlays of a late Roman silver augur staff (lituus) found in Pannonia province (Hungary). EMAS 2017 – 15th European Workshop on „Modern developments and applications in microbeam analysis” and IUMAS-7 Meeting, 7-11 May 2017, Konstanz, Germany, Books of Tutorials and Abstracts, 296–297.

MOZGAI, V., SZABÓ, M., BAJNÓCZI, B., WEISZBURG, T. G., FÓRIZS, I., MRÁV, ZS., TÓTH, M. (2017): Applications of RIGAKU Dmax Rapid II micro-X-ray diffractometer in the analysis of archaeological metal objects. EGU General Assembly 24-28 April 2017, Vienna, Austria, Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-16442.

2016

BAJNÓCZI, B., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2016): Technological studies of historical glazes with the use of Rigaku D/MAX Rapid II micro-XRD. 2nd European Mineralogical Conference (EMC2016), 11-15 September 2016, Rimini, Italy. Book of Abstracts, p. 704.

BAJNÓCZI, B., GYÖRKÖS, D., MOZGAI, V., SZABÓ, M., TÓTH, M., BURNICHIOIU I. (2016): Archaeometric analysis of mosaic tesserae and a "red marble" decorative stone from the Bizere monastery (Arad county, Western Romania). 2nd European Mineralogical Conference (EMC2016), 11-15 September 2016, Rimini, Italy. Book of Abstracts, p. 703.

BAJNÓCZI, B., MAY, Z., RIDOVICS, A., RINGER, I., PAJER, J., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2016): Chemical and mineralogical „fingerprints” of the ceramic body of Anabaptist-Hutterite and Haban faience. 41st International Symposium on Archaeometry (ISA2016), 15-21 May 2016, Kalamata, Greece. Book of Abstracts, 440–441.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., KÁLDOS, R., SZABÓ, CS. (2016): Characterization of particulate matter in attic and settled dusts collected from two buildings in Budapest, Hungary. In: PŘIKRYL, R., TÖRÖK, Á., GOMEZ-HERAS, M., MISKOVSKY, K., THEODORIDOU, M.(eds.): *Sustainable Use of Traditional Geomaterials in Construction Practice*. Geological Society, London, Special Publications 416, 239–252.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., SZABÓ, M., TÓTH, M., BENDŐ, ZS., SZABÓ, CS. (2016): Deterioration of glazed architectural ceramics due to environmental factors: A comparative study of two buildings in Budapest. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 11/2, 449–462.

MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., FÓRIZS, I., SZABÓ, M., DÁGI, M., MRÁV, ZS., NAGY, M., TÓTH, M. (2016): Mineralogical and stable isotopic composition of corrosion products on a Late Roman copper cauldron: an attempt to characterise the burial environment. 2nd European Mineralogical Conference (EMC2016), 11-15 September 2016, Rimini, Italy. Book of Abstracts, p. 719.

MOZGAI, V., FÓRIZS, I., BAJNÓCZI, B., CSEDREKI, L., KERTÉSZ, ZS., MAY, Z., SZABÓ, M., MRÁV, ZS., TÓTH, M. (2016): Analysis of niello inlay in Roman silver- and copper-based alloy metalwork found in the Pannonian provinces. 41st International Symposium on Archaeometry (ISA2016), 15-21 May 2016, Kalamata, Greece. Book of Abstracts, 122–123.

RIKKER, B., VÁMOS, P., TÓTH, M., MAY, Z. (2016): The archaeometric analysis of grave ceramics I. Raetian beakers and lead-glazed set from the eastern cemetery of the Aquincum civil town. *Rei Cretariae Romanae Favtorvm Acta* 44, 651–659.

2015

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 Special issue 2015 (Monastic Life, Art, and Technology in 11th-16th centuries*, ed. I. BURNICHIOIU), 341–360.

BAJNÓCZI, B., MAY, Z., RIDOVICS, A., SZABÓ, M., NAGY, G., TÓTH, M. (2015): The tin content of the blue-glazed Hutterite and Haban ceramics – implications for the production technology based on results of the handheld XRF and electron microprobe analyses. *Acta Ethnographica Hungarica* 60/2, 517–534.

BAJNÓCZI, B., MAY, Z., RIDOVICS, A., SZABÓ, M., NAGY, G., TÓTH, M. (2015): Production technology of blue-glazed Anabaptist-Hutterite and Haban ceramics. EMAC2015 – 13th European Meeting on Ancient Ceramics, 24-26 September 2015, Athens, Greece. Conference program and abstracts, p. 76.

BAJNÓCZI, B., NAGY, G., SZABÓ, M., TÓTH, M., MAY, Z., PAJER, J., RIDOVICS, A. (2015): "Glaze residues" and "glaze raw material" from Anabaptist pottery production centers in Moravi. EMAC2015 – 13th European Meeting on Ancient Ceramics, 24–26 September 2015, Athens, Greece. Conference program and abstracts, p. 206.

BAJNÓCZI, B., FÓRIZS, I., MAY, Z., MOZGAI, V., HATVANI, I. G., SZABÓ, M., DÁGI, M., MRÁV, ZS., TÓTH, M. (2015): Handheld XRF mapping of elemental composition of Roman silver artefacts: preliminary results. Archaeometallurgy in Europe IV Conference, Madrid edition, 1–3 June 2015, Madrid, Spain. Abstract book, 114–115.

BAJNÓCZI, B., MAY, Z., RIDOVICS, A., SZABÓ, M., NAGY, G., TÓTH, M. (2015): Handheld XRF and EPMA-EDS analyses of blue-glazed Anabaptist-Hutterite and Haban ceramics – Implications for the production technology and provenance of the pigment. 6th MSCC – 6th Mineral Sciences in the Carpathians Conference, 16–19 May 2015, Veszprém, Hungary. Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series 9, p. 1.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., SZABÓ, M., SZABÓ CS., TÓTH, M. (2015): Különböző korú Zsolnay épületkerámiaik összehasonlító anyagtani vizsgálata. Archeometriai Műhely 12/1, 33–50.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., MAY, Z., SZABÓ, M., TÓTH, M., SZABÓ, CS. (2015): Modeling the effects of acid solutions on the glaze of Zsolnay architectural ceramics (Budapest, Hungary). 6th MSCC – 6th Mineral Sciences in the Carpathians Conference, 16–19 May 2015, Veszprém, Hungary. Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series 9, p. 2.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., MAY, Z., TÓTH, M., SZABÓ CS. (2015): Chemical durability of glaze on Zsolnay architectural ceramics (Budapest, Hungary) in acid solutions. EGU General Assembly 12–17 April 2015, Vienna, Austria. Geophysical Research Abstracts 17, EGU2015-665.

BENKE, M., MERTINGER, V., FÓRIZS, I., MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B., MRÁV, ZS., DÁGI, M., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2015): Special applications of X-Ray diffraction on Late Roman silver artefacts. Archaeometallurgy in Europe IV Conference, Madrid edition, 1–3 June 2015, Madrid, Spain. Abstract book, 81–82.

BERTA, A., TÓTH, M., TÖRÖK, B., BARKÓCZY, P., KOVÁCS, Á., FINTOR, K. (2015): Archaeometallurgical examination of finds from Medieval bell casting foundries in Hungary. Archaeometallurgy in Europe IV Conference, Madrid edition, 1–3 June 2015, Madrid, Spain. Abstract book, p. 88.

FÓRIZS, I., BAJNÓCZI, B., MOZGAI, V., SZABÓ, M., TÓTH, M. (2015): Roncsolásmentes anyagvizsgálat a Seuso kutatás szolgálatában: Mit, mivel és miért?

IX. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás (RAKK), 2015. április 22–24., Eger. Proceedings, CD, 5 oldal

RIDOVICS, A., MAY, Z., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2015): Examination of Haban vessels with uranium-bearing blue glaze. Acta Ethnographica Hungarica 60/2, 485–515.

RIDOVICS, A., BAJNÓCZI, B., NAGY, G., TÓTH, M. (2015): The transfer of the tin-glazed faience technology by Hutterite Anabaptists to East-Central Europe during 16th and 17th centuries. In: JOSÉ GONÇALVES, M., GÓMEZ-MARTÍNEZ, S. (eds.): Actas do X Congresso Internacional A Cerâmica no Mediterrâneo – Silves, 22 a 27 outubro 2012 (Proceedings of 10th Congress on Medieval Pottery in the Mediterranean, 22–27 outubro 2012, Silves, Portugal), Câmara Municipal de Silves & Campo Arqueológico de Mértola, Silves, 619–623.

2014

BAJNÓCZI, B., NAGY, G., TÓTH, M., RINGER, I., RIDOVICS, A. (2014): Archaeometric characterization of 17th-century tin-glazed Anabaptist (Hutterite) faience artefacts from North-East-Hungary. Journal of Archaeological Science 45, 1–14.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., SZABÓ, CS. (2014): Study of glazed building ceramics from central Europe (Budapest, Hungary) in aspect of deterioration by environmental factors. EGU General Assembly, 27 April–2 May 2014, Wien, Austria. Geophysical Research Abstracts 16, EGU2014-699.

BÍRÓ, GY., FINTOR, K., RAUCSIK, B., WOLF, M., TÓTH, M. (2014): Jászfényszaru–Szőlők-alja lelőhelyről származó Árpád-kori kerámiaik archeometriai vizsgálata. Archeometriai Műhely 11/1, 27–38.

GHERDÁN, K., TÓTH, M. (2014): 3.3.11. Ceramic petrography and mineralogy. In: HORVÁTH T. (ed.): The prehistoric settlement at Balatonőszöd-Temetői-dűlő – The Middle Copper age, Late Copper age and Early Bronze age occupation. Varia Archaeologica Hungarica XXIX, Archaeolingua, Budapest, 428–438.

HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., 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. UCL Qatar Series in Archaeology and Cultural Heritage vol. 1, Bloomsbury Qatar Foundation, Doha, Qatar, 191–199.

KREITER, A., RIEBE, D. J., PARKINSON, W. A., PETŐ, Á., TÓTH, M., PÁNCZÉL, P., BÁNFFY, E. (2014): Unique in its chaîne opératoire, unique in its symbolism: undressing a figurine from the 6th

Millennium BC Körös culture, Hungary. *Journal of Archaeological Science* 44, 136–147.

KREITER, A., SKRIBA, P., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., VIKTORIK, O., PÁNCZÉL, P. (2014): A dunaszentgyörgyi avar temető kerámiái az archeometria tükrében. *Hadak útján – A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXIV. konferenciája*, PPKE BTK Régészeti Tanszék és MTA BTK Magyar Őstörténeti Témacsoport, Esztergom, 2014. november 4-6. *Archaeolingua*, Absztraktkötet, p. 29.

SZEBENYI, T., FINTOR, K., RAUCSIK, B., BOZSÓ, G., TÓTH, M. (2014): Archeometriai vizsgálatok Üllő 5. lelőhelyről származó pécsettelt töredékeken. *Archeometriai Műhely* 11/1, 39–46.

TÓTH, M. (2014): 5.33. Mineralogy, X-ray powder diffraction. In: HORVÁTH, T. (ed.): *The prehistoric settlement at Balatonőszöd-Temetői-dűlő – The Middle Copper age, Late Copper age and Early Bronze age occupation*. *Varia Archaeologica Hungarica XXIX*, *Archaeolingua*, Budapest, 646–648.

2013

AZBEJ-HAVANCSÁK, I., JEREM, E., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2013): Archaeometric investigation of Celtic graphitic ceramics from Sopron-Krautacker (Hungary). 12th European Meeting on Ancient Ceramics – EMAC2013, Padova, Italy, 19-21 September 2013. Conference program and abstracts, p. 107.

BAJNÓCZI, B., NAGY, G., TÓTH, M., BOROS, I., PATTANTYÚS, M. (2013): Technological study of a Renaissance glazed terracotta Madonna statue (the Budapest Museum of Fine Arts). 12th European Meeting on Ancient Ceramics – EMAC2013, Padova, Italy, 19-21 September 2013. Conference program and abstracts, p. 88.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., SZABÓ, CS. (2013): Study of Zsolnay building ceramics from Budapest, in aspect of deterioration by environmental factors. 12th European Meeting on Ancient Ceramics – EMAC2013, Padova, Italy, 19-21 September 2013, Conference program and abstracts, p. 77.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., SZABÓ, CS. (2013): Study of Zsolnay building ceramics in aspect of deterioration by environmental factors. *Goldschmidt2013 Conference*, Florence, Italy, 25-30 August 2013. *Mineralogical Magazine* 77/5: *Goldschmidt2013 Conference Abstracts*, p. 658.

HORVÁTH, T., GHERDÁN, K., KULCSÁR, G., SIPOS, GY., TÓTH, M. (2013): An enigmatic funnel find of the Somogyvár-Vinkovci Culture from Balatonőszöd-Temetői dűlő in Transdanubia, Hungary. *Interdisciplinaria Archaeologica Natural Sciences in Archaeology* 4/1, 23–38.

KELEMEN, É., TÓTH, M., KRISTÁLY, F., RÓZSA, P. (2013): Összehasonlító archeometriai vizsgálatok a Dél-Alföldön. *Archeológiai Értesítő* 138/1, 321–344.

KREITER, A., CZIFRA, SZ., SZÉLES, É., TÓTH, M., VIKTORIK, O. (2013): Petrographic, LA-ICP-MS and XRD analyses of Hallstatt ceramics from a Scythian age settlement in North Hungary. In: BERGERBRANT, S., SABATINI, S. (eds.): *Counterpoint: Essays in Archaeology and Heritage Studies in Honour of Professor Kristian Kristiansen*. *BAR International Series* 2508, Archaeopress, Oxford, 477–490.

KREITER, A., BARTUS-SZÖLLŐSI, SZ., BAJNÓCZI, B., AZBEJ HAVANCSÁK, I., TÓTH, M., SZAKMÁNY, GY. (2013): Ceramic technology and the materiality of Celtic graphitic pottery. In: ALBERTI, M. E., SABATINI, S. (eds.): *Exchange networks and local transformations. Interaction and local change in Europe and the Mediterranean from the Bronze Age to the Iron Age*. *Oxbow Books*, Oxford, 169–179.

2012

BAJNÓCZI, B., NAGY, G., TÓTH, M., MAY, Z., PAJER, J., RIDOVICS, A. (2012): Mineralogy and microstructure of „glaze residues” and/or „glaze raw materials” from Anabaptist pottery production centres in Moravia. *PANGEO Austria 2012*, 15-20 September 2012, Salzburg, Austria, Abstracts, 19–20.

BAJNÓCZI, B., NAGY, G., TÓTH, M. (2012): Technological examination of 18th to 19th century cobalt-blue decorative ceramics from Transylvania (Romania). *Joint 5th Mineral Sciences in the Carpathians Conference and 3rd Central-European Mineralogical Conference*, 19-21 April, 2012, Miskolc, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica*, Abstract Series 7, p. 10.

BARICZA, Á., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., SZABÓ, CS. (2012): Deterioration of building ceramics by environmental factors – A case study on Zsolnay ceramics from the Museum of Applied Arts (Budapest). *Geosciences and Engineering (A Publication of the University of Miskolc)* 1/2, 7–14.

FÓRIZS, I., DÉVAI, K., TÓTH, M., NAGY, G., MAY, Z. (2012): A brigetói üvegyártó műhely néhány jellemző üvegleletének műszeres analitikai vizsgálata. *Komárom-Esztergom Megyei Múzeumok Közleményei* 18, 101–114.

GHERDÁN, K., HORVÁTH, T., TÓTH, M. (2012): Lehetőségek a kerámia-közettani kutatásokban. *Esettanulmány egy több-periódusú lelőhelyen (Balatonőszöd – Temetői-dűlő, M7/S-10 lelőhely)*. In: KREITER, A., PETŐ, Á., TUGYA, B. (szerk.): *Környezet – Ember – Kultúra: Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde*. *A Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ* 2010. október 6-8.-án

megrendezett konferenciájának tanulmánykötete. Budapest, 291–305.

GHERDÁN, K., TÓTH, M., MIHÁLY, J., HORVÁTH, T. (2012): Kerámiavizsgálatok. In: HORVÁTH, T. (szerk.): Balatonőszöd-Temetői dűlő őskori településrészei: a középső rézkori, késő rézkori és kora bronzkori települések. MTA BTK Régészeti Intézete, Budapest, 35–38.

GHERDÁN, K., TÓTH, M. (2012): Kerámia-közettani vizsgálatok. In: HORVÁTH, T. (ed.): Balatonőszöd-Temetői dűlő őskori településrészei: a középső rézkori, késő rézkori és kora bronzkori települések. MTA BTK Régészeti Intézete, 551–560.

KALICZ, N., KREITER, A., KREITER, E., TOKAI, M. Z., TÓTH, M., BAJNÓCZI, B. (2012): A neolitikum történeti és kronológiai kérdései Becsehely–Bükkaljai-dűlő lelőhelyen. In: KOLOZSI, B. (ed.): ΜΩΜΟΣ IV. – Óskoros Kutatók IV. Összejövételének Konferenciakötete, Debrecen, 2005. március 22–24. Déri Múzeum Régészeti Tár, Debrecen, 87–170.

KELEMEN, É., KRISTÁLY, F., TÓTH, M., RÓZSA, P., BAJNÓCZI, B., NYILAS, I., PAPP, I. (2012): Archeometriai vizsgálatok Békés megyei középkori templomok építőanyagán. A Békés megyei Múzeumok Közleményei 35, 83–123.

KELEMEN, É., TÓTH, M., BAJNÓCZI, B. (2012): Csongrád megyei Árpád- és későközépkori építőanyagok archeometriai vizsgálata. In: KREITER, A., PETŐ, Á., TUGYA, B. (szerk.): Környezet – Ember – Kultúra: Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde. A Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ 2010. október 6–8.-án megrendezett konferenciájának tanulmánykötete. Budapest, 327–334.

LAKATOS, SZ., MAY, Z., TÓTH, M. (2012): Egy bronz Venus szobor vizsgálata régészeti és természettudományos módszerek együttes alkalmazásával. In: KREITER, A., PETŐ, Á., TUGYA, B. (szerk.): Környezet – Ember – Kultúra: Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde. A Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ 2010. október 6–8.-án megrendezett konferenciájának tanulmánykötete. Budapest, 335–342.

PINTÉR, F., WACHA, R., BAJNÓCZI, B., BORSODINÉ KOVÁCS, M., TÓTH, M. (2012): Anyagtudomány és műemléki kutatás: középkori habarcsok vizsgálata a felső-ausztriai Prandegg váromából. Archeometriai Műhely 9/1, 1–10.

SIPOS, GY., HORVÁTH, T., MAY, Z., TÓTH, M. (2012): Adatok Balatonőszöd – Temetői-dűlő, késő rézkori rituális álarc keltezéséhez. In: KREITER, A., PETŐ, Á., TUGYA, B. (szerk.): Környezet – Ember – Kultúra: Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde. A Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ 2010. október 6–

8.-án megrendezett konferenciájának tanulmánykötete. Budapest, 373–384.

SZILÁGYI, V., GYARMATI, J., TÓTH, M., TAUBALD, H., BALLA, M., KASZTOVSZKY, ZS., SZAKMÁNY, GY. (2012): Petro-mineralogy and geochemistry as tools of provenance analysis on archaeological pottery: Study of Inka Period ceramics from Paria, Bolivia. *Journal of South American Earth Sciences* 36, 1–17.

2011

BAJNÓCZI, B., NAGY, G., TÓTH, M., RINGER, I., RIDOVICS, A. (2011): A sárospataki ágyúöntő műhelyben feltárt 17. századi habán kerámialeletek mázának mikroszerkezete és összetétele. *Archeometriai Műhely* 8/1, 1–16.

BAJNÓCZI, B., NAGY, G., MAY, Z., TÓTH, M. (2011): Adalékok a szászkerézi kerámiák készítése technikájához anyagvizsgálatok alapján. *Néprajzi Értesítő* 93, 95–109.

BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., NAGY, G., MAY, Z. (2011): Archaeometric characterization of 17th century tin-glazed Anabaptist (Haban) faience from NE-Hungary. EMAC 2011 – 11th European Meeting on Ancient Ceramics, 29 September – 1 October 2011, Vienna, Austria, Conference program and Abstracts, p. 35.

BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., DOBOSI, G., BALLA, G., CSONTOS, K. (2011): Technological study of a Renaissance maiolica inkstand made by Giovanni di Nicola Manzoni (Museum of Applied Arts, Budapest). EMAC 2011 – 11th European Meeting on Ancient Ceramics, 29 September – 1 October 2011, Vienna, Austria. Conference program and Abstracts, p. 31.

CZIFRA, SZ., KREITER, A., SZÉLES, É., TÓTH, M., VIKTORIK, O. (2011): Kora vaskori korongolt kerámia a Kárpát-medencében. *Archeometriai Műhely* 8/3, 235–250.

KREITER, A., AZBEJ HAVANCSÁK, I., SIPOS, P., TÓTH, M., VIKTORIK, O. (2011): Maroslele-Panáról származó neolitikus kerámia töredékek petrográfiai, XRF és XRD vizsgálata. In: PALUCH, T. (szerk.): Maroslele-Panahát. Középső neolitikus település a kultúrák határvidékén. MFMÉ–Monographia Archaeologica 2, Szeged, 303–325.

LŐVEI, P., TÓTH, M. (2011): Középkori színes paszták, kőragasztók és festékek anyagvizsgálata (Esztergom, Pilis, Gyulafehérvár, Kassa). *Művészettörténeti Értesítő* 60/2, 187–194.

MAY, Z., TÓTH, M., SZÉPVÖLGYI, J. (2011): Application of a portable and handheld Niton XRF analyzer in studying of ceramics and historical bricks in Hungary. EMAC 2011 – 11th European Meeting on Ancient Ceramics, 29 September – 1 October 2011, Vienna, Austria. Conference program and Abstracts, p. 27.

PINTÉR, F., WEBER, J., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2011): Brick-lime mortars and plasters of a sixteenth century Ottoman bath from Budapest, Hungary. In: TURBANTI-MEMMI, I. (ed.): Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry, 13-16 May 2008, Siena, Italy. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 293–298.

SZILÁGYI, V., LENO, V., MIHÁLY, J., CSEDREKI, L., BERTHOLD, C., TÓTH, M., KERTÉSZ, ZS., SZIKSZAI, Z., TÖRÖK, ZS., FURU, E., SCHÖCKLE, D., LUTHARD, C., CSENGERI, P., BÍRÓ, K. (2011): Incrusted ancient ceramics: one purpose – multi methodological answer. EMAC 2011 – 11th European Meeting on Ancient Ceramics, 29 September – 1 October 2011, Vienna. Austria. Conference program and Abstracts, p. 40.

SZILÁGYI, V., CSENGERI, P., MIHÁLY, J., LENO, V., SZAKMÁNY, GY., SCHÖCKLE, D., TAUBALD, H., BÍRÓ, K., TÓTH, M., ZÖLDFÖLDI, J. (2011): Highland fine pottery of Middle Neolithic Bükk culture (NE-Hungary): To fingerprint or not fingerprint. EMAC 2011 – 11th European Meeting on Ancient Ceramics, 29 September – 1 October 2011, Vienna, Austria. Conference program and Abstracts, p. 43.

SZILÁGYI, V., SZAKMÁNY, GY., T. BÍRÓ, K., TAUBALD, H., TÓTH, M., BALÁZS, R., LENO, V., ZÖLDFÖLDI, J., CSENGERI, P. (2011): Előtanulmányok a kerámia nyersanyag mintavételezés stratégiájának kidolgozásához a középső neolitikus bükki kultúra finomkerámiájának archeometriai vizsgálata kapcsán. Archeometriai Műhely 8/1, 69–84.

SZILÁGYI, V., TAUBALD, H., T. BÍRÓ, K., KOÓS, S. J., CSENGERI, P., TÓTH, M., SZAKMÁNY, GY. (2011): Preliminary archaeometric data on fineware from the Middle Neolithic Bükk Culture. In: TURBANTI-MEMMI, I. (ed.): Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry, 13-16 May 2008, Siena, Italy. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 159–167.

2010

BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., NAGY, G. (2010): Microstructure and composition of glaze of Haban ceramics from Sáropatak (NE-Hungary). IMA2010 – 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, 21-27 August 2010, Budapest, Hungary. Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series 6, p. 113.

GHERDÁN, K., TÓTH, M., HERBICH, K., HAJNALOVÁ, M., HLOŽEK, M., PROKEŠ, L., MIHÁLY, J., HORVÁTH, T. (2010): Természettudományos megfigyelések a középső és késő rézkori kultúrák fazekasáruin Balatonöszöd–Temetői Dűlő lelőhelyen. Archeometriai Műhely 7/1, 83–104.

HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., NÉMETI, J. (2010): Provenance of graphite in Celtic graphitic

ceramics from North-west Romania. IMA2010 – 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, 21-27 August 2010, Budapest, Hungary. Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series 6, p. 116.

HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., KREITER, A., VOICSEK, V. (2010): Régészeti kérdések – természettudományos válaszok a sátorhelyi grafitos kelta kerámia-leletanyag vizsgálatának tükrében. Környezet–Ember–Kultúra – „Az alkalmazott természettudomány és a régészet párbeszéde” konferencia, 2010. október 6-8., Budapest, MNM NÖK. Absztrakt kötet, p. 52.

HORVÁTH, T., SIPOS, GY., MAY, Z., TÓTH, M. (2010): The date of the Late Copper Age ritual mask from Balatonöszöd-Temetői dűlő. Antaeus 31-32, 499–512.

LAKATOS, SZ., TÓTH, M. (2010): Egy bronz Venus-szobor vizsgálata régészeti és természettudományos módszerek együttes alkalmazásával. Környezet–Ember–Kultúra – „Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde” konferencia, 2010. október 6-8., Budapest, MNM NÖK. Absztrakt kötet, p. 58.

KREITER, A., TÓTH, M. (2010): A dunántúli mészbetétes kultúra kerámiáinak petrográfiai vizsgálata; és az inkrusztáció összetételének meghatározása röntgen pordiffrakciós vizsgálattal Mernye–Nagy-árok lelőhelyről / Petrographic analysis of ceramics of the Transdanubian Encrusted Pottery culture and the determination of the composition of encrustation by X-ray powder diffraction from the site of Mernye-Nagy-árok. In: KVASSAY, J. (ed.): Évkönyv és jelentés a K.Ö.SZ. 2008. évi feltárásairól. Field Service for Cultural Heritage 2008 Year book and Review of Archeological Investigations. Budapest, 299–318.

NAGY, G., PÁSZTOR, A., FÓRIZS, I., TÓTH, M. (2010): Szarmata és avar kori üvegyöngyök elektronmikroszkopos vizsgálata. Archeometriai Műhely 7/1, 27–50.

SIPOS, GY., HORVÁTH, T., TÓTH, M. (2010): A balatonöszödi maszk keltezése lumineszcens módszerrel. Környezet–Ember–Kultúra – „Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde” konferencia, 2010. október 6-8., Budapest, MNM NÖK. Absztrakt kötet, p. 66.

SIPOS, GY., KISS, T., PÁLL, D. G., TÓTH, O., SCHUBERT, G., TÓTH, M. (2010): Mintagyűjtés; minta-előkészítés; mintavesztés TL kormeghatározás során. Archeometriai Műhely 7/2: 131–136.

SZILÁGYI, V., CSENGERI, P., SZAKMÁNY, GY., TAUBALD, H., TÓTH, M., BALÁZS, R., LENO, V., ZÖLDFÖLDI, J., T. BÍRÓ, K. (2010): Prospecting for archaeological pottery provenance: experiences on Middle Neolithic Bükk culture pottery from Hungary. IMA2010 – 20th General Meeting of the

International Mineralogical Association, 21-27 August 2010, Budapest, Hungary. Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series 6, p. 108.

2009

BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., DOBOSI, G., BALLA, G., CSONTOS, K. (2009): Ónmázás kerámiák technológiai jellegzetességeinek kimutatása Giovanni di Nicola Manzoni majolika tintatartójának példáján. Archeometriai Műhely 6/1, 81–93.

CSONTOS, K., BALLA, G., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., DOBOSI, G. (2009): Giovanni di Nicola Manzoni majolika tintatartója: anyagvizsgálati eredmények és a restaurálás folyamata. Műtárgyvédelem 34, 63–82.

HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., KREITER, A., SZÖLLŐSI SZ. (2009): Archaeometric investigation of Celtic graphitic pottery from different archaeological sites in Hungary. European Meeting on Ancient Ceramics (EMAC'09), 9-13 September 2009, London, UK. Abstracts, p. 74.

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 6/1, 39–51.

HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., KREITER, A., SZÖLLŐSI, SZ. (2009): Provenance analysis of Celtic graphitic pottery from Dunaszentgyörgy (South-Hungary). Proceedings of the 16th Meeting of the Association of European Geological Societies (MAEGS-16), 9-13 July 2009, Cluj, Romania. Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia, 2009/Special issue, 89–90.

HORVÁTH, E., MAY, Z., S. KOVÁCS, J., TÓTH, M. (2009): An early medieval buckle with cloisonné decoration. The localization of workshop area by archaeometrical investigation (Egy kora középkori cloisonné díszes övcsat. A műhelykörzet lokalizálása archeometriai módszerekkel). Archeometriai Műhely 6/4, 15–29.

KREITER, A., BAJNÓCZI, B., HAVANCSÁK, I., TÓTH, M., SZAKMÁNY, GY. (2009): Kelta kerámiák makroszkópos és archeometriai vizsgálata / Macroscopic and archaeometrical analysis of Celtic ceramics. In: KVASSAY, J. (szerk./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. / Settlement and cemetery excavations at the borders of Dunaszentgyörgy. results of the Archaeological Salvage Excavations (2007) between the 121 + 650 – 124 + 800 km Sections of the Highway No. 6. VIA – Kulturális Örökségvédelmi Kismonográfiák 1 / VIA – Monographia Minor in Cultural Heritage

1, Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat/Field Service for Cultural Heritage, Budapest, 157–199.

LAKATOS, SZ., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2009): Az archeometria lehetőségei és határai a budapesti Szépművészeti Múzeum Antik Gyűjteményében az „Enyedi Iuno” márványszobron végzett vizsgálatok alapján. Archeometriai Műhely 6/4, 53–63.

PINTÉR, F., CSÁNYI, SZ., WEBER, J., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2009): 16th century hydraulic mortars from the Ottoman Rác Bath in Budapest, Hungary. In: MIDDENDORF, B., JUST, A., KLEIN, D., GLAUBITT, A., SIMON, J. (eds.): Extended Abstracts (and CD-Rom with full papers) of the 12th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials (EMABM), 15-19 September 2009, Dortmund, Germany. Abstract (print): 118–119.; Full paper (CD): 481–491.

PINTÉR, F., G. LÁSZAY, J., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., WEBER J. (2009): Törökkori hidraulikus vakolatok és habarcsok a budapesti Császár-fürdőből. Archeometriai Műhely 6/1, 75–80.

SZÖLLŐSI, SZ., HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., KREITER, A., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M. (2009): Archeometriai vizsgálatok szerepe a kelta grafitos kerámiák régészeti interpretációjában. In: ILON, G. (ed.): ΜΟΜΟΣ VI. – Őskoros Kutatók VI. Összejövetelének konferenciakötete, Nyersanyagok és kereskedelem (Köszeg, 2009. március 19-21.), Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat, Budapest és Vas megyei Múzeumok Igazgatósága, Szombathely, 379–394.

2008

PINTÉR, F., WEBER, J., BAJNÓCZI, B., TÓTH, M. (2008): Analytical possibilities of historic mortars and plasters. Case study of an Ottoman bath from Budapest (Hungary). Abstracts of the 37th International Symposium on Archaeometry, 12-16 May 2008, Siena, Italy. p. 242.

SZILÁGYI, V., TAUBALD, H., BIRÓ, T. K., CSENGERI, P., KOÓS, J. S., TÓTH, M., SZAKMÁNY, GY. (2008): Bükk pottery – Master craftsmen of the Stone Age. Abstracts of the 37th International Symposium on Archaeometry, 12-16 May 2008, Siena, Italy. 192–193.

TÓTH, M., DOBOSI, G., BAJNÓCZI, B. (2008): Inkstand (cat 1.51) – The results of archaeometrical analyses. In: BALLA, G., JÉKELY, ZS. (eds.): The Dowry of Beatrice – Exhibition catalogue. Museum of Applied Arts, p. 198.

2007

GHERDÁN, K., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M., T. BIRÓ, K., KISS, V. (2007): Archaeometric studies on Early Bronze Age pottery from Vörs-Máriaasszony-sziget. Archeometriai Műhely 4/2, 21–31.

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* 4/2, 33–47.

KREITER, A., BAJNÓCZI, B., SIPOS, P., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M. (2007): Ceramic technological tradition: what for? In: *Vessels inside and outside – EMAC'07, 9th European Meeting On Ancient Ceramics, 24–27 October 2007, Budapest, Hungary. Program and Abstracts*, p. 23.

KOVÁCS, T., SZAKMÁNY, GY., T. BIRÓ, K., TÓTH, M. (2007): Daub: between pottery and sediment. In: *Vessels inside and outside – EMAC'07, 9th European Meeting On Ancient Ceramics, 24–27 October 2007, Budapest, Hungary. Program and Abstracts*, p. 132.

LÓVEI, 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, 75–82.

MERSDORF, ZS., TÓTH, M., BAJNÓCZI, B., GHERDÁN, K. (2007): Alternatives for reconstructing Early Medieval pottery workshop activity (based on the analysis of 9th century finds from Zalavár, Hungary). In: *Vessels inside and outside – EMAC'07, 9th European Meeting On Ancient Ceramics, 24–27 October 2007, Budapest, Hungary. Program and Abstracts*, p. 93.

SZILÁGYI, V., GYARMATI, J., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M. (2007): Preliminary comparative archaeometric results on Inka and Colonial ceramics from Paria (Oruro, Bolivia). In: WAKSMAN, Y. S.(ed.): *Archaeometric and Archaeological Approaches to Ceramics – Papers presented at EMAC'05, 8th European Meeting on Ancient Ceramics, Lyon 2005; BAR (British Archeological Reports) International Series 1691, 195–199.*

2006

FÓRIZS, I., PÁSZTOR, A., NAGY, G., TÓTH, M. (2006): Üveganyag újrafelhasználása az avar és szarmata kori üveggyöngyök mikroszöveti és (geo)kémiai vizsgálata tükrében. *ARRABONA Múzeumi Közlemények* 44/1, 141–150.

MERSDORF, ZS., TÓTH, M. (2006): IX. századi zalavári kerámiák égetésének rekonstrukciója. In: ÚJLAKI PONGRÁCZ, ZS. (szerk.): „Hadak útján” – Népeiségek és iparok a népvándorlás korában. *A Népvándorlásokor Fiatal Kutatóinak XVI. konferenciáján elhangzott (Nagykovácsi, 2005. szeptember 26–28.) előadások.* Park Kft., Nagykovácsi, CD, 205–225.

TÓTH, M., DOBOSI, G., BAJNÓCZI, B. (2006): Vértesszőlősi égett csontok analitikai vizsgálata. *Archeometriai Műhely* 4/3, 8–14.

2005

BAJNÓCZI, B., TÓTH, M., MERSDORF, ZS. (2005): Kerámiák vizsgálata katódlumineszcens mikroszkóppal, Zalavári – kora középkori – leletek példáján. *Archeometriai Műhely* 2/2, 31–41.

DÁGI, M., TÓTH, M. (2005): A small portrait head of Augustus – Archaeometrical investigations / Egy kisméretű Augustus-portré archeometriai vizsgálata. *Bulletin du Musée Hongrois des Beaux-Arts – A Szépművészeti Múzeum Közleményei* 102-103, 45–52., 197–202.

GHERDÁN, K., T. BIRÓ, K., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M., G. SÓLYMOS, K. (2005): Analysis of incrustated pottery from South-West Hungary, Vörs. *Southwest Hungary*. In: PRUEDENCIO, M. I., DIAS, M. I., WAERENBORGH, J. C. (eds.): *Understanding People through their pottery. Proceedings of the 7th European Meeting on Ancient Ceramics, Lisbon, Portugal (EMAC'03).* *Trabalhos de arqueologia* 42, 103–110.

GHERDÁN, K., T. BIRÓ, K., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M. (2005): Technological investigation of Early Neolithic pottery from Vörs, southwest Hungary. In: PRUDENCIO, M. I., DIAS, M. I., WAERENBORGH, J. C. (eds): *Understanding people through their pottery. Proceedings of the 7th European Meeting on Ancient Ceramics, Lisbon, Portugal (EMAC'03).* *Trabalhos de arqueologia* 42, 111–125.

PINTÉR F., SZAKMÁNY, GY., DEMÉNY, A., TÓTH, M., LÓVEI, P. (2005): The Provenance of "Red Marble" Monuments in Hungary. *Proceedings of the 33rd International Symposium on Archaeometry, 22–26 April 2002, Amsterdam. Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies* 3, 91–94.

TÓTH, M., SZÉPVÖLGYI, J., HORVÁTH P. (2005): Archeometric studies on two gilded buckles of belt found in regions Hódmezővásárhely-Sóshalom and Biharkeresztes-Ártánd-Kisfarkasdomb. In: GARAM, É., VIDA, T. (eds.): *Gepidische Gräberfelder im Theiſsgebiet II. Monumenta Gepidica.* Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 113–119.

ZÖLDFÖLDI, J., TAUBALD, H., PINTÉR, F., TÓTH, M., T. BIRÓ, K., SATIR, M., MRÁV, ZS., KASZTOVSZKY, ZS., SZAKMÁNY, GY., DEMÉNY, A. (2005): Provenance studies on Roman marble fragments in the Hungarian National Museum, Budapest. *Proceedings of the 33rd International Symposium on Archaeometry, 22–26 April 2002, Amsterdam. Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies* 3, 119–122.

2004

PINTÉR, F., SZAKMÁNY, GY., DEMÉNY, A., TÓTH, M. (2004): The provenance of "red marble" monuments from the 12th -18th centuries in Hungary. *European Journal of Mineralogy* 16, 618–628.

ZÖLDFÖLDI, J., PINTÉR, F., SZÉKELY, B., TAUBALD, H., T. BIRÓ, K., MRÁV, ZS., TÓTH, M., SATIR, M., KASZTOVSZKY, ZS., SZAKMÁNY, GY. (2004): Római márványtöredékek vizsgálata a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből. *Archeometriai Műhely* 1/1, 40–46.

2003

GHERDÁN, K., T. BIRÓ, K., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M., NAGY, S., STEFÁN, G. (2003): Technological investigation of Early Neolithic pottery from Vörs, South-West Hungary. 7th European Meeting on Ancient Ceramics, 27-31 October 2003, Lisbon, Portugal. *Book of Abstracts*, p. 31.

GHERDÁN, K., T. BIRÓ, K., SZAKMÁNY, GY., TÓTH, M., SÓLYMOS, G. K. (2003): Analysis of Incrusted Pottery from South – West Hungary, Vörs. 7th European Meeting on Ancient Ceramics, 27-31 October 2003, Lisbon, Portugal. *Book of Abstracts*, p. 32.

2002

PINTÉR, F., SZAKMÁNY, GY., DEMÉNY, A., TÓTH, M., LÖVEI, P. (2002): The Provenance of „Red Marble” Monuments in Hungary. 33rd International Symposium on Archaeometry, 22-26 April 2002, Amsterdam, The Netherlands. *Book of Abstracts* 056, 46–47.

ZÖLDFÖLDI, J., TAUBALD, H., PINTÉR, F., TÓTH, M., T. BIRÓ, K., SATIR, M. (2002): Provenance Studies on Roman Marble Fragments in the Hungarian National Museum. 33rd International Symposium on Archaeometry, 22-26 April 2002, Amsterdam, The Netherlands. *Book of Abstracts* 068, 53–54.

ZÖLDFÖLDI, J., TÓTH, M., SATIR, M., ÁRKAI, P. (2002): Provenance of the White Marble Building Stones in the Monuments of the Ancient Troy. 33rd International Symposium on Archaeometry, 22-26 April 2002, Amsterdam, The Netherlands. *Book of Abstracts* 069, p. 54.

TÓTH, M. (2002): A Lajos utca – Nagyszombat utca kerámiamintáiról készített röntgendiffrakciós analízis értékelése. *Archaeológiai Értesítő* 127, 80–81.

2001

FÓRIZS, I., PÁSZTOR, A., NAGY, G., TÓTH, M. (2001): Avar és szarmata gyöngyök Csongrád megyéből. Az anyaguk különbözik vagy csak a típusuk? Avar and sarmatian glass beads from the Csongrád county, Hungary. Only the style is different or the material as well? In: *A Wosinsky Mór Múzeum Évkönyve XXIII – Hadak Útján* (Konferencia kötet). Wosinsky Mór Megyei Múzeum, Szekszárd, 69–89.

FÓRIZS, I., PÁSZTOR, A., TÓTH, M., NAGY, G. (2001): Avar kori üvegyöngyök röntgendiffrakciós és elektron-mikroszondás vizsgálata. Alapadatok az üvegyöngyök genetikájához I. In:

KISS, M., LENGVÁRI, I. (eds.): Együtt a Kárpát-medencében. A Népvándorlások Főiskolai Kutatóinak VII. Összejövetele (Pécs, 1996. szept. 27-29.). Pécs, 49–68.

PINTÉR, F., SZAKMÁNY, GY., DEMÉNY, A., TÓTH, M. (2001): Vörös márvány műemléki kőanyagok eredetének kutatása. *Földtani Kutatás* 38/2, 21–23.

TÓTH, M., BERTÓTI, I., MOHAI, M., FÓRIZS, I., VOZIL, I. (2001): Material analysis of the bronze statuette of Imhotep / Imhotep bronzszobrának anyagvizsgálata. *Bulletin du Musée Hongrois des Beaux-Arts – A Szépművészeti Múzeum Közleményei* 95, 35–44., 169–176.

2000

FÓRIZS, I., PÁSZTOR, A., NAGY, G., TÓTH, M. (2000): Avar kori üvegyöngyök röntgendiffrakciós és elektron-mikroszondás vizsgálata. Alapadatok az üvegyöngyök genetikájához IV. Miből és hogyan? In: *BENDE, L., LŐRINCZY, G., SZALONTAI, CS.* (szerk.): *Hadak útján. A népvándorlás kor fiatal kutatóinak X. konferenciája* (Domaszék, 1999. szept. 27-30.). Szeged, 321–340.

FÓRIZS, I., PÁSZTOR, A., TÓTH, M., NAGY, G. (2000): Avar kori üvegyöngyök röntgendiffrakciós és elektron-mikroszondás vizsgálata. Alapadatok az üvegyöngyök genetikájához III. Az üvegyöngyök zárványai. In: *PETERCSÁK, T., VÁRADI, A.* (szerk.): *Heves Megyei Régészeti Közlemények 2., A népvándorlás kor fiatal kutatóinak kilencedik konferenciája* (Eger, 1998. szept. 18-20.). Eger, 147–173.

1999

FÓRIZS, I., TÓTH, M., NAGY, G., PÁSZTOR, A. (1999): Avar kori üvegyöngyök röntgendiffrakciós és elektron-mikroszondás vizsgálata. Alapadatok az üvegyöngyök genetikájához. Vörös opak üvegek. In: *S. PERÉMI, A.* (ed.): *A népvándorlások fiatal kutatói 8. találkozójának előadásai* (Veszprém, 1997. nov. 28-30.). Veszprém, 87–110.

HORVÁTH, Z. A., TÓTH, M. (1999): A templom és a szobrok kőanyagának pusztulása. Jelenségek, okok és a helyreállítás elvi vázlata. In: *SZENTESI, E.* (szerk.): *A jáki apostolszobrok – Die Apostelfiguren von Ják*. Balassi Kiadó, Budapest, 272–288.

TÓTH, M. (1999): Színmaradványok és patina a nyugati kapun. In: *SZENTESI, E.* (ed.): *A jáki apostolszobrok – Die Apostelfiguren von Ják*. Balassi Kiadó, Budapest, 289–303.

1997

DEMÉNY, A., FÓRIZS, I., TÓTH, M. (1997): Analyse géochimique des isotopes stables de marbles antiques / Antik márványok stabilizotóp-geokémiai vizsgálata. *Bulletin de Musée Hongrois des Beaux-Arts – A Szépművészeti Múzeum Közleményei* 86, 34–40., 122–128.

1995

D. MEZEY, A., TÓTH, M., SZENTESI, E., KÁLDY GY. (1995): Középkori kváderépületek restaurálása Alsó Ausztriában és Bajorországban. Műemlékvédelmi Szemle 1995/1-2, 322–330.

1993

DEÁK, K., TÓTH, M. (1993): A hédervári gótikus kőkapu festett kövei. Művészettörténet-Műemlékvédelem 1993/IV, 143–154.

DEÁK, K., FÓRIZS, I., TÓTH, M. (1993): Monuments as supports of the objects II. In: Cultural Heritage and Restorer in the Changing World. 8th International Restorer Seminar, Sárospatak, Hungary, 117–123.