

# Archeometriai Műhely

**2023.**  
**XX. évfolyam 2. szám**

# Archeometriai Műhely

elektronikus folyóirat



Kiadja a Magyar Nemzeti Múzeum

Felelős kiadó: L. Simon László, főigazgató

Szerkesztő: Szilágyi Veronika

A szerkesztőbizottság tagjai:

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

ISSN: HU ISSN 1786-271X

URN: urn:nbn:hu-4106

## ***Tartalom / Contents***

### ***Archeometriai Műhely / Archaeometry Workshop No. 2023/2.***

#### ***Cikkek / Articles***

- BENYÓ-  
KORCSMÁROS, Réka; : [Identification and environmental background of \*Chara\* remains in the Holocene sequence of Lake Petea \(NW Romania\) and the possibilities of using the results in archaeobotany / A Szent László-tó \(ÉNY-Románia\) holocén kori szelvényében található \*Chara\* maradványok azonosítása és környezeti háttere, valamint az eredmények archeobotanikai felhasználásának lehetőségei](#) **119-126**
- GULYÁS, Sándor;  
BÓNI, Zoltán; NAGY,  
Balázs; TÖRŐCSIK,  
Tünde; SÜMEGI, Pál : [The use of CT analysis in revealing structural heterogeneity of freshwater carbonate decoration and construction stones / A CT-analízis alkalmazása az építő- és díszítőkként használt édesvízi karbonátos kőzetek szerkezeti elemzésében](#) **127-146**
- ALZOUBI, Nour;  
GULYÁS, Sándor;  
GEIGER, János : [Sarmatian kiln from Szentes–Schweidel József street site / Szarmata kori edényégető kemence Szentes–Schweidel József utca lelőhelyről](#) **147-160**
- BOZSIK, Vivien;  
WALTER, Dorottya;  
FINTOR, Krisztián;  
KREITER Attila;  
VÖRÖS, Gabriella : [Tázlár–Templomhegy késő szarmata település kerámiaanyagának petrográfiai elemzése / Petrographic analysis of ceramics from the Late Sarmatian settlement of Tázlár–Templomhegy](#) **161-176**
- TÖRÖK, Béla;  
BARKÓCZY, Péter : [Keszthely-Fenékpusztai késő római lelőhelyről származó rendkívüli méretű vasbucák archeometriai vizsgálata / Archaeometrical examination of iron blooms of extraordinary size from the Late Roman site of Keszthely-Fenékpusztai](#) **177-190**

#### ***Közlemények / Other communications***

- SZILÁGYI, Veronika : [Új tagokkal bővült az Archeometriai Műhely szerkesztőbizottsága](#) **191-193**
- PETŐ, Ákos;  
SZEGEDI, Kristóf;  
KOVÁCS, Gabriella : [Beszámoló a Régészeti Talajtani Szakosztályról megalapításáról](#) **194**

# IDENTIFICATION AND ENVIRONMENTAL BACKGROUND OF CHARA REMAINS IN THE HOLOCENE SEQUENCE OF LAKE PEȚEA (NW ROMANIA) AND THE POSSIBILITIES OF USING THE RESULTS IN ARCHAEOBOTANY

## A SZENT LÁSZLÓ-TÓ (ÉNY-ROMÁNIA) HOLOCÉN KORI SZELVÉNYÉBEN TALÁLHATÓ CHARA MARADVÁNYOK AZONOSÍTÁSA ÉS KÖRNYEZETI HÁTTERE, VALAMINT AZ EREDMÉNYEK ARCHEOBOTANIKAI FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI •

BENYÓ-KORCSMÁROS, Réka<sup>1\*</sup>; GULYÁS, Sándor<sup>1</sup>; BÓNI, Zoltán<sup>1</sup>; NAGY, Balázs<sup>1</sup>; TÖRŐCSIK, Tünde<sup>1</sup>; SÜMEGI, Pál<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Szeged, Department of Geology and Palaeontology, Egyetem utca 2-6, 6722 Szeged, Hungary

\*E-mail: [bkreka@geo.u-szeged.hu](mailto:bkreka@geo.u-szeged.hu)

### Abstract

The charophyte remains play an important role in the reconstruction of the hydrological characteristics (pH, water depth, stream flow, carbonate content, isotope geochemistry-water chemistry and temperature) of the former lake habitats. This is of particular importance in environmental historical studies, since the possibilities for obtaining aquatic food resources and the techniques and tools used are fundamentally influenced by these hydrological conditions. Our gyrogonite samples were recovered from the Holocene sequence of the thermal-spring fed Lake Pețea NW Romania. The presence of the recovered Chara cf. hispida Linnaeus, 1753 gyrogonites marks the emergence of an oligotrophic shallow water lake system characterized by high dissolved Ca and Mg content and relatively poor plant cover in the Early Holocene. The results of previous malacological and ostracod studies also indicate the development of a shallow water lake with a muddy substrate and water temperatures above 18°C. As a warm-water lake, the local micro-environment was also home to many exploitable tree species. The charophyte remains that we recovered were from the Mesolithic level of the lake, so we were able to provide information on the hydrology of the lake for this period. Unfortunately, there have been no detailed archaeological investigations in the area to date revealing any potentially Mesolithic remains. Thus, no information is currently available on actual human occupation from the period in question.

### Kivonat

A csillárkamoszat maradványok fontos szerepet játszanak az egykori tavi élőhelyek hidrológiai jellemzőinek (pH, vízmélység, áramlás, karbonát tartalom, izotópgeokémia-víz-kémia és hőmérséklet) rekonstrukciójában. Ez különösen fontos a környezettörténeti vizsgálatokban, mivel a vízi táplálékforrások megszerzésének lehetőségeit, valamint az alkalmazott technikákat és eszközöket alapvetően befolyásolják ezek a hidrológiai viszonyok. Chara girogonit mintáinkat az ÉNy-Romániában találhatók, termálforrás táplálta Szent László-tó holocén rétegsorából nyertük. A megtalált Chara cf. hispida Linnaeus, 1753 girogonitok jelenléte egy oligotróf sekélyvízi tórendszer kialakulását jelzi, amelyet magas oldott Ca és Mg tartalom és viszonylag szegényes növénytakaró jellemez a koraholocénben. A korábbi malakológiai és Ostracoda vizsgálatok eredményei szintén egy sekély vízű, iszapos aljzatú, 18°C feletti vízhőmérsékletű tó kialakulására utalnak. Meleg vízű tóként a helyi mikrokörnyezet számos hasznosítható fajának is otthont adott. Az általunk vizsgált Chara maradványok a tó mezolitik szintjéről származnak, így a tó hidrológiai viszonyairól erre az időszakra vonatkozóan tudunk információt szolgáltatni. Sajnos a területen eddig nem folytak részletes régészeti kutatások, amelyek egyértelműen mezolitik maradványokat

---

• How to cite this paper: BENYÓ-KORCSMÁROS, R.; GULYÁS, S.; BÓNI, Z.; NAGY, B.; TÖRŐCSIK, T. & SÜMEGI, P. (2023): Identification and environmental background of Chara remains in the Holocene sequence of Lake Pețea (NW Romania) and the possibilities of using the results in archaeobotany, *Archeometriai Műhely* XX/2 pp. 119–126.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2023-009](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2023-009)

tártak volna fel. Így jelenleg nem áll rendelkezésre információ a kérdéses időszak tényleges antropogén hatásaira vonatkozóan.

KEYWORDS: CHAROPHYTES, GYROGONITES, ARCHAEOBOTANY, ENVIRONMENT RECONSTRUCTION, LAKE PEȚEA

KULCSSZAVAK: CSILLÁRKAMOSZATOK, GIROGONITOK, ARCHEOBOTANIKA, KÖRNYEZETI REKONSTRUKCIÓ, SZENT LÁSZLÓ-TÓ

## Introduction

Charophytes are macroscopically visible algae, the most common representatives of which live in freshwater (Soulié-Märsche 2004). An important feature is that their fertilized female reproductive organs (oospores), depending on species and environmental conditions, form a resistant structure suitable for fossilization. This structure is formed by the calcification of the spiral cells, and the resulting formula is called a gyrogonite (Soulié-Märsche & García 2015). The first fossil gyrogonites are known from layers formed in the Palaeozoic Silurian and have been found in sediments continuously since then. The structure described above carries essential morphometric, taxonomic, and geochemical data. The extracted data can be used as a proxy for archaeological and environmental reconstruction studies (Horn af Rantzen 1959; O'Brien et al. 2005; Palacios-Fest 2010; Jakab & Sümegei 2011; Frenzel 2019; Marton 2021; Demirci et al. 2023). The depth, temperature, stream flow, chemical composition and amount of light in the water are important for charophytes (Horn af Rantzen 1959; Jakab & Sümegei 2011). The most important water chemistry parameters are pH, lime and phosphorus content. High phosphorus content is not favourable for charophytes and is the limiting factor for them. Although phosphorus and nitrogen compounds can be naturally introduced into standing waters, their presence is mainly due to human activities such as agriculture and wastewater production (Jakab & Sümegei 2011). Exploring the evolutionary history of natural sedimentary systems and their environments is in the focus of complex archaeobotanical studies (Sümegei et al. 2015). The present work is concerned with the study of such a natural sedimentary system, the former environment of the thermal spring fed Lake Pețea (Lake St. Ladislaus) in Băile 1 Mai NW Romania through the analysis of the fossil gyrogonites recovered from a geological profile dug in 2012.

## Sampling area

Băile Episcopale (Hungarian: Püspökfürdő, German: Bischofsbad) is a popular bathing resort located 9 km SE from the city of Oradea NW Romania. It is one of the oldest known bathing

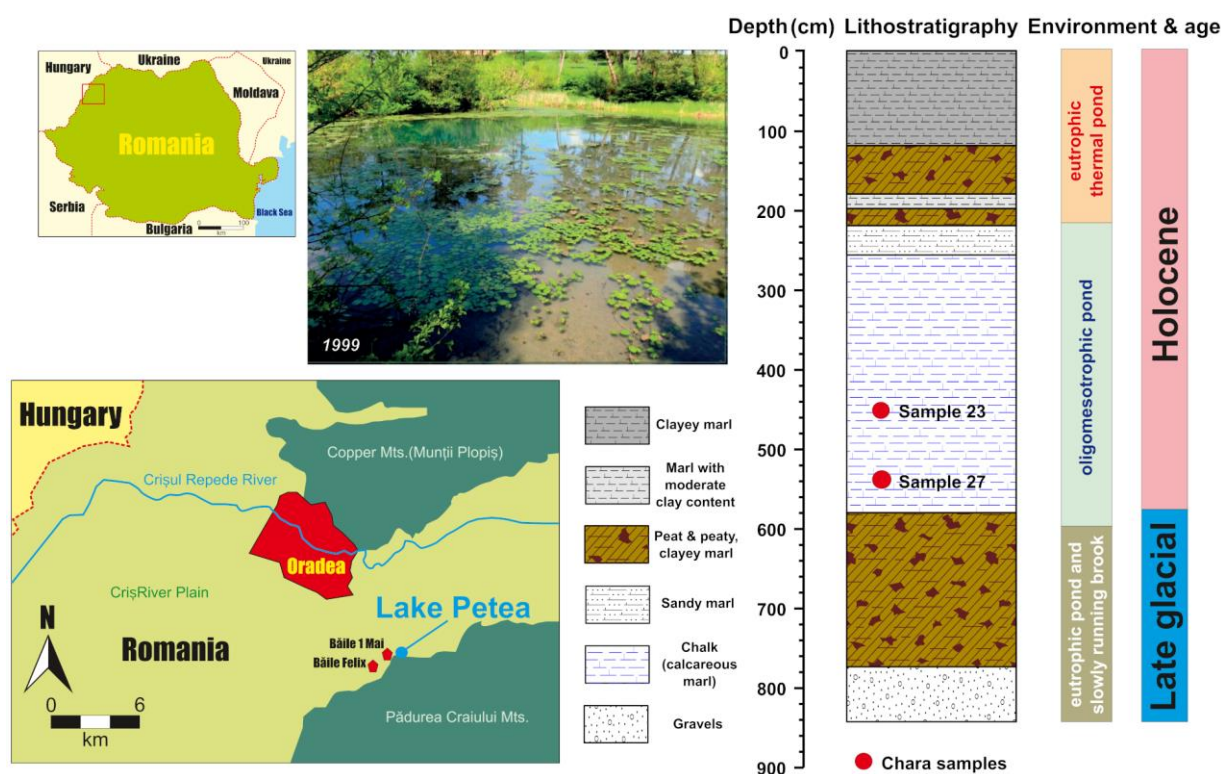
sites, mentioned as early as the 18<sup>th</sup> century. Its popularity is based on the thermal waters found in the area, whose therapeutic properties are widely used to treat a wide range of ailments (e.g., rheumatism) (Benyó-Korcsmáros et al. 2020).

It is also famous for its thermal spring fed Lake Pețea (Lake St. Ladislaus) and the Pețea stream. Several outstanding species, unique to the Carpathian Basin and only to this lake, have survived here. These include the thermal rudd *Scardinius rakoviczai*, the melanopsid *Microcolpia parreyssi* and Egyptian white water-lily *Nymphaea lotus* var. *thermalis*. Recognizing its importance, the area was first declared protected in 1932 and then became part of the Natura 2000 network in 2007 (Tóth 1891; Kormos 1903, 1904, 1905a,b; Pauča 1937; Sirbu & Sárkány-Kiss 2002; Sümegei et al. 2012a,b; Sirbu et al. 2013; Neubauer et al. 2014; Sümegei et al. 2018; Gulyás et al. in rev; Gulyás & Sümegei 2023). Unfortunately, this thermal pond dried up in 2014, probably due to excessive thermal water extraction, and these three species disappeared from the Pețea Creek Nature Reserve. Our research, carried out in cooperation with the Țării Crișurilor Museum, aims to reconstruct the former lake environment because this complex ecosystem may have played an important role in human settlement or activity like raw material acquisition. Our further aim is to help restore the dried-up lake and, last but not least, to better understand the environmental needs of the protected species that unfortunately went fully extinct in 2016 (Sirbu & Sárkány-Kiss 2002; Telcean & Cupșa 2006; Mintaș et al. 2012; Telcean & Cupșa 2012; Sirbu et al. 2013; Telcean & Cupșa 2013; Müller et al. 2014; Sirbu & Benedek 2016).

## Material and methods

The material derives from stratified samples of the geological profile of the 2012 campaign (Sümegei et al. 2012a,b, 2018, Gulyás & Sümegei 2023) (Fig. 1.).

The base of the 8.4 m sequence is given by limestone pebbles overlain by ca. 2 m thick organic-rich sediments (peaty, clayey marl) representing the emergence of a eutrophic lake.



**Fig. 1.:** Location of the sampling area with stratigraphic data

**1. ábra:** A mintavételi terület elhelyezkedése és a vizsgált szelvény rétegrajza

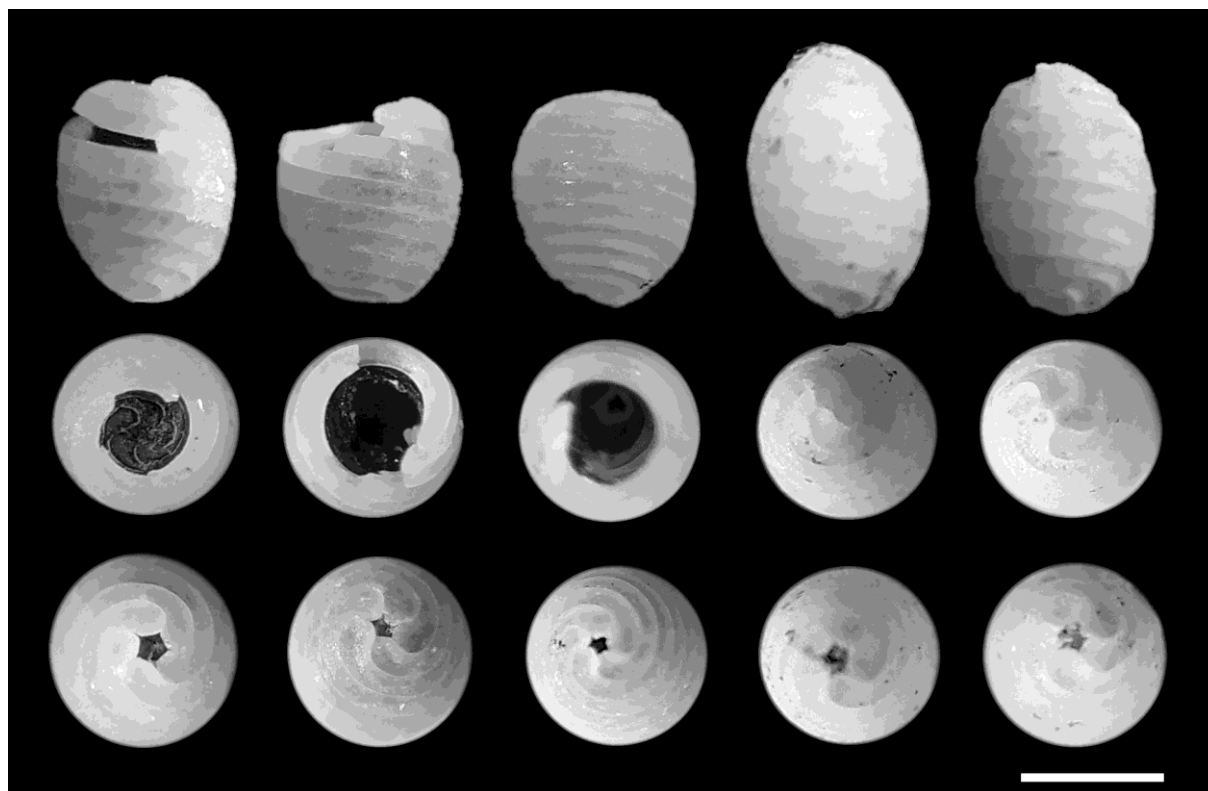
This is overlain by ca. 3 m of calcareous marl up to a depth of 2.5 m with thin pebbly, sandy intercalations in its top part representing deposits of an oligomesotrophic lacustrine system. The next unit is a 1.4 m organic-rich lacustrine sediment with thin silty, sandy marl intercalations overlain by 1.2 m of clay-rich silty marls again deposited in a eutrophic thermal lake system. Based on available radiocarbon data for charcoal samples taken from the base of the 2012 profile, the evolution of the lake must have started at 22.5 ky cal BP and most of the sequence are dated to the Holocene. The ages of the two samples are 10 300–10 200 year cal BP and 11 200–10 900 year cal BP so it can be dated to the Early Holocene (Sümegei et al. 2012a,b, 2018, Gulyás et al. in rev, Gulyás & Sümegei 2023).

Three specimens of gyrogonite were recovered from sample 23 (between 440–460 cm) and two specimens from sample 27 (between 520–540 cm) of the section. The gyrogonites were collected under a Leica Wild M3Z stereomicroscope. Photographs were taken and more detailed morphological and morphometric analysis (Soulié-Märsche & García 2015) were performed using a Zeiss Discovery.V12 stereomicroscope. Statistical analysis was not performed due to the small sample size. The results of the residuals determination were

compared with sedimentological, malacological data for the horizons (Sümegei et al. 2012a,b, 2018; Gulyás & Sümegei 2023). The ages of the two levels containing the gyrogonites were adopted from Sümegei et al. (2018), Gulyás et al. (in rev) and Gulyás & Sümegei (2023).

## Results

The gyrogonites are medium in size, the mean longest polar axis (LPA, length) is 810  $\mu\text{m}$ , the mean largest equatorial diameter (LED, width) is 580  $\mu\text{m}$ . The isopolarity index (ISI) is 139.65 and the shape is usually subovoidal to ellipsoidal, subprolate to prolate. The mean distance of the apex and the equator is 435  $\mu\text{m}$ . The apex is round and there are not any apical modifications. The number of spiral cells is 5. The outer structure of the gyrogonites is white, there are not any ornamentations. The spiral cells are 81–100  $\mu\text{m}$  wide and the spirals are convex. In specimens where the outer casing is damaged, the brown-coloured inner structure becomes visible. In lateral view, the number of visible convolutions is 11–12. Mean basal pore diameter is 79  $\mu\text{m}$ , the simple pentagonal basal plate is visible. Based on the above data, the studied gyrogonites belong to the species *Chara cf. hispida*. Linnaeus, 1753 (Fig. 2.).



**Fig. 2.:** *Chara cf. hispida* gyrogonites from the section. From left to right 23/1-23/2-23/3-27/1-27/2, top-down lateral-apical-basal view. Scale bar 500 µm

**2. ábra:** A szelvényből származó *Chara cf. hispida* girogonitok. Balról jobbra 23/1-23/2-23/3-27/1-27/2, fentről lefelé oldal-csúcsi-alapi nézetben. Méretskála 500 µm.

## Discussion

*Chara hispida* Linnaeus, 1753 is most often described *Chara* species from lakes and peatlands exploitation ponds, but it can also grow in shallow areas of pools or calcium-rich ditches. The species is also found in open areas of ponds but, like other charophytes, prefers smaller, sheltered areas. They usually grow at depths of 0.5–2 m, but also occur at depths of 4 m. They have a wide temperature tolerance and are indifferent to light conditions (Haas 1994; Urbaniak & Gąbka 2014).

The mollusc fauna composition of the levels containing gyrogonites was dominated by *Microplia daudebartii acicularis* A. Férussac, 1823 (level 23: 93.23%, level 27: 100%) and *Theodoxus prevostianus* C. Pfeiffer, 1828 (level 23: 6.77%), which is considered to be a Pannonian endemism (Sümegei et al. 2012a,b, 2018). Among the ostracods, species of the genus *Candona*, *Candona candida* O.F. Müller, 1776 and *Candona weltneri* Hartwig, 1899 were identified (Bóni 2022).

Based on the results of Gulyás & Sümegei (2023) using sedimentary, environmental magnetic, LOI, and fire intensity data a three-stage sedimentary evolution occurred in Lake Pető between 17.5 and 0.05 ka cal BP which was mainly controlled by

major climate-driven hydrological changes also seen in regional palaeoenvironmental records; i.e. 17.5–14.5 ka shallow eutrophic lake, 14.5–5.5 ky oligotrophic carbonate-rich lake, 5.5–0.5 ka shallow eutrophic lake. A major lowstand at 11.7–10.2 ky because of a drier climate was followed by progressively rising water levels up to 5 ky followed by a drop. The main control on lake level fluctuations and sedimentary phases was varying input of thermal water due to recurring increased/decreased recharge of the underground shallow karst water system. Based on the stratigraphic location of the charophyte samples, the occurrence of these fossils postdates the mentioned lowstand seen from palaeo-environmental data.

Both ostracod species indicate a lacustrine, shallow lake environment with a muddy substrate and water temperatures above 18°C (Bóni 2022), which is consistent with the malacological temperature data previously obtained on the mollusc fauna (Sümegei et al. 2012a,b, 2018).

The results show that, although *Chara cf. hispida* Linnaeus, 1753 was present in the Early Holocene oligotrophic lake, the hydrological conditions were not particularly favourable for *Characeae* species in the remaining part of the lake history despite the

documented high carbonate content present in the lake system (Gulyás & Sümegi 2023). This assumption is supported by the complete absence of gyrogonites in the other levels of the section.

### Conclusion

The results confirm that the former environment of the lake provided suitable conditions for human settlement and activity. The Chara remains that we recovered were from the Mesolithic level of Lake Pețea, so we were able to provide information on the hydrology of the lake for this period. The section and these two levels are not of anthropogenic origin, but are the result of natural processes, and are thus indirectly linked to archaeological research. Unfortunately, there have been no detailed archaeological investigations in the area to date revealing any potentially Mesolithic remains. Thus, no information is currently available on actual human occupation from the period in question. Nevertheless, the methods of analysis detailed above can be reliably applied in archaeology and the results of the environmental reconstruction of the Lake Pețea will help future archaeological research in the area.

### Contribution of authors

**Benyó-Korcsmáros Réka** Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Research. **Gulyás Sándor** Conceptualization, Writing - Review & Editing, Research. **Bóni Zoltán** Analysis of ostracod remains. **Nagy Balázs** Fieldwork, Sample preparation. **Törőcsik Tünde** Writing - Review & Editing. **Sümegi Pál** Source funding, Research.

### Acknowledgements

Support of 20391-3/2018/FEKUSTRAT and NKFIH Grant 129265 is acknowledged. We wish to acknowledge the editors and two reviewers for their useful recommendations and advice. The manuscript was improved by their valuable comments.

### References

BENYÓ-KORCSMÁROS, R., TORMA, A., GULYÁS, S. & SÜMEGI, P. (2020): Lotus from Nagyvárád: The question of the origin of the thermal water lily from Püspökfürdő. In: SZÓNOKY, ANCSIN, G. (ed.): Magyarok a Kárpát-medencében 4. Régmúlt és Jelen: Tudományos Nemzetközi Konferencia, Szeged, Magyarország: Egyesület Közép-Európa Kutatására 97–103.

BODNÁR, B. (2013): The sedimentological analysis of the thermal Pețea lake, Püspökfürdő. *Közöletlen diplomamunka* (MA/MSc), Department of Geology and Paleontology, University of Szeged, 21–25.

BÓNI, Z. (2022): Kagylósrákok taxonómiai, paleoökológiai vizsgálata a püspökfürdői Szent László-tó üledékeiből. *Közöletlen diplomamunka* (MA/MSc), Department of Geology and Paleontology, University of Szeged, 28–39.

DEMIRCI, E., SANJUAN, J., NAZIK, A., MERİÇ, E., YÜMÜN, Z. Ü. (2023): Subrecent charophyte flora from Çeşmealti (Izmir Gulf, Western Turkey): Palaeoecological implications. *Aquatic Botany*, 186, 103613, ISSN 0304-3770. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2022.103613>

FRENZEL, P. (2019): Fossils of the southern Baltic Sea as palaeoenvironmental indicators in multi-proxy studies. *Quaternary International* 511 6–21. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.09.014>

GULYÁS, S. & SÜMEGI, P. (2023): Late Pleistocene to Holocene Palaeohydrological History of the Thermal-Spring-Fed Lake Pețea (NW Romania) Revealed by Radiocarbon Dating and Complex Sedimentological Investigations. *Quaternary* 6, 37. <https://doi.org/10.3390/quat6020037>

GULYÁS, S.; SÜMEGI, P.; MÜLLER, T.; GEARY, D.H.; MAGYAR, I.; NAGY, B.; BENYÓ-KORCSMÁROS, R. (in rev): Assessing phenotypic variation and plasticity of endemic gastropods from thermal water refugia using complex morphometric techniques: A case study of Lake Pețea melanopsids. *Palaeontology*, submitted.

HAAS, J.N. (1994): First identification key for charophyte oospores from central Europe, *European Journal of Phycology* 29/4 227–235.

HORN AF RANTZIEN, H. (1959): Recent charophyte fructifications and their relations to fossil charophyte gyrogonites. *Arkiv För Botanik, Serie 2*, 165–332.

JAKAB, G. & SÜMEGI, P. (2011): *Negyedidőszaki makrobotanika*, Szeged, Magyarország: SZTE TTK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, 251 p.

KORMOS, T. (1903): Beiträge zur Kenntnis der Melanopsis-Arten aus den Thermen von Püspökfürdő bei Nagyvárád. *Földtani Közöny* 33 496–503.

KORMOS, T. (1904): Új adatok a Püspökfürdő élő csigáinak ismeretéhez. *Állattani Közlemények* 3 102–111.

KORMOS, T. (1905a): A Melanopsis hungarica, Korm. alkalmazkodásáról. *Állattani Közlemények* 4 155–156.

KORMOS, T. (1905b): Über den Ursprung der Thermenfauna von Püspökfürdő. *Földtani Közöny* 35 421–450.

MARTON, T. (2021): Csontszigonyok tözeglápból - a sárréti leletek újraértékelése. In: LÖFFLER, Zs.

& MOLNÁR, Cs. (szerk.) „Járni csak együtt tudnak” *Régészeti és néprajzi összefüggései*. Móra Ferenc Múzeum kiadványa, Szeged, 9–19.

MINTAȘ, O., VICAȘ, G. & MINTAȘ, I. (2012): The influence of the natural factors on the evolution of the Peța thermal hydro-geo-ecosystem in the period 2009–2012. *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului* **19** 733–738.

MÜLLER, T., VÁRKONYI, L., GAGIU, A., KOVÁCS, B., BUZA, E., MAJOROS, G., STASZNY, Á., HORVÁTH, Á., BERNÁTH, G., TÓTH, G., TATÁR, S., URBÁNYI, B., FEHÉR, Z., GRIGORAS, G., SERBAN, C. & MÜLLERNÉ-TRENOVSZKI, M. (2014): Attempts on ex situ conservation of *Melanopsis parreyssii* and *Scardinius racovitzai*. In: Zimmermann, Z. Szabó, G. (eds.) "II. Sustainable development in the Carpathian Basin" international conference – Book of Abstracts, Gödöllő, 35–38.

NEUBAUER, T.A., HARZHAUSER, M. & KROH, A. (2013a): Phenotypic evolution in a fossil gastropod species lineage: evidence for adaptive radiation? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **370** 117–126.

NEUBAUER, T. A., HARZHAUSER, M., GEORGOPOULOU, E. & WROZYNA, C. (2014): Population bottleneck triggering millennial-scale morphospace shifts in endemic thermal-spring melanopsids. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **414** 116–128.

O'BRIEN, C., SELBY, K., RUIZ, Z., BROWN, A., DINNIN, M., CASELDINE, C., LANGDON, P. & STUIJTS, I. (2005): A sediment-based multiproxy palaeoecological approach to the environmental archaeology of lake dwellings (crannogs), central Ireland. *The Holocene* **15/5** 707–719. <https://doi.org/10.1191/0959683605hl845rp>

PALACIOS-FEST, M. R. (2010): Late Holocene Paleoenvironmental History of the Upper West Amarillo Creek Valley at Archaeological Site 41PT185/C, Texas, USA. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **62/3** 399–436. <https://doi.org/10.18268/BSGM2010v62n3a7>

PAUCĂ, M. (1937): Les mollusques pléistocènes de Băile Episcopescu. *Bulletin de la Societe Roumanie de Geologie* **3** 130–142.

PELECHATA, A., PUKACZ, A., KACZMAREK, L. & PELECHATY, M. (2020): Do charophytes influence biomass and species composition of phytoflagellates? *Aquatic Botany* **165** 103240. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2020.103240>

SÎRBU, I. & BENEDEK, A.M. (2005): The genus *Theodoxus* Montfort 1810 (Mollusca, Gastropoda, Neritidae) in the Romanian Inner Carpathian Basin.

*Scientific Annals of the Danube Delta Institute for Research and Development (Tulcea)* **11** 92–98.

SÎRBU, I. & BENEDEK, A.M. (2009): The extinction of *Theodoxus prevostianus* (C. Pfeiffer, 1828) (Mollusca: Gastropoda: Neritidae) in Romania. *Tentacle* **17** 19–21.

SÎRBU, I. & BENEDEK, A.M. (2016): Requiem for *Melanopsis parreyssii* or the anatomy of a new extinction in Romania. *Tentacle* **24** 26–28.

SÎRBU, I., GAGIU, A. & BENEDEK, A.M. (2013): On the brink of extinction: fate of the Peța thermal lake (Romania) and its endemic species. *Tentacle* **21** 34–37.

SÎRBU, I. & SÁRKÁNY-KISS, A. (2002): Endangered freshwater mollusc species from the eastern tributaries of the Tisa river (Romanian territory). *Tiscia monograph series* **6** 71–80.

SOULIÉ-MÄRSCHÉ, I. (2004): Charophyte Gyrogonites, the Result of Enantioselective Influence 250 Million Years Ago. In: PALYI, G., ZUCCHI, C. & CAGLIOTI, C. eds., *Progress in Biological Chirality*. Elsevier, Oxford: 365–375.

SOULIÉ-MÄRSCHÉ, I. & GARCÍA, A. (2015): Gyrogonites and oospores, complementary viewpoints to improve the study of the charophytes (Charales). *Aquatic Botany* **120** 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.06.003>

SÜMEGI, P., MOLNÁR, M., JAKAB, G., PERSAITS, G., MAJKUT, P., PÁLL, D., GULYÁS, S., JULL, A. & TÖRŐCSIK, T. (2011): Radiocarbon-Dated Paleoenvironmental Changes on a Lake and Peat Sediment Sequence from the Central Great Hungarian Plain (Central Europe) During the Last 25,000 Years. *Radiocarbon* **53/1** 85–97. <https://doi.org/10.1017/S0033822200034378>

SÜMEGI, P., MOLNÁR, D., SÁVAI, S. & GULYÁS, S. (2012a): Malacofauna evolution of the Lake Peța (Püspökfürdő), Oradea region, Romania. *Nymphaea, Folia naturae Bihariae* **39** 5–29.

SÜMEGI, P., MOLNÁR, D., SÁVAI, S. & TÖVISKES, R.J. (2012b): Preliminary radiocarbon dated paleontological and geological data for the Quaternary malacofauna at Püspökfürdő (Băile 1 Mai, Oradea region, Romania). *Malakológiai. Tájékoztató* **30** 31–37.

SÜMEGI, P., JAKAB, G., NÁFRÁDI, K., TÖRŐCSIK, T., GULYÁS, A. & BEDE, Á. (2015): Antropogén és természetes üledékgyűjtő rendszerek elemzésének jelentősége a komplex archeobotanikában. In: TÖRŐCSIK, T., NÁFRÁDI, K. & SÜMEGI, P. szerk., *Komplex archeobotanika*. Szeged, Magyarország: SZTE TTK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, 23–60.

SÜMEGI, P., GULYÁS, S., MOLNÁR, D., NÁFRÁDI, K., TÖRÖCSIK, T., SÜMEGI, B. P., MÜLLER, T., SZILÁGYI, G. & VARGA, Z. (2018): Ice Age Terrestrial and Freshwater Gastropod Refugia in the Carpathian Basin, Central Europe. In: RAY, S. ed., *Biological Resources of Water*. IntechOpen 93–117.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.71910>

TELCEAN, I. & CUPSA, D. (2006): Püspökfürdő endemikus hala a Racovitza kele (*Scardinius racovitza*). *Halászat* **99/4** 135.

TELCEAN, I. & CUPŞA, D. (2012): Threatened and rare fishes from Upper Tisa valley and its Romanian left shore tributaries (North - Western Romania). *Pisces Hungarici* **6** 87–94.

TELCEAN, I.C. & CUPŞA, D. (2013): The drastic decline of fish fauna in the thermal lake of “Baile 1 Mai” (Băile Episcopale, Bihor County, Romania). *Pisces Hungarici* **7** 141–142.

TÓTH, M. (1891): Data about Diluvial formations of Nagyvárad region. *Magyar Orvosok és Természetvizsgálók 25. Vándorgyűlése Munkálatai* **25**, 474–479.

URBANIAK, J. & GĄBKA, M. (2014): *Polish Charophytes: An Illustrated Guide to Identification*. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu: Wrocław, Poland; 60–61.

WOLF, H. (1863): Berichtüber die geologischen Verhältnisse im Körösthale in Ungarn, nach den Aufnahmen im Jahre 1860. *Jahrbuch der kaiserlich und königlich geologische Keischsanstalt* **1863**, 265–292.



# THE USE OF CT ANALYSIS IN REVEALING STRUCTURAL HETEROGENEITY OF FRESHWATER CARBONATE DECORATION AND CONSTRUCTION STONES

## A CT-ANALÍZIS ALKALMAZÁSA AZ ÉPÍTŐ- ÉS DÍSZÍTŐKÖKÉNT HASZNÁLT ÉDESvíZI KARBONÁTOS KÖZETEK SZERKEZETI ELEMZÉSÉBEN •

ALZOUBI, Nour<sup>1\*</sup> ; GULYÁS, Sándor<sup>1</sup>  & GEIGER, János<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>The University of Szeged, Department of Geology and Palaeontology,  
2-6 Egyetem Str. H-6722 Szeged, Hungary

E-mail: [nouralzoubi@geo.u-szeged.hu](mailto:nouralzoubi@geo.u-szeged.hu)

### Abstract

This article presents the findings of a CT analysis conducted on freshwater carbonate rocks found in the Danube-Tisza Interfluvium. These rocks are utilized for both construction and decoration purposes in the medieval buildings of the region. The aim of the study was to uncover some petrophysical properties of the rocks deriving from the Csólyospálos quarry. The proportions of the main constituents of the rocks carry significant information about the formation and alteration history of sedimentary rocks. To comprehend and assess the nature of these processes, as well as the resulting spatial variations, it is necessary to gather quantitative data on the distribution of these constituents at both macro- and micro-scales. The researchers employed an EM-mixture analysis that considered the density differences among the individual constituents to determine the quantitative characteristics of the main components that form the rocks. By setting a threshold value to distinguish macropores (empty spaces) with lower density values from the solid matrix, the percentage of voids was calculated for each CT slice. The distribution of these voids was examined in three dimensions along all possible axial directions (X, Y, Z). Watershed algorithm, and Laplace operator were applying on selected CT slices that corresponded to areas with similar compositional features. This approach helped identify potential flow directions within the rocks. The spatial distribution and orientation of macropores, which could be visualized using CT at a resolution of over 200 microns, provided valuable insights into the paths through which water could enter the carbonate rocks used for construction or decoration. This information is crucial in understanding structural damage caused by frost weathering and dissolution via capillary action once a static-state flow is established. Furthermore, these findings complement the results obtained from laboratory geotechnical measurements.

### Kivonat

A cikk a Duna-Tisza közén található édesvízi karbonátos kőzeteken végzett CT-elemzés eredményeit mutatja be. Ezeket a kőzeteket építési és díszítési célokra egyaránt felhasználják a térség középkori épületeinél. A vizsgálat célja a kőzetek bizonyos mérnökgeológiai és petrofizikai tulajdonságainak feltárása volt a csólyospálosi kőfejtőből vett minták alapján. A kőzetek fő alkotóelemeinek arányai jelentős információkat hordoznak az üledékes kőzetek kialakulási és átalakulási történetéről. E folyamatok természetének megértéséhez és értékeléséhez, valamint az ebből eredő térbeli eltérésekhez mennyiségi adatokat kell gyűjteni ezen alkotóelemek eloszlásáról mind makro-, mind mikroszinten. A szerzők a kőzeteket alkotó fő komponensek mennyiségi jellemzőinek meghatározásához egy várokozás-maximalizálás algoritmust alkalmaztak, amely az egyes alkotóelemek közötti sűrűségkülönbségeket vette figyelembe. Egy küszöbérték beállításával, amely megkülönbözteti az alacsonyabb sűrűségértékkel rendelkező makropórusokat (üres tereket) a komponensektől (mátrix és szemcsék), kiszámították az pórusok százalékos arányát minden egyes CT-szeletre. Ezen pórusok eloszlását három dimenzióban vizsgálták az összes lehetséges tengelyirányban (X, Y, Z). A kutatók a Laplace-operátort alkalmazó vízválasztó módszert is alkalmazták a kiválasztott CT-szeleteken, amelyek hasonló összetételi jellemzőkkel rendelkező területeknek feleltek meg. Ez a megközelítés segített azonosítani a kőzeteken belüli lehetséges áramlási irányokat. A makropórusok térbeli eloszlása és orientációja, amelyeket a CT segítségével jobb mint 200 mikron felbontással lehetett láthatóvá tenni, értékes betekintést nyújtott azokba az

• How to cite this paper: ALZOUBI, N.; GULYÁS, S. & GEIGER, J., (2023): The use of CT analysis in revealing structural heterogeneity of freshwater carbonate decoration and construction stones, *Archeometriai Műhely* XX/2 pp. 127–146.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2023-010](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2023-010)

*utakba, amelyeken keresztül a víz bejuthatott az építésre vagy díszítésre használt karbonátos kőzetekbe. Ez az információ döntő fontosságú a fagyos időjárás okozta szerkezeti károsodás és a kapilláris hatáson keresztül történő oldódás megértéséhez, amint az áramlás állandósult állapotba kerül. Továbbá ezek az eredmények kiegészítik a laboratóriumi geotechnikai mérésekből származó eredményeket.*

KEYWORDS: KEYWORDS: CT, FRESHWATER CARBONATE, WATERSHED ALGORITHM, POTENTIAL WATER PATHS MAPS, DANUBE-TISZA INTERFLUVE

KULCSSZAVAK: CT, ÉDESVÍZI KARBONÁT, WATERSHED ALGORITMUS, POTENCIÁLIS ÁRAMLÁSI ÚTVONALAK TÉRKÉPEI, DUNA-TISZA KÖZE

## Introduction

The impact of natural resources on human life is considerable. Finding suitable dwellings has been crucial during life journey. As civilization progressed, people use various materials like mud and stone to construct their buildings (Dubravka et al. 2013; Fodor 2013; Kustár & Szarka 2013). Carbonate rocks have potential economic benefits, ranging from their use as a source of high-quality calcium carbonate to their potential use as building materials (Knauer 1994; Balogh 1994). Freshwater carbonate is an important material in the geological record and has been the subject of various creative implementations and developments recently, which distinguished it from other sedimentary rocks (Capezzuoli & Swennen 2017).

Freshwater carbonate rocks have been widely used as construction materials; like building and pathway stones and decorative elements since ancient times as shown in **Fig. 1**. In Hungary, many ruins from the Arpadian age, such as churches and houses were built using carbonate rocks (Dubravka et al. 2013; Fodor 2013; Kustár & Szarka 2013). Local quarries were used to extract rocks for construction purposes, mainly in churches and windmills as shown in **Fig. 1**. Its shallow depth and easy access encouraged residents to work in quarries and use this hard rock in the foundation and walls of their buildings (**Fig. 2/g**) (Molnár & Botz 1996, Dubravka et al. 2013; Fodor 2013; Kustár & Szarka 2013). The freshwater carbonate rock found in Csólyospálos was formed during the late Pleistocene and Holocene in a hypersaline lake basin. The freshwater carbonate sequence consists of multiple lithified strata overlain by non-lithified dolomite mud covered by the topsoil (Molnár 1980).

Limestone is commonly used as a construction material that is constantly exposed to various physical, chemical, and biological processes causing changes in its chemical and physical parameters. However, depending on their composition, porosity, and texture, some carbonate rocks, such as porous, soft limestone, are especially prone to physical and chemical weathering caused predominantly by water infiltrating the rock's voids (De Muynck et al. 2010). On one hand, dissolved salts and freeze-thawing degrade the rock's fabric;

on the other hand, the carbonate matrix slowly dissolves through weathering, which leads to increased porosity and ultimately decreased petrophysical properties. Nevertheless, most limestone and dolostone types have proven to be durable materials for construction purposes (Ahmed et al. 2021; Balogh 1994; Knauer 1994). In instances where the mentioned freshwater carbonate rocks are used for construction in Hungary, the major cause of carbonate rock weathering is the absorption of groundwater and infiltration of rainwater, leading to both chemical weathering, such as carbonate dissolution and physical weathering due to freeze-thaw processes (Ruedrich et al. 2011, Claes et al. 2016). To ensure the long-term durability of carbonate rocks used for construction and decoration purposes information on their physical parameters such as strength, porosity, water absorption, and corrosion resistance are indispensable (Hoek 2004, Lin & Zhang 2023). These parameters are generally gained through multiple petrophysical laboratory measurements, such as Pore size distributions were assessed using nuclear magnetic resonance (NMR), while pore throat size distributions and capillary pressure curves were determined using mercury intrusion porosimetry (MIP) (Pires et al. 2017) which can provide us with petrophysical information representative of the total sample. However, the structure and spatial heterogeneity of the void spaces being the main mediator of fluid flow leading to structural damages cannot be revealed using these technologies.

The X-ray computer tomography (CT) technique has been utilized in various sedimentology studies, focusing on both clastic sedimentary rocks (Gooya et al. 2016; Abutaha et al. 2021) and carbonate sedimentary rocks (Alzoubi et al. 2022). CT allows for scanning rock samples in three dimensions providing a high-resolution (mm and micrometre-scale) quantitative and qualitative information on the structure (mineral phases, matrix, and voids) (Peng et al. 2012; Sun et al. 2019; Atrash & Velledits 2020). This technique allows researchers to create a digital model that reveals details of the inner structure of the rock, including the rock-forming components (RFC) based on their density differences expressed in Hounsfield units ((HU), see definition later).

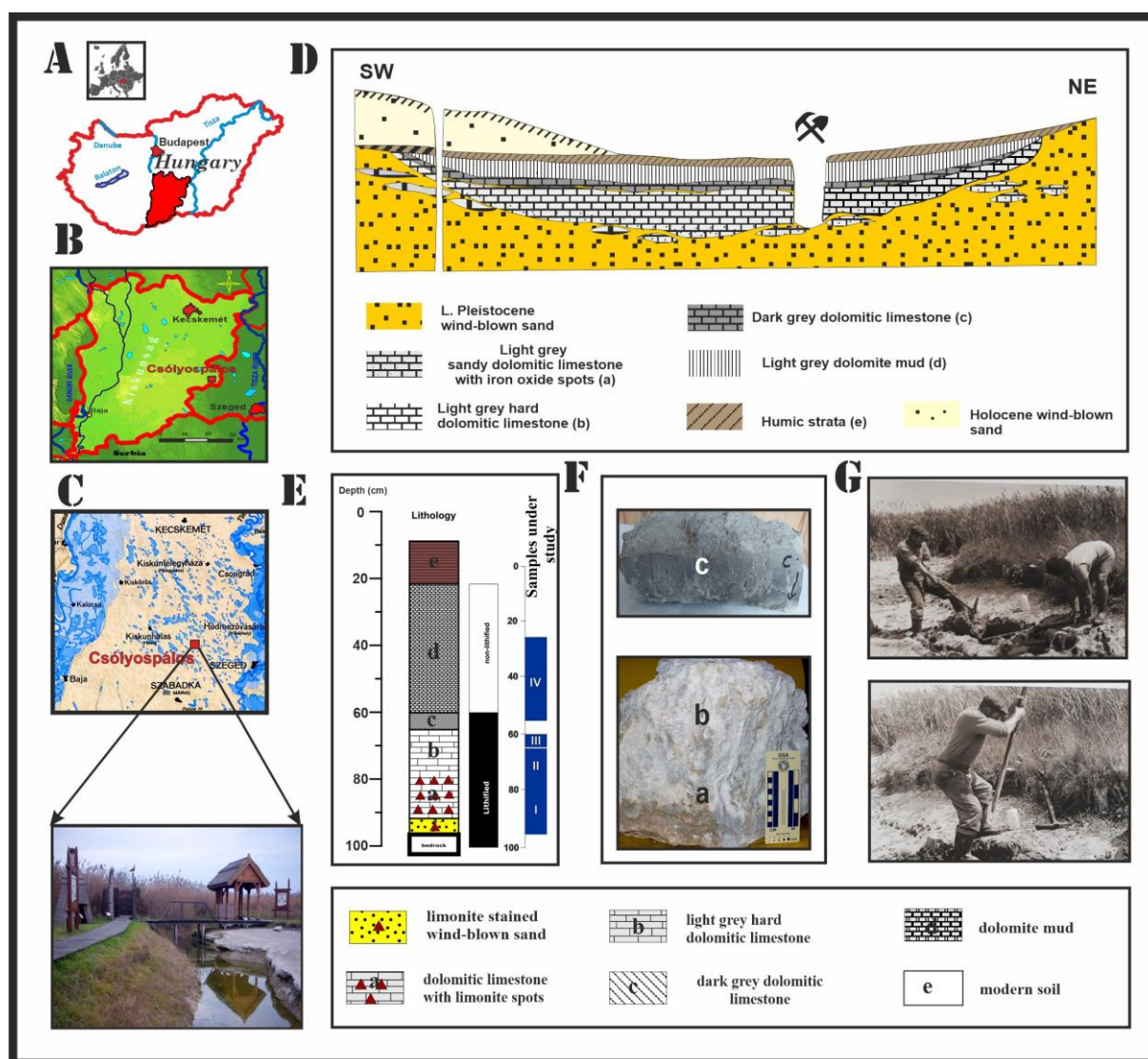


**Fig. 1.:** Medieval church walls and church foundations built of freshwater limestone of the Danube-Tisza Interfluve, Hungary

1/a Church wall of the monastery of Ecser; 1/b Church wall of the reconstructed church on Church Hill, Kiskunfélegyháza; 1/c The Truncated tower of Soltszentimre; 1/d Ruins at Lajosmizse; 1/e The foundation of the church of Nyárszentlőrinc; 1/f The Franciscan church of Kecskemét; 1/g Wall of the castle in Szeged; 1/h The foundation of the church at Csengele- Bogárhát; 1/i The foundation of the church at Lakitelek. Photo credit: Zsolt Veres (<https://akovekmeselnek.hu>)

**1. ábra:** A Duna-Tisza közti édesvízi mészkőből épült középkori templomfalak és templomalapok, Magyarország

1/a Az ecseri kolostor templomfala; 1/b A kiskunfélegyházi Templomhegyen lévő felújított templom fala; 1/c Soltszentimre Csonka tornya; 1/d Romok Lajosmizsén; 1/e A nyárszentlőrinci templom alapja; 1/f Kecskeméti ferences templom; 1/g A szegedi vár fala; 1/h A csengele-bogárháti templom alapja; 1/i A lakiteleki templom alapja. Fotók: Veres Zsolt (<https://akovekmeselnek.hu>)



**Fig. 2.:** Location and stratigraphy of the carbonate sequence studied near Csólyospálos.

**A** – Map of Hungary. **B** – Location of GHP; **C** – Hydrography of the area, prior to the late 19th century; **D** – Geological cross-section of the site. **E** – Lithology and Schematic log of the outcrop with position of samples under study marked. **F** – Sample -I (Cs1 – Cs2) ab based on Molnár classified, sample II (Cs3) c based on Molnár classified. **G** – digging in the quarry before 1970s.

**2. ábra:** A Csólyospálos közelében vizsgált karbonátos rétegsor elhelyezkedése és rétegsora.

**A** - Magyarország térképe. **B** - A terület elhelyezkedése; **C** - A terület vízrajza a 19. század vége előtt; **D** - A terület geológiai metszete. **E** - A feltárás litológiai oszlopa a vizsgált minták helyzetével. **F** - I. minta (Cs1 - Cs2) ab a Molnár B. szerinti besorolás alapján, II. minta (Cs3) c a Molnár B. szerinti besorolás alapján. **G** - kézi fejtés a kőfejtőben az 1970-es évek előtt.

To compare whether carbonate rock is lithified or mud, it is observed that the former exhibits higher HU values. Additionally, variations in HU can arise from changes in sedimentary texture and bulk density (Geiger et al. 2009). Consequently, area with predominantly low density, mainly consisting of voids can be distinguished from regions dominant by high-density matrix. By leveraging CT scans, it is possible to determine the proportions of RFCs based on differences in mineral and particle density (Warlo et al. 2021) caused by processes such as deposition and diagenesis, which involve voids filled with carbonate cement or leaching.

Medical CT scanning can capture voids or empty spaces in materials that are larger than the voxel size (generally greater than 200 microns). Voxel size is calculated by the slice grid resolution (usually  $512 \times 512$  pixels), and the third dimension corresponds to the thickness of the slice (Guan et al. 2019; MRI ACR 2013).

Larger capillary voids which is larger than voxel resolution in this study  $200 \mu\text{m}$  and macropores, are important because they can allow water to infiltrate significant volumes. How these pores are oriented, connected, and shaped determines how deep water can infiltrate into the material, causing structural changes through processes such as chemical

dissolution, salt damage or freezing/thawing cycles (Gireson et al. 2023; Fan et al. 2021). By mapping the distribution, connectivity, and orientation of macropores, and the major direction of PWP within the material, it may be possible to find surfaces and areas that are less prone to infiltration by rain or groundwater and assess the potential water migration paths within the stone itself (Beucher & Meyer 2001).

This inflow will significantly impact on the regions affected by capillary flow within the rock itself. The volume change in the capillary pores during freezing is a major contributor to the rock weathering. However, that capillarity acting against gravity only occurs when the inflowing water is in a static state. So highlighting the distribution of potential water paths (capillary or infiltration paths) can aid in choosing the right orientation of slabs, and tiles and the assignment of areas that may require higher insulation to prevent potential structural changes when the material is used in construction (Pini & Madonna 2016).

Medical CT scanning can capture voids or empty spaces in three dimensions over the scanned materials which reveal the inner details based on the pixel resolution and slice thickness that should be larger than the voxel size (generally greater than 200 microns) to appear in the digital sample.

This study aims to assess the vertical and horizontal spatial variations of void space in selected freshwater limestone samples from the Danube-Tisza Interfluvium and assign potential water paths (PWP) thus identifying zones on differently oriented sample surfaces. This inflow will have a significant impact on the regions affected by capillary flow within the sample itself. The orientation and connectivity of macro-voids also influence PWP patterns. Thus, their spatial analysis is essential for the delineation of vertical and horizontal flow paths.

## Material and methods

### Study area and samples

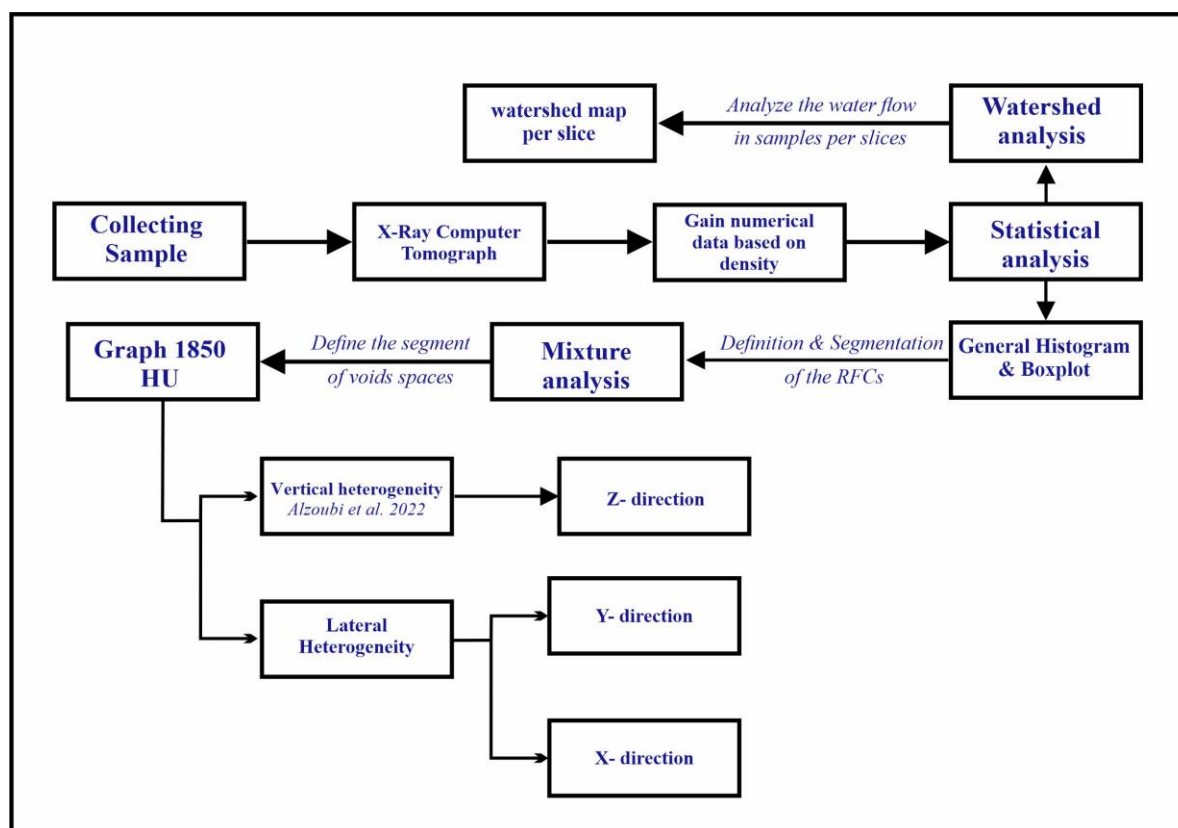
The Danube-Tisza Interfluvium (DTI) is an area of the southern part of central Hungary bounded by the Danube valley to the west, which is a tectonic depression and has an elevation of 90–100 m above sea level (a.s.l.). On the other side, it is bordered by the Tisza Valley to the east, which has an elevation of 80 m a.s.l. DTI morphology is formed by an alteration between loess and wind-blown sand (Fig. 2/d) (Lóczy 2015). At the end of the Pleistocene and the beginning of the Holocene, many hypersaline lakes formed due to high groundwater levels or surface runoff that accumulated precipitation in the lowest points between dunes. The layers of freshwater limestone

and dolomite mud were as thin as 10–15 cm in some places and as thick as 60–110 cm in others (Jenei et al. 2007; Sümegei et al. 2015; Sümegei & Náfrádi 2015). Samples studied in this research derive from one of the oldest quarries found near the village of Csólyospálos in the south-eastern part of Bács-Kiskun County (Fig. 2/a,b,c). The presence of limestone and dolomite mud in Csólyospálos sets it apart from the surrounding area and gives the village cultural and historical significance as one of UNESCO's geological and natural heritage sites, owning both historical and cultural value, especially since limestone quarrying stopped in the 1970s (Dubravka et al. 2013; Fodor 2013; Kustár & Szarka 2013). The geological profile exposing freshwater carbonate layers of 80–110 cm thickness beneath the 15–30 cm topsoil is easily accessible. The freshwater carbonate sequence overlaying the bedrock of the Late Pleistocene wind-blown sand consists of lower lithified carbonate rocks and an upper loose carbonate which is still unlithified carbonate mud (Fig. 2/e,f) (Molnár 1991). Freshwater limestone and dolomite mud were utilized as building materials in the surrounding areas (Fig. 1.) (Dubravka et al. 2013; Fodor 2013; Kustár & Szarka 2013). Two samples repositied in the sedimentary collection of the Department of Geology and Palaeontology, University of Szeged were subjected to CT scans. Sample I represent members Cs-1 and Cs-2 (between 65 and 90 cm), while sample II represents member Cs-3 (between 60 and 65 cm) (Fig. 2/f).

First member Cs-1 is equivalent to Molnár's member A, a 30–40 cm thick dolomitic limestone, stained with iron with a looser structure and vertical veins (Figs. 2-3.). This member which has no clear upper boundary transitions to member Cs-2.

Cs-2, equivalent to Molnár's member B is a 40–50 cm thick, light grey, dolomitic limestone with vertical vugs measuring several cm, which correspond to roots of former aquatic vegetation. However, this member called by the locals is *honeycomb stone* due to the visible large voids (Fig. 1.). There is a distinct lithological boundary between Cs-2 and the overlying member Cs-3.

Cs-3 equivalent to Molnár's member C, is a very hard, dark-grey dolomitic limestone that is 5–6 cm thick with the highest carbonate content (> 80%) in the entire sequence (Figs. 2-3.). This member shows vuggy and moldic porosity, including shelter, gas pores, and desiccation or sheet cracks, in addition to vugs corresponding to roots of former vegetation. Not fully consolidated carbonate mud can be seen formed in some pores. Calcisparite partially or completely infills most of the pores, and pore-filling occurs perpendicularly to the pore wall, forming pore-lining structures (Molnár 1991).



**Fig. 3.:** The workflow adopted in our work.

### 3. ábra: Az elemzés lépései

The carbonates in the sample are classified as wackestone and have a mud-supported texture, as figured out by the analysis of thin sections. Matrix (carbonate minerals and detrital material) makes up the majority of RFCs at around 69%, followed by quartz and feldspar grains at about 13.6%, unfilled pores at up to 12%, carbonate lithics at around 3%, and microsite sparite infilling pores at around 2.4%. Tiny amounts of freshwater gastropod shells, calcareous algae oogonia, iron oxides, and manganese minerals are also presented (Molnár & Botz 1996; Molnár et al. 1976; Molnár & Szónoky 1974).

### Computer Tomography

**Fig. 3.** presents the workflow adopted in our work. CT was utilized to generate quantitative three-dimensional data, relying on variation in the density of RFCs expressed by the HU (Hounsfield unit, see below) values. X-ray Computer Tomography (CT) is a modern imaging technique, which works by measuring the attenuation of X-rays as passing through the object under evaluation. Based on signals through a 180° rotation around the object the detectors receive the transmitted X-rays on the opposite side to produce 3D slices (Hounsfield 1973). During an axial movement, a set of 3D slices creates the volumetric data set. It was developed by Hounsfield and Cormack in 1989 and has undergone various resolution improvements and

found applications in non-destructive imaging in fields like geosciences. For instance, CT has been used in palaeontology, clastic rock sedimentology (Földes et al. 2004; Markussen et al. 2019; Abutaha et al. 2021), structural geology to detect faults and fractures (Urbaniec et al. 2018), assess soil porosity (Cnudde et al. 2006), and in engineering (Balázs et al. 2018).

CT images are controlled by various parameters, such as spatial resolution, focal spot size, detector size, crosstalk between detectors, the afterglow of the detectors, and the gantry's rotational speed. A slice image is reconstructed usually by either a filtered back-projection or an iterative reconstruction method, which basically applies Beer Lambert's law (equation 1).

$$I = I_0 \cdot e^{-(\mu d)} \quad (1)$$

where  $I$  is the intensity of the transmitted X-ray,  $I_0$  is the initial X-ray intensity,  $\mu$  is the linear X-ray attenuation coefficient of the material and  $d$  is the length of the X-ray path inside the material along the beam path in the object. By combining slices, a 3D volume is created (Heismann et al. 2003; Duchesne et al. 2009).

A reconstructed slice itself is the map of the linear attenuation coefficient values in that part of the object, which can then be transformed into Hounsfield Units. The Hounsfield unit (HU) is used

to express density differences in the CT image data compared to water's density. HU values are determined using equation 2.

$$HU = 10^3 \cdot [(\mu - \mu_w) / \mu_w] \quad (2)$$

where  $\mu$  is the attenuation coefficient of the material being measured and  $\mu_w$  is the attenuation coefficient of water. Each HU stands for a 0.1% change in density concerning the calibration density scale. If the measurement is calibrated to distilled water, the resulting HU is 0 for distilled water and 1000 for air.

### Visualization and data analysis

The Siemens SOMATOM Emotion 6 medical scanner at the Department of Radiology, University of Pécs, Hungary was used to conduct CT measurements on two samples that represented lithified members of the freshwater carbonate sequence of Csólyospálos (Cs-1, Cs-2, and Cs-3). Sample I corresponds to members Cs-1 and Cs-2 based on (XYZ) order has (130 mm × 45 mm × 480 mm), while Sample II matches member Cs-3 has (240 mm × 180 mm × 100 mm) (as shown in **Figs. 10-11.**). The CT instrument utilized a 140 kVp (peak kilovoltage) setting, with 189 mAs (milliampere-seconds) of current and an exposure time of 1.5 s/image. The lateral resolution was 0.23 mm × 0.23 mm, with a scan-layer thickness of 1.5 mm.

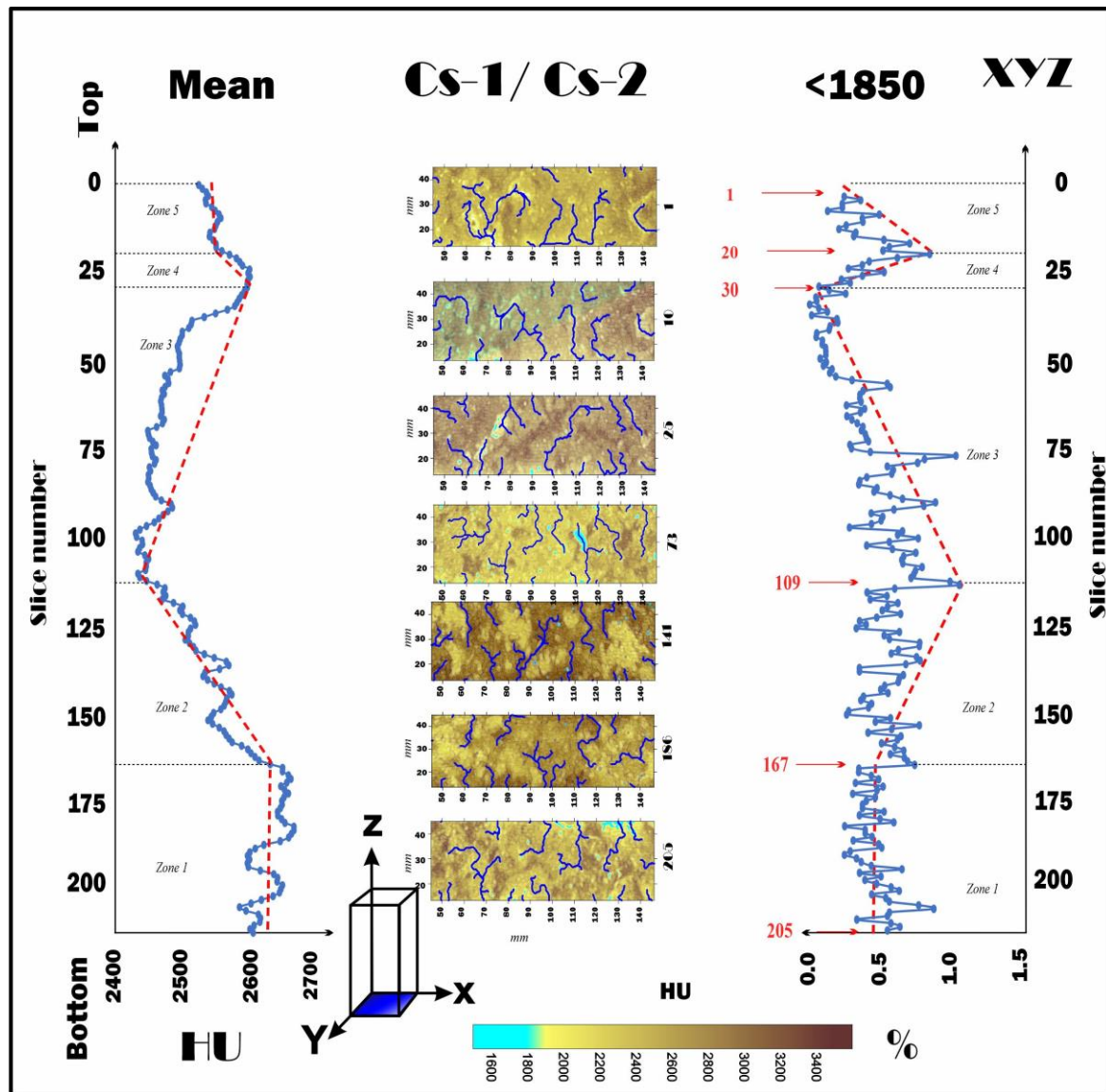
A 3D volume rendering program (Voxler 4.0) was utilized for viewing, filtering, and data extraction from the CT scan files acquired in DICOM format (Digital and Imaging Communications in Medicine). The dataset was filtered by removing the outer portion of the image, resulting in a centrally located CT brick (subset) that is smaller in volume than the original sample (brick of Sample I: in x-y-z order is 101 mm × 31.6 mm × 306 mm; brick of Sample II: 181 mm × 42.3 mm × 42.2 mm). This was done because scanning artifacts like beam hardening can cause the CT value of a single material to change in various parts of an image. There is no cupping shape in the slice profile so there is no considerable bias in the HU values in this volume. Data for the generated CT bricks were used in further statistical analysis.

The RFCs were defined via EM-mixture analysis. This maximum-likelihood non-hierarchical clustering approach is used to find and approximate the parameters (mean and standard deviation) of two or more univariate normal distributions representing overlapping groups corresponding to RFCs relying on the EM-algorithm of Dempster et al. (1977). As this study focuses on spatial distribution and orientation of voids in our brick samples, determining only two major rock-forming components was necessary. Histogram thresholding

is a technique used in image processing to segment an image into different regions based on the intensity values of its pixels.

Histogram thresholding involves selecting a threshold value that separates the image into two or more regions based on the intensity values of the pixels. Pixels with intensity values above the threshold are assigned to one region, while pixels with intensity values below the threshold are assigned to another region. The threshold value can be selected manually or automatically using various algorithms.

Histogram thresholding is a simple and effective technique for image segmentation and is widely used in various applications, such as object detection, image analysis, and pattern recognition. However, its performance can adversely be affected by factors such as noise, illumination, and image quality, and may require further processing techniques to improve its accuracy. After applying EM-mixture analysis of RFCs on the density frequency histogram a most likely threshold value could be defined. The group having the lowest mean HU value, i.e., being the least dense part, was considered as voids, while the remaining groups with higher mean HU values were taken to represent the higher-density components of the matrix. The threshold boundary between the two was found using the logic presented by (Dawson 2011; Coudray et al. 2013). By drawing tangents of the histogram frequency curve at the change in the slope many lines will cross each other which represents the HU value over each crossing point. So, the last cross point with the minimal HU value was chosen as a threshold in this work at ca. 1850 HU. The parts in the frequency distribution represent the density matrix components with higher HU values and the void space at lower HU values. The percentage of RFCs with values less than the mentioned threshold (1850 HU) representing the proportion of the least dense component, i.e., macro voids larger than the resolution of our data (voxel size: 234  $\mu$ m × 234  $\mu$ m × 1.5 mm) was determined for each slice and plotted. In addition to gaining, a representative value of the overall RFC composition, the mean HU value per slice was also calculated. Calculations (mean HU value, the cumulative percentage of voids) were performed for individual slices in 3 directions depicted in **Figs. 4-9:** horizontal slices moving from top to bottom along the z-axis, vertical slices moving from left to right along the x-axis, and vertical slices moving from the front to back along the y-axis of the sample brick. This way, we could gain information on the vertical and horizontal heterogeneity of the matrix fabric and the spatial distribution, orientation, and proportion of voids in different samples.



**Fig. 4.:** Results of analysis done on horizontal slices (x, y) from top (slice 1) to bottom (slice No 205) along the vertical axis (z) of the Sample I brick. (Left graph: variation in mean HU values representing density changes in the sample, right graph: percentages of voids, Centre: horizontal slices characteristic of zones defined based on void percentages, light blue colours show areas of macro voids with HU values below the defined 1850 threshold value, darker shades correspond to the matrix numbers on the slices represent distance in mm)

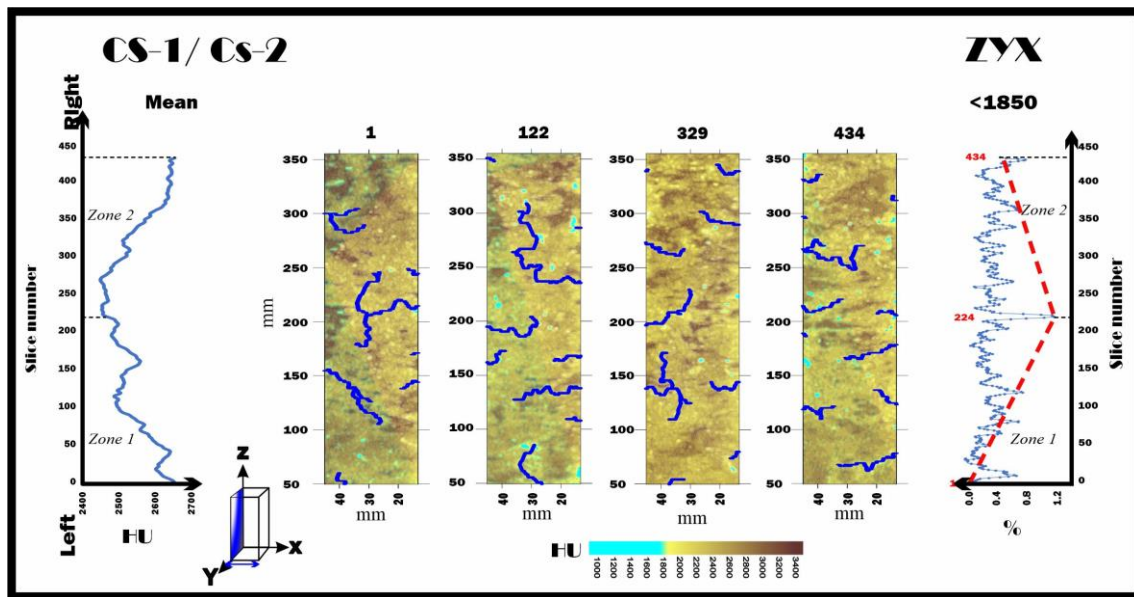
**4. ábra:** Az I. minta függőleges tengelye (z) mentén a vízszintes szeleteken (x, y) felülről (1. szelet) lefelé (205. szelet) végzett elemzés eredményei. (Bal oldali grafikon: a minta sűrűségváltozását jelző átlagos HU-értékek változása, jobb oldali grafikon: az üregek százalékos aránya, középen: az üregek százalékos aránya alapján meghatározott zónákra jellemző vízszintes szeletek, a világoskék színek a makroüregek olyan területeit jelzik, amelyek HU-értékei a meghatározott 1850-es küszöbérték alatt vannak, a sötétebb árnyalatok a szeleteken lévő mátrixszámoknak felelnek meg, a szeleteken lévő számok a távolságot jelzik mm-ben.)

The latter also determines the position, length, and orientation of potential water paths (PWP), which serve routes for water entering the sample. To highlight these for selected slices we adopted the method of watershed analysis.

Watershed transformation refers to a geomorphological watershed, or drainage divide, which separates adjacent drainage basins. Intuitively, a drop of water falling on a topographic relief flow towards the nearest minimum. The nearest

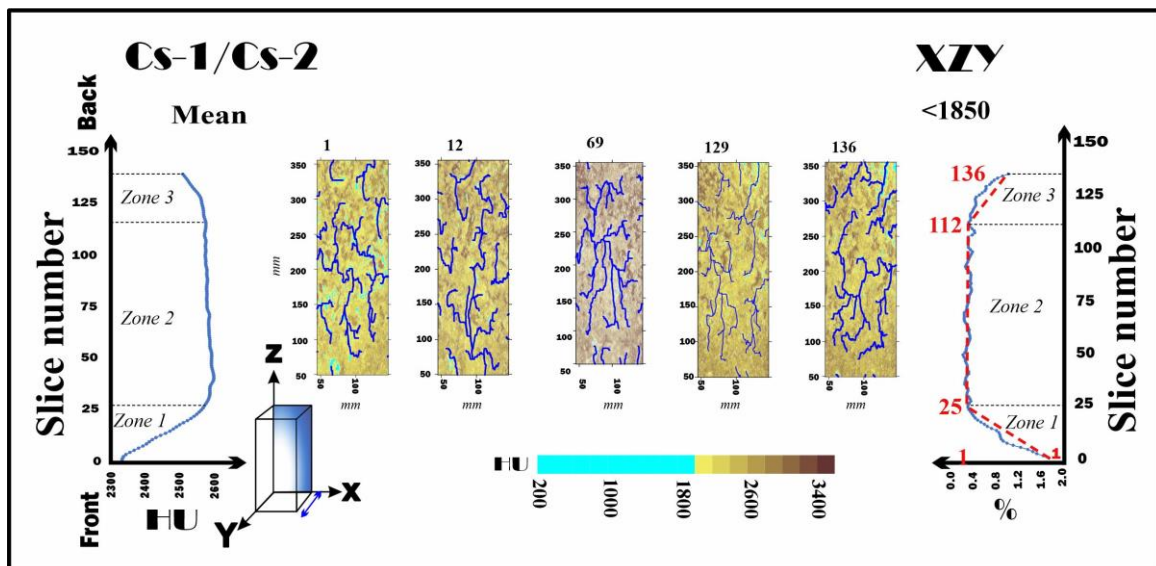
minimum is that one at the end of the steepest descent path. In terms of topography, this occurs if the point lies in the catchment basin of that minimum (Beucher & Meyer 1993).

A watershed map reads the data from a grid file and splits the grid up into basin, or catchment areas. The number of basins depends on the areas of the individual basins and is determined by the number of upstream cells that are flowing into the grid cells.



**Fig. 5.:** Results of analysis done on vertical slices (z, y) from left (slice 0) to right (slice No. 450) along the horizontal axis (x) of the Sample I brick. (Left graph: variation in mean HU values representing density changes in the sample, right graph: percentages of voids, Centre: vertical slices characteristic of zones defined based on void percentages, light blue colours show areas of macro voids with HU values below the defined 1850 threshold value, darker shades correspond to the matrix, numbers on the slices represent distance in mm).

**5. ábra:** Az I. minta vízszintes tengelye (x) mentén balról (0. szelet) jobbra (450. szelet) a függőleges szeleteken (z, y) végzett elemzés eredményei. (Bal oldali grafikon: a minta sűrűségváltozását jelző átlagos HU-értékek változása, jobb oldali grafikon: az üregek százalékos aránya, középen: az üregek százalékos aránya alapján meghatározott zónákat jellemző függőleges szeletek, a világoskék színek a makroüregek területeit jelzik, amelyek HU-értékei a meghatározott 1850-es küszöbérték alatt vannak, a sötétebb árnyalatok a mátrixnak felelnek meg, a szeleteken lévő számok a távolságot jelzik mm-ben).



**Fig. 6.:** Results of analysis done on vertical slices (z, x) from front (slice No. 0) to back (slice No. 150) along the horizontal axis (y) of the Sample I brick. (Left graph: variation in mean HU values representing density changes in the sample, right graph: percentages of voids, Centre: vertical slices characteristic of zones defined based on void percentages, light blue colours show areas of macro voids with HU values below the defined 1850 threshold value, darker shades correspond to the matrix, numbers on the slices represent distance in mm)

**6. ábra:** Az I. minta vízszintes tengelye (y) mentén az előlő (0. szelet) és a hátsó (150. szelet) függőleges szeleteken (z, x) végzett elemzés eredményei. (Bal oldali grafikon: a minta sűrűségváltozását jelző átlagos HU-értékek változása, jobb oldali grafikon: az üregek százalékos aránya, középen: az üregek százalékos aránya alapján meghatározott zónákra jellemző függőleges szeletek, a világoskék színek a makroüregek területeit mutatják, a sötétebb árnyalatok a mátrixnak felelnek meg, a szeleteken lévő számok a távolságot jelentik mm-ben).

The larger the threshold value the smaller the number of identified basins is. The calculation of flow lines (flow paths) is based on the amount of flow into the grid node from all surrounding grid nodes. These lines connect the low points on the map. There are several algorithms for watershed transformation (e.g., Beucher & Meyer 1993; Wang & Liu 2006). In this paper, we applied a topological (accurate eight-direction four-point) algorithm using the so-called Laplace operator to assign potential areas of dissipation and confluence, so that non-real potential water paths (PWP) are assigned to the grid at each grid node of the CT slices (Surfer 2023).

## Results

### Sample I (CS-1 and CS-2 members)

#### Horizontal heterogeneity

**Fig. 4.** presents the results of the analysis done on horizontal slices of the first sample (Cs-1 and Cs-2 members) moving in a vertical direction (along the z-axis from bottom to top). The first slice (No. 1) represents the top horizontal part and the last slice (No. 205) the base horizontal part of the brick. This orientation allows us to decipher the horizontal variation in RFCs captured by the mean HU values and those of the voids. The percentage of macro voids (> 200 microns) ranges between 0.05 and 1.24% with an average of approximately 0.56%. Each zone is defined by the bottom and top slice number and represented by an average slice to describe the potential water paths through the zone. From the bottom, the first zone (slices No. 205 to 167) is characterized by high mean HU values (2620–2673) and a relatively smaller proportion of macro voids (0.67–0.39%). In the second zone, there is a gradual increase in macro voids (1.24%) with a peak value in slice No. 109 parallel with decreasing mean HU values down to 2459 HU. In the third zone between slices No. 109 and 30, there is a gradual increase in the density up to 2607 HU alongside decreasing proportions of macro voids to values of 0.11 %. Between slices No. 30–20, we can define zone four which shows slightly increasing in macro voids percentage up to 0.47% at slice No. 20 with decreasing HU values to 2584. The last zone between the slices No. 20–1 shows a gradual decrease in macro voids percentage to 0.32% with the mean HU density value gradual decrease to (2538 HU).

**Fig. 4.** also depicts the spatial distribution of macro voids and the density and orientation of water path flow on representative horizontal slices (x, y). The largest percentage of voids is concentrated in the centre of the sample (Zone 2) and the (Zone 4). In

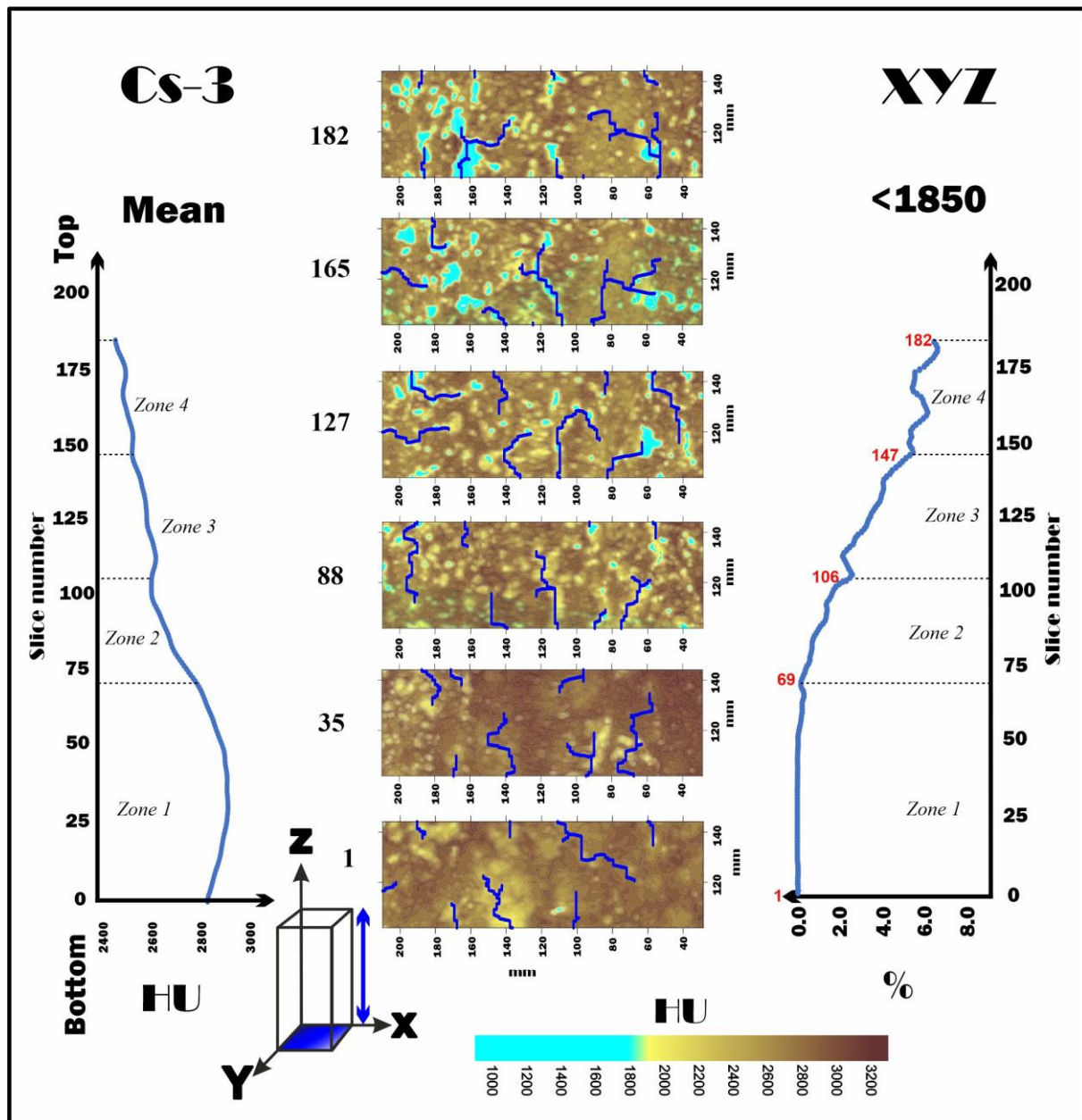
Zone 3 below Zone 4 the percentage of large voids is close to zero (0.11%) marking the presence of a good aquitard horizon which could protect the vertical inflow of water to deeper layers even if these voids are communicating. In Zone 1 and Zone 5 the percentage of macro voids is also minimal (0.39% and 0.32%) respectively but not as low as in Zone 3, so here the larger volume of voids may mediate water flow into the sample.

The longest (PWP) is mainly parallel to the y-axis on both sides in all zones. However, the PWP parallel to the x-axis is minimal, as shown in **Fig. 4.** They are generally confined to the left top (slices No. 167, 109, 1) and left central (slice No. 30) part of the slices where macropores appear to be oval-shaped and generally isolated (blue areas in slice No. 109). So, horizontal inflow is generally possible from back to front of the brick in all slices and water can infiltrate as deep as the centre of the sample. It is important to note that flow paths running parallel with the y-axis are less bifurcating, due to their considerable length and density. These potential voids are more likely to keep water in them, and because of changes in the weather temperature, the periodicity of freezing and melting may reduce the efficiency and durability of the stone.

#### Vertical lateral heterogeneity

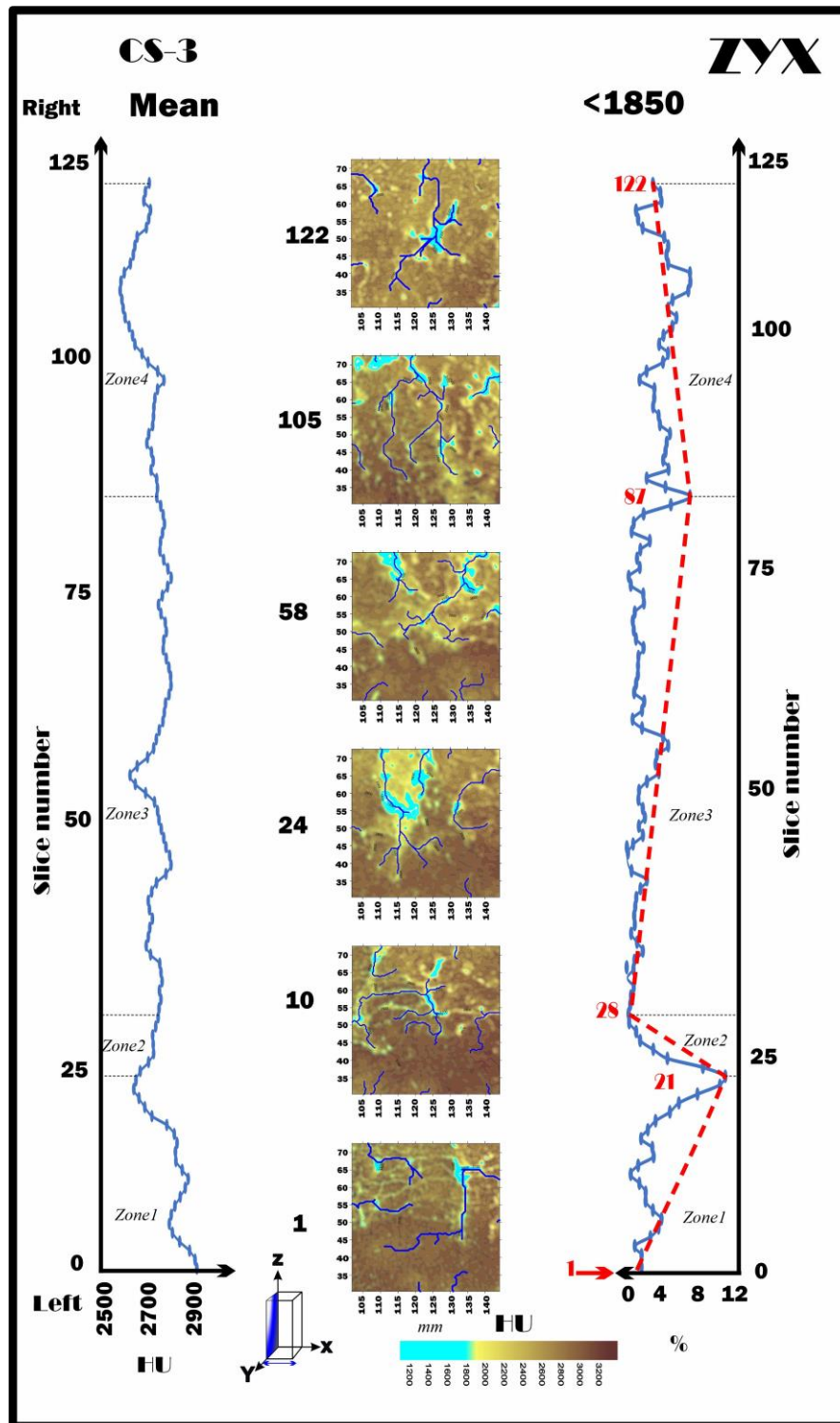
The analysis of vertical lateral heterogeneity has been done for both x and y directions. Results of analysis done on vertical slices (z, y) from left (slice No. 1) to right (slice No. 434) along the horizontal axis (x) of the Sample I brick are presented in **Fig. 5.** The percentage of macro voids ranged from 0.09 to 1.28%, with an average of approximately 0.44%. Starting from the left side, the first zone, which accounted for almost half of the sample (slices No. 1 to 224), displayed low mean HU values (2653–2469) and a relatively higher proportion of macro voids (0.16–1.26%). Moving further into the sample, the second zone shows a lower percentage of macro voids (0.55%), with an increase in the HU value up to 2655 HU from slice No. 434.

Likewise, to the results of horizontal heterogeneity analysis, PWPs (Potential water paths) are mainly horizontal running parallel with the Y axis of the brick and are concentrated mainly between 100 and 300 mm. However, vertical paths also appear in the central part of the slices where larger pores showing good connectivity and vertical orientation are present (e.g., slice No. 224). Most horizontal PWPs start from the back of the brick.



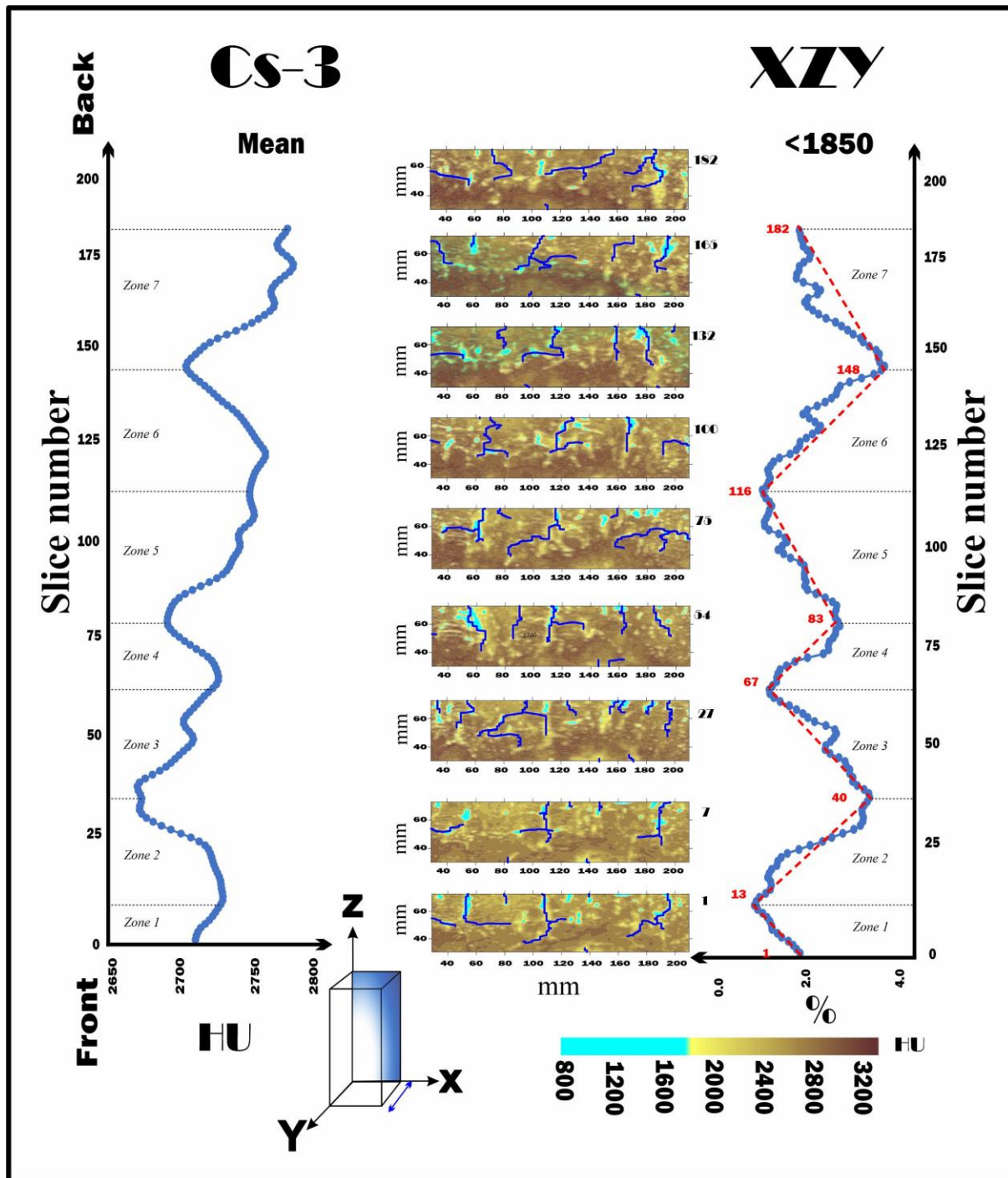
**Fig. 7.:** Results of analysis done on horizontal slices (x, y) from bottom (slice 0) to top (slice No. 182) along the vertical axis (z) of the Sample II brick. (Left graph: variation in mean HU values representing density changes in the sample, right graph: percentages of voids, center: horizontal slices characteristic of zones defined based on void percentages, light blue colours show areas of macro voids with HU values below the defined 1850 threshold value, darker shades correspond to the matrix, numbers on the slices represent distance in mm)

**7. ábra:** A II. minta függőleges tengelye (z) mentén alulról (0. szelet) a tetejéig (182. szelet) vízszintes szeleteken (x,y) végzett elemzés eredményei. (Bal oldali grafikon: a minta sűrűségváltozását jelző átlagos HU-értékek változása, jobb oldali grafikon: az üregek százalékos aránya, középen: az üregek százalékos aránya alapján meghatározott zónákra jellemző vízszintes szeletek, a világoskék színek a makroüregek olyan területeit jelzik, amelyek HU-értékei a meghatározott 1850-es küszöbérték alatt vannak, a sötétebb árnyalatok a mátrixnak felelnek meg, a szeleteken lévő számok a távolságot jelzik mm-ben).



**Fig. 8.:** Results of analysis done on vertical slices (z, y) from left (slice 0) to right (slice No. 122) along the horizontal axis (x) of the Sample II brick. (Left graph: variation in mean HU values representing density changes in the sample, right graph: percentages of voids, Centre: horizontal slices characteristic of zones defined based on void percentages, light blue colours show areas of macro voids with HU values below the defined 1850 threshold value, darker shades correspond to the matrix, numbers on the slices represent distance in mm)

**8. ábra:** A II. minta vízszintes tengelye (x) mentén balról (0. szelet) a jobbra (122. szelet) függőleges szeleteken (z,y) végzett elemzés eredményei. (Bal oldali grafikon: a minta sűrűségváltozását jelző átlagos HU-értékek változása, jobb oldali grafikon: az üregek százalékos aránya, középen: az üregek százalékos aránya alapján meghatározott zónákra jellemző vízszintes szeletek, a világoskék színek a makroüregek olyan területeit jelzik, amelyek HU-értékei a meghatározott 1850-es küszöbérték alatt vannak, a sötétebb árnyalatok a mátrixnak felelnek meg, a szeleteken lévő számok a távolságot jelzik mm-ben).



**Fig. 9.:** Results of analysis done on vertical slices (Z, X) from front (slice No. 1) to back (slice No. 182) along the horizontal axis (y) of the Sample II brick. (Left graph: variation in mean HU values representing density changes in the sample, right graph: percentages of voids, center: vertical slices characteristic of zones defined based on void percentages, light blue colours show areas of macro voids with HU values below the defined 1850 threshold value, darker shades correspond to the matrix, numbers on the slices represent distance in mm)

**9. ábra:** A II. minta első (1. szelet) és hátsó (182. szelet) függőleges szeletein (Z, X) végzett elemzés eredményei a vízszintes tengely (y) mentén. (Bal oldali grafikon: a minta sűrűségváltozását jelző átlagos HU-értékek változása, jobb oldali grafikon: az üregek százalékos aránya, középen: az üregek százalékos aránya alapján meghatározott zónákra jellemző függőleges szeletek, a világoskék színek a makroüregek olyan területeit jelzik, amelyek HU-értékei a meghatározott 1850-es küszöbérték alatt vannak, a sötétebb árnyalatok a mátrixnak felelnek meg, a szeleteken lévő számok a távolságot jelzik mm-ben).

So similarly, to the findings of horizontal heterogeneity analysis if water can enter the brick horizontally from the back or front part of the

sample, when reaching the centre where larger vertically oriented pores are present it may continue to a vertical path. After freezing, it again results in

the complete uniform horizontal disintegration of the sample between 100 and 300 mm on the vertical axis (z).

Results of analysis done on vertical slices (z, x) from the front (slice No. 1) to back (slice No. 150) along the horizontal axis (y) of the Sample I brick are presented in **Fig. 6**. Here the percentage of macro voids ranged from 0.20 to 1.73%, with an average of approximately 0.44%. Slices could have been divided into three main zones along the y-direction. From slice No. 1 to 25, there is a marked increase in the density from 2332 up to 2563 HU parallelly with a sharp decrease in the total percentage of void spaces from 1.74–0.29%. The next zone between slices No. 25–112 shows a slight increase in density up to 2576 HU and a tiny increase in the percentage of void spaces to values less than 0.003%. The last zone between slices No. 112–136 stands for a sharp decrease in the density down to 2509 HU and a parallel sharp increase in the void's percentage up to 1.02%. So, the largest percentage of voids is confined to the front and back part of the brick (Zones 1 and 3), while the proportion of macro voids is relatively small in the central parts. This is also seen in the density values where zones 1 and three have lower densities and generally higher densities characterize the central part of the brick (Zone 2). So, the proportion of the matrix which gives better physical stability against weathering is higher in the centre. It is also clear that most voids are vertically oriented and show good connections, especially in the central part of the slices between 100 and 300 mm (**Fig. 6**) like the results of the previous vertical heterogeneity analysis (**Fig. 5**). This holds for all zones.

## Sample II (CS-3)

### Horizontal heterogeneity

In **Fig. 7**., the analysis of the second sample (Cs-3 member) was done on horizontal slices which move in a vertical direction along the z-axis from bottom to top. Also here, the first slice (No. 1) represents the base, and the last slice (No. 182) is the top horizontal part of the brick. With this approach, both the voids' and the mean HU values' representations of the horizontal variance in RFCs can be understood. The percentage of macro voids has a range from 0.04 BVS (Below Voxel Size) to 6.60%, with an average of about 2.16%. From the bottom, the first zone is between slices No. 1 and 69, indicated by close to zero macro voids percentage (approximately 0.04% at slice No. 1 displaying a slight increase to the end of the zone to ca. 0.20%). This zone has the highest densities recorded with values between 2845 and 2816 HU. The second zone is between slices No. 69 to 106, characterized by a significant decrease in density down to 2620 HU, alongside the increase in the

proportion of macro voids to values as high as 2.58%. The next zone starts following a break in the trend line right after slice No. 106 showed a sharp increase in macro voids percentage up to 5.41% with a parallel decrease in the density down to 2542 HU. In zone four starting from slice No. 147, the percentage of voids keeps increasing up to 6.60% parallel with decreasing density values down to 2474 HU in slice No. 182.

The sample has a gradual increase in the percentage of voids from the centre to the top (Zone 2, 3, and 4). The fraction of voids in Zone 1 is near zero BVS (0.04%), indicating the presence of a relatively good aquitard horizon that may safeguard the vertical influx of water to the layers above (Zones 2-4). PWP's are relatively short in slice No. 1, run parallel with the y-axis, and are confined in general to the front and back sides of the brick. There is a single path appearing on the left side of Slice No. 1. They have the same orientation and distribution in Slice No. 69, but here PWP's turn longer and new branches running parallel with the x-axis also develop. In addition, the longest PWP's are confined to the front and the proportion of PWP's remains low in the back part of the slice.

As seen in slices No. 1 and 69, despite the low proportion of voids, the horizontal connectivity of the macro voids is good allowing for the infiltration of water from dominantly the front followed by lateral expansion in the upper part of Zone 1. From Zone 2 to Zone 4 despite a steady increase in the proportion and the visible size of macro voids (slice No. 147: bottom right and top left, slice No. 182 bottom left and right) the orientation and length as well as the position of PWP's remain relatively the same as at the boundary of Zone 1. This may be attributed to the relatively considerable number of isolated macropores present in these zones (e. g., slice No. 106: top right, slice No. 182: top left).

### Vertical lateral heterogeneity

The analysis of vertical lateral heterogeneity has been done for both x and y directions. Results of analysis done on vertical slices (z, y) from left (slice No. 1) to right (slice No. 122) along the horizontal axis (x) of Sample II brick are presented in **Fig. 8**. Void percentage is between 1% and 4 %. The outlier value of 10% is attributable to the appearance of those two exceptionally large pores which are characterized by large pores by a high diameter ~ 20 mm in **Fig. 8**., slices No. 21 and 87. Moving from the left side, the first zone of the sample (slice No. 1 to 21) displays low mean HU values (2892–2609) and a relatively higher proportion of macro voids (1.67–10.26%). The second zone shows a sharp decrease in percentage macro voids to 0.34% at slice No. 28 with a slight in the density up to 2708 HU. The third zone, found between slices No. 28 and 87, indicates a clear

increase in the proportion of macro voids up to 7.02% with 2713 HU. Finally, the last zone, found between slices No. 87 and 122, points to a decrease in the proportion of macro voids down to 2.96% with densities decreasing to 2679 HU. Here both the density and the void percentage values remain relatively constant as appeared in **Fig. 8**.

The other minor peaks that were considered correspond to zone boundaries and are interpreted as a sharp increase to 7.02% at slice No. 87 is probably an artifact of the appearance of large pores. So, it seems that void percentage and density remain uniform vertically in the sample, and large increases are attributable to the irregular appearance of exceptionally large macropores. Looking at **Fig. 8**, displaying changes from the front to the back of the brick, it can be seen that vertical PWPs appear systematically and at the same intervals where your peak void % values are noted in this part.

What is visible is that PWPs are longer, more bifurcated, and mainly vertically oriented. They are connected to the exceptionally large macropores in general and their number is relatively small (2–3) which may be attributed to the fact that these large macropores are the mediators of water flow and the remaining pores are mostly isolated as reflected in the low (2–4%) void percentage values in general. It is also worth noting that the largest pores and the most developed PWP are restricted to the left part of the brick (slices No. 1, 21, and 87) and the right (slices No. 1, 28, and 122).

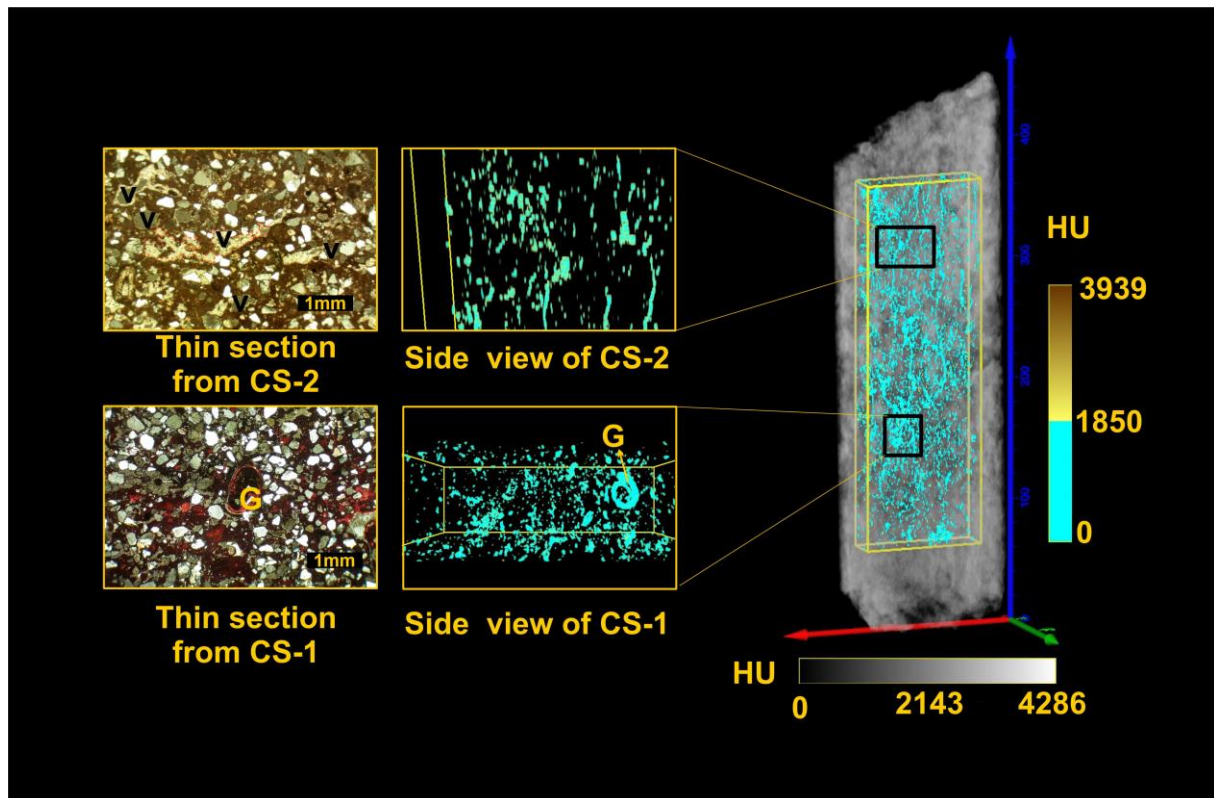
**Fig. 9**, also supplies the vertical distribution of macro voids along the y-axis from front to back of the brick, the density, and orientation of water path flow on representative horizontal slices (z, x). The percentage of macro voids has ranged from 1.05 to 4.05%, with an average of about 2.34%. Here, seven main zones were interpreted. From the front, the first zone (slices No. 1 to 13) displays a slightly increasing in mean HU values (2696–2713) and a relatively lowest proportion of macro voids by the end of this zone (2.10–1.05%) which indicates in this zone the water will flow down to the centre of the sample and will not infiltrate deeply as shown in **Fig. 9**, slice (No. 1, 13). The Second zone is between slices No. 13 and 40 representing a sharp increase in the proportion of void percentage up to 3.71% and slightly decreasing in the mean density down to 2659 HU. The next one of the longest zones, the third zone, which lies between slices No. 40 and 67, has sharply decreased in the void percentage down to 1.39 % while the mean density increases up to 2710 HU which shows a repeat of the first zone density. The next increasing zone is the second zone shows a high proportion of voids but not high as the second zone here is only up to 3.02% alongside decreasing in the density down to 2678 HU. At slice No. 116 the percentage of voids

decreased to 1.26% parallel to a sharp increase in the HU up to 2731. The sixth zone between slices No. 116 and 148 has the highest peak on the proportion of void percentage up to 4.05% and 2691 HU. The last zone up to the last slice (No. 182) has 2.08 % of the void percentage and the highest density value up to 2754 HU.

**Fig. 9**, also describes the spatial distribution of macro voids and the density and orientation of water path flow on representative vertical slices (x, z). The largest percentage of voids is concentrated in the top of Zones 2, 4, and 6 with relative percentages of 3.71, 3.02, and 4.05%, respectively. The minimal percentage greater than 1% shows the voids spread over the slice even if there are no connections as appears on slices No. 13, 67, 116, and 182. The longest potential flow (PWP) is mainly parallel to the z-axis, mainly from the top in all zones. However, some isolated short PWP appears from the bottom on slices No. 1, 40, 16, 148 and 182. The PWP parallel to the x-axis is minimal, as shown in **Fig. 9**, only on slices No. 1, 13, and 182 from the left side, and on slices No. 40, 67, and 83 from the right side. Where macropores appear to be oval-shaped and generally isolated. Thus, horizontal inflow is generally possible from left and right, and water can infiltrate as deep as the centre of the sample. It is important to note that flow paths running parallel with the X-axis are less bifurcating, but due to their considerable length and density if water collects in them and freezes it results in a relatively uniform disintegration of the sample.

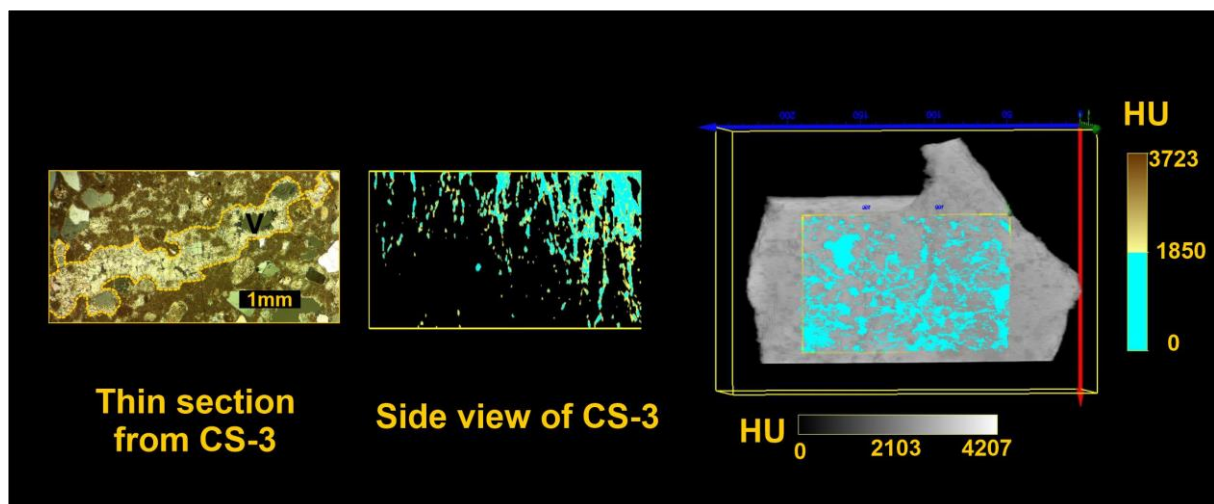
### Discussion and Interpretation

Investigating the void area percentage over the samples in various positions gives information about the surface and inside void spaces in addition to PWPs in various directions. Based on our results of the analysis implemented on vertical and horizontal slices of Sample I the front and the back of the brick appear to be more porous and prone to water uptake by capillary pressure than the left and the right sides of the central part. It is seen in all slices that the length and proportion of PWPs through the left and right directions are negligible on the sides of the brick. So, these lateral parts are less prone to water uptake. Conversely, water may enter the pores from the front, or the back of the brick will be first moving horizontally toward the centre. Once it reaches the interior parts due to the good connectivity and significant percentage of vertically oriented pores flow continues upwards and downwards. Thus, in this example, the front and the back brick position would need either an insulation or a specific orientation during the placement to prevent the inflow of water to the central parts. In the lateral areas, minimal insulation is acceptable, as shown in **Fig. 10**.



**Fig. 10.:** 3D void space in Sample I, on the right, is the original sample in greyscale, and the rectangle shows the subset of the sample, the blue shape represents the void space area over the sample's subset in 3D, the black cube shows a side view of void space in Cs-1, the rectangle illustrates the void space in Cs-2, representative thin sections from each member parallel to void space location, V: voids, G: gastropods

**10. ábra** A jobb oldali I. mintában lévő 3D üres tér az eredeti minta szürkeárnyaltos, és a téglalap a minta részahalmazát mutatja, a kék alakzat a minta részahalmaz feletti űrt jelöli 3D-ben, a fekete kocka oldalnézetben A téglalap a Cs-1 üregterét szemlélteti a Cs-2-ben, reprezentatív vékony szakaszok minden egyes elemtől párhuzamosan az üregtér elhelyezkedésével. V: üregek, G: haslábúak



**Fig. 11.:** 3D void space in Sample II, on the right, is the original sample in greyscale, and the inside rectangle shows the subset of the sample, the blue shape represents the void space area over the sample's subset in 3D, then in the center a side view of void space in Cs-3, on the left side, a representative thin sections from the member parallel to void space location, V: voids.

**11. ábra** A 3D-s üregtér a II. mintában, a jobb oldalon, az eredeti minta szürkeárnyaltos, a belső téglalap pedig a minta részahalmazát mutatja, a kék alak a minta részahalmaz feletti űrt jelöli 3D-ben, majd az ábra közepén. a Cs-3 üregének oldalnézete, bal oldalon, reprezentatív vékony metszetek az elemtől párhuzamosan az üregek elhelyezkedésével, V: üregek.

The investigation was also carried out on vertical and horizontal slices of Sample II in **Fig. 11**. From the top-of the brick appears (in vertical direction) to be more porous and susceptible to water absorption than the horizontal sides. The length and quantity of PWP's on the top of the brick are visible in all slices. As a result, this vertical region is highly susceptible to water absorption. Water possibly will also enter the pores from the front or rear of the brick, moving horizontally toward the centre in the current position of the stone. However, water will enter the bricks less from left or right. Because of the strong connection and high proportion of vertically oriented voids, flow continues downwards once it reaches the internal portions. Consequently, the front and back ends of Sample II would require sufficient insulation to prevent water from entering the inner components. In the lateral portions, only bare essential insulation would be needed.

## Conclusion

This research aimed to identify potential weaknesses that may arise from water infiltrating the rock which was used in historical structures and archaeological buildings. However, in turn, helps in determining the cost and points of treatment required for the original stone and its sustainability.

Quantifying voids spaces larger than voxel size ( $>200\ \mu\text{m}$ ) and detecting the potential flow path in freshwater carbonate rock for construction and decoration purposes is fundamental for facilitating and implementing protection for constructed areas. Moreover, it is crucial to forecast these vulnerabilities considering the predicted diurnal variation of temperature, resulting in increased freeze and thaw frequency from severe weather events. To achieve this aim, we used EM-mixture analysis of the CT data to segment RFCs and watershed algorithms to detect the potential of the water flow path.

By showing the spatial distribution and orientation of the potential flow path (PWP) in the watershed map, we can estimate the areas that require enhanced insulation to prevent water inflow and structural damage into the rock. These non-destructive methods provide better insight into the structural heterogeneity of construction stones and complemented by the results of modern petrophysical measurements can supply better models of weathering effects. Furthermore, it helps characterize potential stone materials potentially usable in the conservation of cultural assets.

Generally, the stones varieties which analysed in this study can be regarded as weak stones due to their high open porosity and water absorption capacity paired with low mechanical parameters (Uğur and Toklu 2020, Ruedrich et al. 2011).

The advantages of the method include its non-destructive nature, the ability to obtain visual and quantitative data on rock composition, and the possibility of segmenting rock-forming components (voids and matrix) using statistical approaches. Furthermore, it allows estimation of the percentage of rock-forming components for the entire sample and assessment of spatial variation along the major axes of the studied sample, slice by slice. The method also enables the identification of zones with similar density characteristics and composition, facilitating the evaluation of the distribution, percentage, and orientation of voids within these zones. Additionally, by reconstructing potential water paths, it becomes possible to determine the major direction of flow for each identified zone separately. The 3D visualization of the data enables assessment of the type, orientation, and connectivity of the voids.

This study is limited to using representative samples of the lithified section of freshwater carbonate from Csólyospálos, which probably give precise results if the lithified samples are taken from different points over the dry lake. The results of this work give a preliminary indication of the major direction of voids which are the main potential water paths during water infiltration.

Another limitation of the method is that it is unable to detect micro voids due to their size being smaller than the resolution offered by the medical CT ( $<200\ \mu\text{m}$ ). Consequently, these micro-voids are not accounted for in the analysis and therefore, the results of this study highlight only a part of the hygric behaviour of the stones. Therefore, to properly detect and understand the hygric behaviour of porous limestones, it is crucial to complete CT measurements with other methods better suitable for measuring the smaller pore sizes.

## Contribution of authors

**Nour Alzoubi** Writing - Original Draft, Visualization, Investigation. **Gulyás Sándor** Conceptualization, Writing - Review & Editing, Supervision. **Geiger János** Writing - Review & Editing, Supervision.

## Acknowledgements

Research has been carried out within the framework of the University of Szeged, Interdisciplinary Excellence Centre, Institute of Geography and Earth Sciences, and Long Environmental Changes Research Team. Support of the Ministry of Human Capacities Hungary Grants 20391-3/2018/FEKUSTRAT and NKFIH 129265 are acknowledged. The manuscript was considerably improved by valuable comments from reviewers.

## References

- ABUTAHA, S. GEIGER, J. GULYÁS, S. & FEDOR, F. (2021): Evaluation of 3D Small-Scale Lithological Heterogeneities and Pore Distribution of the Boda Claystone Formation Using X-Ray Computed Tomography Images (CT). *Geologia Croatica* **74/3** 305–318.  
<https://doi.org/10.4154/gc.2021.17>
- AHMED, H.G., JAFFAR, H.A. & MURTADHA, J.I. (2021): Petrophysical Study of Limestone Rocks for Al- Nfayil Formation – Bahr Al-Najaf Depression and Suitability for Industrial Purposes. *Journal of the University of Babylon for Pure and applied science (JUBPAS)* **29/1** 75–85.  
<https://journalofbabylon.com/index.php/JUBPAS/article/view/3543/2694>
- ALZOUBI, N., GEIGER, J. & GULYÁS, S. (2022): Defining rock-forming components of Holocene freshwater carbonates via univariate statistical and mixture analysis of computer tomography data. *Studia Quaternaria* **39/2** 113–128.  
<https://doi.org/10.24425/sq.2022.140887>
- ATRASH, H. & VELLEDEITS, F. (2020): CT-based analysis of pore network of reservoir rocks. *Geosciences and Engineering* **8/13** 167–184.  
<https://ojs.unimiskolc.hu/index.php/geosciences/article/view/1824/1214>
- BALÁZS, Gy., L. LUBLÓY, É. & FÖLDES, T. (2018): Evaluation of Concrete Elements with X-Ray Computed Tomography. *Journal of Materials in Civil Engineering* **30/9** 1–9.  
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002389](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002389)
- BALOGH, K. (1994): History of the Hungarian geological survey from 1869 to 1919. In: TÓTH-MAKK, Á. (ed.): *125 years of the history of the Hungarian Geological Survey*. Geological Institute of Hungary, 9–17.  
<http://mek-oszk.uz.ua/18100/18105/18105.pdf>
- BEUCHER, S. & MEYER, F. (1993): The Morphological Approach to Segmentation: The Watershed Transformation. In: DOUGHERTY, E.R. (ed.): *Advances of Mathematical Morphology in Image Processing*, Marcel Dekker Inc., New York, 433–481.
- CAPEZZUOLI, E. & SWENNEN, R. (2017): Non-Marine Carbonates: A Multidisciplinary Approach. *Quaternary International* **437** 1–3.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.005>
- CLAES, S., SOETE, J., CNUDE, V. & SWENNEN, R. (2016): A Three-Dimensional Classification for Mathematical Pore Shape Description in Complex Carbonate Reservoir Rocks. *Mathematical Geosciences* **48/6** 619–639.  
<https://doi.org/10.1007/s11004-016-9636-z>
- CNUDE, V. MASSCHAELE, B. DIERICK, M. VLASSENBOECK, J. VAN HOO REBEKE, L. & JACOBS, P. (2006): Recent progress in X-ray CT as a geosciences tool. *Applied Geochemistry*, **21/5** 826–832.  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.02.010>
- CORMACK, A.M. & HOUNSFIELD, G.N. (1989): Physiology or medicine 1979: Press release. Accessed April 21, 2018.  
[https://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1979/press.html](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/press.html)
- COUDRAY, N. BUESSLER, J. & URBAN, J. (2013): A robust thresholding algorithm for unimodal image histograms. *Pattern Recognition Letters*, **31** 1010–1019.  
<https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.12.025>
- DE MUYNCK, W., DE BELIE, N. & VERSTRAETE, W. (2010): Microbial Carbonate Precipitation in Construction Materials: A Review. *Ecological Engineering* **36/2** 118–136.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.02.006>
- DAWSON, R. (2011): How Significant Is a Boxplot Outlier? *Journal of Statistics Education* **19/2**, 1–12.  
<https://doi.org/10.1080/10691898.2011.11889610>
- DEMPSTER, A.P., LAIRD, N.M. & RUBIN, D.B. (1977): Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Journal of Royal Statistical Society* **39** 1–38. <https://doi.org/10.1111/1.3424485>
- DUBRAVKA, Đ., STRAŽMEŠTEROV, S. & ČIRIĆ, L. (2013): A réti mésző felhasználásának kutatása a Bácska és Bánát északi részén a „CULT-NAT HERIT elnevezésű Magyarország–Szerbia IPA határon átnyúló együttműködési program keretében”. In: KUSTÁR, R. & BALAZS, R. (eds.): *A darázskő. Kiskunsági Nemzeti Park Alapítvány, Kecskemét*, 131–146.
- DUCHESNE, M.J., MOORE, F., LONG, B.F. & LABRIE, J. (2009): A rapid method for converting medical Computed Tomography scanner topogram attenuation scale to Hounsfield Unit scale and to obtain relative density values. *Engineering Geology* **103** 100–105.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.06.009>
- FAN, W., YANG, P. & YANG, Z. (2021): Freeze-Thaw Impact on Macropore Structure of Clay by 3D X-Ray Computed Tomography. *Engineering Geology* **280** (August 2020): 105921.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105921>
- FÖLDES, T., ÁRGYELÁN, G.B., BOGNER, P., REPA, I., KISS, B., & HIPS, K. (2004): Application of medical computer tomography

measurements in 3D reservoir characterization. – *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **47/1** 63–73.

<https://doi.org/10.1556/AGeol.47.2004.1.5>

FODOR, G. (2013): “Darázskő szunnyad lejjebb a pagonyban”. In: KUSTÁR, R. & BALÁZS, R. (eds.): *A darázskő. Kiskunsági Nemzeti Park Alapítvány, Kecskemét*, p. 7.

GEIGER, J., HUNYADFALVI, Z. & BOGNER, P. (2009): Analysis of Small-Scale Heterogeneity in Clastic Rocks by Using Computerized X-Ray Tomography (CT). *Engineering Geology* **103/3-4** 112–118.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.06.011>

GIRESON, K., ÇELİK, S.B. & ÇOBANOĞLU, İ. (2023): Monitoring the Decrease of Abrasion Resistance on Natural Building Stones Due to Deterioration Caused by Freezing and Thawing Cycles. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* **82/5**, 162–176.

<https://doi.org/10.1007/s10064-023-03201-8>

GOOYA, R., BRUNS, S., MÜTER, D., MOADDEL, A., HARTI, R.P., STIPP, S.L.S. & SØRENSEN, H.O. (2016): Effect of Tomography Resolution on the Calculated Microscopic Properties of Porous Materials: Comparison of Sandstone and Carbonate Rocks. *Applied Physics Letters* **109/10** 1–5.

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4962389>

GUAN, K.M., NAZAROVA, M., GUO, B., TCHELEPI, H., KOVSCEK, A.R. & CREUX, P. (2019): Effects of Image Resolution on Sandstone Porosity and Permeability as Obtained from X-Ray Microscopy. *Transport in Porous Media* **127/1** 233–245.

<https://doi.org/10.1007/s11242-018-1189-9>

HEISMANN, B.J., LEPPERT, J. & STIERSTORFER, K. (2003): Density and atomic number measurements with spectral X-ray attenuation method. *Journal of Applied Physics* **94** 2073–2079. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1586963>

HOUNSFIELD, G.N. (1973): Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *British Journal of Radiology* **46/552** 1016–1022.

<https://doi.org/10.1259/0007-1285-46-552-1016>

HOEK, E. (2006): *Practical Rock Engineering*. Evert Hoek Engineering, North Vancouver, British Columbia, 341 p. (accessed September 2023)

<https://www.roscience.com/assets>

[resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf](https://www.roscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf)

JENEI, M., GULYÁS, S., SÜMEGI, P. & MOLNÁR, M. (2007): Holocene lacustrine carbonate formation: old ideas in the light of new

radiocarbon data from a single site in central Hungary. *Radiocarbon* **49** 1017–1021.

<https://doi.org/10.1017/S0033822200042879>

KNAUER, J. (1994): Contribution to mineral exploration. 125 years of the history of the Hungarian Geological Survey. In: TÓTH-MAKK, Á. (ed.): *125 years of the history of the Hungarian Geological Survey*. Geological Institute of Hungary, 91–98.

<http://mek-oszk.uz.ua/18100/18105/18105.pdf>

KUSTÁR, R. & SZARKA, J. (2013): A réti mészkő felhasználása a Duna–Tisza közén. In: KUSTÁR, R. & BALÁZS, R. (eds.): *A darázskő. Kiskunsági Nemzeti Park Alapítvány, Kecskemét* 87–131.

<https://www.knpa.hu/konyvtar/darazsko/>

LIN CHAN, C. & ZHANG, M. (2023): Effect of Limestone on Engineering Properties of Alkali-Activated Concrete: A Review. *Construction and Building Materials* **362** (October 2022): 129709.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129709>

LÓCZY, D. (2015): Geomorphological Regions. In: LÓCZY, D. (ed.) *Landscapes and Landforms of Hungary*, Springer Cham, Switzerland, 227–235.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-08997-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08997-3_5)

MARKUSSEN, Ø., DYPVIK, H., HAMMER, E., LONG, H. & HAMMER, Ø. (2019): 3D characterization of porosity and authigenic cementation in Triassic Conglomerates/Arenites in the Edvard Grieg field using 3D Micro-CT Imaging. *Marine and Petroleum Geology* **99**, 265–281.

<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.10.015>

MOLNÁR, B. (1980): Diagenetic and lithification processes of recent hypersaline dolomites on the Danube-Tisza interfluve. *Mineralogical Magazine* **XXIV/2** 315–337.

MOLNÁR, B. (1991): *Modern lacustrine calcite, dolomite, and magnesite formation in Hungary*. Manuscript, Department of Quaternary Geology, University of Turku, 22 p.

MOLNÁR, B. & BOTZ, R. (1996): Geochemistry and stable isotope ratio of modern carbonate in natron lakes of the Danube-Tisza Interfluve, Hungary. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **39** 153–174.

MOLNÁR, B. & SZÓNOKY, M. (1974): On the origin and geohistorical evolution of the natron lakes of the Bugac Region. *Móra Ferenc Múzeum Évkönyve* **1974** 65–76.

MOLNÁR, B., MURVAI, M.I. & HEGYI-PAKÓ, J. (1976): Recent lacustrine dolomite formation in The Great Hungarian Plain. *Acta Geologica Academiai Societiarum Hungaricae* **20** 179–198.

MRI ACR (2013). MRI Accreditation Program Clinical Image Quality Guide Introduction In: *MRI*

*Accreditation Program Clinical Image Quality Guide*. American College of Radiology, Reston, Vancouver, 1–38. (MRI Accreditation CIQG 5-22-13.doc)

PENG, S., HU, Q. DULTZ, S. & ZHANG, M. (2012): Using X-Ray Computed Tomography in Pore Structure Characterization for a Berea Sandstone: Resolution Effect. *Journal of Hydrology* **472-473** 254–261.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.034>

PINI, R. & MADONNA, C. (2016): Moving across Scales: A Quantitative Assessment of X-Ray CT to Measure the Porosity of Rocks. *Journal of Porous Materials* **23/2** 325–338.

<https://doi.org/10.1007/s10934-015-0085-8>

PIRES, L.O., FIORELLI, G.L., WINTER, A. & TREVISAN, O.V. (2017): Petrophysical Characterization of Carbonates Heterogeneity. Paper presented at the Offshore Technology Conference Brasil, Rio de Janeiro, Brazil, October 2017. Paper No.: OTC-28098-MS, 936–947.

<https://doi.org/10.4043/28098-ms>

RUEDRICH, J., KIRCHNER, D. & SIEGESMUND, S. (2011): Physical Weathering of Building Stones Induced by Freeze-Thaw Action: A Laboratory Long-Term Study. *Environmental Earth Sciences* **63(7)** 1573–1586.

<https://doi.org/10.1007/s12665-010-0826-6>

SUN, H., BELHAJ, H., TAO, G., VEGA, S. & LIU, L. (2019): Rock Properties Evaluation for Carbonate Reservoir Characterization with Multi-Scale Digital Rock Images. *Journal of Petroleum Science and Engineering* **175** 654–664.

<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.12.075>

Surfer® (2023) Program and Golden Software. Surfer Quick Start Guide, pp. 61.

SÜMEGI, P., MOLNÁR, D., SÁVAI, S., NÁFRÁDI, K., NOVÁK, Z., SZELEPCSÉNYI, Z. & TÖRÖCSIK, T. (2015): First radiocarbon dated palaeoecological data from the freshwater carbonates of the Danube-Tisza interfluvium. *Open Geosciences* **7** 40–52. <https://doi.org/10.1515/geo-2015-0003>

SÜMEGI, P. & NÁFRÁDI, K. (2015): A radiocarbon-dated cave sequence and the Pleistocene/ Holocene transition in Hungary. *Open Geosciences* **1** 783–798.

<https://doi.org/10.1515/geo-2015-0051>

UĞUR, İ. & TOKLU, H.Ö. 2020. Effect of Multi-Cycle Freeze-Thaw Tests on the Physico-mechanical and Thermal Properties of Some Highly Porous Natural Stones. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* **79/1** 255–267.

<https://doi.org/10.1007/s10064-019-01540-z>

URBANIEC, A., DRABIK, K. & DOHNALIK, M. (2018): Selected Features of Carbonate Rocks Based on the X-Ray Computed Tomography Method (CT). *Nafta-Gaz* **74/3** 181–192.

<https://doi.org/10.18668/NG.2018.03.01>

WANG, L. & LIU, H. (2006): An Efficient Method for Identifying and Filling Surface Depressions in Digital Elevation Models for Hydrologic Analysis and Modelling. *International Journal of Geographical Information Science* **20/2** 193–213.

<https://doi.org/10.1080/13658810500433453>

WARLO, M. BARK, G. WANHAINEN, CH. BUTCHER, A. FORSBERG, F. LYCKSAM, H. & KUVA, J. (2021): Multi-Scale X-Ray Computed Tomography Analysis to Aid Automated Mineralogy in Ore Geology Research. *Frontiers in Earth Science* **9** 1–24.

<https://doi.org/10.3389/feart.2021.789372>

# SARMATIAN KILN FROM SZENTES–SCHWEIDEL JÓZSEF STREET SITE

## SZARMATA KORI EDÉNYÉGETŐ KEMENCE SZENTES–SCHWEIDEL JÓZSEF UTCA LELŐHELYRŐL •

WALTER, Dorottya<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> University of Szeged, Faculty of Humanities, Doctoral School of History, Medieval Studies–Archaeology  
Doctoral Program, H-6722 Szeged, University Str. 2.

E-mail: [walterdorottya6@gmail.com](mailto:walterdorottya6@gmail.com)

### Abstract

*In the Carpathian Basin, according to our current knowledge, there are only a few sites where traces of Sarmatian pottery production can be found. The clearest and most direct evidence of local pottery production is the presence of pottery kilns, which are relatively rare in the Sarmatian age Barbaricum. In total, there are 28 settlements where pottery firing kilns have been excavated, the vast majority of which were found during excavations before the turn of the millennium. This paper deals with the processing and analysis of a well-documented Sarmatian pottery kiln excavated in Szentes–Schweidel József Street in 2006. Based on the structural design of the kiln, it can be identified as a Celtic-type of pottery kiln which was popular and widespread at the time. By comparing the pottery kiln with its parallels, we can gain an insight into the pottery-making practices of the Sarmatians living in the Southern Great Plain in the 2<sup>nd</sup>–4<sup>th</sup> centuries AD.*

### Kivonat

*A Kárpát-medencében jelen ismereteink szerint csekély azon lelőhelyek száma, ahol kimutathatók a szarmata kori edénygyártás nyomai. A helyben folytatott edénykészítés egyértelmű és közvetlen bizonyítékai az edényégető kemencék, melyek viszonylag ritkák a szarmata kori Barbaricumban. Jelenleg összesen 28 olyan telepről tudunk, ahol edényégető kemencét tártak fel, melyek túlnyomó többsége az ezredforduló előtti ásatások során került elő. A tanulmány a Szentes–Schweidel József utcában 2006-ban feltárt jól dokumentált szarmata kori edényégető kemence feldolgozásával és elemzésével foglalkozik. A szentesi kemence szerkezeti felépítése alapján a kelta típusú edényégető kemencével azonosítható, amely a korszakban kedvelt, általánosan elterjedt formának számít. A tárgyalta edényégető kemence és párhuzamainak összehasonlítása által betekintést nyerhetünk a Kr.u. 2–4. században a Dél-Alföldön élt szarmaták edénykészítési szokásaiba.*

KEYWORDS: LATE SARMATIAN POTTERY WORKSHOP, POTTERY KILNS, SARMATIAN SETTLEMENT

KULCSSZAVAK: KÉSŐ SZARMATA FAZEKASMŰHELY, EDÉNYÉGETŐ KEMENCÉK, SZARMATA KORI TELEPEK

### Introduction

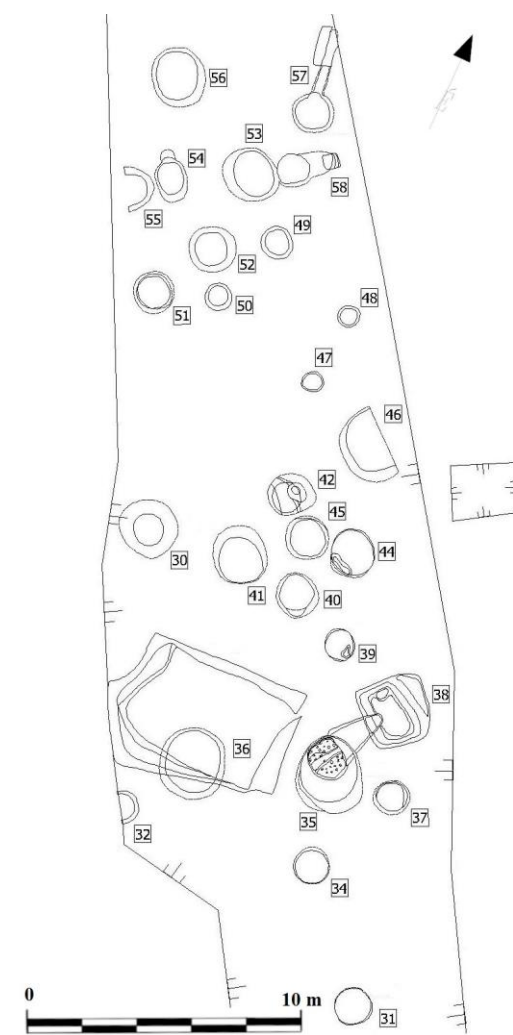
In the Carpathian Basin, ceramics are the most common and abundant finds from Sarmatian settlements of the 4<sup>th</sup>–5<sup>th</sup> century AD. Based on the evidence of the archaeological excavations, not all settlements produced ceramics since many conditions are necessary for producing pottery. On the one hand, the co-occurrence of raw materials – easily accessible in nature – is required, i.e., sufficient quality and quantity of clay, water, and wood for firing. On the other hand, it is necessary to have the technological knowledge of pottery making and the kilns for firing the pots.

Despite the fact that the Sarmatian period has been researched for over a century, we do not currently have much information on the pottery of the period and on the pottery kilns, and even less on the commercial network of pottery.

In the northern part of the Great Hungarian Plain, we already know pottery workshops such as Üllő, Csengersima, Beregsurány, Blažice and Aranyosmeggyes, where large quantities of ceramics were produced for commercial purposes. Wheel-thrown gritty grey ware was produced in Üllő (Istvánovits et al. 2011), while wheel-thrown stamped ware

---

• How to cite this paper: WALTER, D. (2023): Sarmatian kiln from Szentes–Schweidel József Street site, *Archeometriai Műhely* XX/2 pp. 147–160.  
doi: [10.55023/issn.1786-271X.2023-011](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2023-011)



**Fig. 1.:** Location of the pottery kiln excavated in Szentcs-Schweidel Street (feature 35) (KJM Archaeological Repository: 1028–2015)

**1. ábra:** A Szentcs-Schweidel utcában feltárt edényégető kemence (35. obj.) elhelyezkedése (KJM Régészeti Adattár: 1028–2015)

was produced in Csengersima–Petea (Gindele & Istvánovits 2011) and Beregsurány (Csallány 1966). In addition to these important pottery workshops, there were also smaller workshops serving local needs, such as those with one or two pottery kilns in the Southern Great Plain. The aim of this study is to report and analyse a Sarmatian pottery kiln found in Szentcs-Schweidel József Street and to explore and compare pottery workshops in the Southern Great Plain region.

### **Location and excavation of the site**

The site is located on Schweidel József Street in Szentcs, which is situated in the southern part of the town (called Berekhát). The dominant geographic



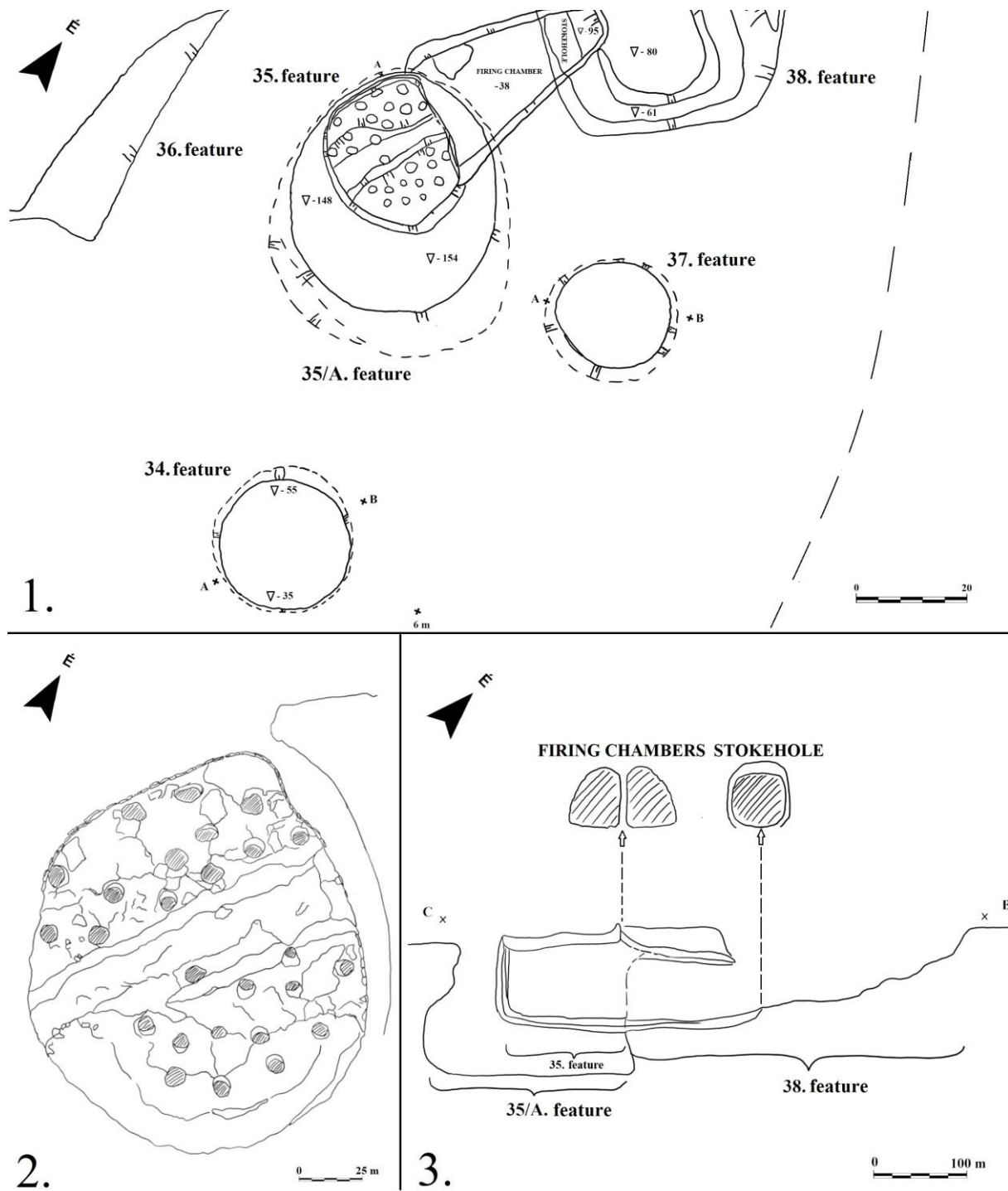
**Fig. 2.:** Photo of the pottery kiln from the view of the firing chamber

**2. ábra:** Az edényégető kemence tüzelőcsatorna felőli fotója

features of the area are the rivers Tisza and Kurca, as well as the former Kontra Lake (Vörös & Szabó 2019, 13).

Based on a decision of the local government of Szentcs, the area was asphalted in 2006 to provide a better connection for the large traffic between Schweidel József Street and Szegvári Road. The archaeologists of the Koszta József Museum, led by János József Szabó and Ádám Bede, carried out a preventive archaeological excavation along the route of the future asphalt road. The excavation was conducted in one large phase between 15 September and 31 October 2006, during which an area of 2168 m<sup>2</sup> was excavated.

The archaeological features all date back to the Sarmatian period, and a fire trench from the Second World War was also found. A total of 63 features were excavated, 4 graves, including 1 house, 1 pottery kiln, 4 work-pits, 3 trenches, 1 hearth, 1 shaft furnace, 1 partially built kiln initiative, and 47 pits in various sizes. Most of the archaeological finds were quite close to the current surface, as close as 20–30 cm. Since the area of the track was part of a cart track that already existed in the 19<sup>th</sup> century, this area had not been ploughed or deep ploughed for a long time. Two circular ditched graves, a grave-pit, and an infant burial were excavated at the site. The female and the male circular ditched graves have been published recently (Vörös & Szabó 2019). Based on their inventory, the graves can be dated to the beginning of the 2<sup>nd</sup> century AD (Vörös & Szabó 2019, 20). The kiln's finds can be dated to a later period, to the 3<sup>rd</sup> century AD. The outstanding find of the excavated part of the settlements is the pottery kiln, which is investigated in this paper (Fig. 1–2).



**Fig. 3.:** Drawings of the pottery kiln 1: location 2: ground plan and 3: profile

**3. ábra:** Az edényégető kemence 1: helyszín- 2: alap- és 3: hosszmetset rajzai



**Fig. 4.:** Cross-section photo of the stokehole of the pottery kiln

**4. ábra:** Az edényégető kemence fűtőjáratának keresztmetszet fotója



**Fig. 6.:** Photo of the raised floor of the pottery kiln

**6. ábra:** Az edényégető kemence rostélyának fotója

### *The structure of the kiln*

The pottery kiln was found in the northern part of the site, built in a former beehive-shaped pit (feature 35/A), which was accompanied by a work-pit for firing (feature 38) (**Fig. 3.1**). The kiln was oriented from northeast to the southwest, with an overall length of 295 cm, of which the furnace section was 130 cm and the firebox was 165 cm. The maximum height of the external parts of the kiln is 110–112 cm, and the walls are 4–12 cm thick (**Fig. 1**). Three burnt layers could be distinguished: the inner one is very hard, greyish-silvery in colour, the middle one is black and hard, and the outer one is more powdery and brick red. Most of our knowledge is about the lower part of the kiln's hearth, as the arch has not been preserved, and only traces of the base of the ascending wall, 5–8 cm high, are visible.

The kiln was a sunken up-draught kiln with two firing chambers and a perforated floor. The kiln is divided into two sections, with a central rib



**Fig. 5.:** Photo of the pottery kiln

**5. ábra:** Az edényégető kemence fotója



**Fig. 7.:** "Smoke tunnels" on the kiln's raised floor

**7. ábra:** „Füstjáratok” a kemence rostélyán

dividing the fire chambers to SE and NW sections (**Fig. 4**). The length of the fireboxes is 125–130 cm, and their combined width is 124–144 cm (narrowing upwards), and separately 50–54–61–62 cm, plus the rib. The filling layers of the SE firebox are light grey humus, dark grey humus, and yellowish grey humus; while the NW firebox's layers are filled with light grey humus, yellowish humus, dark grey humus, yellowish humus and yellowish-grey humus. The lower part of the firebox is burnt out in two layers, the upper one is harder and greyish, and the lower one is reddish-yellowish and powdery, with a total thickness of 1–2 cm (6–8 cm in some places). The stokehole is arched, semicircular, it has a width of 54–56 cm and a height of 64 cm, symmetrically divided in the centre (**Fig. 3**), the length of the rib is the same as the length of the firing chamber, the direction of the rib is the same as the direction of the kiln and the firing chamber (NE–SW), its thickness varies between 14 and 20 cm. The surface facing the firing chambers has a hard-burnt, ca. 1 cm thick layer,

which is silverish-greyish in colour; its interior is lighter grey with a reddish tone, and the texture is much softer and more porous. The thickness of the rib continuously decreases outwards and towards the stokehole, while ending up almost pointy.

The shape of the firing chamber is rounded, square in cross-section, tapering continuously towards the stokehole. It is 165 cm long and 132 cm to 60 cm wide. Its height is between 100 cm and 70 cm. The stokehole is squared with a rounded corner, 60 cm wide and 60 cm high. The wall is av. 4–5 cm, sometimes 8–10 cm thick, with two layers: the inner one is reddish and harder, and the outer one is yellowish-brownish, and porous. The inner surface of the wall was filled with greyish burnt clay, with burnt traces of patching and smoothing. The bottom was only 1–2 cm thick, burnt through, and had a reddish-yellowish colour. The stokehole of the fire chamber opens into the area of the work-pit (object 38, **Fig. 5**). In practice, this is where the firing happened, with only hot air flowing into the “firing chamber”.

Due to the lack of deep ploughing, the perforated raised floor (once used to hold the pots for firing) was found 25 cm from the cut surface (**Fig. 3.2.**). The thickness of the raised floor is min. 15 cm, max. 24–30 cm (the latter includes the upper wall of the pottery pit). The material is hard-burnt, and grey in colour, the interior is similar to the inside of the rib. The bottom has been patched with reed plaits and plant fibres, which have left negative burnt imprints (**Fig. 6.**). The latter was created by placing the reed plaits on the support, applying the patch, and then the lower support, made of organic materials, was burnt when the raised floor was first burnt out. There were 13–13 holes above both the SE and NW fire chambers (**Fig. 6**). The diameter of each hole is 7–8 cm and their length (depth) is max. 15 cm. The outer, superficial surface of the raised floor was plastered in 2–3 layers, as in the ascending wall, with grey-fired clay.

### ***The so-called 'Celtic-type' kilns***

The Szentés–Schweidel pottery kiln is one of the so-called Celtic-type pottery kilns, which are vertical, sunken up-draught kilns with one or two firing chambers and a raised floor. This type of kiln was introduced by the Celts, and almost all the kilns fit the aforementioned description. The structure of the Celtic-type kilns was first described by Fasshauser in 1959 (Fasshauser 1959, 246). Celtic-type kilns basically consist of two parts, a firing chamber (at the bottom) and an upper chamber (oven), separated by a raised floor with flues. In the firing chamber, we can find the support for the raised floor, which held the raised floor on which the pots were placed for firing. The vertical and sunken up-draught attributes refer to the air movement in the kiln. The heat (and the

combustion products) from the fire, which was placed close to the stokehole, was moved upwards to the oven by the airflow and through the flues in the raised floor. The upper chamber was partially buried underground, while the other part of the kiln was part of the vault above the ground (Szöllősi 2008, 346). Researching the structure of pottery kilns is difficult since no completely intact kilns are known, as the above-ground vault usually deteriorates or collapses over time.

Compared to pit firing and open-fire firing, the biggest advantage of Celtic-type kilns is that they protect the pots much better from external environmental influences, from the sudden draughts that can damage or even destroy the vessels during firing. The operation of vertical, up-draught kilns is based on the airflow from the bottom to the top; hence the orientation of the stokehole is very important (Szöllősi 2008, 346–347). In the Carpathian Basin, the wind blows mainly from the southeast, however, the orientation of kilns is more varied. There are known kilns oriented to the east (Tiszavasvári–Városföldje, Jegyző-tag; Istvánovits 1999, 175–176), to the west (Vršac/Versec-Crvenka; Rašajski 1957, 47) and to the north (Sándorfalva–Eperjes; Vörös 1982, 36) too. At this point, no correlation can be shown between the prevailing wind conditions in the Carpathian Basin and the orientation of Sarmatian pottery kilns. Presumably, the kilns were built according to the local conditions in a micro-region, considering the prevailing wind direction, and the work-pits (Benedek-Bene & Benedek 2015, 213). The work-pits were built depending on where they wanted to place the stokehole. A lot of energy was required to heat up the kilns, so efficiency and sustainability were key factors in their design. To reduce energy loss, the kilns were sunk into the ground thus ensuring good thermal insulation (Szöllősi 2018, 347–348). The kilns were often protected by windbreaks to provide heat control and weather protection.

Celtic-type kilns in non-Celtic context can be traced back to the late La Tène period and they spread with the Romanization in the Carpathian Basin (Henning 1977, 194). They can be found in Roman, Sarmatian, Germanic, Avar and Árpáadian Age settlements. Their significance is that they formed the basis of the technological development that led through the Roman and Migration periods to the Middle and Early Modern Ages, and some of their elements can still be found in folk pottery today, their original operating principle has remained unchanged over time (Szöllősi 2008, 326).

The pottery kiln of the Sopron–Krautacker site is incredibly unique, as currently it is the first and the only Celtic-type kiln in Hungary on which archaeometric investigations have been carried out (Kardos et al. 1985; Zeiler 2011). The kiln dates to

the La Tène period and was excavated in the 1980s. X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) spectrometry, differential thermal analysis (DTA), thermogravimetry (TG), and differential thermogravimetry (DTG) were used to analyse the kiln (Kardos et al. 1985 83–84). This research aimed to identify the commercial relationships of the pottery workshop in Sopron and the site's general archaeological and environmental reconstruction (Szöllősi 2008, 328). Similar scientific studies would be particularly reasonable for Sarmatian pottery kilns. The archaeometric analysis of the kilns would provide information on the pottery production process, the composition of raw materials, the firing technique, and the firing temperature could be analysed.

### ***Process and parallels for the building of a pottery kiln at Szentes-Schweidel József Street***

The construction of the pottery kilns followed a strict sequential order (Szöllősi 2008, 350). The structure of the kiln excavated in Szentes-Schweidel József Street is mainly identical to that of the pottery kilns of the period. The best parallels can be drawn with the sites Sándorfalva-Eperjes (Vörös 1982, 28), Makó-Dáliugar M43 site 40 (Sóskuti 2016, 77–78), Makó-Dáliugar M43 site 38 (Benedek-Bene & Benedek 2015, 209), Gyula-Kálvária-dűlő 4 (Implom 1935, 234) and Grădinari-Seliște (Bozu 1990, 149–151). The first step in building the Sarmatian pottery kiln was to mark and create a work-pit for the kiln. The interesting thing about the kiln at Szentes is that a 120 cm diameter beehive-shaped pit, dug earlier, was used for this purpose. This means that, according to the documentation, the kiln was built in a beehive-shaped pit that had been previously filled in (Fig. 1.). The geographically closest parallel is known from Doboz-Hajdúirtás, where a similar kiln was dug into a re-used object; more precisely, the kiln was built into the side of a house (Kovalovszki 1989, 127).

In the case of the Szentes kiln, after the construction of the work-pit, the firing chamber was dug leaving a rib to support the raised floor. The rib divided the firing chamber into two parts and cut the stokehole in two. The firing chamber, together with the work-pit, was built underground (Fig. 5.). The bottom, the sides, and the supporting wall of the raised floor were patched and fired before use to ensure the durability of the kiln structure. This was a common practice in the construction of pottery kilns (Implom 1935, 235). The firing chamber was built parallel to the upper chamber (oven), a part of which was below the ground level. We have no data on the exact size of the oven of the Szentes kiln; we know only the size of the bottom of the oven, which was 120 cm in diameter, round, and traces (5–8 cm

in size) of the base of the ascending wall connected to the oven can be observed.

Following the construction of the oven, the raised floor was built (Fig. 6.) and was glued to a formwork of planks and/or branches, which was placed on the rib and the edge of the upper chamber. As a next step, by burning the wooden supports in the initial firing, the kiln was consolidated and the raised floor took its final shape and position (Szöllősi 2008, 351). When the pottery kiln was built in Szentes, cca. 15–30 cm thick raised floor was formed. Traces of reed braids can be noticed at the bottom of the raised floor (Fig. 7.), which probably came from the former supporting structure. When the kiln was built, thicker branches were laid on the central supporting rib, and then reed bundles were laid across them. The same branch traces can be observed on the underside of the raised floor of the pottery kilns excavated during the construction of the M43 motorway, Makó-Dáliugar M43 site 40 (Sóskuti 2016, 77–78) and Makó-Dáliugar M43 site 38 kiln No. 363 (Benedek-Bene & Benedek 2015, 210).

Holes were made on the raised floor to circulate hot air in the oven. It is probable that these holes made with 7–8 cm diameter branches that supported the raised floor, and they were burnt during the kiln's first firing, and thus the holes of almost the same diameter were formed (Figs. 6–7.). Unusually, a total of 26 holes were formed in the raised floor; each was circular and had a maximum length of 15 cm. The holes were distributed almost evenly across the raised floor, which is typical in Sarmatian pottery kilns. Similar hole distributions have been documented on the raised floors of Vršac/Versec-Crvenka (Rašajski 1957, 47, Plan Nr. III) and Makó-Dáliugar M43 site 38 kiln No. 363 (Benedek-Bene & Benedek 2015, 212). Pottery kilns in the Southern Great Plain usually have 10–15 holes compared to the raised floor of the Szentes pottery kiln, which has a strikingly large number of holes. The same number of holes was found on the raised floor of the Grădinari-Seliște kiln No. 1 (Bozu 1990, 11; Fig. 4/1). The concentric layout of the holes along the kiln wall, and their roughly uniform spacing, is common, as exemplified by the pottery kilns of the Late Sarmatian sites of Makó-Járandószél M43 site 39 (Haraszi 2017, 145) and Sándorfalva-Eperjes (Vörös 1987, 88).

The next step was to build the stokehole and finalize the fire chamber from the work-pit. Firing happened in the arched, semicircular stokehole which was subjected to the greatest physical stresses. The stokehole was 64 cm high and 54–56 cm wide. The fire chamber was 165 cm long, having a square cross-section with rounded corners, tapering continuously towards the opening. The length of the fire chamber of the kilns varies, with a

tendency to become longer in the late La Tène and Roman periods. This is illustrated by the fact that the kiln of the Hódmezővásárhely–Újváros, Francziszti-Halmi brickworks dating to the 3<sup>rd</sup>–4<sup>th</sup> century AD, was 100 cm long (Párducz 1937, 81), while the kiln No. 363 of the Makó–Dáliugar site 38, dating to the 2<sup>nd</sup>–3<sup>rd</sup> century AD, was 216 cm long (Benedek-Bene & Benedek 2015, 207). Although, this phenomenon is also documented in the case of the kiln at Szentes, this finding cannot be used as a chronological indicator (Szöllősi 2008, 353).

Finally, the arch of the kiln was built. No pottery kiln with a fully intact vault is known to have been preserved, so there is still a lively debate among researchers of the period about the reconstruction of the vault. The most common hypothesis is that Sarmatian potters built a vault for the kiln, a part or all of which may have been aboveground. Other theories suggest that the kiln was not built with a vault, but the oven was sunk below the ground level which may have been open. The pots may have been placed in the kiln from above, and then the opening was covered with small, flat pieces of rock or pieces of broken pots (Rosner 1981, 44; Benedek-Bene & Benedek 2015, 211). The latter may be the case for kiln No. 275 in Makó–Dáliugar M43 site 38. The pot sherds found in the kiln suggest that the former cover of the opening collapsed (Benedek-Bene & Benedek 2015, 211). The underground depth of the Sarmatian kilns and the construction of the arches are similar to that of the Celtic age kilns as can be seen from excavation reports (Jerem 1984, 88, 91; H. Kelemen 1999, 89; Ilon 1996/96, 86; Szöllősi 2008, 358) and from ethnographic data (Kardos 1984, 52).

The inhabitants of the settlement probably used the kiln at Szentes for a long time, as indicated by the side walls of the kiln, which show a 12 cm thick layer of burnt patches. The kiln has been used for a long time, renewed several times, but at least twice. The stokehole was built as a secondary structure to the kiln; this is proved by the infilling of the kiln (Fig. 4). These suggest that the kiln was rebuilt from the earlier debris. The stokehole was patched around with the material from a previously demolished kiln, which explains the red colour on the outside of the stokehole. Probably because of the rising groundwater, it was more practical to use the debris from the previous kiln, as it is less permeable to water. To prevent the stokehole from becoming porous, it was coated with grey clay first, and then the debris of the former furnace was placed on the top (Fig. 2). The raised floor was also

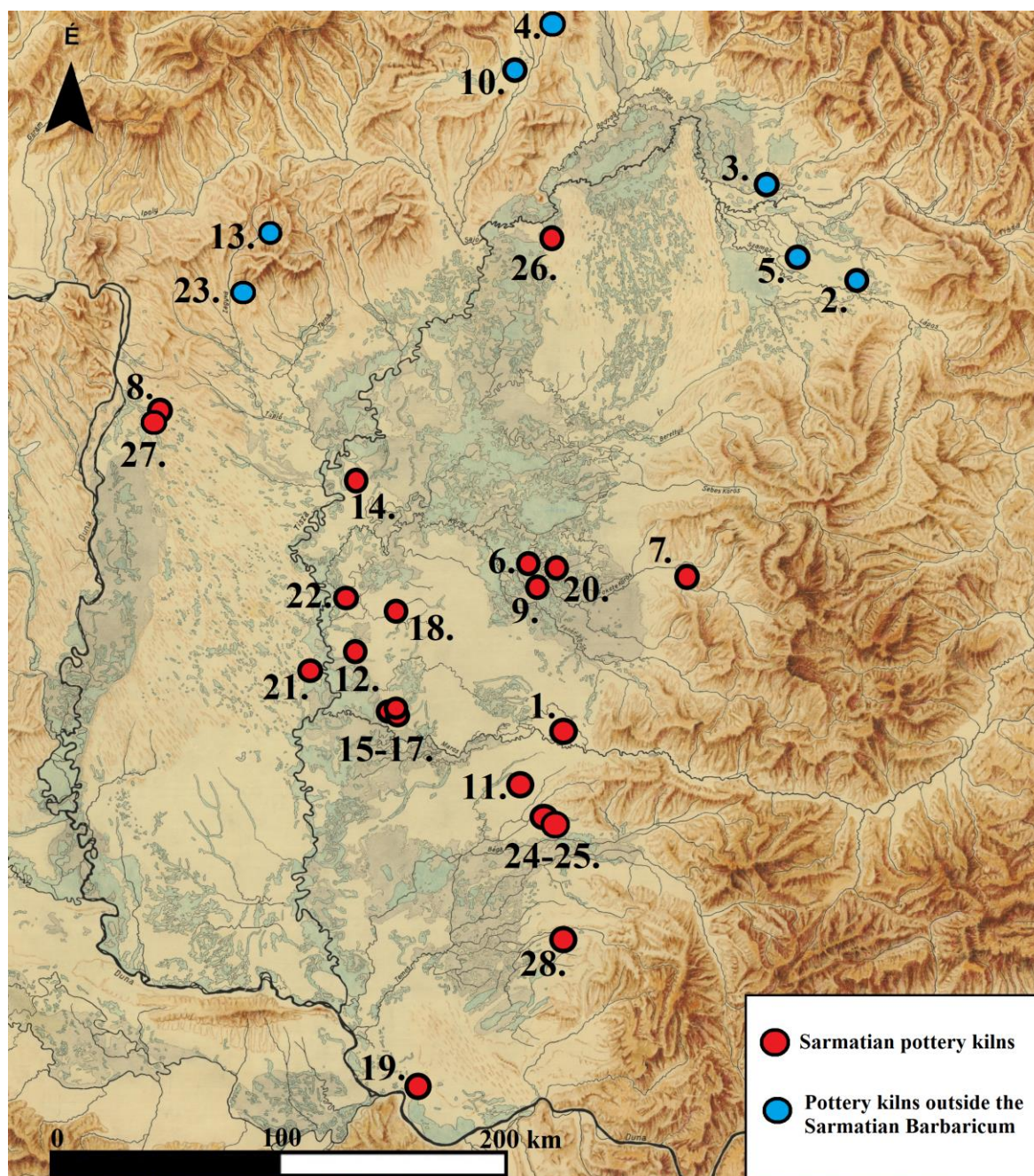
rebuilt, thus the separation is clearly visible on its surface (Fig. 7).

### ***Ceramic material from the Szentes-Schweidel József Street site***

1957 Sarmatian pot sherds were found on the site, belonging to a total of 1944 vessels. The pottery is characterized by sherds of wheel-thrown (1324 pieces) and hand-built (620 pieces) vessels. The findings are dominated by wheel-thrown grey ware, which accounts for 68% of the found material. The finds include sherds of pots, storage vessels, and bowls. A significant number of pottery fragments (98 pieces) were found in the kiln's features, consisting of nondistinctive, fragmented, small grey wheel-thrown and brown hand-built pottery fragments, which were tempered with grog. The vast majority of these sherds were found on the raised floor of the kiln and in the fill of the work-pit that provided the heating (feature 38) and the former beehive-shaped pit that served as the kiln site (feature 35/A). In addition to the pottery kiln, two large clay pits (pits 25 and 42) indicate pottery production. No building could be defined as a pottery workshop (opposed to Nagymágocs–Paptanya; Walter 2021, 41–42), and no overfired, deformed, or mis-shaped pots indicative of pot-making were identified among the finds in the excavated area.

The found pottery suggests that the site dates to the 3<sup>rd</sup> century AD. The finds are highly featureless, with no significant chronological differences between the grey wheel-thrown and the hand-built pottery so that no chronological distinction can be made between the beehive-shaped pit and the kiln finds.

My future goal is to perform a petrographic analysis of the ceramic material. By analysing the mineralogical composition of the vessels, among other things, the ceramic production habits and commercial relationships of the site can be studied. The Sarmatians were masters of pottery, but their traditions and the organization of pottery production are not known. Systematic research on large samples of pottery using scientific methods is notably lacking. Based on my preliminary investigations so far, the use of petrographic and geochemical (SEM, XRF) methods opens up a whole new dimension in understanding Sarmatian pottery and its organization (Walter et al. 2018; Walter & Szilágyi 2022; Kreiter et al. 2022), and thus also provides insights into the organization of their society.



**Fig. 8.:** Roman-age pottery kilns in the Sarmatian territory and its borderlands

**8. ábra:** A római kori edényégető kemencék a szarmata szállásterületen és annak határvidékén

1. Arad–Csálya/Ceala (Dörner 1968; Crișan 1968, 246–249); 2. Aranyosmeggyes–Șuculeu (Gindele 2018); 3. Beregsurány (Csallány 1966); 4. Blažice (Pastor 1960); 5. Csengersima–Petea (Gindele & Istvánovits 2011); 6. Doboz–Hajdúirtás (Kovalovszki 1989, 127); 7. Grădinari/Kisnyégerfalva–Seliște (Bozu 1990, 149–151); 8. Ecser M0 7. lh. (RKM 2004, 210); 9. Gyula–Kálvária-dűlő 4. (Implom 1935, 234–235; Párducz 1935, 190–191); 10. Hernádvécse–Nagy rét 4. lh. (Soós 2016); 11. Hodoni/Hodonyi–Pustă (Bejan 1995); 12. Hódmezővásárhely–Újváros, Franciszti-brickworks (Párducz 1937); 13. Kazár (Vaday 2003–2004); 14. Kengyel–Kengyel-part 1. (Cseh 1990, 70); 15. Makó–Dáli-ugar M43 38. lh. (Benedek-Bene & Benedek 2015); 16. Makó–Dáli-ugar M43 40. lh. (Sóskuti 2016, 76–96); 17. Makó–Járandószél M43 39. lh. (Haraszi 2017); 18. Nagymágocs–Paptanya (Vörös 1998, 62); 19. Pančevo/Pancsova–Najevo (Rašajski 1957, 43); 20. Sarkad–Körösháti temető 31. lh. (RKM 2010, 337); 21. Sándorfalva–Eperjes (Vörös 1987, 88); 22. Szentés–Schweidel József utca (Szabó 2007, 283); 23. Szurdokpuszpöki (Bácsmegi & Guba 2007); 24. Temesvár/Timișoara–Dragășina (Micle 1997, 77–78); 25. Temesvár/Timișoara–Freidorf (Mare et al. 2011, 48–49; 136–137; Grumeza 2016: 74–75); 26. Tiszavasvári–Városföldje, Jegyző-tag (Istvánovits 1999, 175–176); 27. Üllő 5–9. lh. (Kulcsár & Mérai 2011, 61–80); 28. Versec/Vršac–Crvenka (Rašajski 1957, 46–47).

## ***Sarmatian pottery kilns in the Southern Hungarian Great Plain***

The geographic distribution of pottery kilns in the Carpathian Basin shows that pottery kilns are generally found in sites where clay (suitable for pottery making) is located in the near surroundings (**Fig. 8**). Therefore, Sarmatian pottery kilns are known from the northern part of the Great Hungarian Plain, along the Tisza and the Upper Tisza, in the basin of Körös–Maros–Tisza, and in the Bácska/Bačka and Bánát/Banat regions, while they are not known from most of the Danube–Tisza interfluvium or the entire Homokhátság. A total of 363 pottery kilns from 28 sites in the Barbaricum region have been published so far. The distribution of the pottery kilns is uneven. Eszter Istvánovits first catalogued the Sarmatian age pottery kilns of the Carpathian Basin in her publication of the Tiszavasvár pottery kiln in 1999 (Istvánovits 1999, 175–176; 185). This collection was further extended by Eszter Istvánovits, Valéria Kulcsár, and Dóra Mérai in their analysis of the pottery kiln of Üllő (Istvánovits et al. 2011).

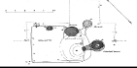
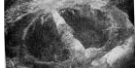
The sites can be divided into two main groups based on pottery production. One group consists of pottery production sites where several kilns were used simultaneously to produce commercial quantities of pottery. This is illustrated by the 48 pot kilns excavated at sites 5–9 in Üllő (Istvánovits et al. 2011), 52 kilns at Beregsurány, 6 kilns at Csengersima–Petea (Gindele & Istvánovits 2011), 200 kilns at Aranyosmeggyes–Șuculeu (Gindele 2018) and 27 kilns at Blažice (Pastor 1960). These pottery kilns proved to be veritable factory complexes. The other group consists of smaller workshops that meet local needs, where one or two pottery kilns are usually found. This group includes mainly the kilns excavated in the Southern Great Plain (**Table 1**). These sites indicate to be built pottery kilns away or separate from dwellings, usually on the outskirts of the settlements, probably for fire safety reasons.

The presently accepted grouping of pottery kilns was developed by Joachim Henning in 1977 when he analysed pottery production of the 1<sup>st</sup> century AD in the Lower and Upper Danube region. In his work, Henning identified 4 types of pottery kilns: types A, B, C, and D (Henning 1977). The Henning A-type kilns are pottery kilns with fire chambers divided by a central supporting pillar, which mainly appeared with the technology of stamped pottery production in the Barbaricum (Soós 2016, 650). They are primarily typical in the northern border region of Dacia: at Csengersima and Beregsurány (Gindele & Istvánovits 2011, 157), while another one is known from Doboz–Hajdúirtás in the Southern Great Plain (Kovalovszki 1989, 127). The Henning B group (including Celtic-type kilns) is

characterized by fire chambers divided into two parts by a central wall. In addition to the Szentes–Schweidel József Street kiln, most of the Sarmatian pottery kilns of the Southern Great Plain also belong to this group (**Table 1**). The group of Henning type C kilns contains kilns without support for the raised floor, such as the kilns excavated at Makó–Dáliugar M43 site 38 (feature 275) (Benedek-Bene & Benedek 2015, 207) and Makó–Járandószél M43 site 39 (Haraszi 2017). Henning D-type kilns are not divided and do not have raised floors. No such kilns are currently known to exist in the southern part of the Hungarian Great Plain. Other kilns with unique structures are also common in this region, such as the kilns of Hódmezővásárhely–Újváros, Francziszti brick-works (Párducz 1937, 78), Makó–Dáliugar M43 site 38 (feature 363) (Benedek-Bene & Benedek 2015, 208).

All the kilns had a raised floor, and the oven's surface was, on average, 1.5 meters in diameter. The pottery kiln excavated in the Sarkad–Körösháti cemetery, site 31, had the largest raised floor, over 2 meters in diameter. Because of the large surface area of the oven, the Sarkad kiln could fire many more pots at a time than its smaller relatives. At the turn of the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> centuries, an increase in the size of pottery kilns was observed in the north-eastern part of the Great Hungarian Plain (Lamiová–Schmiedlová & Tomášová 1995). At first sight, a similar trend can be observed in the Southern Great Plain, based on the raised floors' diameters. The kilns of the Makó–Dáliugar M43 site 38, dating to the 2<sup>nd</sup>–3<sup>rd</sup> century AD, have raised floors' diameters of 120 and 160 cm (Benedek-Bene & Benedek 2015, 207–208), while the kilns of the 3<sup>rd</sup> century AD from the same site have raised floors' diameters of about 1.5 meters (Benedek-Bene & Benedek 2015, 207–208). The kiln excavated in Szentes–Schweidel Street, dating to the end of the 4<sup>th</sup> century AD, had a raised floor with a diameter of 130 cm, while the kiln at Sándorfalva–Eperjes, dating to the end of the 4<sup>th</sup> century AD – beginning of the 5<sup>th</sup> century AD, had a raised floor's diameter of 170 cm (Vörös 1982, 28). However, if we consider the pottery kilns of Nagymágocs–Paptanya (122 cm) and Makó–Járandószél M43 site 39 (80 cm) (Haraszi 2017), which date to the Late Sarmatian period, the assumption is refuted. In my opinion, the size of the kiln (i.e. of the raised floor) depends on the size of the vessels to be fired, as exemplified by the storage vessel firing kilns with large raised floor diameters, often exceeding 2 m, at Aranyosmeggyes (Gindele 2015, 6). Another example is a kiln with a 204 cm diameter raised floor at the Sarkad–Köröshát cemetery site 31 in which large bowls and storage vessels were fired.

**Table 1.:** Characteristics of the Sarmatian pottery kilns of the Southern Hungarian Great Plain**1. táblázat:** A Dél-Alföld szarmata kori edényégető kemencéinek jellemzői

| Site                                              | Figure                                                                              | Pottery kiln number | Type Henning          | Diameter of the raised floor                                    | Length of the firing chamber                                       | Date                                                                                           | Reference(s)                                                 |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Arad-Ceala/Csálya                                 |    | 1                   | –                     | –                                                               | –                                                                  | 4 <sup>th</sup> –5 <sup>th</sup> century                                                       | Dörner 1968; Crișan 1968, 246–249; Kapcsos 2022, 170.        |
| Doboz–Hajdúirtás                                  |    | 1                   | A                     | –                                                               | –                                                                  | –                                                                                              | Kovalovszki 1989, 127.                                       |
| Grădinari–Seșițe                                  |    | 4                   | B;B;B, unique         | 150 cm (1.k);<br>160 cm (2.k);<br>150 cm (3.k);<br>140 cm (4.k) | 110 cm (1.k) diam;<br>123 cm (2.k) 120<br>cm (3.k) 160 cm<br>(4.k) | first half of the<br>3 <sup>rd</sup> century -<br>first half of the<br>4 <sup>th</sup> century | Bozu 1990, 149–151;<br>Grumeza 2016, 74.                     |
| Gyula–Kálvária-dűlő 4.                            |    | 2                   | B;B                   | –                                                               | 150–200 cm                                                         | –                                                                                              | Implom 1935, 234–235;<br>Párducz 1935, 190–191.              |
| Hódmezővásárhely–Újváros,<br>Franciszi-brickworks |    | 1                   | –                     | –                                                               | diam: 160–180 cm                                                   | 3 <sup>rd</sup> –4 <sup>th</sup> century                                                       | Párducz 1937, 78.                                            |
| Hodonyi/Hodoni-Pustă                              | –                                                                                   | 1                   | B                     | 170 cm                                                          | –                                                                  | 3 <sup>rd</sup> –4 <sup>th</sup> century                                                       | Bejan 1995                                                   |
| Kengyel-Kengyel-coast-I.                          |    | 1                   | B                     | –                                                               | –                                                                  | 4 <sup>th</sup> –5 <sup>th</sup> century                                                       | Cseh 1990, 70–71.                                            |
| Makó–Dál-ugar M43 38. site                        |   | 2                   | unique (B variant); C | 1: 160 x 170 cm;<br>2: 120 cm,                                  | 1.k: 240 cm;<br>358 cm, 2.k:                                       | 2 <sup>nd</sup> –3 <sup>rd</sup> century                                                       | Benedek-Bene &<br>Benedek 2015, 207–208.                     |
| Makó–Dáli-Ugar M43 40. site                       |  | 1                   | B                     | –                                                               | –                                                                  | end of the 3 <sup>rd</sup><br>century                                                          | Sóskuti 2016, 77–78.                                         |
| Makó–Járandószél M43 39. site                     |  | 1                   | C                     | 80 cm                                                           | diam: 130 cm                                                       | late 4 <sup>th</sup> - early<br>5 <sup>th</sup> century                                        | Haraszi 2017                                                 |
| Nagymágocs–Paptanya                               |  | 1                   | –                     | 122 cm                                                          | –                                                                  | late 4 <sup>th</sup> - early<br>5 <sup>th</sup> century                                        | KJM ArchRep: 115–184.                                        |
| Pančevo-Najeva                                    | –                                                                                   | 1                   | –                     | –                                                               | –                                                                  | 3 <sup>rd</sup> –4 <sup>th</sup> century                                                       | Rašajski 1957, 43.                                           |
| Sarkad-Körösháti cemetery 31.<br>site             |  | 1                   | –                     | 204 cm                                                          | –                                                                  | 3 <sup>rd</sup> –4 <sup>th</sup> century                                                       | RKM 2010, 337.                                               |
| Sándorfalva–Eperjes                               |  | 1                   | B                     | 170 cm                                                          | 170 cm                                                             | late 4 <sup>th</sup> - early<br>5 <sup>th</sup> century                                        | Vörös 1987, 88.                                              |
| Szentes-Schweidel József Street                   |  | 1                   | B                     | 120 cm                                                          | 295 cm                                                             | the 3 <sup>rd</sup> century                                                                    | Szabó 2007, 283.                                             |
| Temesvár/Timișoara–Dragașina                      | –                                                                                   | 1                   | B                     | –                                                               | –                                                                  | second half of<br>the 4 <sup>th</sup> century                                                  | Micle 1997, 77–78.                                           |
| Temesvár/Timișoara–Freidorf                       |  | 2                   | unique                | 60–70 cm                                                        | –                                                                  | 3 <sup>rd</sup> century -last<br>third of the 4 <sup>th</sup><br>century                       | Mare et al. 2011, 27–28;<br>136–137; Grumeza 2016:<br>74–75. |
| Versec/Vršac–Crvenka                              |  | 1                   | C                     | –                                                               | 155 cm                                                             | 4 <sup>th</sup> –5 <sup>th</sup> century                                                       | Rašajski 1957, 46–47.                                        |

In the research of Sarmatian age pottery, one of the most exciting questions is what kind of pots were fired in the kilns. In the northern part of the Great Hungarian Plain and on the borderlands of the Sarmatian territory, a high degree of specialisation can be observed regarding the production of pottery in industrial-scale pottery kilns. High-quality, fast-wheeled, grey gritty ware was produced on sites 5–9 in Üllő (Kulcsár & Mérai 2011, 61–80), and stamped vessels were made in the kilns of Csengersima–Petea (Gindele & Istvánovits 2011) and Beregsurány (Csallány 1966). In Aranyosmeggyes–Șuculeu, grey wheel-thrown storage vessels were produced (Gindele 2018). We notice that Csengersima–Petea (Gindele & Istvánovits 2011), Beregsurány (Csallány 1966), and Aranyosmeggyes–Șuculeu (Gindele 2018) are Roman age pottery sites located on the borderlands of the Sarmatian territory, but not of Sarmatian ethnicity. Smaller pottery workshops that served local needs were “multifunctional”, producing several different types of pottery. In rare and exceptionally fortunate cases, the load of the last firing can be found in the kilns. The first such kiln was found at Tiszavasvári–Városföldje, Jegyző-tag site. Remarkably, two types of wheel-thrown ware were excavated in one of the kilns (Istvánovits 1999, 175–176). In addition to the grey fast-wheeled vessels, ceramics tempered with sand, gravel, and finely crushed white stone particles were found, which is excellent evidence that the potters of Tiszavasvári fired two different types of pottery in one kiln at the same time, and at the same temperature. This proves that the production of grey ware in a pottery workshop was not exclusive (Vörös 2022, 175). Of the kilns in the region under study, the only remains of the last batch of fired vessels are on the raised floor of site 31 of the Sarkad–Körösháti cemetery. In this kiln, grey and red wheel-thrown vessels were fired. In other cases, pottery production at other pottery workshop of the Southern Great Plain can only be inferred from the proportion of ceramic material found at the sites, their technical execution, their shapes, and their unique decorative combinations. Today, in addition to traditional typological analyses, scientific methods are essential in exploring the pottery production of a pottery workshop. An excellent example of this is the research on wheel-shaped micaceous-pebbly pottery from the late 4<sup>th</sup> – early 5<sup>th</sup> century AD sites. These pots are known from several pottery workshops in the Southern Great Plain (Sándorfalva–Eperjes, Nagymágocs–Paptanya, Makó–Dáliugar M43 site 40, Makó–Járandószél, Timișoara/Temesvár–Freidorf) (Walter et al. 2018, 156). The main tempering material of the pots, the micaceous rock, is foreign to the central areas of the Great Plain, which raises the question of whether these pottery wares are locally made from imported raw materials or the vessels

were transported to the sites. Previous research (Walter et al. 2018; Walter & Szilágyi 2022; Kreiter et al. 2022) suggests that these vessels were produced locally in the same workshops that produced the local wheel-thrown grey pottery.

In addition to the pottery kilns, other objects at the sites indicate local pottery production (defective, over-fired ceramics, pits, buildings, wells). Large clay pits are usually found at the sites from which potters extracted the clay needed for pottery production. At Szentes–Schweidel Street (house 36), Sándorfalva–Eperjes (houses 8, 9) and Nagymágocs–Paptanya (house 7), buildings identified as pottery workshops were also found (Vörös 1982, 28; Walter 2021, 41–42). Among these, prepared greyish-purple clay lumps were found on the workshop floor at Nagymágocs, indicating pottery production. Water was also needed for pottery making, mainly provided by natural water sources near the settlements. In some sites, where rivers and streams were far away from the workshops or did not exist at all, water was certainly obtained from wells dug near the workshops. The sites of Vršac/Versec–Crvenka (Rašajski 1957, 47) and Sándorfalva–Eperjes (Vörös 1982, 27–28) well exemplify this, where wells were excavated near pottery workshops.

## Conclusion

In the Sarmatian age Barbaricum, 363 pottery kilns are known from 28 sites, of which 24 are located in the Southern Great Plain. While large pottery centres with several kilns have been found in the northern part of the Great Plain (Üllő, Csengersima–Petea, Beregsurány, Aranyosmeggyes–Șuculeu), the southern part has so far been dominated by smaller pottery workshops with one or two kilns to meet local needs. Based on the excavation data gathered so far, the pottery kiln excavated in Szentes–Schweidel Street belongs to the latter group. The site was excavated in 2006, and a Celtic-type kiln of the Henning B group was found. Most of the Sarmatian pottery kilns in the Southern Great Plain are of this type. Their common characteristic is that they are partly underground, sunken up-draught kilns with one or two firing chambers and a raised floor. The best parallels for the form of the Szentes kiln can be found in Sándorfalva–Eperjes (Vörös 1987, 88), Makó–Dáliugar M43 site 40 (Sóskuti 2016, 77–78), Gyula–Kálvária-dűlő 4 (Implom 1935, 234) and Grădinari–Seliște (Bozu 1990, 149–151) Sarmatian sites.

## Contribution of authors

**Walter Dorottya** Conceptualization, Methodology, Validation, Formal analysis, Investigation, Data Curation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Visualization.

## Acknowledgements

This study was supported by the ÚNKP-21-3-SZTE-181 New National Excellence Program of the Ministry for Innovation and Technology from the source of the National Research, Development and Innovation Fund to WD. I would like to thank the excavation director, József János Szabó, for making the kiln of the Szentes-Schweidel József Street site available for publication. I would also like to thank Gabriella Vörös, Gábor Ilon, Eszter Istvánovits, Andrea Vaday and Szilvia Szöllősi, whose expertise was invaluable in formulating the research questions and methodology.

## References

BÁCSMEGI G. & GUBA Sz. (2007): Letűnt korok emlékezete. Szurdokpüspöki régimúltja a legújabb régészeti kutatások tükrében. *Szurdokpüspöki helytörténeti füzetek* **IV** 1–31.

BEJAN, A. (1995): Ceramica romană târzie din aşezarea de la Hodoni (jud. Timiş). *Analele Banatului (S.N.)* **4** 376–392.

BENEDEK-BENE Zs. & BENEDEK A. (2015): Szarmata edényégető kemencék az M43 autópálya nyomvonalán. [Sarmatian pottery kilns on the trail of the M43 highway.] In: TÜRK A., BALOGH Cs. & MAJOR B. (szerk.), *Hadak útján XXIV. A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXIV. konferenciája. Esztergom, 2014. november 4–6.* 1. kötet, Budapest–Esztergom, 205–225.  
[https://doi.org/10.55722/arpad.kiad.2015.3.1\\_10](https://doi.org/10.55722/arpad.kiad.2015.3.1_10)

BOZU, O. 1990: Aşezarea daco-romană de la Grădinari-“Sălişte” (jud. Caraş-Severin) —Die dako-romanische Siedlung von Grădinari-“Sălişte” (Kreis Caraş-Severin). *Banatica* **10** 147–186.

CRIŞAN, H. (1968): Continuitate a dacică în cimpia Aradului. *Apulum* **VII/I** 241–252.

CSALLÁNY, D. (1966): Die Bereg-Kultur. *Acta Antiqua et Archaeologica* **10** 87–88.

CSEH J. (1990): Kutatások gepida települések régészeti nyomai után Kengyel területén (1990–1995). In: HAVASSY P. (szerk.): *A gepidák. Kora középkori germán királyság az Alföldön.* Gyula, 41–57.

DÖRNER, E. (1986): *Urme ale culturii materiale dacice pe teritoriul Arădan.* Arad, 1986, 9–12.

FASSHAUSER, P. (1959): Technologische Auswertung des Grabungsbefundes spätlatènezeitlicher keltischer Töpferöfen. *Jahresschrift für Mitteldeutsche Vorgeschichte* **43** 245–287.

GALLINA Zs.; KÖVÁRI K.; KULCSÁR V.; NAGY A. & SOMOGYI K. (2005): Ecser 7. számú lelőhely. *Régészeti Kutatások Magyarországon* **2004** 210–211.

GINDELE R. (2015): Római kori barbár települések a Partiumban. *Magyar Régészet Online Magazin* **2015 tavasz** 1–12.

GINDELE, R. (2018): The pottery workshops around the province of Dacia and their relationship with the Roman world. In: RUSU-BOLINDEȚ, V., ROMAN, C. A., GUI, M., ILIESCU, I.A., MUSTATA, S. & PETRUT, D. (eds.): *Atlas of Roman pottery Workshops from the Provinces Dacia and Lower Moesia/Scythia Minor (1<sup>st</sup>–7<sup>th</sup> centuries AD)* **I**. Cluj–Napoca, 261–280.

GILDELE, R. & ISTVÁNOVITS, E. (2011): The Roman age Settlement at Csengersima–Petea and Pottery Workshops from the Upper Tisza Basin. In: DE SENA, C. E. & DOBRZANSKA H. (eds.): *The Roman Empire and Beyond: Archaeological and Historical Research on the Romans and Native Cultures in Central Europe. British Archaeological Reports, International Series* **2236** Oxford, 85–104.

HARASZTI L. (2017): Szarmata edényégető kemence a Makó–Járandószél lelőhelyről. [Sarmatian pottery kiln from Makó–Járandószél site.] In: T. GÁBOR Sz. & CZUKOR P. (szerk.): *Út(on) a kultúrák földjén. Az M43-as autópálya Szeged–országhatár közötti szakasz régészeti feltárásai és a hozzá kapcsolódó vizsgálatok.* Szeged, Móra Ferenc Múzeum 129–150.

HENNING, J. (1977): Entwicklungstendenzen der Keramikproduktion an der mittleren und unteren Donau im 1. Jahrtausend u. Z. *Zeitschrift für Archäologie* **11** 181–206.

H. KELEMEN M. (1999): Az Esztergom-Kossuth L. u.-i későkelta fazekaskemencék. *Komárom-Esztergom Megyei Múzeumok Közleményei* **6** 69–105.

ILON G. (1996/1997): Korai kelta fazekaskemence Gőr–Kápolnadombról. *Savaria* **23/3** 83–96.

IMPLOM J. (1935): Érdekes gyulai lelet. [Ein interessanter Fund in Gyula.] *Dolgozatok* **11** 234–237.

ISTVÁNOVITS, E. (1999): Tiszavasvári-Városföldje, Jegyző-tag. A settlement of the 5<sup>th</sup> century. [Hunkori település maradványai Tiszavasváriban, a Városföldjén.] *Jósa András Múzeum Évkönyve* **41** 173–254.

ISTVÁNOVITS, E., KULCSÁR, V. & MÉRAI, D. (2011): Roman Age Barbarian Pottery Workshops in the Great Hungarian Plain. In: BEMMANN, J., HEGEWISCH M., MEYER M. & SCHMAUDER M. (eds.): *Drehscheibentöpferei im Barbaricum. Technologietransfer und Professionalisierung eines Handwerks am Rande des Römischen Imperiums. Akten der Internationalen Tagung in Bonn vom 11. bis 14. Juni 2009.* Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie der Universität Bonn, Bonn, 355–369.

JEREM E. (1984): Kelta fazekaskemencék Sopronban [Celtic Pottery Kilns in Sopron.] In: GÖMÖRI J. (szerk.): *Iparrégészeti és archaeometriai kutatások Magyarországon II*. Veszprém, 83–105.

KARDOS, J., ZIMMER, K., KRISTON, L., MOROZOVA, O., TRÄGER, T. & JEREM, E. (1985): Scientific investigations of the Sopron-Krautacker Iron Age pottery workshop. *Archaeometry* Oxford **27** 83–93.

<https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1985.tb00350.x>

KOVALOVSKI J. (1989): Doboz történetének vázlata a legrégebbi időktől a középkor végéig. Doboz tanulmányok. *A Békés Megyei Múzeumok Közleményei* **14** 115–147.

KREITER A., WALTER D. & VIKTORIK O. (2022): The Late Sarmatian micaceous-pebbly ceramic conundrum revisited: petrographic analysis of ceramics from Sándorfalva–Eperjes and Nagymágocs–Paptanya settlements. *Archeometriai Műhely* **XIX/2** 125–136.

<https://doi.org/10.55023/issn.1786-271x.2022-010>

KULCSÁR, V. & MÉRAI, D. (2011): Roman or Barbarian? Provincial Models in a Sarmatian Pottery Center on the Danube Frontier. In: DE SENA, E. C. & DOBRZANSKA, H. (eds.): *The Roman Empire and Beyond: Archaeological and Historical Research on the Romans and Native Cultures in Central Europe*. BAR International Series **2236** 61–80.

LAMIOVÁ-SCHMIEDLOVÁ, M. & TOMÁŠOVÁ, B. (1995): Töpferöfen von der Wende des 4/5 Jh. in Ostrovany, Bezirk Presov. In: PIETA, K., RAJTAR J. & TEJRAL, J. (eds.): *Kelten, Germanen, Römer im Mitteldonauegebiet. Vom Ausklang der Latène-Zivilisation bis zum 2. Jahrhundert*. 7. International Symposium "Grundprobleme der frühgeschichtlichen Entwicklung im nördlichen Mitteldonauegebiet", Malé Vozokany, 13.-16. Dezember 1994. *Spisy Archeologického Ústavu AV ČR Brno* **3** 121–127.

LISKA A. (2012): Sarkad, Körösháti temető. *Régészeti Kutatások Magyarországon* **2010** 337.

MARE, M., TĂNASE, D., DRAȘOVEAN, F., SUSI, EL G. & GÁL, S. Sz. (2011): *Timișoara–Freidorf. Cercetările arheologice preventive din anul 2006*. Cluj-Napoca: Mega. pp. 195.

MICLE, D (1997): Un centre de poterie dans l'agglomération daco-romaine de Dragșina (Département de Timiș). *Bibliotheca Historica et Archaeologica* **I** 77–81.

PASTOR J. (1960): Sídliisko v Blažiciach. *Archeologické Rozhledy* **12** 800–810.

PÁRDUCZ M. (1937): Újabb jazig leletek Hódmezővásárhely határában. [Neuere

Jazygenfunde bei Hódmezővásárhely.] *Dolgozatok* **13** 78–88.

RAŠAJSKI, R. (1957): Sarmatska lončarska radionica iz Crvenke od Vršca. *Rad Vojvodjanskih Muzeja* **6** 39–55.

ROSNER GY. (1981): Fazekaskemencék a Szekszárd-Bogyiszlói úti avar faluban. [Pottery kilns in an Avar village beside the Szekszárd-Bogyiszló road.] In: GÖMÖRI J. (szerk.): *Iparrégészeti kutatások Magyarországon. Égetőkemencék régészeti és interdiszciplinális kutatása (Research in Industrial Archaeology in Hungary. Archaeological and Interdisciplinary Researches on Kilns and Furnaces)*. Veszprém, 43–49.

SOÓS E. (2016): Kora hun kori edényégető kemence Hernádvécse. [Hun Age pottery kiln in Hernádvécse.] In: CSÉCS T. & TAKÁCS M. (szerk.): *Beatus Homo Qui invenit sapientiam. Ünnepi kötet Tomka Péter 75. születésnapjára*. Győr, 649–669.

SÓSKUTI K. (2016): Középső bronzkori, szarmata, avar-, Árpád-kori településnyomok, valamint szarmata és avar kori temetkezések Makó, Dáli-ugarról (Előzetes jelentés az M43, 40., HT 43. lelőhelyen végzett régészeti feltárásról). [Middle Bronze Age, Sarmatian, Avar and Árpadian Age settlements and Sarmatian and Avar period burials at Makó, Dáli-ugar (Preliminary report of the excavations at Site M43, 40, HT 43).] *Régészeti Kutatások Magyarországon 2011-2014* 76–96.

SZÖLLŐSI Sz. (2008): Egy kelta edényégetőműhely működése a régészeti leletek tanúsága alapján. *Első Század* **1** 325–374.

VADAY A. (2003–2004): Kazár (többkorszakú régészeti lelőhely feltáráának előzetes jelentése). *Nógrád Megyei Múzeumok Évkönyve XXVII–XXVIII* 203–216.

VÖRÖS G. (1982): Késő szarmata fazekasműhely Sándorfalva–Eperjesen. *Múzeumi Kutatások Csongrád Megyében* **1982** 27–36.

VÖRÖS G. (2022): Kerámia alapanyag, gyártás, kereskedelem, Hol készültek a Kiskunhalas környéki szarmata lelőhelyek edényei? In: TÓTH Cs. (szerk.): *Szarmaták két folyó között. A kiskunhalasi Thorma János Múzeum római és római kori szarmata gyűjteménye (1–5. század)*. *Opitz Archaeologica* **21** 163–176.

VÖRÖS G. & SZABÓ J. J. (2019): Jazig nő és férfi temetkezése Szentesről. Friss régészeti adatok a Tiszántúl római kori benépesítéséhez. [Two Iazyg Graves, that of a Woman and a Man, near the Town of Szentes: Recent archaeological discoveries from the early Roman Era of the Trans-Tisza Region of Hungary.] *A Koszta József Múzeum Füzetek* **1** 1–91.

WALTER D. (2021): „elemészti a békés kunyhókat az ellenség tüze...” avagy néhány gondolat a Nagymágocs–Paptanya késő szarmata kori település épületeiről. In: LÖFFLER Zs. & MOLNÁR Cs. (szerk.): *...járni csak együtt tudnak* – Régészet és néprajz összefüggései. Szeged, 35–61.

WALTER, D. & SZILÁGYI, V. (2022): Late Sarmatian pottery workshop in Nagymágocs–Paptanya. *Archeometriai Műhely* XIX/2 113–124. <https://doi.org/10.55023/issn.1786-271x.2022-009>

WALTER D., FINTOR K. & SKULTÉTI Á. (2018): A sándorfalva–eperjesi későszarmata kavicsos-csillámos kerámia soványítóanyagának előzetes petrográfiai vizsgálata. [The preliminary petrographic examination of the diluent used for a late Sarmatian micaceous-pebbly ceramic from Sándorfalva–Eperjes.] *A Móra Ferenc Múzeum Évkönyve. Új folyam* 4 133–157.

ZEILER M. (2011): Die Siedlung von Sopron–Krautacker (Westungarn) in der jüngeren Laténezeit. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 41 375–394.

# TÁZLÁR–TEMPLOMHEGY KÉSŐ SZARMATA TELEPÜLÉS KERÁMIAANYAGÁNAK PETROGRÁFIAI ELEMZÉSE

## PETROGRAPHIC ANALYSIS OF CERAMICS FROM THE LATE SARMATIAN SETTLEMENT OF TÁZLÁR–TEMPLOMHEGY\*

BOZSIK Vivien<sup>1\*</sup>, WALTER Dorottya<sup>2</sup>, FINTOR Krisztián<sup>1</sup>, KREITER Attila<sup>3</sup>  
& VÖRÖS Gabriella<sup>4</sup>

<sup>1</sup>SZTE TTK Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem utca 2.

\*Levelező szerző, e-mail: [bozsik.vivien@gmail.com](mailto:bozsik.vivien@gmail.com)

<sup>2</sup>SZTE BTK Történelemtudományi Doktori Iskola, Medievisztika– Régészet PhD Program, 6722 Szeged,  
Egyetem utca. 2., [walterdorottya6@gmail.com](mailto:walterdorottya6@gmail.com)

<sup>3</sup>Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Régészeti Intézet Archeometriai Labor, 1113 Budapest, Daróci út 3.,  
[kreiter.attila@mnm.hu](mailto:kreiter.attila@mnm.hu)

<sup>4</sup>SZTE BTK Régészeti Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem utca. 2., [vorosgabriella@yahoo.com](mailto:vorosgabriella@yahoo.com)

### Abstract

In this study we present the results of archaeometric analyses on a ceramic assemblage uncovered from the late Sarmatian settlement in Tázlár-Templomhegy, Hungary. A particular feature of the settlement is that it represents the complete range of Sarmatian pottery in terms of vessel types and building techniques such as wheel-thrown grey vessels, wheel-thrown pebbly (Üllő type) vessels, hand-built household wares, and wheel-shaped micaceous-pebbly vessels. In this study the archaeological and petrographic analysis of 17 sherds were carried out. The aim of this study is to characterise the fabrics of the examined vessels and attempt to determine the provenance of the tempering material of the wheel-thrown (Üllő type) and the wheel-shaped micaceous-pebbly vessels. The results show that the tempering inclusions of the wheel-thrown (Üllő type) vessels correspond with coarse to very coarse grain size and have well-rounded shape and metamorphic texture. These inclusions could have originated from the upper basin of the Danube River or from the Western Carpathians accumulating in the nearby area of the settlement in the form of fluvial sand. The tempering of wheel-shaped micaceous-pebbly ceramics originates from granitoid rocks, which are found on the surface area of the Apuseni Mountains, Romania. The defined rock fragments in the thin sections are most probably Carboniferous Codru granitoids.

### Kivonat

A tanulmány témája Tázlár-Templomhegy késő szarmata település kerámiaanyagának természettudományos vizsgálata. A lelőhely különlegessége, hogy az előkerült kerámiaanyag lefedi a késő szarmata edénművesség teljes spektrumát; mind a gyorskorongolt szürke, mind a gyorskorongolt szemcsés (üllői típusú), továbbá a kézzel formált házikeramia, valamint a lassúkorongolt kavicsos-csillámos anyaggal soványított kerámiák is megtalálhatók a vizsgált leletanyagban. Munkánk során elkészítettük a kiválasztott 17 minta régészeti és petrográfiai leírását, valamint megkíséreltük a gyorskorongolt szemcsés (üllői típusú) és a lassúkorongolt, kavicsos-csillámos anyaggal soványított kerámiák granitoid soványító anyagának származási helyének meghatározását. Vizsgálataink azt mutatják, hogy a gyorskorongolt szemcsés (üllői típusú) kerámiák durva-nagyon durva homok szemcseméret-tartományba eső, jól lekerekített alakú, metamorf szövetű soványító anyag szemcséi a felső Duna-szakasz vízgyűjtőjének területéről vagy a Kárpátok nyugati koszorújából érkezhettek az üllői telep közelébe folyami homok formájában. A kavicsos-csillámos kerámiák granitoid soványító anyaga olyan granitoid kőzetből származhat, mely felszínén az Erdélyi-középhegység területén található meg. Az általunk meghatározott kőzettípus a feltételezeten karbon korú Codru granitoid.

---

\* How to cite this paper: BOZSIK V.; WALTER D.; FINTOR K.; KREITER A. & VÖRÖS G. (2023): Tázlár–Templomhegy késő szarmata település kerámiaanyagának petrográfiai elemzése / Petrographic analysis of ceramics from the Late Sarmatian settlement of Tázlár–Templomhegy (in Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XX/2 pp. 161–176.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2023-012](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2023-012)

KEYWORDS: CERAMIC PETROGRAPHY, LATE SARMATIAN SETTLEMENT, FAST-WHEELED TYPE ÜLLŐ CERAMIC, MICACEOUS-PEBBLY CERAMIC

KULCSSZAVAK: KERÁMIA PETROGRÁFIA, KÉSŐ SZARMATA KORI TELEPEK, GYORSKORONGOLT ÜLLŐI TÍPUSÚ KERÁMIA, KAVICSOS-CSILLÁMOS KERÁMIA

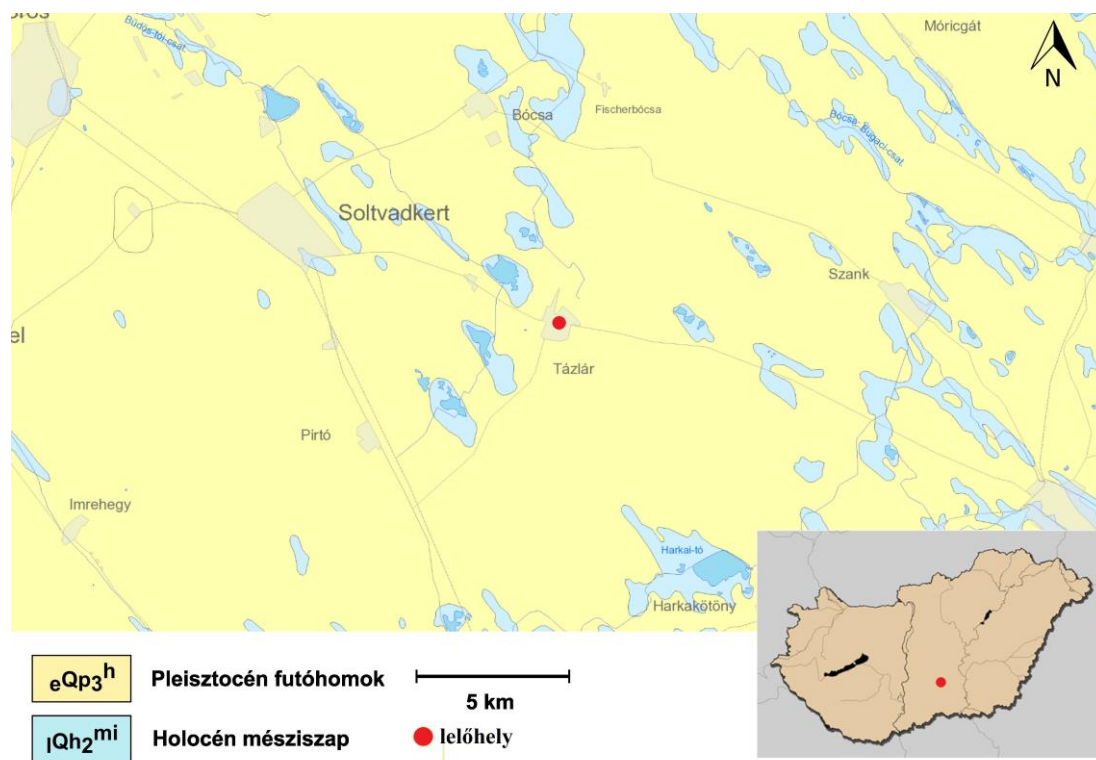
## Bevezetés

A kerámia a római kori szarmata telepek legnagyobb és majdnem kizárólagos lelettípusa. A leletek korhatározása azért ütközik nehézségekbe, mert tradicionális típusok nagy területen fordulnak elő, és hosszú ideig használatban maradtak. E mögött a fazekas központok tartós működése állhat, továbbá szerepet játszhatott benne a fazekasáru kiterjedt belső kereskedelme is. Tény, hogy a 4. század második fele és az 5. század közepe közötti időszakon belül (az Attila kor végéig) a kerámia alapján egyelőre nem tudunk cizellált kronológiával szolgálni. A korhatározásban fontos szerepe van a római gyártmányú import edényeknek és egyéb, főként fémleleteknek, például pénzeknek és fibuláknak (Vörös 2022a, 184–186). A késő szarmata kerámia kutatásában éppen ezért a hagyományos tipológiai elemzésen túl elengedhetetlen a természettudományos módszerek bevonása.

Jelen tanulmány témája a kiskunsági Homokhátságon található Tázlár–Templomhegy késő

szarmata település kerámiaanyagának első természettudományos vizsgálata.

A szarmata kerámiák vizsgálatának első eredményei Szebenyi Tamás és munkatársaitól származnak, akik az üllői lelőhely anyagából végeztek archeometriai elemzést (Szebenyi et al. 2014). Vizsgálatokat végzett továbbá Korom Anita a Pesti-síkság barbaricumai lelőhelyeinek pecsételt kerámiáiból (Korom 2015), valamint Veres Zsuzsanna is egy tiszaburai késő szarmata telep négy eltérő technikájú edénytöredékéből (Veres 2012). Walter Dorottya és munkatársai pedig több ízben vizsgálták Sándorfalva-Eperjes és Nagymágocs-Paptanya késő szarmata lelőhelyek kerámia anyagát természettudományos módszerekkel (Walter et al. 2018; Walter & Szilágyi 2022; Kreiter et al. 2022). Továbbá a közelmúltban Kreiter Attila és munkatársai végeztek el archeometriai vizsgálatokat szarmata kerámiákon nagy mintaszámmal (Kreiter et al. 2023).



**1. ábra:** Tázlár–Templomhegy elhelyezkedése és földtani környezete (Gyalog 2005). A sötétebb kék szín a tavak jelenlegi víztükrének kiterjedését jelöli.

**Fig. 1.:** Location of Tázlár–Templomhegy and its geological environment (source of the map: Gyalog 2005). Lakes are marked with a darker blue colour.

## ***A lelőhely elhelyezkedése és a terület földtani környezete***

Tázlár–Templomhegy lelőhely (azonosítója: 35625) a Duna–Tisza közti Homokhátságon belül a Bugaci-homokháti kistájon található, a két folyótól egyforma távolságra (**1. ábra**).

Az ásatások a községtől Ny-ra elhelyezkedő területen, egy ÉNy–DK irányú, környezetéből kiemelkedő homok-dombvonulaton folytak, amelynek a hossza 300–400, szélessége 200 méter (Gallina & Sz. Wilhelm 2006, 187). A homok-dombot minden oldalról mozaikos szerkezetű, valamint vizes medencékkel tagolt, sík területek határolják, ahol a barázdák és a buckák között időszakos és tartós vizes helyek, mocsarak, tocsogók, szikes tavak a jellemzőek (Szalontai 2022, 80., 2. kép). A terület felszíni földtani viszonyaira több tíz méter vastag pleisztocén futóhomok jellemző, melyet egykori és jelenkori tavak holocén mészszipar üledékei tagolnak (Rónai 1985, Gyalog 2005, **1. ábra**). A terület adottságai az élelemtermesztésnek, azon belül legfőképpen a nagyállattartó és mellette a növénytermesztő életmódnak kedveztek.

## ***Történeti háttér és a feltárás menete***

A szarmata településeken előfordulnak olyan leletek is, melyeknek előállításához helyben hiányozott az alapanyag. A fém és a kő mellett ide tartozik a fazekasagya is. A hiányzó alapanyagokat vagy a kész árut kereskedelem útján szerezték be, részben a pannóniai, részben a szomszédos barbár népekkel folytatott kereskedelem útján. Jelentős mértékű lehetett a cserén alapuló belső kereskedelem is. A kereskedelem alapját a Homokhátságon a szarmaták részéről az állattállomány és annak javai (pl. bőr, sajt), továbbá a gabonaneműek feleslege jelenthette (Vadai 1998, 136–137).

A több korszakos lelőhelyen 2003 óta folyik időszakosan kutató munka, az ásatások során mostanáig több mint 7000 négyzetmétert tártak fel. A 4. századi szarmata temető és 5. századi település mellett Árpád-kori falu és templom, valamint temető is előkerült (Gallina et al. 2021, 25.) A késő szarmata településnek arról a részéről vannak adataink, amelyről előzetes publikáció született (Gallina & Sz. Wilhelm 2006), és a leleteit nyilvántartásba vették a kiskunhalasi Thorma János Múzeumban (Ltsz.: 2004.58.15–135., 2007.2.2–166., 2010.2.2–105.). A település objektumai ritkán, szórtan helyezkednek el, két ház, különböző gödrök (24 db) és egy árok estek a feltárt részbe.

A homokhátsági lelőhelyek, így a tázlári település leletanyagának összetétele, edénytípusai a tiszántúli késő szarmata–hun kori telepek anyagával

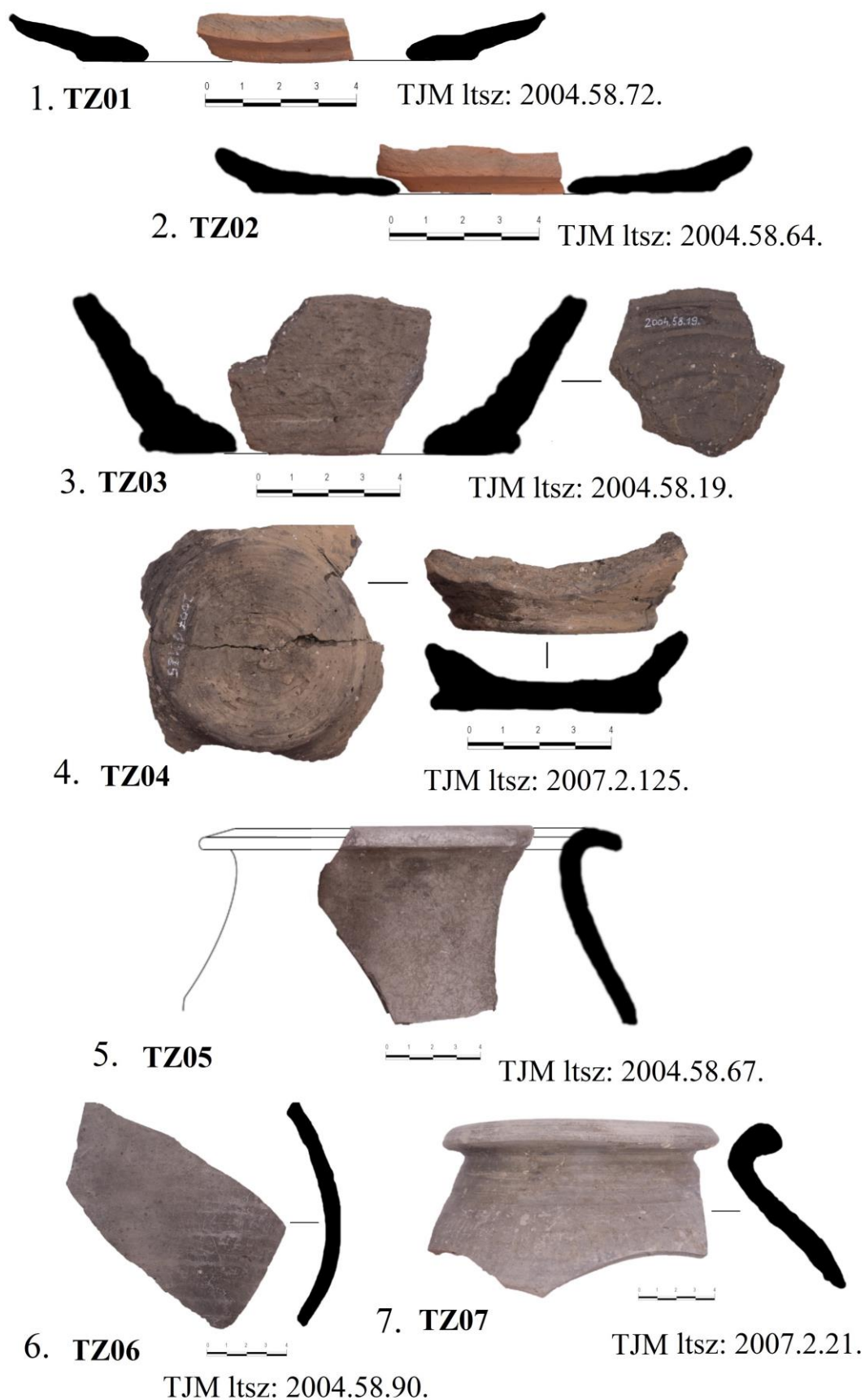
egyeznek meg. Ahogyan már az előzőekben is hangsúlyoztuk, a telepek, és általában véve a késő szarmata kerámia kora csak nehezen határozható meg. A kutatók többsége azonban egyetért abban, hogy a szarmaták egészen az 5. század közepéig jelen vannak az Alföldön. A tázlári telepnek is ez lehet a felső időhatára. Vadai Andrea közölt a közelmúltban Jánoshalmáról egy olyan női temetkezést, melynek leletei az Attila-kor utáni időszakra korhatározhatók, így a legkésőbbi szarmata emlékeknek tarthatók a Homokhátság déli részén (Vadai 2018, 280–282).

## ***Minták és vizsgálati módszerek***

A vizsgálatokra kiválasztott kerámia töredékek a szarmata településnek azon részéből származnak, amit 2003–2004-ben tártak fel. Összesen 17 darab kerámatöredék került vizsgálatra (**2–3. ábra**).

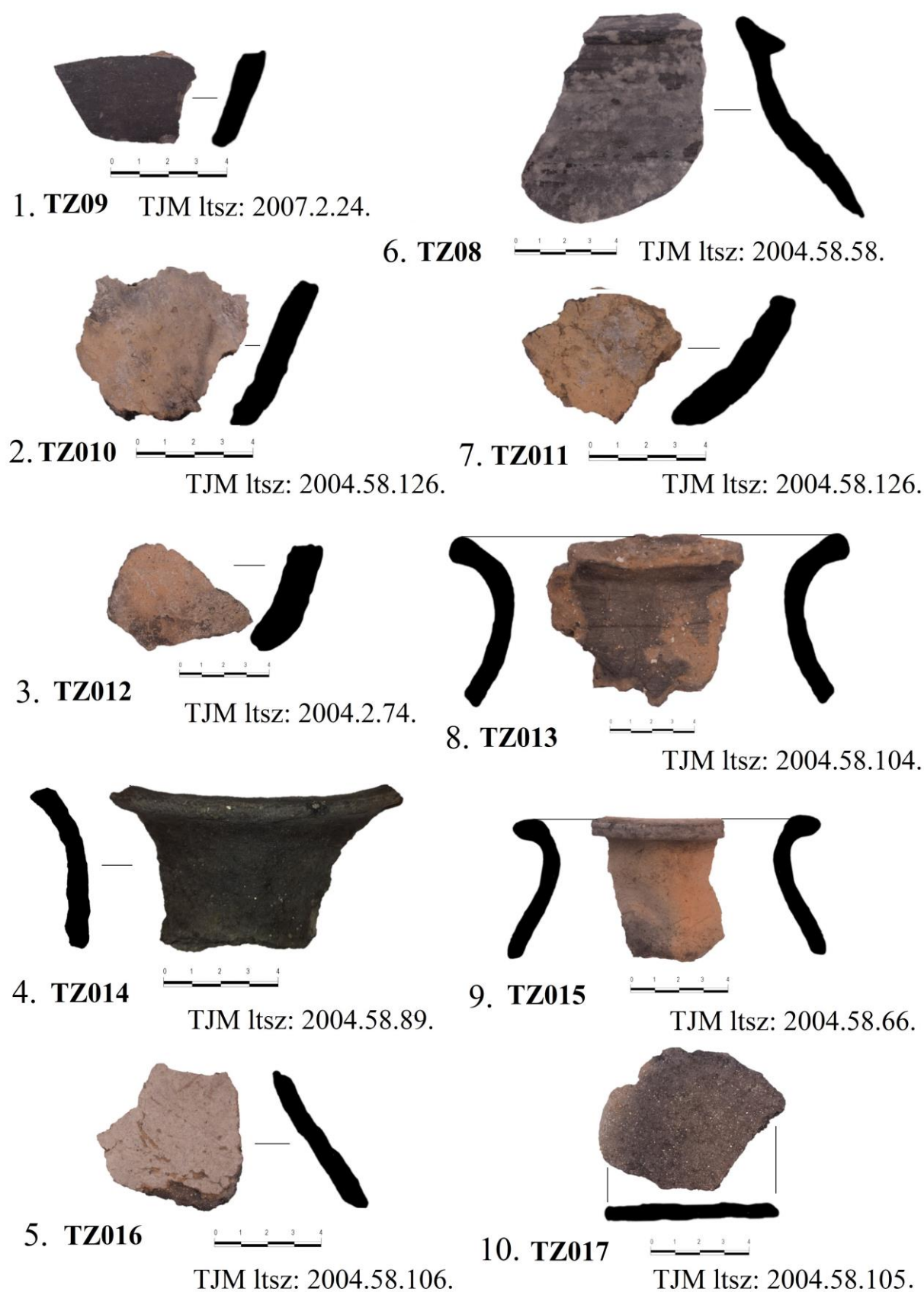
A mintavételnél fontos szempontunk volt az egyedi, díszített és kis méretű darabok mellőzése. Célunk ezzel az volt, hogy a telep kerámiája nagyobb károsodás nélkül, a jövőben is teljes egészében vizsgálható maradjon. Ugyanakkor törekedtünk a teljességre olyan értelemben, hogy az előállításuk módja szerinti három csoport mindegyikéből (gyorskorongon formált, kézzel formált és lassúkorongon készített) választottunk edénytöredékeket. Az edények méretét, formáját, alapanyagának előkészítését részben funkciójuk határozta meg. Ezért azt is szem előtt tartottuk, hogy a minták között a legfontosabb típusok szerepeljenek, tehát a főzés (fazekak), tárolásra szolgáló, különböző méretű hombárok, és asztali edények (tálak) egyaránt helyet kapjanak.

A fenti szempontok alapján a mintavételre kiválasztott anyag összetétele nem tükrözi a településrészlet kerámiatípusainak arányait (Vörös & Juhász 2022, 50–52). A legnagyobb csoportot a késő szarmata–hun kori telepeken, ahogyan Tázláron is, általában az ún. szürke, gyorskorongon formált kerámia (tálak és tárolóedények) teszik ki. (A kiválasztott minták kódszáma: TZ01–TZ02., TZ05–TZ09.). Gyakorisági szempontból a következő csoportot a kavicsos, csillámos soványítású lassú korongolt főzőfazekak alkotják (a kiválasztott minták kódszáma: TZ13–TZ17.). A gyorskorongolt, szemcsés anyagú kerámiák között előkerültek úgynevezett üllői típusú fazekak is, ezt a típust összesen két töredék képviseli a telepen, de fontosságuk miatt mindkettőt vizsgáltuk (a kiválasztott minták kódszáma: TZ03–TZ04.). A kézzel formált kerámia fazekak használata ritkaságszámba megy ebben az időszakban. Éppen ezért, és az edénytöredékek megjelenésének különlegessége miatt több darabot is kiválasztottunk közülük (5 db közül hármat) vizsgálatra (a kiválasztott minták kódszáma: TZ10–TZ12.).



**2. ábra:** A vizsgált Tázlár–templomhegyi kerámiatöredékek fotói

**Fig. 2.:** Photos of the examined sherds from Tázlár–Templomhegy



**3. ábra:** A vizsgált Tázlár–templomhegyi kerámiatöredékek fotói

**Fig. 3.:** Photos of the examined sherds from Tázlár–Templomhegy

A kiválasztott minták mindegyikéből készült vékonycsiszolat, melyek petrográfiai vizsgálatát Olympus BX-41 polarizációs fénymikroszkóppal végeztük. Az egyes akcesszóriák és másodlagos ásványfázisok azonosításához Thermo Fisher Scientific DXR Raman mikroszkópot használtunk, ahol a következő mérési beállításokat alkalmaztuk: 532 nm és 780 nm lézer hullámhossz, ~1 µm lézer spot átmérő, a spektrum felvételek anyagtól függően mérési pontonként maximum 120 másodpercig tartottak 6–15 mW lézer teljesítménnyel. A plasztikus–nem plasztikus–pórus arány meghatározása vékonycsiszolati pontkimérés módszerével történt a JMicroVision szoftver (Roduit 2019) alkalmazásával. Az archeometriai vizsgálatok a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén készültek. A petrográfiai elemzés során az összetevők méretkategóriáinak, osztályozottságának, valamint kerekítettségének vizsgálatát a Prehistoric Ceramic Research Group kissé módosított iránymutatásai alapján végeztük el (PCRG 2010). Az alkalmazott kategóriák a következők voltak: az osztályozottság esetében a gyengén osztályozott, rosszul osztályozott, közepesen jól osztályozott és a jól osztályozott kategóriákat alkalmaztam, a kerekítettség meghatározásakor a szögletes, kissé szögletes, kissé lekerekített, lekerekített és jól lekerekített elnevezéseket használtam. A szemcsék gyakoriságánál a szórványos (<3%), a kevés (3–9%), a közepes (10–19%) és a sok (20–29%) elnevezéseket alkalmaztam.

### ***Petrográfiai vizsgálat eredményei***

A petrográfiai vizsgálat során megfigyelt 17 mintát a bennük található nem plasztikus összetevők, valamint szövetük alapján öt csoportra lehetett osztani.

#### **1. csoport – T1**

A T1 csoportba sorolhatók a TZ01, TZ02, TZ05, TZ06, TZ07, TZ08 és TZ09 kódszámú, gyorskorongolt, szürke talakból, illetve tárolóedényekből származó minták, melyek szövete szemcseméret-eloszlásuk alapján szeriális (4. ábra, a, b), a szemcsék méreteloszlása alapján jól–közepesen jól osztályozottak, lekerekítettségük a szögletes–kissé szögletes kategóriába sorolható. A nagyon finomszemcsés nem plasztikus ásványi összetevők mennyisége közepes, a finom- és középszemcsés összetevők pedig szórványos. Az uralkodó szemcseméret-tartomány 10–150 µm, a plasztikus–nem plasztikus–pórus térfogataránya 80–15–5%. A nem plasztikus elegyrészek ásványos összetétele dominánsan monokristályos kvarc, ahol a hullámos, illetve a nem hullámos kioltású

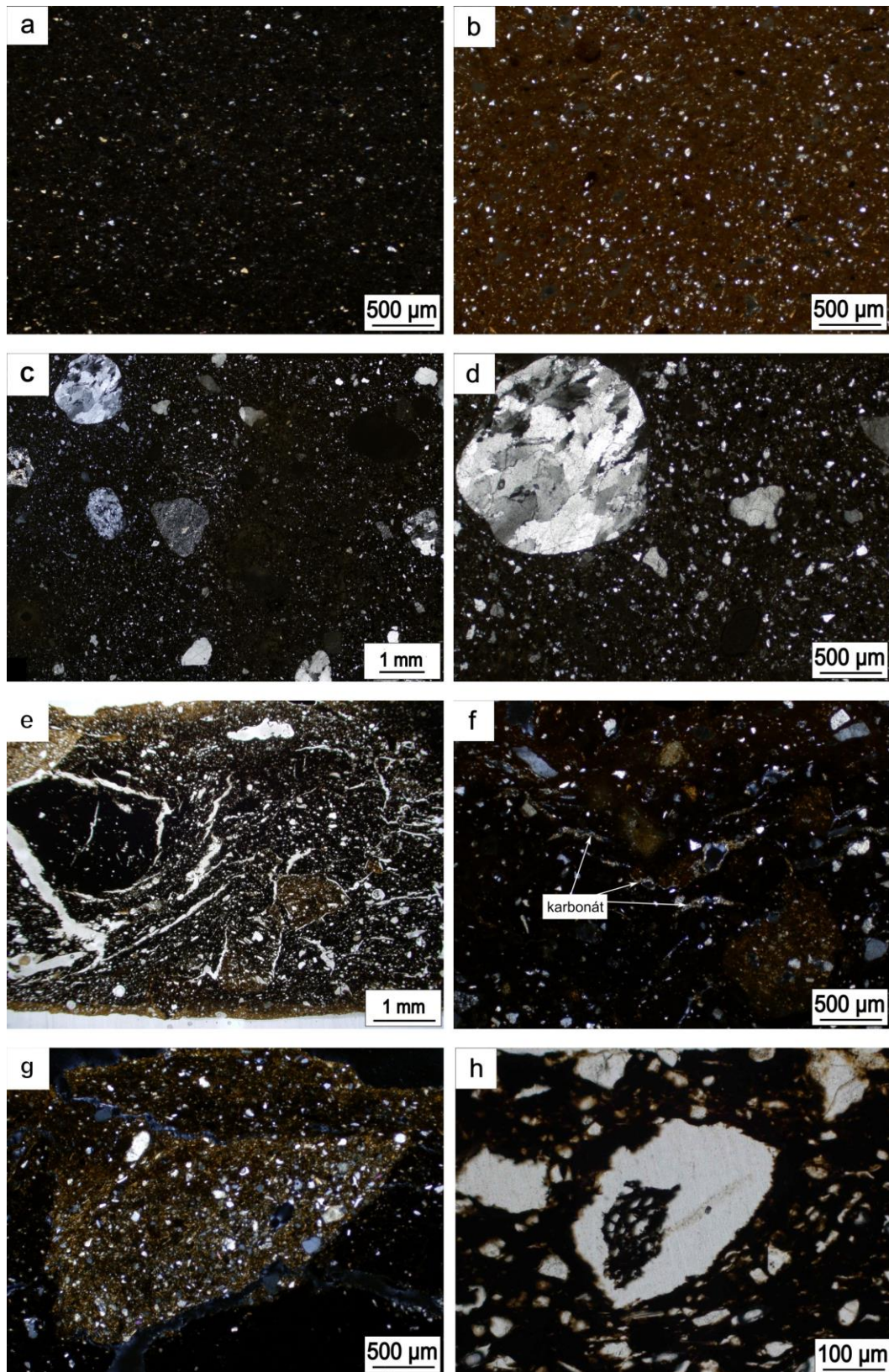
kvarcsejtségek aránya 73–27%, továbbá káli- és plagioklász földpát, melyek aránya kb. 40–60%. Előfordul még a mintákban muszkovit, polikristályos kvarc, opak ásványok, valamint akcesszóriák (cirkon, amfibol) is.

#### **2. csoport – T2**

A T2 csoportot a TZ03 és TZ04 kódszámú minták alkotják, amelyek gyorskorongolt, homokkal (a geológiában alkalmazott szemcseméret-skála szerint (Wentworth 1922) nagyszemcsés–durvaszemcsés homok szemcseméret-kategóriába eső szemcsékkal) soványított fazekakból származnak. Szemcseméret-eloszlás alapján a minták hiatuszos szövetet mutatnak, osztályozottsága rossz. Jellemző szemcseméret-tartományai: <125 µm, 125–700 µm és 0,7–1,7 mm, a szemcsék mennyisége rendre közepes, kevés és közepes. A 125 µm alatti, illetve 125–700 µm mérettartományú szemcsék koptatottságuk szerint szögletesek–kissé szögletesek, a 0,7–1,7 mm nagyságúak lekerekítettek–jól lekerekítettek. Ez utóbbi nagyságú szemcsék anyaga döntően kvarc, alárendelten plagioklász-földpát, jellegzetes metamorf bélyegekként (4. ábra, c, d). A minták plasztikus–nem plasztikus–pórus térfogataránya 64–24–12%. A nem plasztikus elegyrészek ásványos összetételét mono-, illetve polikristályos kvarc, káli- és plagioklász földpát, muszkovit, opak ásványok, radiolarit és egyéb kőzettöredékek, valamint szórványos mennyiségben biotit alkotják. A monokristályos kvarcsejtségek esetében az hullámos–nem hullámos kioltású szemcsék aránya 64–36%, a káli- és plagioklász-földpátok aránya 55–45%.

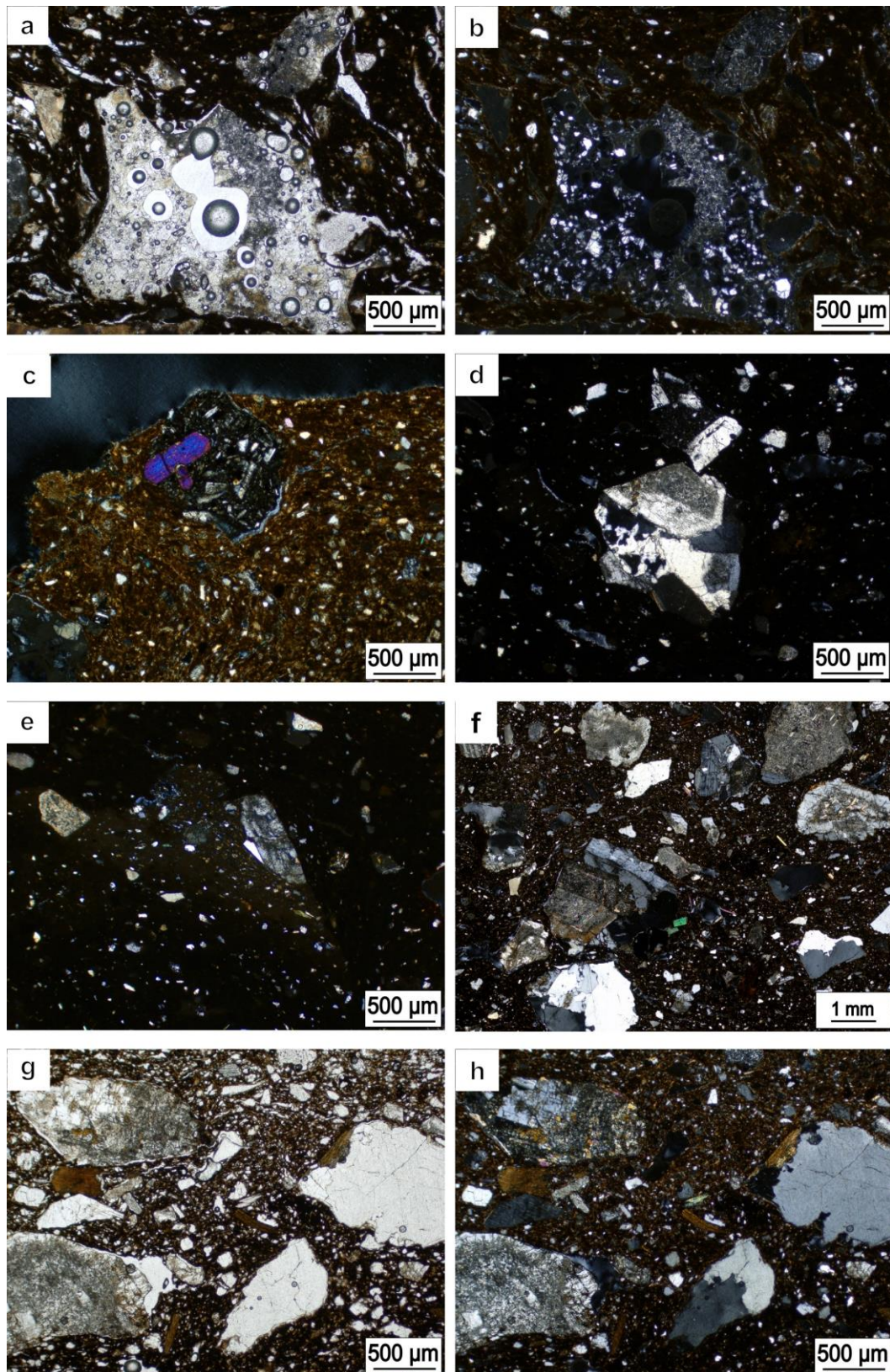
#### **3. csoport – T3**

A T3 csoportba a TZ10, TZ11 és TZ12 kódszámú minták tartoznak, melyek mindegyike kézzel formált fazekakból származik. Szövetük hiatuszos, a szemcseméret-eloszlás alapján rosszul osztályozottak, a szemcsék koptatottsága változó; előfordulnak szögletes–kissé szögletes, valamint lekerekített szemcsék is. Az uralkodó szemcseméret 150–300 µm, de akár 1–3 mm-es törmelékszemcsék (4. ábra, g) is található a mintákban. A nagyon finomszemcsés nem plasztikus összetevők mennyisége közepes–sok, a finomszemcsés, illetve afölötti méretű szemcséké pedig kevés. A plasztikus–nem plasztikus–pórus térfogataránya 77–10–13%. A nem plasztikus elegyrészek döntően mono-, illetve polikristályos kvarcból, káli- és plagioklász földpátból, muszkovitból, opak ásványokból, agyagos kőzettöredékből (ARF/tört kerámia), kvarc-földpát kőzettöredékből, valamint akcesszóriaként amfibolból állnak.



**4. ábra:** a-b: Az 1. csoport szöveti képe (XN); c-d: A 2. csoport szöveti képe (XN); e: A 3. csoport jellegzetes pórusai (1N); f: Karbonát kiválások pórusszegélyeken (XN); g: Tört kerámia szemcse (XN); h: Szervesanyag maradvány pórusban (1N)

**Fig. 4.:** a-b: Representative photomicrographs of group T1 (XN); c-d: Representative photomicrograph of group T2 (XN); e: Characteristic pores of group T3 (1N); f: Micrite layers on the surface of pores (XN); g: Grog (crushed ceramic) inclusion (XN); h: Organic matter residue in pore (1N)



**5. ábra:** a-b: Kerámiasalak 1N és XN-os képe; c: Bazaltos kőzettöredék a 4. csoportban (XN); d: Granitoid szemcse a TZ15-ös mintában (XN); e: Tört kerámia (XN); f-h: 5. csoport szöveti képe 1N (g) és XN-ban (f és h)  
**Fig. 5.:** a-b: Image of ceramic slag in 1N and XN; c: Crushed basaltic rock fragment of group T4 (XN); d: Granitoid inclusion in sample TZ15, group T4 (XN); e: Grog (crushed ceramic) (XN); f-h: Representative photomicrographs of group T5 in 1N (g) and XN (f and h)

A monokristályos kvarcsezemcsék között a hullámos, illetve a nem hullámos kioltású szemcsék aránya 75–25%. A földpátok esetében a káli-, illetve plagioklász földpát szemcsék aránya 60–40%. Az ARF/tört kerámiaszemcsék kerekítettsége szögletes, alakjuk sokszor szabálytalan, méretük 0,15–3,25 mm közötti, a mintákban mennyiségük közepes. Bennük a nem plasztikus elegyrészek anyaga döntően kvarc és földpát, amik mennyisége sok. A minták némelyike „szendvics” szerkezet mutat, alapanyaguk többnyire teljesen átlátszatlan, izotróp. Jellegzetes megnyúlt, sávyszerűen elhelyezkedő pórusok vannak jelen (4. ábra, e), melyek némelyikében növényi eredetű szervesanyag maradványai is felfedezhetők (4. ábra, h), valamint a pórusok szegélyén sokszor másodlagos karbonát kiválások nyoma is látszik (4. ábra, f).

#### 4. csoport – T4

A T4 csoportba a TZ13, TZ14 és TZ15 kódszámú minták sorolhatók, amelyek lassúkorongolt fazekak részei voltak, a csoport mindegyik tagja tartalmaz kerámiasalakot. A kerámiasalakon az edényégetés során keletkezett selejtes, túlégett, rontott edények töredékeit értjük, melyek üveges megjelenésűek, hólyagüregekkel, mikroszkóp alatt folyási szerkezetet mutathatnak, de helyenként megmaradhat az eredeti kerámiára emlékeztető szövet, felfedezhetők lehetnek benne az abból származó nem plasztikus szemcsék vagy megjelenhetnek bennük helyben képződött új ásványszemcsék is, például tús diopszid vagy apatit kristályok, ahogyan ezt korábban Walter et al. (2018) is megállapították. Ilyen kerámiasalak a települések leletanyagában gyakorta megtalálható, de ilyen célú felhasználására eddig csak Walter et al. (2018) találtak bizonyítékot.

Szemcseméret-eloszlás alapján a minták hiatuszos szövetűek, az osztályozottság rossz. Az előforduló jellemző szemcseméret-tartományok a következők: <250 µm és 0,5–2,75 mm. Ezek mennyisége az előbbi mérettartomány esetében közepes, utóbbiában közepes–sok. Koptatottságuk is különbözik, a 250 µm alatti szemcsék szögletesek–kissé szögletesek, míg a 0,5–2,75 mm-esek anyagi minőségüktől függően szögletesek vagy kissé lekerekítettek. A plasztikus–nem plasztikus–pórus térfogataránya 56–29–15%. A nem plasztikus elegyrészek: mono-, illetve polikristályos kvarc, káli- és plagioklász földpát, muszkovit, biotit, kerámiasalak, bazalt-, illetve granitoid közettöredékek (5. ábra, c, d), ARF/tört kerámia és akcesszóriák (amfibol, opak ásványok). A monokristályos kvarcsezemcsék között 65–35% a hullámos és nem hullámos kioltású szemcsék aránya. A káli- és plagioklász földpát szemcsék aránya 60–40%. A kerámiasalak (5. ábra, a, b) üveges alapanyagában tús diopszid és apatit

kristályok, valamint xenomorf kvarc- és földpátsezemcsék vannak jelen. A bazaltszemcsék nagy mennyiségű léces plagioklász, káliföldpátot, valamint sajátalakú klinopiroxén porfirokat és opak szemcséket tartalmaznak, a granitoid szemcsék hullámos kioltású, gyakran szubszemcsés kvarcsezemcsékből, sajátalakú földpátsezemcsékből és biotitszemcsékből állnak. Az ARF/tört kerámiaszemcsék (5. ábra, e) alakja szögletes–félig lekerekített, mennyiségük szórványos, nem plasztikus elegyrészként kvarcot, illetve földpátot tartalmaznak.

#### 5. csoport – T5

A T5 csoportba a TZ16 és TZ17 kódszámú minták kerültek, melyek lassúkorongolt fazekakból származnak. Szövetük hiatuszos, a szemcseméret-eloszlás alapján rosszul–gyengén osztályozottak. Az alábbi jellemző szemcseméret-tartományok különíthetők el: <125 µm, 125–500 µm és 0,5–5 mm, mely tartományok mennyisége rendre közepes, kevés és sok. A szemcsék koptatottsága szögletes–kissé szögletes, a plasztikus–nem plasztikus–pórus térfogataránya 54–37–9%. A nem plasztikus elegyrészek anyagi minőség szerint mono-, és polikristályos kvarcból, káli- és plagioklász földpátból, granitoid közettöredékből, muszkovitból, biotitból, valamint akcesszóriaként epidotból, turmalinból, amfibolból és opak ásványokból állnak. A monokristályos kvarcsezemcsék között a hullámos és a nem hullámos kioltású szemcsék aránya 72–28%. A káli- és a plagioklász földpátok aránya 65–35%. A granitoid közettöredékek (5. ábra, f–h) tartalmaznak kvarcot, plagioklász földpátot, káliföldpátot, muszkovitot, biotitot és epidotot. A szemcsék lekerekítettsége szögletes–kissé szögletes, alakja szabálytalan, jellemző mérettartományuk 0,5–5 mm.

#### Diszkusszió, következtetések

A kerámiák petrográfiai vizsgálata során 5 csoportot különítettünk el a szöveti és összetételbeli jellemzőik alapján. Mivel sem a kerámiák lelőhelyén, Tázlár-Templomhegyen, sem tágabb környezetében nincs ismeretünk kerámiakészítéshez alkalmas nyersanyag előfordulásáról, illetve történelmi és néprajzi adatok is azt támasztják alá, hogy a Duna–Tisza közének nagy részén, a Homokhátságon nincs a kerámiakészítéshez alkalmas agyag (Vörös 2022b), valamint fazekasműhelyre vagy kerámiakészítésre utaló nyomok sem kerültek feltárássra (Vörös 2022b, 172., 3. kép; Walter 2023, 8. ábra), így a továbbiakban azt feltételezzük, hogy vizsgálatunk tárgyai valószínűleg nem helyben készültek, hanem kereskedelem útján kerültek egykori tulajdonosukhoz. Ily módon a különböző típusú kerámiák

nyersanyagai sem szükségképpen származnak ugyanazon területekről.

A T1 csoportba sorolt minták a gyorskorongolt, szürke típusú kerámiák közé tartoznak. Alapanyaguk jól iszapolt, készítésükkor nem alkalmaztak soványítást. Ezen kerámiák nyersanyaga nagyon finom, továbbá nem tartalmaznak olyan index ásványt, amelyek segítségével eredetük meghatározható lenne.

A T2 csoport mintái az üllői típusú gyorskorongolt szemcsés kerámiákkal mutatnak egyezést (Kreiter et al. 2023). Ezen minták soványító anyagát jól lekerekített, döntően kvarcból, alárendelten plagioklász földpátból álló, metamorf kőzetekből származó homokszemcsék alkotják. Mind a szemcsék alakja, valamint ásványos összetétele az üledék nagyfokú érettségére, valamint a forrás-üledék hosszú szállítódására utalnak, a szemcsék 0,7–1,7 mm-es mérete pedig a szállítási közeg nagy mozgási energiáját feltételezi, hiszen nagy energia szükséges ilyen méretű szemcsék szállításához. Ezekkel együtt az üllői kerámiakészítő műhely földrajzi elhelyezkedése a soványító nyersanyag potenciális forrásterületeként egyértelműen a Dunát és közvetlen környezetét jelöli ki, ugyanakkor a bizonyos szemcsék esetében megfigyelhető jól lekerekített alak nem zárja ki azok eolikus eredetét sem (Borsy, 1987; Marosi 1967). Hasonló, metamorf bélyegekkel rendelkező forrásközet legközelebb a Duna felső szakaszának vízgyűjtő területén és a Kárpátok nyugati koszorújában fordul elő felszínen (Plasienska et al. 1997). A soványító szemcsék egy jellemző mérettartományban (0,7–1,7 mm) fordulnak elő a kerámiákban, mely utalhat arra, hogy a soványító anyagot szítálhatták felhasználás előtt, ugyanakkor alkalmazhattak természetes eredetű, jól osztályozott homokot is.

A T3 csoportba a kézzel formált kerámiák mintái tartoznak. A minták alapanyagának fekete, átlátszatlan mivolta, jelentős részben kiégett szerves anyag tartalma mutatja, hogy a nyersanyagot nem tisztíthatták megfelelően. Ezt megerősíti, hogy bizonyos porusokban növényi szövet szenesedett maradványai is megfigyelhetők (4. ábra, h), melyek bizonyosan nem soványításként kerültek a kerámiákba. A mintákban sokszor diffúz sávok, inhomogenitások jelennek meg, melyek utalnak arra, hogy készítésük során nyersanyaguk eldolgozása nem volt megfelelő. A megnyúlt, szabálytalan alakú porusok jelentős számban és változó méretben vannak jelen, sokszor átszelik a minta nagy területét. Ezt okozhatja a nyersanyag rossz minősége is, de a nem megfelelő nyersanyag előkészítés is, ami egyértelműen látszik a kézzel formált kerámiák nyersanyagában. Több minta is „szendvics” szerkezetet mutat, ami a minta szerves anyag tartalmát, valamint a kiégetési körülmények

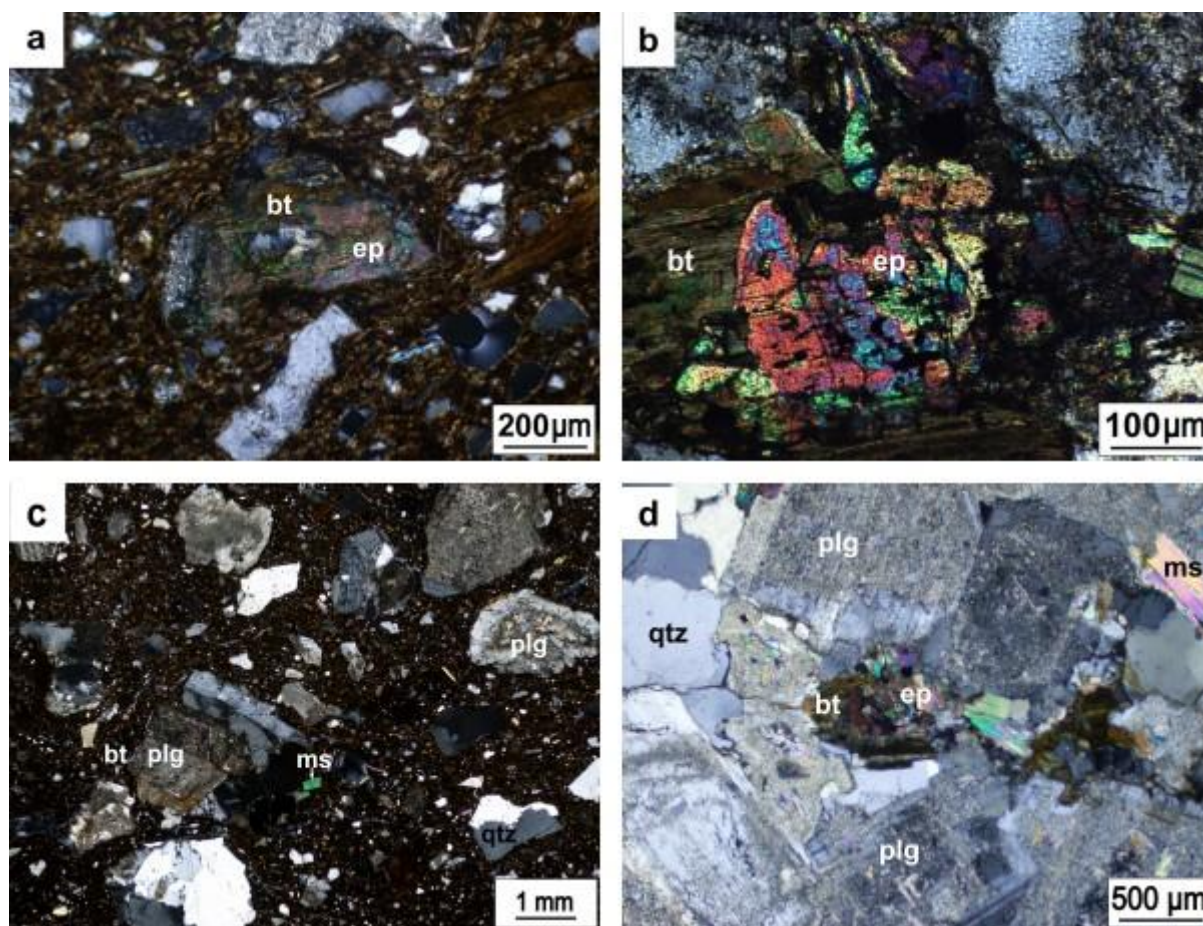
oxidációs-redukciós viszonyainak változását is jelezheti (Rye 1981, Letsch & Noll 1983). Soványításként a készítő ARF/tört kerámiaszemcséket használhattak, közepes mennyiségben, méretük 0,5–2,5 mm között változik. Ezen csoport kerámiáinak nyersanyaga szintén nem tartalmaz olyan index ásványt, amelyek segítségével eredetük meghatározható lenne.

A T4 csoportba lassúkorongolt, kavicsos-csillámos típusú kerámiák mintái tartoznak, melyek mindegyike tartalmaz soványításként kerámiasalakot, valamint bazalt és granitoid kőzetek töredékeit változó mennyiségben. A kerámiasalak mind a szemcsék alakjában, szöveti megjelenésben, mind ásványos összetételében jelentős hasonlóságot mutat a Walter et al. (2018) által korábban vizsgált Sándorfalva–Eperjes lelőhelyről származó kerámiák soványításához használt kerámiasalakjával, így feltételezhető azok gyártási helyének esetleges azonossága, melynek pontos meghatározása további kutatást igényel. Szintén az azonos gyártási hely lehetőségét erősítheti az, hogy egy régészetileg homokos, kavicsos soványításának meghatározott sándorfalvi mécses, bazaltos közettörmelékkel van soványítva (Kreiter et al. 2023), amely a T4 csoportban is megfigyelhető.

Megfigyelhető továbbá, hogy azon kerámiákban, melyekben soványító anyagként megtalálhatóak kerámiasalak-szemcsék, csak nagyon kis mennyiségben tartalmaznak további, döntően kőzettöredékből származó soványítást, ami utalhat arra, hogy ezekkel a salakokkal helyettesítették a kőzettörmelék soványítást.

A T5 csoport mintái hasonlóan lassúkorongolt, kavicsos-csillámos típusú kerámiákból származnak, melyek viszont nagy mennyiségben és kizárólagosan granitoid közettörmeléket tartalmaznak soványító anyagként. Ez a csoport nagyfokú szöveti és összetételbeli hasonlóságot mutat Walter & Szilágyi (2022) által vizsgált Nagymágocs–Paptanya lelőhelyről, valamint Kreiter et al. (2022) által leírt Sándorfalva–Eperjes lelőhelyről származó kerámiákkal.

Mind a T4 és T5 csoport mintái tartalmaznak soványító anyagként granitoid közettöredéket, amelyek szöveti megjelenésük és ásványos összetételük alapján nem feltétlenül származnak egyazon forrásközetből. A T4 csoport egy hullámos kioltású vagy alszemcsés kvarc-szemcséket, gyakran plagioklász földpát szemcséket és a T5 csoport granitoid kőzetéhez képest jóval kisebb méretű biotitszemcséket tartalmazó granitoid kőzetből származik, míg a T5 csoport granitoid kőzete kétszálamú, erősen szericitesedett plagioklászokat, sokszor hullámos kioltású kvarc-szemcséket, valamint epidotosodott biotitszemcséket tartalmaz (6. ábra, a, b).



**6. ábra:** a: Epidotosodott biotitszemcse a T5 csoportból (XN); b: Epidotosodott biotit szemcse Codru granitoidból (Erdélyi-középhegység) (XN); c: T5 csoport szöveti képe granitoid közettöredékekkel (XN); d: Codru gránit szöveti képe (XN)

**Fig. 6.:** a: Epidotized biotite inclusion from group T5 (XN); b: Epidotized biotite inclusion from Codru granitoids (Apuseni Mts.) (XN); c: Fabric of group T5 with granitoid rock fragments (XN); d: Fabric of Codru granitoids (XN)

A potenciális fazekasműhelyek (Sándorfalva–Eperjes és Nagymágocs–Páptanya) földrajzi elhelyezkedése alapján megkíséreltük a soványító anyagok összehasonlítását az Erdélyi-középhegység területéről származó granitoid kőzetekkel, melyekből vékonycsiszolatok is a rendelkezésünkre álltak. Ezek alapján jelentős szöveti és ásványos összetételbeli hasonlóságot véltünk felfedezni a T5 csoport granitoid közettörmelékei és a feltételezeten karbon korú Codru granitoidok között (6. ábra, c, d) (Jákri et al. 2022). Felmerült továbbá a perm korú Hegyesi Magmás Komplexum granitoid kőzete is potenciális nyersanyagként, de a kőzet és a minták soványító anyaga között nem mutatkozott jelentős szöveti és összetételbeli hasonlóság (Pál-Molnár et al. 2008; Szemerédi et al. 2021). A kerámiákban megfigyelt granitoid szemcsék eredetének megerősítéséhez azonban további vizsgálatokra lesz szükség.

### Szerzők tudományos közreműködése

**Bozsik Vivien** Adatkezelés, eredeti kézirat, javított kézirat, vizualizáció. **Water Dorottya** Eredeti kézirat, javított kézirat, ellenőrzés, vizualizáció. **Fintor Krisztián** Kutatásvezetés, módszertan, ellenőrzés, vizualizáció. **Kreiter Attila** Kutatásvezetés, módszertan, ellenőrzés. **Vörös Gabriella** Kutatásvezetés, módszertan, eredeti kézirat, ellenőrzés.

### Köszönetnyilvánítás

A vizsgálati anyag rendelkezésünkre bocsátásáért köszönettel tartozunk a kiskunhalasi Thorma János Múzeumnak, továbbá hálás köszönet illeti Granyák Viktort a vékonycsiszolatok gyors elkészítéséért, ötleteiért és Dr. Szemerédi Mátét a granitoid vékonycsiszolatok vizsgálatának lehetőségéért. Szeretnénk megköszönni bírálóinknak, Dr. Vaday Andreának és Dr. Szakmány Györgynek az építő jellegű hasznos észrevételeiket, javaslataikat.

## Felhasznált irodalom

BORSY Z. (1987): Az Alföld hordalékkúpjainak fejlődéstörténete. *Nyíregyházi Főiskola Füzetek* 1 5–37.

GALLINA Zs. & Sz. WILHELM G. (2006): *Tázlár–Templomhegy 2003–2004. évi feltárása*. (Előzetes közlemény). *Tatabányai Múzeum Tudományos Füzetek* 8 187–202.

GALLINA Zs., GULYÁS Gy., KOTÁN D., PÁNYA I. & ROSTA Sz. (2021): Tatárjárás Tázláron. *Halasi Múzeum* 5 25–44.

JÁKRI B., SZEMERÉDI M., KOVÁCS Z., LUKÁCS R., & PÁL-MOLNÁR E. (2022): A codrui granitoidok közettani és geokémiai vizsgálata a Tiszai-főegységben. *Calce et malleo – Mésszel és kalapáccsal*. 12. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés. CSFK Földtani és Geokémiai Intézet, Budapest, 61 p.

KOROM, A. (2015): A Pesti-síkság barbaricum-i lelőhelyeinek pecsételt kerámiatípusai. In: TÜRK A., BALOGH Cs. & MAJOR B. (szerk.): *Hadak Útján XXIV. A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXIV. konferenciája*. Esztergom, 2014. november 4–6. 1. kötet. Budapest–Esztergom 165–203. [https://doi.org/10.55722/Arpad.Kiad.2015.3.1\\_09](https://doi.org/10.55722/Arpad.Kiad.2015.3.1_09)

KREITER A., SZIGYÁRTÓ O., BALÁZS H.G., VIKTORIK O. & MÁTÉ L. (2023): Kerámiavizsgálati jelentés. Üllő 5. (30899); Ecser 7. (30839); Csongrád–Kettőshalom (17407); Nagymágocs, Paptanya (17965); Bordány, Meződülő (37154); Sándorfalva, Eperjes (29538); Hódmezővásárhely, Fehértó; Hódmezővásárhely, Solt Palé és Kása Szabó Imre szérűskertje (55362); Kopáncs, Szentitánya (36986); Földeák és Nádlacl lelőhelyekről származó szarmata kerámiák petrográfiai vizsgálata. *A jelentés megtalálható az egyes lelőhelyeknél a Magyar Nemzeti Múzeum Régészeti Adatbázisában a Természettudományos vizsgálatok/kerámia vizsgálat könyvtárban: Magyar Nemzeti Múzeum Régészeti Adatbázis: <https://archeodatabase.hnm.hu/hu/node/81462>* 196 p.

KREITER, A., WALTER, D. & VIKTORIK, O. (2022): The Late Sarmatian micaceous-pebbly ceramic conundrum revisited: petrographic analysis of ceramics from Sándorfalva–Eperjes and Nagymágocs–Paptanya settlements. –A késő szarmata kori kavicsos-csillámos kerámiák rejtélyének vizsgálata: Sándorfalva–Eperjes és Nagymágocs–Paptanya telepek kerámiáinak petrográfiai elemzése. *Archeometriai Műhely XIX/2* 125–136. <https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2022-010>

LETSCH, J. & NOLL, W. (1983): Phase formation in several ceramic subsystems at 600°C–1000°C as

a function of oxygen fugacity. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft* 7 259–267.

MAROSI S. (1967): Megjegyzések a magyarországi futóhomokterületek genetikájához és morfológiájához. *Földrajzi Közlemények* 91 251–275.

PÁL-MOLNÁR, E., ANDRÁS, E., KASSAY, Zs., BUDA, Gy. & BATKI, A. (2008): Petrology of Păuliș granites (Apuseni Mts., Romania). *Acta Mineralogica-Petrographica* 48 33–41.

[https://acta.bibl.u-szeged.hu/25150/1/mineralogica\\_048\\_033-041.pdf](https://acta.bibl.u-szeged.hu/25150/1/mineralogica_048_033-041.pdf)

PCRG (2010): The study of later prehistoric pottery: general policies and guidelines for analysis and publication. *Prehistoric Ceramic Research Group: Occasional Papers Nos 1 and 2*. 3rd edition revised, 78 p.

PLAŠIENKA, D., GREČULA, P., PUTIŠ, M., KOVÁČ, M. & HOVORKA, D. (1997): Evolution and structure of the Western Carpathians: an overview. *Mineralia Slovaca – Monograph*, Bratislava, 1–24.

RODUIT, N. (2019): JMicroVision: Image analysis toolbox for measuring and quantifying components of high-definition images. Version 1.3.1. <https://jmicrovision.github.io>

RÓNAI A. (1985): Az Alföld negyedidőszaki földtana. *Geologica Hungarica series Geologica* 21 446 p.

RYE, O.S. (1981): *Pottery Technology: Principles and Reconstruction*. – Taraxacum, Washington, D.C., 150 p.

SZALONTAI CS. (2022): A megtelepedés speciális körülményei a halasi tájban. In: VÖRÖS G. (szerk.): *Szarmaták két folyó között. A kiskunhalasi Thorma János Múzeum római és római kori szarmata gyűjteménye (1-5. század)*. Martin Opitz Kiadó, Budapest–Kiskunhalas, 75–98.

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

SZEMERÉDI, M., VARGA, A., DUNKL, I., LUKÁCS, R., SEGHEDI, I., KOVÁCS, Z., RAUCSIK, B. & PÁL-MOLNÁR, E. (2021): Petrology and zircon U–Pb dating of granitoid rocks in the Highiş massif (SW Apuseni Mts., Romania): Insights into Permian plutonic–volcanic connections. *Geologica Carpathica* 72 482–504. <https://doi.org/10.31577/GeolCarp.72.6.3>

VADAY A. (1998): Kereskedelem és gazdasági kapcsolatok a szarmaták és a rómaiak között. In: HAVASSY P. (szerk.): *Jazigok, roxolánok, alánok. Szarmaták az Alföldön. Gyulai katalógusok* 6 117–143.

VADAY A. (2018): Késő szarmata periódus sírja Jánoshalmán. [Ein Grab aus der spätsarmatischen Periode in Jánoshalma (Kom. Bács-Kiskun, Ungarn).] In: KOROM A. (szerk.): *Relationes Rerum. Régészeti tanulmányok Nagy Margit tiszteletére. Studia ad Archaeologiam Pazmaniensia* **10** Budapest. 269–290.

VERES Zs. (2012): Atipikus jelenség Tiszabura–Pusztataskony késő szarmata telepén. Rituális áldozat, gyilkosság vagy támadás? *Közöletlen szakdolgozat*, Szegedi Tudományegyetem, Régészeti Tanszék, 125 p.

VÖRÖS G. & JUHÁSZ L. (2022): Katalógus. In: VÖRÖS G. (szerk.): *Szarmaták két folyó között. A kiskunhalasi Thorma János Múzeum római és római kori szarmata gyűjteménye (1-5. század)*. Martin Opitz Kiadó, Budapest–Kiskunhalas, 29–62.

VÖRÖS G. (2022a): *A könyv és a korszak lezárása*. In: VÖRÖS G. (szerk.): *Szarmaták két folyó között. A kiskunhalasi Thorma János Múzeum római és római kori szarmata gyűjteménye (1-5. század)*. Martin Opitz Kiadó, Budapest–Kiskunhalas, 183–188 p.

VÖRÖS G. (2022b): Kerámia alapanyag, gyártás, kereskedelem. Hol készültek a Kiskunhalas környéki szarmata lelőhelyek edényei? In: VÖRÖS G. (szerk.): *Szarmaták két folyó között. A kiskunhalasi Thorma János Múzeum római és római kori szarmata gyűjteménye (1-5. század)*. Martin Opitz Kiadó, Budapest–Kiskunhalas, 163–176.

WALTER, D. & SZILÁGYI, V. (2022): Late Sarmatian pottery workshop in Nagymágocs–Paptanya. *Archeometriai Műhely* **XIX/2** 113–124. <https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2022-009>

WALTER, D. (2023): Sarmatian kiln from Szentés–Schweidel József Street site – Szarmata kori edényégető kemence Szentés–Schweidel József utca lelőhelyről. *Archeometriai Műhely* **XX/2** 147–160. <https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2023-011>

WALTER D., FINTOR K. & SKULTÉTI Á. (2018): A sándorfalva–eperjesi késő szarmata kavicsos-csillámos kerámia soványítóanyagának előzetes petrográfiai vizsgálata. [The preliminary petrographic examination of the diluent used for a late Sarmatian micaceous-pebbly ceramic from Sándorfalva–Eperjes.] In: BÁRKÁNYI I. & F. LAJKÓ O. (szerk.): *A Móra Ferenc Múzeum Évkönyve. Új folyam* **4**. Szeged: Móra Ferenc Múzeum, 133–157.

WENTHWORTH, C.K. (1922): A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology* **30/5** 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>

## Katalógus

1. **TZ01** Halványvörös, homokkal soványított, gyorskorongolt *tál aljtöredéke*. Az edény kis talpgyűrűvel rendelkezik. A belső oldala homorú, a közepe felé vékonyodik. Világosszürke átmetszetű. Tázlár–Templomhegy 75. obj; 1 db;  $F_{\text{átm}}$ : 10 cm, M: 1,2 cm, sz: 4,7 cm, v: 0,5 cm; Ltsz: 2004.58.72. (2. ábra 1.)
2. **TZ02** Téglavörös, homokkal soványított, jól iszapolt, gyorskorongolt *tál aljtöredéke*. Az edény kis talpgyűrűvel rendelkezik. Világosszürke átmetszetű. Tázlár–Templomhegy 65. obj; 1 db;  $F_{\text{átm}}$ : 6 cm, M: 1,5 cm, sz: 5,5 cm, v: 0,7 cm; Ltsz: 2004.58.64. (2. ábra 2.)
3. **TZ03** Világosszürke, apró kavicsal soványított, gyorskorongolt, szemcsés (üllői típusú) *fazék aljtöredéke*. Vékonyodó talpgyűrűvel rendelkezik. Az edény belső oldalán korongolá nyomok figyelhetők meg. Tázlár–Templomhegy 39. obj; 1 db;  $F_{\text{átm}}$ : 10 cm, M: 7,3 cm, sz: 6,4 cm, v: 1,3 cm; Ltsz: 2004.58.19. (2. ábra 3.)
4. **TZ04** Világosbarna, fekete, apró kavicsal soványított, gyorskorongolt, szemcsés (üllői típusú) *fazék aljtöredéke*. Talpgyűrűvel rendelkezik. Tázlár–Templomhegy 217. obj.; 1 db;  $F_{\text{átm}}$ : 6,7 cm; M: 3,5 cm; sz: 9,1 cm; v: 0,9 cm; Ltsz.: 2007.2.125. (2. ábra 4.)
5. **TZ05** Világosszürke, homokkal soványított, jól iszapolt, gyorskorongolt, *kis méretű tárolóedény perem- és nyaktöredéke*. Az edény tölcseres nyakú, kifelé húzott peremű. Pereme teteje vízszintes, a vége kis mértékben legömbölyített. Az edény felülete simított, a vállvonalánál vastag, sekély, halvány egyenes vonallal besimított. Tázlár–Templomhegy 73. obj; 1 db;  $P_{\text{átm}}$ : 20 cm; M: 8,2 cm, sz: 8,8 cm, v: 0,9 cm; Ltsz: 2004.58.67. (2. ábra 5.)
6. **TZ06** Szürke, jól iszapolt, gyorskorongolt *hombár oldaltöredéke*. Külső oldala simított, a belső oldalán korongolás nyomai látszanak. Tázlár–Templomhegy 97. obj.; 1 db; M: 7,2 cm, sz: 10,9 cm, v: 0,9 cm; Ltsz: 2004.58.90. (2. ábra 6.)
7. **TZ07** Szürke, jól iszapolt, gyorskorongolt *hombár perem és válltöredéke*. Pereme legömbölyített, enyhén profilált. Külső oldala simított. Tázlár–Templomhegy 154. obj.; 1 db;  $P_{\text{átm}}$ : 20 cm; M: 10 cm, v: 0,8 cm; Ltsz.: 2007.2.21. (2. ábra 7.)
8. **TZ08** Szürke, homokkal soványított, gyorskorongolt, *közepes méretű, öblös tárolóedény edény perem és válltöredéke*. Pereme kifelé és lefelé húzott, kifelé vastagodó, háromszög átmetszetű. Pereme alatt három vonalakkal, nyakán viszonylag sűrű, a vállán szélesebb közű besimított egyenes vonalakkal díszített. Az edény külső oldalán fényezve volt, polírozott, de ma már nagyrészt kopott, letöredezett. Világosszürke átmetszetű. A belső oldalán korongolás figyelhető meg. Tázlár–Templomhegy 56. obj; 1 db;  $P_{\text{átm}}$ : 10 cm, M: 10,2 cm, sz: 7,7 cm, v: 0,5 cm; Ltsz: 2004.58.58. (3. ábra 6.)
9. **TZ09** Kívül fekete, belül vörösesbarna, gyorskorongolt *edény oldaltöredéke*. Külső oldala fényezett, polírozott. Tázlár–Templomhegy 154. obj; 1 db; M: 3,7 cm; sz: 5,7 cm; v: 0,8 cm; Ltsz: 2007.2.24. (3. ábra 1.)
10. **TZ10–TZ11** Kívül világosbarna, belül fekete színű, homokkal soványított, rosszul égetett, durva felületű, kézzel formált *edény oldaltöredékei*. Átmetszetük fekete. Tázlár–Templomhegy 135. obj; 2 db; (1) M: 5,4 cm; sz: 5,1 cm; v: 1 cm; (2) M: 6,5 cm; sz: 7,4 cm; v: 0,9 cm; Ltsz: 2004.58.126. (3. ábra 2., 7.)
11. **TZ12** Külső és belső oldalán halvány vörösesbarna színű, fekete foltos, homokkal soványított, kézzel formált *edény oldaltöredéke*. Szürke átmetszetű. Tázlár–Templomhegy 76. obj; 1 db; M: 4,1 cm, sz: 5,6 cm, v: 1,5 cm, v: 0,9 cm; Ltsz: 2004.58.74. (3. ábra 3.)
12. **TZ13** Külső oldalán világos barnászvörös, fekete foltos, kavicsal és salakkal soványított, durva felületű, lassúkorongolt, nagyméretű *fazék peremtöredéke*. Pereme ferdén levágott, kifelé vastagodik, külső oldalán gömbölyített. Bekarcolt két négy vonalból álló vonalköteg között négy vonalból álló hullámvonalköteggel díszített. Tázlár–Templomhegy 102. obj; 1 db;  $P_{\text{átm}}$ : 25 cm, M: 7,7 cm, sz: 8,9 cm, v: 0,9 cm; Ltsz: 2004.58.104. (3. ábra 8.)
13. **TZ14** Kívül fekete, belső oldalán világosbarna, kavicsal, kevés csillámos anyaggal, samottal és salakkal soványított, lassúkorongolt *fazék peremtöredéke*. A perem ferdén kifelé és felfelé húzott, belső oldalán szögletesre, felül vízszintesre alakított, kívül gömbölyített. Tázlár–Templomhegy 97. obj; 1 db;  $P_{\text{átm}}$ : 15 cm, M: 5 cm, sz: 10,2 cm, v: 0,8 cm; Ltsz: 2004.58.89. (3. ábra 4.)
14. **TZ15** Világosbarna, fekete foltos, apró kavicsal és kevés csillámos anyaggal soványított, lassúkorongolt *fazék peremtöredéke*. Pereme enyhén kihajló szögletes. Vállán bekarcolt hét vonalból álló hullámvonalköteggel díszített, az utolsó vonalra ferde rádlimintát helyeztek. Sötétebb

szürke átmetszetű. Tázlár–Templomhegy 67. obj; 1 db;  $P_{\text{átm}}$ : 15 cm, M: 6,8 cm, sz: 4,7 cm, v: 0,7 cm; Ltsz: 2004.58.66. (3. **ábra 9.**)

15. **TZ16** Kívül vörösesbarna, belül fekete, csillámos anyaggal, kavicsal és samottal soványított, lassúkorongolt *fazék oldal-töredéke*. Tázlár–Templomhegy 102. obj; 1 db; M: 7,2 cm, sz: 7,6 cm, v: 0,9 cm; Ltsz: 2004.58.106. (3. **ábra 5.**)

16. **TZ17** Sötétszürke, csillámos anyaggal, apró kavicsal és samottal soványított, lassúkorongolt *fazék aljtöredék*. Tázlár–Templomhegy 102. obj; 1 db;  $F_{\text{átm}}$ : 15 cm, sz: 11 cm, v: 0,8 cm; Ltsz: 2004.58.105. (3. **ábra 10.**)



# KESZTHELY-FENÉKPUSZTA KÉSŐ RÓMAI LELOHÉLYRŐL SZÁRMAZÓ RENDKÍVÜLI MÉRETŰ VASBUCÁK ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATA

## ARCHAEOMETRICAL EXAMINATION OF IRON BLOOMS OF EXTRAORDINARY SIZE FROM THE LATE ROMAN SITE OF KESZTHELY-FENÉKPUSZTA •

TÖRÖK, Béla<sup>1</sup>  & BARKÓCZY, Péter<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Miskolci Egyetem, Anyag- és Vegyészmérnöki Kar, Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM)

E-mail: [bela.torok@uni-miskolc.hu](mailto:bela.torok@uni-miskolc.hu), [peter.barkoczy@uni-miskolc.hu](mailto:peter.barkoczy@uni-miskolc.hu)

### Abstract

*Five large split iron blooms were unearthed at the site of a former Pannonian Late Roman fortress in Keszthely-Fenékpusztá (Hungary). Because of their extraordinary parameters, these findings are some of the most interesting features of the archaeometallurgy of ancient iron making in Europe. The manufacturing process of them has been a technological mystery since they were founded.*

*A complex archaeometrical analysis was carried out on two of the blooms to find answers to some fundamental questions about the characteristics of the microstructure and chemical composition, and to reveal the technological circumstances of the smelting process and the further usability of these blooms.*

*A slice in 10 mm thickness was cut off from one of the blooms by water jet cutting. Ten 4x4 cm pieces, cut off from the slice, were examined by optical microscopy and scanning electron microscopy equipped with energy dispersive spectrometry. The C-content of the samples was detected by optical emission spectrometry.*

*Based on the results, it can be concluded that there was no metal forming after the smelting. The examined bloom has a large number of gas pores and an extremely high C-content. The structure of the slice of bloom was heterogeneous; only two samples contained extended ferrite-pearlite areas with relatively low carbon content. Surprisingly, a low number of slag inclusions can be observed, which originated from the smelting.*

*Based on the structure, the bloom was manufactured at about 1200°C temperature for a long smelting time. It is conceivable that smaller blooms or smaller slaggy pieces of blooms, broken off during the purification hammering after previous smelting processes, were charged back to the furnace, and they were smelted together again.*

*Three experimental forging of heated pieces from the slice of bloom were carried out in order to investigate the behaviour of the material during hammering. Even the sample with the lowest carbon content was only moderately forgeable, while the other samples were not or only with difficulty.*

### Kivonat

*Keszthely-Fenékpusztán egy egykori pannoniai késő római kori erődtámasz lelőhelyén öt nagyméretű ékelt vasbucát találtak. Rendkívüli paramétereik miatt ezek a leletek az ókori európai vaskohászat archeometallurgiájának egyik legérdekesebb darabjai. Előállításuk folyamata megtalálásuk óta technológiai rejtély.*

*Két vasbucán komplex archeometriai vizsgálatot végeztünk, hogy választ kapjunk néhány alapvető kérdésre a mikroszerkezetet és a kémiai összetételt illetően, illetve, hogy mit lehet megtudni a kohósítás technológiai körülményeiről, valamint a vasbucák további felhasználhatóságával kapcsolatban.*

---

• How to cite this paper: TÖRÖK, B. & BARKÓCZY, P., (2023): Keszthely-Fenékpusztá késő római lelőhelyről származó rendkívüli méretű vasbucák archeometriai vizsgálata / Archaeometrical examination of iron blooms of extraordinary size from the Late Roman site of Keszthely-Fenékpusztá (in Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XX/2 pp. 177–190.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2023-013](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2023-013)

*Vízugaras vágással egy 10 mm vastagságú szeletet vágtak le az egyik bucából. A szeletből kialakított tíz 4x4 cm-es darabot optikai mikroszkóppal és energiadiszipatív spektrométerrel ellátott pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltunk. A minták C-tartalmát optikai emissziós spektrométer segítségével detektáltuk.*

*Az eredmények alapján arra lehetett következtetni, hogy a kohósítás után nem volt utólagos alakítás. A vizsgált bucában nagyszámú gázpórus volt megfigyelhető és rendkívül magas volt a C-tartalma. A bucaszelet szerkezete heterogén volt, csak két mintában találtunk ferrit-perlites kiterjedt területet relatíve alacsonyabb karbon tartalommal. Meglepően kevés salakzárvány volt megfigyelhető, amelyek az olvasztásból származtak.*

*A szerkezet alapján a vasbucát körülbelül 1200°C hőmérsékleten, hosszú olvasztási idő alatt állították elő. Elképzelhető, hogy kisebb vasbucákat vagy korábbi kohósítások után a salaktalanító kalapálás során letört kisebb salakos bucadarabokat visszaadagoltak a kemencébe és újra egybeolvasztották őket.*

*Három kovácsolási kísérletet végeztünk a vasbucá szeletből hevített darabok kovácsolásával, hogy megvizsgáljuk az anyag viselkedését a kalapálás során. A legkisebb karbon tartalmú minta is csak közepesen volt kovácsolható, a többi minta viszont nem, vagy csak nehezen.*

KEYWORDS: METALLOGRAPHY, IRON BLOOMS, SEM-EDS, OM, OES

KULCSSZAVAK: METALLOGRÁFIA, VASBUCA, SEM-EDS, OM, OES

## Bevezetés

1970-ben Sági Károly és munkatársai Keszthely-Fenekpuszta 5. századi lelőhelyén végzett ásatásuk során egy üres gabonás veremben jelentős mennyiségű vasleletet találtak (Rupnik 2013). A leletek között előkerült egy négyszögletes alakú vasüllő, illetve öt darab, extrém nagy méretű, igen nagy súlyú, ékelt vasbucá is (Sági 1979). A lelőhely a pannoni kőszőlő régió „belső erődök” egy sajátos csoportjába tartozik. Ezek a vidéki környezetben, főként latifundiumokon vagy azok közelében épült erődök logisztikai központokként, illetve élelmiszerek, katonai felszerelések és egyéb anyagok raktárbázisaként is szolgáltak (Heinrich-Tamáskó & Szabó 2015, Visy 2018a,b, Heinrich-Tamáskó & Szabó 2019). A fenekpusztai vasbucák számos kérdést felvetettek, eredetüket, készítésüket, a vonatkozó technológiai jellemzőket, illetve felhasználhatóságukat illetően.

A korai vaskohászat primer termékének számító vasbucák a Kárpát-medencében ritka leletnek számítanak. A Dunántúlon előkerült vasbucák, bucadarabok közül a 10. századi somogyfajsi műhelyben előkerült 2–4 kg körüli tömegű darabok (Gömöri 2018), méretüknél, jellegüknél fogva egyértelműen, de még az avar- és Karoling-korinak datált Lábod-petesalmi és zalavári, egyaránt 10 kg körüli, egyébként szintén ékelt vasbucák (Török et al. 2018, Gömöri 2018) is más kategóriába tartoznak, mint a Keszthely-fenekpusztai, 60 kg körüli ékelt bucák. Azokhoz méretben inkább a Hévízi-tóban talált 47,5 kg-os vasbucá, a Sopron-Kányaszurdokon talált két 50 kg-os ékelt vasbucá (Gömöri 1979, Gömöri 1981) illetve a Somogy-megyei Szalacs-kőről származó, a hasítéka mentén félbevágva 25 kg-os bucadarab (Gömöri 2018) rokonítható. Ezeknek a vasbucáknak az alapvető paramétereket megállapító mérései mellett, néhányuk kicsiny, lepattintott mintáján sok évvel ezelőtt alapvető optikai mikroszkópos vizsgálatokat is végeztek (Hegedűs

1961, Rozsnoki 1979). A keszthelyi bucákkal kapcsolatosan Rozsnoki Zsuzsanna megállapította, hogy magas karbon tartalmúak (ledeburított is azonosított a vizsgált szövetszerkezetben), szerkezetük nem homogén, így a bucák átfogó fémtani jellemzésére, készítés technológiai, illetve felhasználással kapcsolatos következtetések megállapítására nem elegendő egy-két lepattintott kis darabka vizsgálata (Rozsnoki 1979).

A lipcsei Leibniz-Institut für Geschichte und Kultur des östlichen Europa (GWZO) megbízásával, a keszthelyi Balatoni Múzeum engedélyével és közreműködésével, a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának (ARGUM) kutatói komplex vizsgálati és kísérleti projekt keretében, roncsolásos archeometriai-archeometallurgiai vizsgálatokat végeztek két Keszthely-fenekpusztai vasbucán, melyek részletes eredményei a *Castellum Pannonicum Pelsonense* sorozatban kerülnek átfogó megjelenésre (Török et al. in press).

A méretei, jellege miatt egyedinek, európai viszonylatban is ritkaságnak számító vasbucákból való mintavétel speciális eljárást igényelt a vágást illetően. A leletek mikroszkópos metallográfiai vizsgálata az egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének szerkezetvizsgáló laboratóriumában történt, illetve az egyik vasbucá esetében műhelylaborban végrehajtott próbakovácsolási kísérleteket is végeztünk.

A vizsgálatssorozat és a kísérletek főbb céljai a következők voltak:

- Melyek a bucák jellemző anyagszerkezeti és összetételi sajátosságai (szövetszerkezet, karbon tartalom, szennyezők, zárványok)?
- Mit lehet megállapítani, feltételezni a vasbucák készítés technológiai jellemzőiről?
- Anyagszerkezeti szempontból hasonló vagy különböző vasbucákról van-e szó?
- Mit lehet megállapítani a további felhasználhatóságukról?



**1. ábra:** A vizsgált 1971.106.21 számú vasbuca

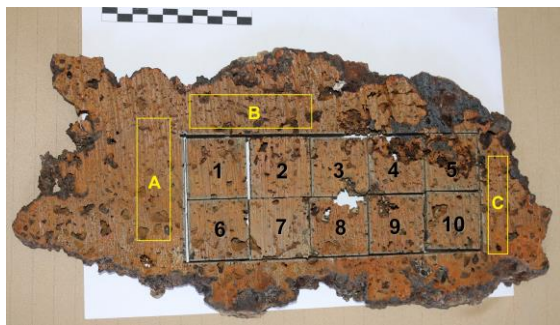
**Fig. 1.:** The examined iron bloom No. 1971.106.21

### **Anyag és módszer**

A vasbucáknál alkalmazandó vizsgálati módszerek tervezésénél alapvetően figyelembe kellett venni a darabok jelentős méretét, tömegét, illetve nagy keménységét. A Miskolci Egyetemre szállított három vasbuca méreteinek három dimenziója 39–43 cm, 25–38 cm és 12–16 cm között voltak. Az általunk mért tömegek: 1971.106.21 ltsz.: 61,0 kg, 1971.106.22 ltsz.: 65,4 kg, 1971.106.23 ltsz.: 58,3 kg. Törekedtünk arra, hogy a kérdések megválaszolásához csak szükséges, de elégséges mértékű roncsolást hajtsuk végre. Mindenképpen szükségünk volt az egyik vasbuca teljes

keresztmetszetére, illetve az azon elvégzett vizsgálatok eredményeinek függvényében egy másik darabból is vettünk mintát.

A teljes keresztmetszet vizsgálatát az 1971.106.21 leltári számú vasbucából (B1) 10 mm vastag szelet kivágásával biztosítottuk (**1. ábra**). A tekintélyes keresztmetszetű, nagy felületű vasbuca szeletet nagy nyomású, vízsugaras ipari vágógéppel vágtuk le úgy, hogy az anyag vizsgálandó felülete a vizsgálandó mélységig nem hevült fel olyan állapotba, hogy az a mikroszerkezet vizsgálata során esetleges téves következtetésekhez vezettek volna.



**2. ábra:** Az 1971.106.21 számú bucából vágott szelet és a vizsgált minták

**Fig. 2.:** Cut section and examined samples from iron bloom No. 1971.106.21.

A mikroszkópos vizsgálatok technikai lehetőségeit figyelembe véve, a levágott szelet belsejéből 10 darab, 40x40 mm alapterületű részt vágunk ki, amit sorrendben számoztunk, ahogy az a **2. ábrán** látható. Az így kapott minták felületeit síkköszörűvel párhuzamosítottuk. Mechanikus csiszolást, polírozást és 2%-os töménységű nitalos (salétromsav és metanol elegye) maratást követően a mintákat optikai mikroszkóppal (Zeiss AxioImager M1m) és EDAX típusú, energiadiszipatív spektroszkóppal ellátott pásztázó elektronmikroszkóppal (Zeiss EVO MA 10) vizsgáltuk (OM és SEM-EDS). Az optikai mikroszkóppal minden mintát sorra vizsgáltunk, ami által a szövetelemek, fázisok alakját, eloszlását figyeltük meg, és jól tanulmányozható, általános szövetképet kaptunk.

Elektronmikroszkópos vizsgálatot csak a 2. és 4. minta esetében láttunk célszerűnek és szükségesnek. A 2. minta optikai mikroszkópos vizsgálata alkalmával a szövet szerkezetét nem lehetett megfelelő részletességgel felbontani, így annak teljes feltárására a SEM vizsgálat szolgált. Az optikai mikroszkópos vizsgálat egyedül a 4. mintában tárt fel zárványokat, amelyeknek alapvető jellege az ugyan optikai mikroszkópi képeken is látható, azonban a zárványszerkezet részletesebb vizsgálata és a kémiai összetétel miatt fontos volt az EDS-sel ellátott SEM vizsgálat is, amely lokális és átlagos elemösszetételt is szolgáltatott.

Mivel az OM vizsgálatok során tapasztalt szövetszerkezetek sok esetben szokatlanul nagy karbon tartalomról tanúskodtak és az EDS vizsgálatok nem adtak volna megbízható karbon tartalom értékeket, valamennyi mintán - mérésre alkalmas, tehát nem pórusos felületeken, amelynek megkeresése a gázüregekkel teli felszínen nem volt könnyű feladat - szikragerjesztésű optikai emissziós spektrométerrel (OES) C-tartalmat mérettünk. A

tanulmányban valamennyi EDS és OES módszerrel mért koncentráció érték tömegszázalékban értendő.

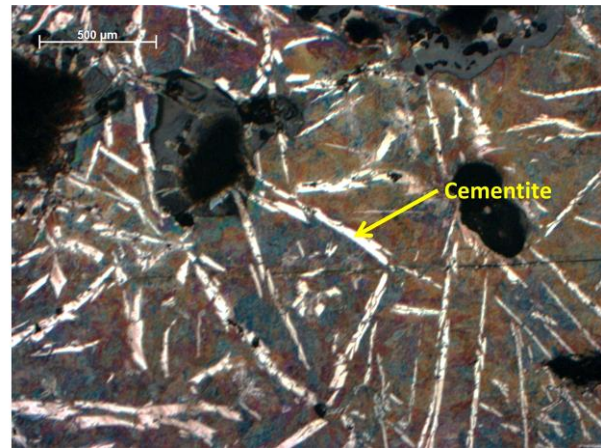
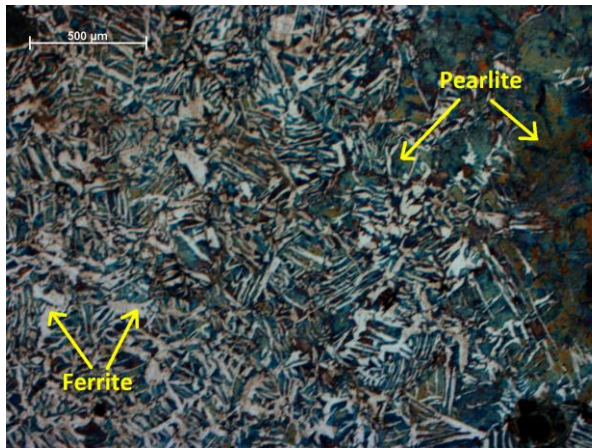
Az 1971.106.21. számú vasbuca vizsgálati eredményeinek speciális és alapvető megállapításait feltétlenül össze akartuk vetni egy másik bucából vett minta legalább jelzés értékű vizsgálatának eredményével. Ezért az 1971.106.22. számú vasbuca (B2) sarkából levágtunk egy kis darabot, amit a másik buca darabjainál is alkalmazott minta előkészítési procedura után az említett optikai mikroszkóppal vizsgáltuk meg.

## Vizsgálati eredmények, megállapítások

### Az 1971.106.21. számú vasbuca mintáinak vizsgálati eredményei

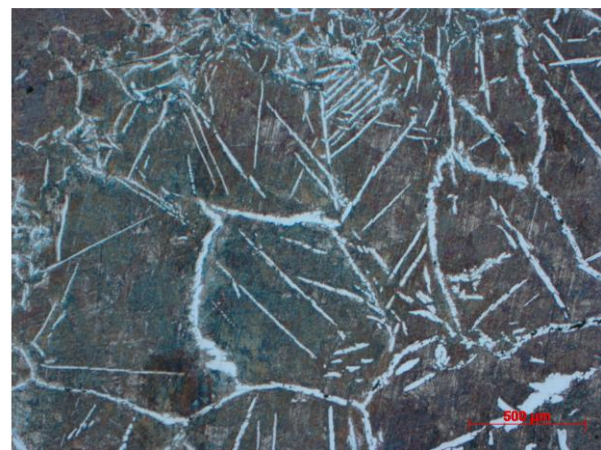
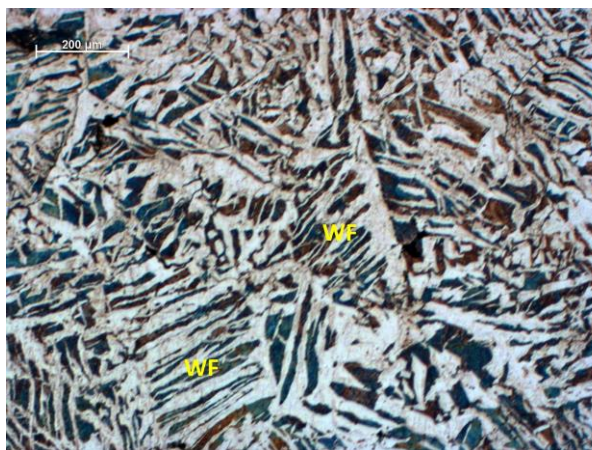
#### 1. minta

Az 1. minta szerkezete alapvetően inhomogén, zömében ferrit-perlites szövetből épül fel (**3. ábra**), egyaránt megtalálhatók a csaknem teljesen perlites, illetve ferrites térfogatrészek is. Az alakított, tömörített, esetleg már kovácsolt tárgyak esetében rendszerint tapasztalható deformált szemcse-szerkezet nem fedezhető fel, még a csaknem teljesen ferrites területen sem. Mindez, illetve a jelentős méretű gázüreges és a nagyszámú, kisméretű, gömbszerű pórusok is arra utaltak, hogy a buca nem esett át tömörítésen, képlékeny alakításon. A perlites területeken csak nagyon minimális mennyiségű ferritet találtunk. Mivel a perlit csak a magas hőmérsékleten stabil ausztenitből alakul ki eutektoidos folyamatban, más módon nem, ez arra utal, hogy a vasbuca sokáig relatíve magas hőmérsékleten volt. A ferrit-perlites területekre ún. Widmanstätten-ferrites szerkezet volt jellemző. Ezt a szerkezetet az ausztenites átalakulásakor a perlites szemcsék határán keletkező ferritháló, illetve az ausztenit szemcsék belseje felé nőtt ferrit-tűk jelzik (**4. ábra**). Ezek alapján is arra lehetett következtetni, hogy az anyag sokáig volt magas hőmérsékleten – huzamosabb ideig tartózkodott ausztenites mezőben, azaz 912°C-tól, de inkább 950°C-tól is nagyobb volt a buca hőmérséklete – és szabad levegős hűléssel, vagy esetleg attól csak kicsivel gyorsabb sebességgel hűlt le. A metszetben zárvány nem volt található. A teljesen perlites szerkezetben szekunder cementit fedeztünk fel, de csak kis mennyiségben (**3. ábra**, jobb oldali kép). Itt a vas-karbid megjelenésére is a Widmanstätten-jelleg jellemző. A mikroszkópi felvételek alapján a minta inhomogén eloszlású karbon tartalmát 0,20 és 0,85% közötti értékekre, átlagosan 0,60%-osra lehetett becsülni. Optikai emissziós spektrométerrel (OES) 0,35 és 0,42%-os C-tartalmakat lehetett detektálni.



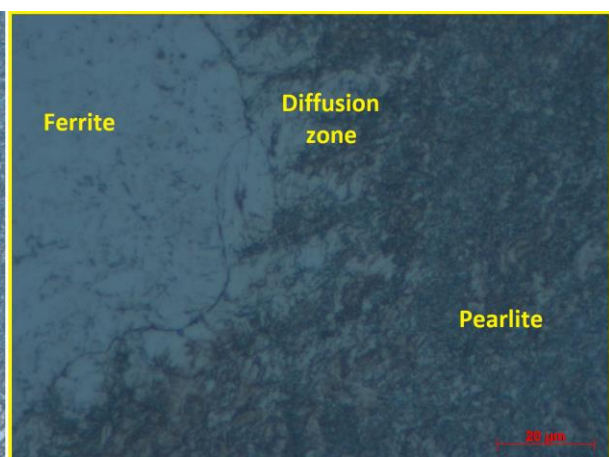
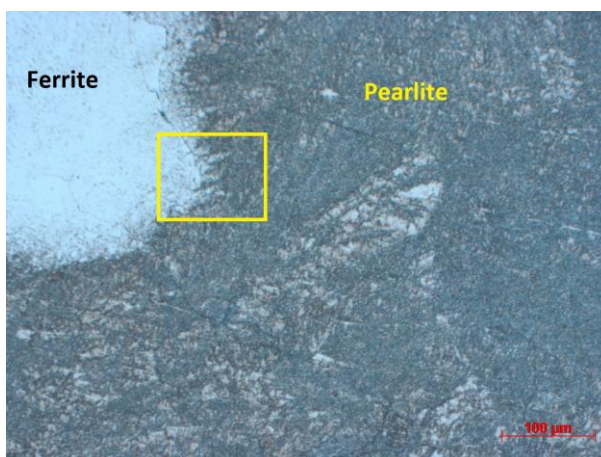
**3. ábra:** Az 1. minta jellemző mikroszerkezetei, ferrit-perlites szerkezet (balra) és szekunder cementit perlites szerkezetben (jobbra).

**Fig. 3.:** The structure of sample 1. with ferritic-pearlitic microstructure (left) and secondary cementite in pearlitic structure (right).



**4. ábra:** Az 1. mintában talált Widmanstätten-típusú ferrit (az ábrán WF jelzéssel).

**Fig. 4.:** Widmanstätten-type ferrite in sample 1. (WF notation)



**5. ábra:** A 2. minta jellemző szövetszerkezete: ferrit-globulitok és környezetük.

**Fig. 5.:** The structure of sample 2: ferrite globulites and the surrounding area.



**6. ábra:** A 2. mintában látható cementit-perlites, finomszerkezetű globulit.

**Fig. 6.:** The cementite-pearlite structure in sample 2. with fine globulites

## 2. minta

A 2. minta átlagos karbon tartalma sokkal nagyobb volt, mint az 1. mintáé. Egy pórusmentes felületen végrehajtott OES mérés 2,56%-os C-tartalom értéket adott. A minta jellemző mikroszkópi képein 1. mintához képest sokkal nagyobb arányban találtunk perlitet, mégpedig nagyon finom szerkezettel. A perlites területben apró szemcsés tiszta ferrites térfogatok záródtak be. Az **5. ábrán** jól látható az a határ, ami elválasztja egymástól az egyes részeket – ez tapasztalható volt az 1. minta esetében is – azaz a ferrit-globulit és a perlit más-más direkt redukációs folyamat következménye. Erre utal az is, hogy a feltételezett magas hőmérséklet ellenére a diffúziós zóna kiterjedése a ferrit-globulitok körül vékony (**5. ábra** jobboldali nagyítása). Ez azt mutatja, hogy a karbon diffúzió a perlites területből csak akkor indult meg, amikor a szemcsék szinterelődtek. A ferrites terület auszteniteseési hőmérséklete jóval magasabb, mint perlitesé. Emiatt az ausztenit karbon koncentrációjának kiegyenlítésére nem állt azonos idő rendelkezésre, ezért maradhatott így fent ez a fajta heterogén szerkezet. A ferrit-globulitok jelenléte nem volt általános a bucában, csak bizonyos mintákban lelhetők fel, kevés helyen, ebben a mintában viszont kiemelkedő számban fordultak elő. A globulit szemcse szerkezete arra utalt, hogy a karbon a globulit szinte teljes térfogatába bediffundált vélhetően kohósítás során, ez eredményezte apró szemcsés jellegét is.

Ebben a mintában is találtunk cementit-perlites szövetet, amely a vizsgált bucaszelet teljes egészére jellemző volt. A 2. mintában az 1. mintához képest nagyobb perlithányadot lehetett találni, azonban itt is jellemző az ausztenit-szemcsehatáron keletkező cementitre a Widmanstätten-jelleg. A mintában megjelent egy, a vizsgált bucaszelet szinte

valamennyi mintájában több helyen, elsősorban megjelenő, ugyancsak általánosan jellemzőnek nevezhető szövetszerkezet: globulitokban kialakuló, finom cementit-perlit, illetve szögletes, szinte síklapokkal határolt cementit a perlitben (**6. ábra**). Ez a szövetszerkezet nem jellemző a kovácsolt vasanyagok mikroszerkezetére. Kialakulásának kinetikája jövőbeni kutatás tárgya lehet. A sok perlitet tartalmazó területeken kis mennyiségben, szekunder cementit formában is megtalálható a vas-karbid, viszont erre a mintára ez a megjelenési forma nem mondható jellemzőnek. A szekunder cementit ugyancsak az ausztenit hűlésekor alakult ki. Az alapszövetéhez képest sokkal nagyobb volt a karbon tartalma, ezért kialakulásakor a karbont környezetéből elvonja, így jelenhetett meg mellette a ferrit az ilyen jellegű a területeken.

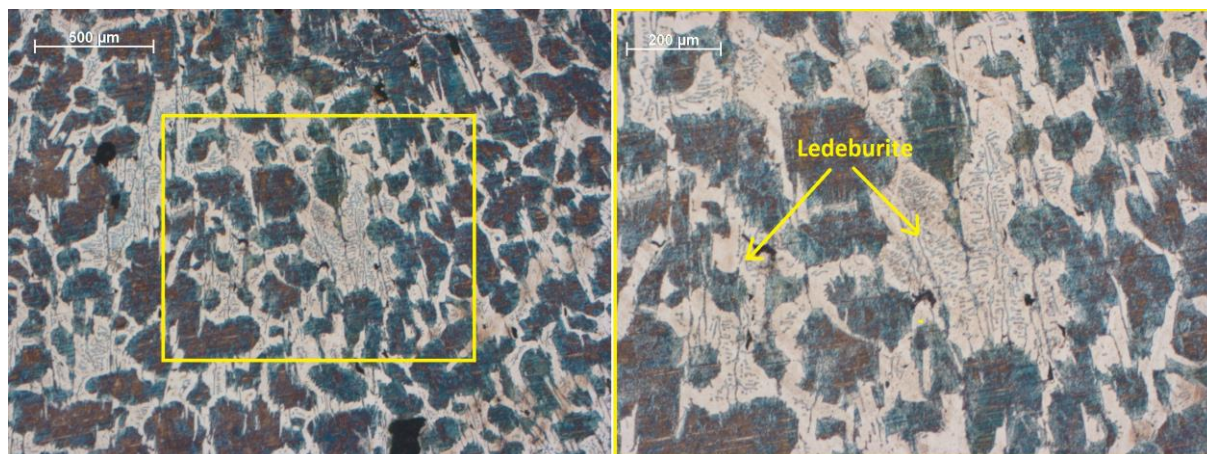
A perlit rendkívüli finomsága miatt indokolt SEM-EDS vizsgálat kimutatta, hogy a perlit lemezes jellegét néhol már közel szemcsés jelleg váltja fel. Ezt a finom perlites szerkezetet a nagy karbon tartalom és az említett Widmanstätten-szerkezetet létrehozó, relatíve gyors lehűlés okozta.

## 3. minta

A 3. minta mikroszerkezete nagyrészt szintén a vizsgált bucaszeletre általánosan jellemző cementit-perlites szövetszerkezetből állt. Azonban megjelent a bucában a ledeburit (ausztenit és cementit 4,3% C-tartalmú, metastabil eutektikuma, tkp. cementitbe ágyazott ausztenit kristályok, 2,06%-nál nagyobb C-tartalmú vasötvözetekben) is (**7. ábra**). A ledeburitra jellemző, hogy olvadákból kristályosodással keletkezik, ha a buca hőmérséklete tartósan 1147°C fölött volt. Természetesen a kialakuláshoz szükséges volt az is, hogy a fázisok és szövetelemek olyan koncentrációban és arányban legyenek jelen, hogy a lokális megolvadás megtörténhessen. A ledeburit és a környezetében lévő cementit háló rideg, kovácsolhatatlan anyagot eredményezett. A bucaszelet egészére azért ez nem volt általánosan jellemző, kiterjedt területen is csak egy mintában volt (10.) azonosítható a ledeburit. Az OES vizsgálat a 3. minta esetében 2,06% karbon tartalmat mért.

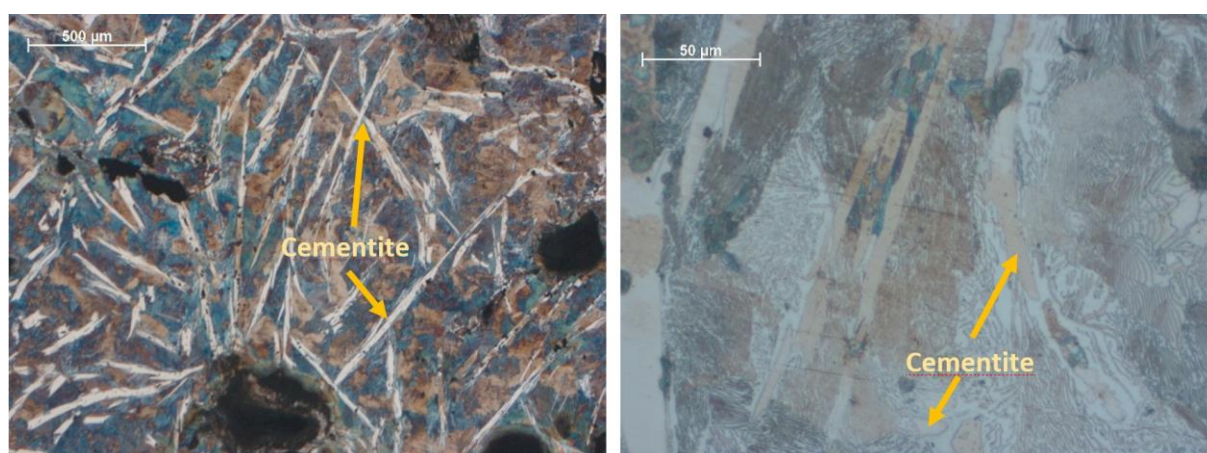
## 4. minta

A minta nagy részére szintén a kevés cementitet tartalmazó perlites szövet a jellemző. A 3. mintával közös határvonalhoz közel, kevés mennyiségben ebben a mintában is találtunk ledeburitot, a korábban tárgyalt, jellemző szövetszerkezetben. A nagy karbon tartalmú területen nagyméretű, vékony cementit lapok is képződtek (**8. ábra**), és itt is megfigyelhető ferrit a cementit lapok körül. OES vizsgálatokkal a mintán 2,37 és 3,31% közötti, tehát extrém magas karbon tartalmakat lehetett mérni a szokásos bucavas összetételekhez képest.



**7. ábra:** A 3. mintában talált ledeburitos szerkezet

**Fig. 7.:** Ledeburite found in sample 3.



**8. ábra:** A 4. minta nagy karbon tartalmú perlites területe, ahol megjelenik a szekunder cementit körül a ferrit

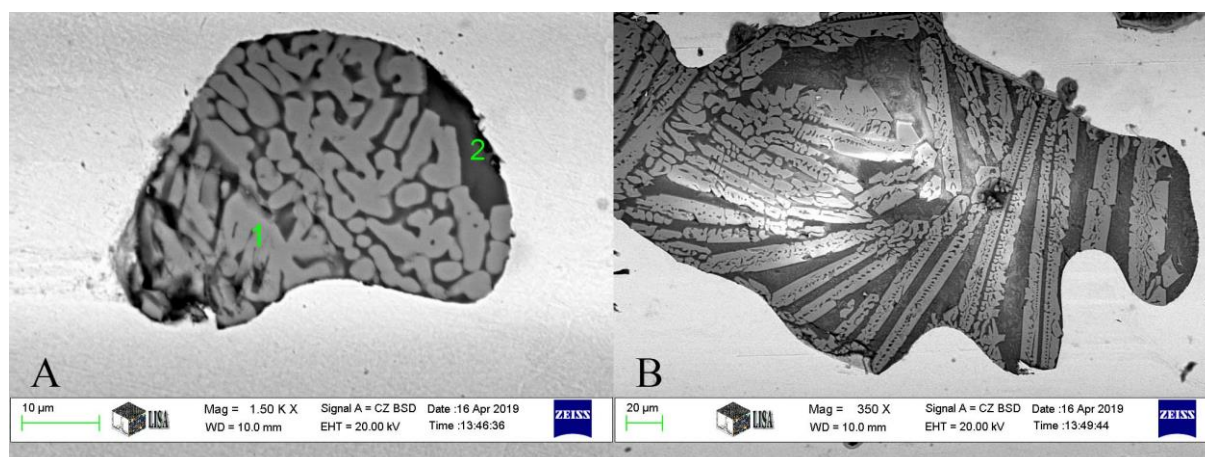
**Fig. 8.:** The high carbon content pearlite area of sample 4. where the ferrite appears around the secondary cementite

Csak ebben a mintában találtunk salakzárványt. Egyes zárvány optikai mikroszkópon látható dendrites jellege miatt SEM-EDS vizsgálat volt indokolt. A zárványok csak a relatív kis karbon tartalmú, ferrites területekben voltak megtalálhatók, a nagyobb méretű gázbezáródások, pórusok határán, illetve közvetlen közelében.

A 4. mintában talált kisméretű zárványok alapvetően vas-szilikát jellegűek és minden bizonnyal még a kohósítás során keletkeztek, illetve annak technológiai örökségeként záródtak a fémbe. A visszaszórt elektronokkal készült, rendszám érzékeny SEM-képeken azok a területek, ahol főként nagyobb rendszámú elemek (pl. vas) találhatók világosabbak, a relatív kisebb rendszámúaké (pl. alumínium, szilícium) sötétebbek. „Agyvelőhöz” hasonló formációban található, dendritszerűen megszilárdult vas-oxidos, vas-szilikátos részek figyelhetők meg a **9/A ábrán**, körülveve komplex Ca-Al-Fe-szilikát hálózattal,

amely a 2 pontban lett elemézve. Tisztán vas-oxidos (FeO) részek, wüstit dendritok nem voltak jellemzők egyik zárványra sem. Pedig korábbi vizsgálataink, illetve szakirodalmi példák szerint ezek ferrites vas zárványaiban rendszerint előfordulnak (Török et al. 2018; Buchwald 2015).

A **9/B ábrán** lévő SEM-képen jellegzetes szerkezetet lehet megfigyelni; hosszú, világosszürke vas-szilikát lécek (véltetően fayalit –  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$  – illetve az EDS átlagösszetételének relatív nagy mangántartalma miatt Mn-tartalmú fayalit, bár ásványi összetétel elemzés nem készült) láthatóak, közepén jellemző mintával, hálószerűen körbevéve nagy Ca- és Al-tartalmú, valószínűleg piroxén területekkel. Hasonló jellegű SEM-képpel többször is találkoztunk korábbi vizsgálati projektjeink során, amikor kora középkori buca kemence ún. folyósalakját vizsgáltuk. Ez a jellegzetes szerkezet a szakirodalomban többször is megjelenik (Buchwald 2005; Török et al. 2017).



**9. ábra:** A 4. mintában talált zárványokról készült SEM-BSE felvételek. Az A kép Az 1-es pontjában mért kémiai összetétel (tömegszázalékban): O: 27.33; Mg: 0.86; Al: 0.50; Si: 16.92; P: 0.25; K: 0.22; Ca: 1.20; Ti: 0.21; Mn: 8.02; Fe: 44.48. A 2-es pontban mért kémiai összetétel (tömegszázalékban): O: 20.89; Mg: 0.19; Al: 13.61; Si: 25.81; P: 1.72; K: 5.13; Ca: 11.33; Ti: 0.97; Mn: 2.34; Fe: 18.01. A B képen látható zárványon mért átlagos kémiai összetétele (tömegszázalékban): O: 34.83; Mg: 0.90; Al: 3.37; Si: 21.51; P: 0.42; S: 0.20; K: 1.72; Ca: 2.92; Ti: 0.29; Mn: 6.42; Fe: 27.42.

**Fig. 9.:** SEM-BSE images of slag inclusions found in sample 4. The chemical composition of point 1 in the image A (in wt%): O: 27.33; Mg: 0.86; Al: 0.50; Si: 16.92; P: 0.25; K: 0.22; Ca: 1.20; Ti: 0.21; Mn: 8.02; Fe: 44.48. The chemical composition of point 2 in the image A (in wt%): O: 20.89; Mg: 0.19; Al: 13.61; Si: 25.81; P: 1.72; K: 5.13; Ca: 11.33; Ti: 0.97; Mn: 2.34; Fe: 18.01.

The average chemical composition of slag inclusion in the image B (in wt%): O: 34.83; Mg: 0.90; Al: 3.37; Si: 21.51; P: 0.42; S: 0.20; K: 1.72; Ca: 2.92; Ti: 0.29; Mn: 6.42; Fe: 27.42.

A zárványokban alacsony foszfortartalmakat lehetett mérni, a vasban pedig egyáltalán nem volt említésre méltó foszfor, ami arra utal, hogy ez az egyébként a vas nagyobb keménységét, de egyben meleg törékenységét és rosszabb kovácshégeszthetőségét okozó elem mennyisége nem volt mérvado a vasércben.

### 5. minta

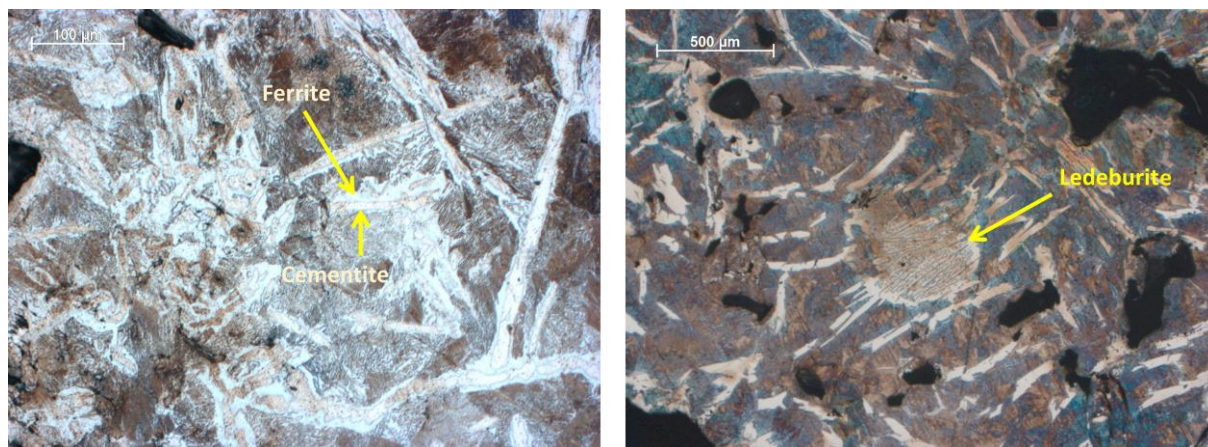
Az 5. mintában szintén a bucára jellemző cementit-perlites mikroszerkezet dominált. Nagyon kis mennyiségben ledeburit is megjelent, de a minta szerkezetére nem jellemző, csak lokálisan volt fellelhető. A buca ezen területén viszont markánsan megjelent a ferrittel körbevett szekunder cementit (**10. ábra**). Az, hogy éppen melyik módosulat látható a mikroszerkezetben, a lokális karbonkoncentrációtól függ. Relatív kisebb karbon tartalom mellett alakulhatott ki a ferrit, annak hatására, hogy a megjelenő cementit táblák megjelenése és növekedése elvonja környezetéből a kARBONT. Egy OES vizsgálat 2,39% karbon tartalmat állapított meg a minta mérésre alkalmas felületrészletén.

### 6. minta

Ez esetben szintén a már szokásos cementit-perlites mikroszerkezetet lehetett megfigyelni. Nagyobb területen vastagabb cementit lapok kisebb területen vékony, néhol Widmanstätten-jellegű cementit volt jellemző. A minta felületén végzett OES vizsgálattal 3,09% karbon tartalmat lehetett mérni, ami a legtöbb mintához hasonlóan igen magas érték.

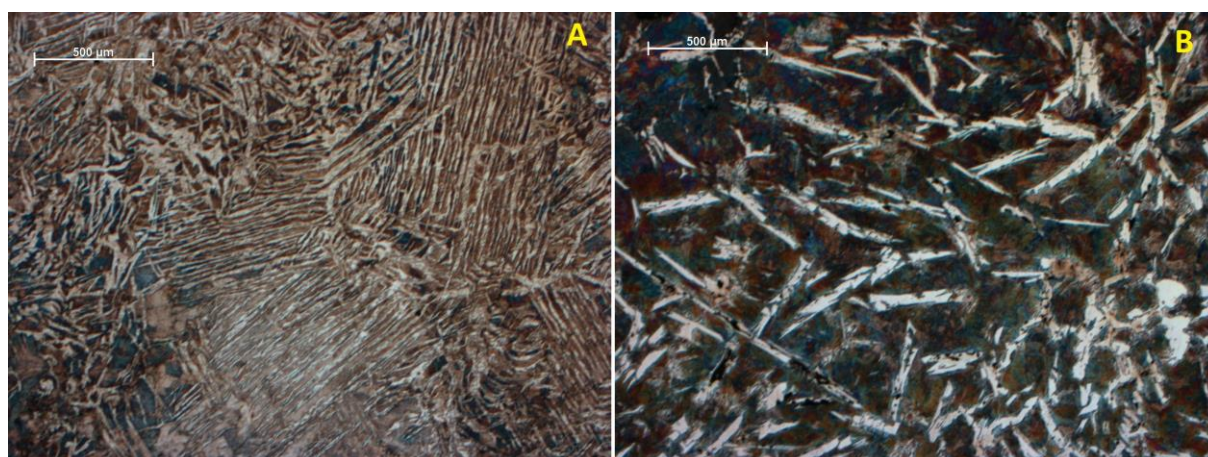
### 7. minta

A 7. minta – akárcsak az 1. minta – rendkívül heterogén szerkezetű volt. Ferrit-perlites terület (**11/A. ábra**) figyelhető meg cementit-perlites szövetszerkezetű részek (**11/B ábra**) mellett. Ebben az esetben is, úgy, mint az 1. mintában, a ferrit-perlites terület egybefüggően, egy nagyobb területen jelentkezett. A ferrit a minta csaknem a teljes vizsgált területén Widmanstätten-jellegű. A mintának a legtöbb vizsgált minta karbon tartalmához képest alacsonyabb értékét az optikai emissziós spektrométer mérései is igazolták; több kivitelezhető mérési ponton a karbon tartalom 0,60 és 1,06% közötti értéken volt detektálható, amely az 1. minta után a második legalacsonyabb C-tartalom értékeket jelenti.



**10. ábra:** Ferrittel körbevett szekunder cementit az 5. mintában

**Fig. 10.:** Secondary cementite surrounded by ferrite in the sample 5.



**11. ábra:** A 7. mintában található ferrit-perlites (A) és cementit-perlites (B) terület jellemző szerkezete

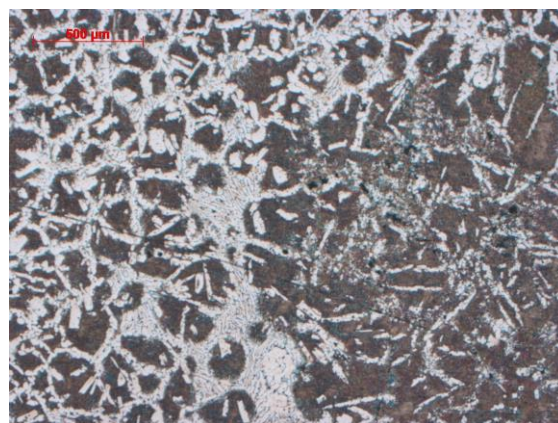
**Fig. 11.:** The characteristic ferrite-pearlite (A) and cementite-pearlite (B) structure of sample 7.

## 8. minta

A 8. minta szövetszerkezetére a legtöbb vizsgált minta esetében tapasztaltól kevesebb cementit volt jellemző, vékony, lemezes jellegű megjelenéssel. Ez a vizsgált terület kisebb karbon tartalmának eredménye, illetve emiatt szinte a teljes területen találtunk ferritet a cementit mellett. A minta felületén a pórusok miatt nem volt olyan részlet, ahol hiteles eredményt produkáló OES mérést lehetett végezni.

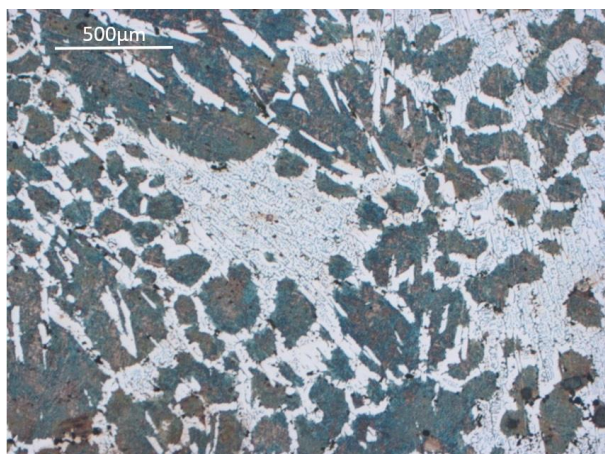
## 9. minta

A 9. minta szerkezetére a fentiekben rendszeresen említett cementit-perlites szövet volt jellemző. Azonban a minta néhány vizsgált részén apró szemcsés cementitet találtunk. A **12. ábrán** jól látható, hogy ezek a vegyülefázis szemcsék apró perlit szemcséket zárnak közre és ledeburithoz nagyon hasonló szerkezet alakul ki.



**12. ábra:** A 9. minta szemcsés cementit területei, amelyek néhol perlit szemcséket is magukba zártak

**Fig. 12.:** The structure of sample 9 with cementite grains enclosing smaller pearlite grains



**13. ábra:** A 10. mintában található ledeburitos terület  
**Fig. 13.:** The ledeburite area of sample 10

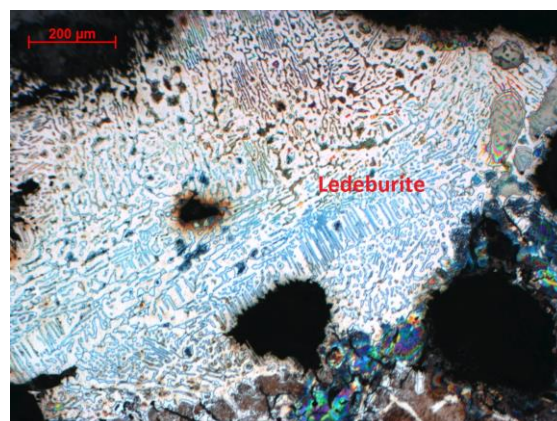
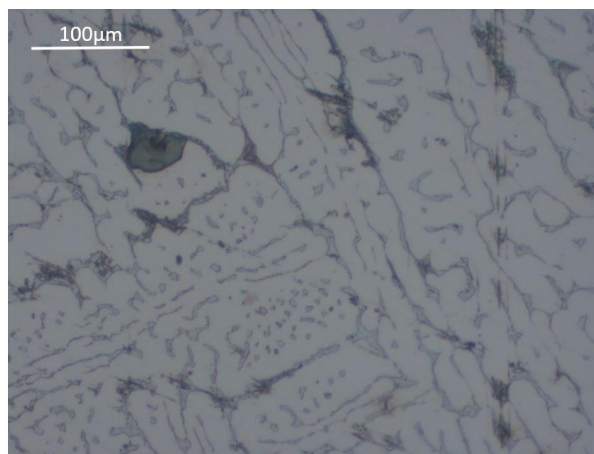
Amennyiben a cementit fázisok és a közre zárt perlit szemcsék aránya megegyezik az eutektikus fázisaránnyal, akkor az ilyen típusú területek megolvadnak 1147°C feletti hőmérsékleten. Ha az arány eltér, akkor az olvadék állapothoz akár sokkal nagyobb hőmérséklet is szükséges volt. Ez az oka, hogy ilyen típusú fázist is találtunk a vizsgált buca szeletben az adott mintákban bemutatott ledeburit mellett. A minta OES vizsgálata 2,62% karbon tartalmat detektált.

#### 10. minta

A 10. mintára is a bemutatott általános cementit-perlites szövetszerkezet volt jellemző. Ebben a mintában találtunk a legnagyobb mennyiségben ledeburitot (**13. ábra**), amely itt viszont egységes, nagyobb területeket alkot, és nem a mintában elszórva találhatók kisebb ledeburit-formációk. A ledeburit képződése ott figyelhető meg, ahol a cementit nagy területre terjed ki, amely szintén alátámasztotta a 9. mintánál említett kialakulási formát. A minta OES vizsgálata alkalmával a buca valamennyi mérése között a legnagyobb, 3,24%-os karbon tartalom volt mérhető.

#### Az 1971.106.22. vasbucából kivágott minta vizsgálati eredménye

Mivel az 1971.106.21. leltári számú buca (B1) karbon tartalmat, szövetszerkezetet és zárványsűrűséget tekintve teljesen atípusos eredményeket hozott, mindenképpen indokolt volt egy másik vasbucából (ltsz. 1971.106.22., B2) is mintát venni. A minta jellemző szövetszerkezetét a **14. ábra** mutatja. Az 1971.106.21. számú bucánál általánosnak bemutatott cementit-perlites szövetszerkezet alapján véve ebben a mintában is megtaláltuk. Ami különlegessé tette a mintát, az a nagy kiterjedésű ledeburit és a cementit-perlites területben található kis mennyiségű grafit.



**14. ábra:** 1971.106.22 leltári számú vasbucából kivágott minta optikai mikroszkópos felvétele

**Fig. 14.:** Optical microscopy image of sample cut from iron bloom No. 1971.106.22

A grafit kristályos elemi karbon vagy bomlástermék, alapvetően az öntöttvasaknál van jelentősége, tehát nem igazán illeszkedik a „klasszikus” buca eljárásba. A vas szakítószilárdságát rontja, csak akkor stabilizálódhat a rendszerben, ha priméren vagy eutektikus folyamatban ausztenittel együtt olvadék állapotból kristályosodik.

Ebben a mintában a cementit szemcsék jelenléte ugyanannak a folyamatnak az eredménye, mint a másik vasbucá (B1) mintái esetében. Azonban a nagy kiterjedésű ledeburit és a grafit jelenléte a bemutatott, alapvetően jellemző szövetszerkezet mellett arra utalt, hogy a redukció során helyileg megjelent az olvadékfázis, illetve egy semi-solid állapotban végbemenő reakció feltételezhető. A reakció kinetikájának pontos leírása további vizsgálatok célja lehet.



**15. ábra:** Az „A” jelű kovácsolt minta mikroszerkezetéről készült mozaik felvétel

**Fig. 15.:** Mosaic image of the microstructure of forged sample „A”

Az értékelésnél mindenképp figyelembe kellett venni, hogy a mintát a buca sarkából, felületének közeléből választottuk le, és ez a rész jobban ki volt téve a magas hőmérsékletnek és a faszén karbonjának.

### *A kovácsolási próbák eredményei*

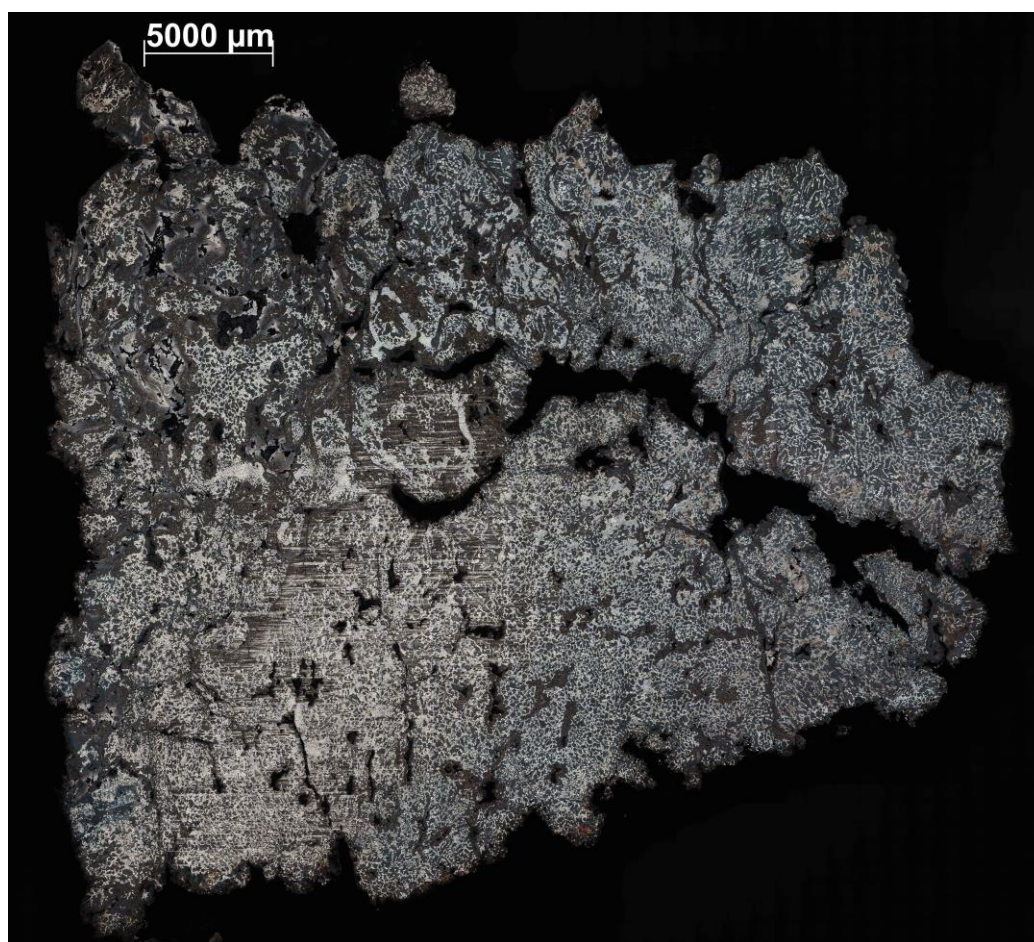
Az **2. ábrán** látható vasbucsa szelet azon részéből, amelyik megmaradt a tíz említett minta kivágása után, három, kovácspróbára alkalmas részletet választottunk le (A, B és C minták). A minták elkészítésénél a minimális szélességet 20 mm-ben határoztuk meg. A minták hosszára a lehető legnagyobb méretet választottuk, hogy a minta manipulációja biztonságos legyen. A mintákat 900°C-ra hevítettük villamos fűtésű kemencében. Hevítés után 30 percet hagytunk a minták átmelegedésére. A kovácsoláshoz Beche gyártmányú légkalapácsot használtunk. A medve tömege 75 kg, a maximális ütési energia 1090 Nm volt. A kalapács maximális lökete 350 mm, másodpercenként 200 ütésre képes. Ezzel a berendezéssel nagyon jól lehetett szimulálni a kalapáccsal végzett szabadalakító kovácsolást, azonban a levegő nyomásának szabályozásával az alkalmazott erő állandó értéken tudtuk tartani. A légkalapáccsal a mintákat folyamatosan ütöttük a minta vastagságának harmadáig (~3 mm) vagy amíg az el nem tört. Az első néhány ütésben csak kis alakítást végeztünk, az esetleges törést vizsgáltuk. Ha a minta nem tört az első kismértékű alakításoknál, akkor teljes energiával alakítottuk tovább azt. Minden egyes kovácsolt mintából, az ütés irányára merőlegesen, kisebb darabot fűrészeltünk ki metallográfiai vizsgálatra. A vizsgálatokat ugyanolyan minta-előkészítéssel, módszerekkel és berendezésekkel végeztük el, mint a bucából vett szeletek esetén tettük.

Az „A” minta bírta a kis mértékű alakításokat, majd a nagy erejű ütések során közel 3 mm vastagságnál tört el. Nagy zárványokat találtunk a mikroszerkezetben, amelyek mentén az anyag fel is

repedt. Nemcsak a zárványok, hanem a mikroszerkezeti elemek is kirajzolták a folyási vonalakat. Ez annak köszönhető, hogy az egyes területek nem ugyanazon mértékben alakíthatók. A több karbidot tartalmazó térfogatok erősebben keményednek. A szerkezetben dominált a karbidos-perlites térfogat. Zömében egyedülálló karbidok és kisebb csoportok alkották ezt a térfogatot. Ez a kép alsó és felső sávjában található. A szelvény középső sávjában zömében tisztán perlites mikroszerkezetet látunk, amiben néhol, főleg a zárványok közelében kis mennyiségű ferrit is látható. Emiatt volt ennek a területnek az alakváltozása nagyobb. A repedések részben a zárványok, részben a két különböző térfogat alakváltozási különbsége miatt alakultak ki, ami végül a darab töréséhez vezetett. (**15. ábra**).

A „B” minta megfelelően alakítható volt. Ebben a mintában a karbid-perlites térfogat dominált, de túlnyomórészt perlitet tartalmazott. A felvételen jól látható, hogy a kevesebb karbidot tartalmazó szövet jobban alakítható. A mikroszerkezetben itt is látható a felrepedezés, ami ugyancsak zárványok és nagy alakváltozási különbségek miatt alakultak ki. Ebben a mintában is megfigyelhető az említett ferriháló kialakulása. Maga a mikroszerkezet emiatt a kialakult ferriháló miatt jobban alakíthatóvá vált ugyan, azonban a felrepedezett mikroszerkezet kérdésessé teszi a kovácsolt anyag felhasználhatóságát.

A „C” minta az első néhány, kis erejű ütés során darabjaira tört. A kovácsolt mintákból mintát fűrészeltünk metallográfiai vizsgálatra. A teljes mintáról mozaikfelvételeket készítettünk, hogy mind a szövetelemek jellegzetessége, mind az eloszlásuk jól látható legyen. A „C” mintában a karbid fázis dominál (**16. ábra**). Csak kis mennyiségű egybefüggő perlites terület találtunk. A karbidos területben hiába alakult ki az említett kismértékű ferriháló, a zömében karbidos fém alakíthatatlan maradt. Ebből kifolyólag az első alakításoknál el is tört a minta.



**16. ábra:** A „C” jelű kovácsolt minta mikroszerkezetéről készült mozaikfelvétel

**Fig. 16.:** Mosaic image of the microstructure of forged sample „C”

A kovácsolási eredményeket tekintve megállapítottuk, hogy azok a minták is, amelyeket alakítani tudtunk, a kovácsolás során felrepedtek, annak ellenére, hogy nem törtek. A legkisebb karbidmennyiségű minta közepesen volt kovácsolható, amíg a másik két minta nem vagy nehezen. A buca mikroszerkezetének részletes vizsgálatát is figyelembe véve megállapítottuk, hogy a bucavas, mint alapanyag vagy egyáltalán nem, vagy nehezen alakítható, de semmiképp nem tekinthető jól felhasználható alapanyagának.

### **Konklúzió**

Az 1971/106/21 leltári számú vasbucából levágott, mintegy 10 mm vastag szeletből tíz darab mintát vágunk ki, és azok mikroszerkezetét vizsgáljuk. Megállapítottuk, hogy a buca általános mikroszerkezete alapvetően cementitből és perlitből áll. A nagy vizsgált felület ellenére csak egy mintában találtunk zárványokat, azokat is szinte teljesen ferrites területekben, pórusok mellett. A bucaszelet szerkezete heterogén, két mintában találtunk ferrit-perlites kiterjedt területet (1. és 7. minta) relatíve alacsonyabb karbon tartalommal. A többi területen a karbon tartalom lényegesen nem tért el a buca-

szelet egésze szempontjából átlagostól, amely viszont a vaskori, római kori és kora középkori vasbucák ismert karbon tartalmaihoz képest nagyon nagyinak mondható (2,5–3%).

A karbon tartalmat optikai emissziós spektrométerrel meghatározni nem volt könnyű feladat, mivel a csiszolatok felszíne gyakorlatilag be volt borítva pórusokkal, üregekkel, ami a szikra- vagy plazmagerjesztést ellehetetleníti, vagy legalábbis megnehezíti. Mindazonáltal a rendszeresen 2% feletti érték igen magas, mondhatni extrém magas karbon tartalmat jelzett. Az említett, általunk vizsgált, salakzárványokban dús, korai középkori 9–10 kg-os bucák karbon tartalma 0,4–0,6% körüli, a próbaolvasztásainkon kohósított 1–2 kg-os vasbucák általában 0,1–0,4% karbon tartalmúak és csak ritkán haladták meg lokálisan a 0,6%-os karbont. A késő vaskori bucák esetében általában a minimálistól 0,7–0,8%-ig terjedő, esetenként 1,2–1,5%-os, a kevés megtalált római kori vasbucák esetében pedig 0,6–0,7%-os karbon tartalmat mutattak ki (Pleiner 2000).

Többnyire vastag, síklapokkal határolt cementitet találtunk a perlit mellet, azonban ahol a karbon

tartalom kisebb, ott vékony cementit lemezek alakultak ki. A ferrit minden esetben, illetve számos mintában a cementit is mutatott Widmanstättén-jelleget. Ez az ausztenit relatíve gyors hűléséből fakad, és arra utal, hogy a buca magas hőmérsékletéről hűlt.

Egyes mintákban ledeburit volt található (cementit és ausztenit eutektikuma), amely csak olvadákból kristályosodik. Az olvadás ténye az egyes mintákon jól kivehető volt. Ahhoz, hogy az eutektikus összetételű terület megolvadjon, a buca hőmérséklete el kellett, hogy érje az 1147°C-ot. Ezt a hőmérsékleti tartományt más jelek is alátámasztották. Az apró szemcsés cementit – ami a lokális megolvadásokért is felelős – kialakulásának teljes kinetikája egyelőre nem tisztázott. Feltételezett keletkezési kinetika szerint magas hőmérsékleten ausztenit szemcsék képződtek a redukció során, amelyek a környezetükből elkezdtek felvenni diffúzió útján a karbon. Amikor az ausztenit telítődik (~2% karbon tartalomnál), akkor a határán megkezdődik a cementit képződése és növekedése. A cementit – mint magas olvadáspontú vegyület – növekedése kristálytani síkokhoz kötött, ezért látjuk a metszeteken a nagy cementit szögletes szemcséit és lapjait. Ez a kötött növekedés az oka annak, hogy egyes cementit lapok akár több ausztenit szemcsét is átérnek/átnőnek. A képződő cementit mérete, mennyisége erősen függ a karbon mennyiségétől és diffúziós útjától. Emiatt láthattunk a nagy lapok mellett csoportosult apró cementit szemcséket is.

A szekunder cementit képződése a telített ausztenitből, a cementit nukleációja miatt kinetikailag gátolt, így ahol a redukciós folyamat során a fent leírt módon cementit képződött, ott a lehűlés miatt főléssé vált karbon a meglévő cementit lapokat, szemcséket növesztette, ezzel módosítva kissé a morfológiát is (lekerekedett, tagolt szemcsék/lapok keletkeztek). Azokon a részekon, ahol azonban kevés cementit képződött ilyen módon, vagy távol estek a karbon diffúziójához, ott szekunder karbid keletkezett. Az ausztenit szemcse telítettségének függvényében keletkezhet vagy nem keletkezhet ferrit réteg a szekunder cementit körül.

Ezáltal jelenleg két karbidképződési folyamatot azonosítottunk a mikroszkópi vizsgálat során, amelyből az első módozat képződési kinetikája a szakirodalomban tudásunk szerint még nem publikált. Az archeometriai-archeometallurgiai vizsgálatok alapján az alábbi technológiai következtetéseket vontuk le:

Az igen nagy tömegű, vizsgált vaskbucák metallurgiai folyamat, kohósítás termékei, megtalált formájukban egy darabban keletkeztek és nem szenvedtek el utólagos alakítást, tömörítést. Teljes

keresztmetszetükben jelentős számú gáz pórus, üreg tapasztalható.

A vaskori, római kori, de a középkori vaskbucákhoz képest is nagyon magas karbon tartalmuk van, viszont ötvözt, szennyezt (pl. foszfor) nem tartalmaztak, és salakzárványt is csak alig.

A szövetszerkezete alapján az alapanyagot huzamosabb ideig 1150–1200°C körüli hőmérsékleten kohósították, majd relatíve gyorsan, de nem edzésnek megfelelő gyorsasággal hűlt.

Az eljárás technológiáját illetően elméletileg ugyan elképzelhető primer kohósítással nagy karbon tartalmú vas előállítás buca kemencében (Wrona 2013), viszont ebben az esetben – figyelembe véve a korabeli buca eljárásra jellemző 15–20%-os hatékonyságú vaskihozatalt és a fenékpusztai bucák egyenként 60 kg körüli tömegét – igen nagy tömegű, több száz kg érc egyszeri kohósítására volt szükség, ráadásul huzamosan relatíve magas hőmérsékleten és hosszú időn keresztül, hogy ilyen extrém magas átlagos karbon tartalmú primer terméket eredményezzen, nem beszélve a salakszennyezőktől szinte teljesen mentes anyagszerkezetről.

Elképzelhető viszont, hogy korábban készült vaskbucákat, azok darabjait, maradékait kohósították újra, így a kiinduló anyag gyakorlatilag már fémes, vagy nagyrészt fémes is lehetett. Ez a technológia indokolhatja a szokatlanul nagy karbon tartalmat, ráadásul magyarázat lehet az igen kisszámú salakzárványra is, és természetesen ez az eljárás így relatíve kisebb térfogatú adagvezetéssel, kevesebb salakkal járna, mint a pusztán ércalapú.

Mindenesetre valószínűleg egy mennyiség növelésére irányuló, innovatív törekvéstről lehet szó a technológiát illetően. Faszenet és – a bucák méretéből adódóan – feltehetően időt nem sajnálva minél több alapanyagot akartak nyerni a kemencéből, de ez a minőség rovására ment. Eredményként olyan magas karbon tartalmú vaskbucát kaptak, amelynek ledeburitos szerkezete miatt a buca térfogatának jelentős része a kovácstűzhelyen izzítva vagy törik, vagy 1147°C feletti hőmérsékleten pedig egyszerűen megolvad, mint a nyersvas.

A kovácspróbák alapján a bucáknak csak a ferrites részei alakíthatóak, a többi csak kis mértékben, vagy egyáltalán nem. Így a bucák térfogatának nagy része a jellemzően magas, néhol kiugróan nagy karbon tartalom miatt feltételezhetően nem igazán alkalmas kovácsolásra, képlékenyalakításra, főként nem használhatók finomabb szerkezetű, vékonyabb keresztmetszetű (pl. éles, hegyes) tárgyak készítésére. Valószínűleg ezért is dobták egy kupacban félre az öt bucát a kovácsműhelyben.

### Szerzők tudományos közreműködése

**Török Béla** Kutatásvezetés, Kísérletvezetés, Eredeti kézirat. **Barkóczy Péter** Kutatásvezetés, Kísérletvezetés, Eredeti kézirat.

### Köszönetnyilvánítás

A nagyméretű vasbuca szelet kivágásáért és feldarabolásáért a KIS Szerelő és Kereskedő Kft. munkatársainak, a SEM-EDS vizsgálatok elvégzéséért Kovács Árpádnak (Miskolci Egyetem, FKNI, ARGUM) tartozunk köszönettel. A karbon tartalmakat az ÓAM Ózdi Acélművek Kft. ARL-465 optikai emissziós spektrométerével mérték, szintén köszönet érte.

### Irodalom

BUCHWALD, V.F. (2005): Iron and steel in ancient times. *Historisk-filosofiske Skrifter* **29** The Royal Danish Academy of Sciences and Letters, Copenhagen 96–99, 127, 136.

GÖMÖRI, J. (1979): Jelentés a nyugat-magyarországi vasvidék régészeti kutatásáról II. Meldung über die Forschungen der Fundortedes west-ungarischen Eisenerzgebiete im Komitate Győr-Sopron II. Die Ausgrabung in Kányaszurdok und die Fragederge spaltenen Eisenluppen aus Sopron (Ödenburg). *Arrabona* **21** 59–86.

GÖMÖRI, J. (1981): A korai vasolvasztó kemencék és az ékelt vasbucák kérdése. In: GÖMÖRI, J. (ed.): *Iparrégészet – Égetőkemencék, Industrial Archaeology – Kilns and furnaces*. Veszprém, 109–121.

GÖMÖRI, J. (2018): Technológia-kontinuitási kérdések a somogyi vasvidék „izzó” vasbucái fényében. In: VARGA, M. & SZENTPÉTERI, J. (eds.): *Két világ határán*. Kaposvár, Rippl-Rónai Megyei Hatókörű Városi Múzeum, 77–87.

HEGEDŰS, Z. (1961): A diósgyőri Központi Kohászati Múzeum és a soproni Liszt Ferenc Múzeum vasbucáinak kohászattörténeti vonatkozásai. *Történelmi Szemle* **1961/4** 94–106.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. (2015): Inner fortifications and the Late Roman Defensive System in Pannonia (4<sup>th</sup>/5<sup>th</sup> c. AD) – some remarks. In: VAGALANSKI, L. & CHARANKOV, N. (eds.): *LIMES XXII*. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Congress of Roman Frontier Studies (Ruse 2012) Sofia, National Archaeological Institute NAIM-BAS, 119–125.

HEINRICH-TAMÁSKA, O. & SZABÓ, M. (2019): Late Antique Fortifications in Pannonia: A Landscape Archaeological Approach. In: FARKAS, G. I., NEMÉNYI, R. & SZABÓ, M. (eds.): *Visy 75 – Artificem Commendat Opus*, CLIR Kutatóközpont, Pécs, 208–231.

PLEINER, R. (2000): Iron In Archaeology – The European Bloomery Smelters. *Archeologický ústav AV ČR*, Praha pp. 262–263.

ROZSNOKI, Zs. (1979): Nyugat-magyarországi vasbucák fémtani vizsgálata. *Arrabona* **21** 87–107.

RUPNIK, L. (2013): Eisenfunde aus ausgewählten Befunden der Ausgrabungen bis 2002 in Keszthely-Fenekpuszta. In: HEINRICH-TAMÁSKA, O. (ed.): Keszthely-Fenekpuszta: Katalog der Befunde und ausgewählter Funde sowie neue Forschungsergebnisse. Budapest / Leipzig / Keszthely / Rahden Westf. *Castellum Pannonicum Pelsonense* **3** 443–560 here cat. No. 2232/1-21.

SÁGI, K. (1979): A fenékpusztai V. századi vasbucák történeti háttere. *Arrabona* **21** 113–115.

TÖRÖK, B., BARKÓCZY, P., KOVÁCS, Á., KRISTÁLY, F., BÁNHIDI, O., KREITER, A., SKRIBA, P., PETŐ, Á., GYULAI, F. & SALÁTA, D. (2017): Avar kori vasművesség az interdiszciplináris kutatások tükrében – Zamárdi-Kútvolgy és Kaposvár-Fészerlak leleteinek archeometriai vizsgálata. *Archeometriai Műhely* **XIV/3** 185–202.

TÖRÖK, B., BARKÓCZY, P., KOVÁCS, Á., KÖLTŐ, L., FEHÉR, A. & SZŐKE, M. B. (2018): Pannóniai kora középkori ékelt vasbucák összehasonlító archeometriai vizsgálata. *Bányászati és Kohászati Lapok*, Kohászat, Budapest **151/3**, 1–4.

TÖRÖK, B., GÖMÖRI, J., BARKÓCZY, P., HEINRICH-TAMÁSKA, O. & RUPNIK, L. (in press): Iron blooms from the Late Antique Castrum of Keszthely-Fenekpuszta: new results about old finds. In: HEINRICH-TAMÁSKA, O. et al., (eds.): *New Investigations in Keszthely-Fenekpuszta: Landscape Archaeology and Natural Sciences*. Neue Forschungen in Keszthely-Fenekpuszta: Landschaftsarchäologie und Naturwissenschaften. *Castellum Pannonicum Pelsonense* **9**.

VISY, Zs. (2018a): Some Considerations on the Late Roman Fortifications of Inner Pannonia. In: SOMMER, C. S. & MATEŠIĆ, S., (eds.): *Limes XXIII*. Proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Congress of Roman Frontier Studies Ingolstadt 2015 Akten des 23. Internationalen Limeskongresses (Ingolstadt 2015). *Beiträge zum Welterbe Limes*. Mainz, Sonderband **4/I**, 437–443.

VISY, Zs. (2018b): A pannóniai késő római “belső erődök”. *Archeologiai Értesítő* **143** 233–246.

WRONA, A. (2013): The production of high carbon steel directly in bloomery process: theoretical bases and metallographic analyses of the experiments results. *EXARC Journal* **2013/2** 1–16. <https://exarc.net/ark:/88735/10112>

## KÖZLEMÉNYEK

\*

**Új tagokkal bővült az Archeometriai Műhely szerkesztőbizottsága**

Az Archeometriai Műhely 2024-ben már két évtizede lesz a hazai (és részben nemzetközi) régészet természettudományos vizsgálatokkal támogatott kutatásait bemutató fórum és folyóirat. A 9 tagú szerkesztőbizottság az eredeti koncepció szerint részben az archeometria hazai kutató-centrumait, részben pedig az érintett egyetemeket és múzeumokat képviselő szakértőkből állt össze. A megalakulás óta már két alkalommal csökkent és bővült a bizottság. Először 2012-ben, amikor részben tiszteleti taggá minősülő, nyugdíjba vonuló tagjaink (Járó Márta és Svingor Éva) javasoltak saját szakterületükről új tagokat (Lencz Balázs és Molnár Mihály), részben pedig felkérésre vált új taggá Zöldföldi Judit. Erről a személyi változásról a 2012/1 számban közlemény is megjelent (T. Biró et al. 2012). Másodszor pedig a 2017-2022 közötti időszakban, amikor új tagnak felkértük Bajnóczi Bernadettet, Péterdi Bálintot, Kiss Viktóriát, Szilágyi Veronikát, és fájó szívvel vettünk végső búcsút Svingor Évától.

A 2023. évben ismét jelentős változások történtek a szerkesztőbizottság összetételében. Alapító szerkesztőnk, T. Biró Katalin és alapító tagunk, Ilon Gábor lemondtak az aktív szerkesztőbizottsági tagságról és átkerültek tiszteleti tagjaink közé. Egyéb feladatainak halmozódása miatt elköszöntünk Lencz Balázstól. Emellett azonban fontos hiánypótlásként eddig a publikációk között nélkülözött vagy alulreprezentált szakterületek szakértőivel bővült a szerkesztőbizottság, így reményeink szerint még felkészültebben és újabb tudomány-területek felé nyitva tud az Archeometriai Műhely tovább működni és megújulni. A régészet területén régóta hiányát éreztük egy, a fiatalabb korszakokra szakosodott kutató részvételének, akit Kolláth Ágnes személyében találtunk meg. Feltétlenül megszólítandó, önálló témakörnek ítéljük a restaurálás tudományát, amelyet mostantól Kürtösi Brigitta Mária fog képviselni. A szerves anyagok és csontok, fogak anyagvizsgálata területén Major István fogja erősíteni csapatunkat. A korabeli fémtechnológiák örökségének vizsgálatában jártas szakértőt pedig Török Béla személyében nyertünk. Vakfoltnak tekintettük az antropológia területét, ahonnan Mateovics-László Orsolya fogadta el felkérésünket. A továbbiakban röviden bemutatjuk új tagjainkat.

T. BIRÓ K., SZÉKELY B., SVINGOR É. & JÁRÓ M. (2012): Az Archeometriai Műhely szerkesztőbizottságának új tagjai. *Archeometriai Műhely* 2012/IX/1 57–60.



**Kolláth Ágnes** (Csikiné Kolláth Ágnes) középkoros-kora újkoros régészként az Eötvös Loránd Tudományegyetemen (ELTE) végezte MSc és PhD tanulmányait. Elsősorban kora újkori kerámiák tipológiai vizsgálatával és átfogó kutatásával foglalkozik. Emellett Székesfehérvár és környéke középkori és kora újkori régészeti topográfiája, illetve a középkori és kora újkori piacterek kutatása a szakterülete. A hagyományos régészeti anyagfeldolgozás mellett a lelőhely-felderítésnél használható térinformatikai módszerek terén szerzett tapasztalatokat. Elnyerte az ELKH BTK 2021. évi Anonymus-díját és az MTA Ifjúsági díját. Tagja az MTA köztestületének és a European Association of Archaeologists-nak (EAA).

Publikációi:

<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10038849>

• doi: [10.55023/issn.1786-271X.2023-014](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2023-014)



**Kürtösi Brigitta Mária** festményrestaurátor MA és DLA fokozatát a Magyar Képzőművészeti Egyetemen (MKE) szerezte, mestermunkái római mozaikkal kapcsolatos restaurálási és rekonstrukciós munkák. Műemléki restaurátor szakértő. Számos szakmai munkát jegyez főként mozaikok és falképek tárgykörében. Jelenleg az MKE munkatársa, oktatási tevékenységét történeti murális technikák, vakolatok, festett rétegek, valamint kő- és üvegmozaik vizsgálatához köthető témákban folytatja, amelynek köszönhetően szoros, élő kapcsolatot ápol a hallgatókkal. Részt vesz murális diplomamunkák, szakdolgozatok és diákköri munkák, illetve Erasmus hallgatók programjának vezetésében dr. habil. Bóna István DLA egyetemi docens mellett. A Pázmány Péter Katolikus Egyetem Történelemtudományi Doktori Iskolájában külföldi doktorandusz hallgatók témavezetője. Aktív résztvevője a nemzetközi restaurátor közösség munkájának.

Tagja az International Committee for the Conservation of Mosaics-nak (ICCM), a Magyar Restaurátorkamara Magyar Restaurátorok Egyesületének, az Association Internationale pour l'Étude de la Mosaïque Antique-nak (AIEMA), a Southeast Europe Mosaics-nak (SEE Mosaics) illetve az Association pour l'Histoire du Verre-nek (AIHV). Elnyerte a BM Schönvisner István „Régészeti örökségért” emlékérmét és az ÚNKP Felsőoktatási Fiatal oktatói-kutatói ösztöndíját antik és középkori mozaikleletek alapanyagainak, eredetének vizsgálata témában. Emellett dolgozott posztdoktorként a csehországi Pardubicei Egyetem Restaurátor Tanszékén Litomyšl-ben.

Publikációi:

<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=authors10060000>



**Major István** környezettudós a Debreceni Egyetem környezettudomány szakán végezte MSc, majd ugyanitt a fizika szakon PhD tanulmányait. Jelenleg az ATOMKI munkatársa a Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratóriumban, de korábban rövid ideig az Ionnyaláb-analitikai Csoportnál is tevékenykedett. Elsősorban a szerves anyagok (csont, fog) analitikai célú preparálásában,  $^{14}\text{C}$  analízisében és stabil C, N, O izotóp vizsgálatában rendelkezik jelentős tapasztalatokkal. Környezettudományi munkássága (paleoklimatológia) mellett belső indíttatásra fordult az örökségtudományi kutatás felé, amelyet az ATOMKI korábbi és futó projektjeinek köszönhetően ér el. Munkája során nemcsak adatokat szolgáltat a régészek számára, hanem értelmezi azokat a természettudományok szintjén, aminek érdekében folyamatosan képezi magát. A bioarcheológiához és archeogenetikához – mint az örökségtudomány kurrens és jelenleg az élvonalban álló területeihez – kapcsolódó szerves anyag vizsgálatok terén kíván a továbbiakban is tevékenykedni és fejlődni, főképp a táplálkozás-kutatás, a táplálkozás életkori változásai területén. Szívesen ír tudományos publikációkat, sok energiát fordít arra, hogy régész kutatótársait ösztönözze a tudományos eredmények publikálására, az interdiszciplina határainak átlépésével járó kooperáció kialakítására. Az MTA köztestületi tagja, a Földtudományok Osztálya Geokémiai, Ásvány- és Kőzettani Tudományos Bizottságban, a Debreceni Területi Bizottságban és a Földtani Munkabizottságban. 2023-ban elnyerte a MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíját.

Publikációi:

<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=authors10018375>



**Török Béla** archeometallurgus, okleveles kohómérnök, történelem szakos bölcész és tanár, a műszaki tudomány doktora (PhD). Tanulmányait a Miskolci Egyetemen (ME) és az egri Eszterházy Károly Főiskolán végezte. Fő kutatási területe a Kárpát-medence ősi és korai középkori vas- és bronzművészete, elsősorban az archeometriai leletvizsgálatok (fém tárgyak, salakok, fémtechnológiai kerámiák stb.), elméleti archeometallurgia, rekonstrukciós kísérletek és ipartörténet vonatkozásában. Jelenleg a ME Anyag-és Vegyészmérnöki Kar Fémelőállítási és Öntészeti Intézetének egyetemi docense, a ME Archeometallurgiai Kutatócsoportjának (ARGUM) alapítója és vezetője, illetve a Pázmány Péter Katolikus Egyetem tudományos főmunkatársa. Az MTA-ban a Műszaki Tudományok Osztálya Metallurgiai Tudományos Bizottságának titkára, a Miskolci Területi Bizottságban a Metallurgiai Munkabizottság elnöke, illetve Történettudományi Munkabizottság tagja, a Veszprémi Területi Bizottságban az Iparrégészeti és Archeometriai Munkabizottság elnöke. A nemzetközi tudományos életben az International Union of Prehistoric and Protohistoric Sciences (UISPP) Archaeometry of Pre- and Protohistoric Inorganic Artefacts, Materials and Technologies nevű nemzetközi bizottság alapítója és vezetője, illetve az Archaeometallurgy in Europe vezetőségi tagja. Több mint 30 éves archeometallurgiai és archeometriai kutatási és 20 éves felsőoktatási tapasztalattal rendelkezik a Miskolci Egyetemen és korábban a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen. Nevéhez fűződik az archeometallurgia bevezetése a hazai felsőoktatásba, az Archeometallurgia c. egyetemi jegyzet elkészítése, archeometriai, Archeometallurgiai és technikátörténeti tárgyak kidolgozása és oktatása. Több tudományos kutatási projekt (OTKA – Avar vasművészet, K+F) vezetője vagy archeometriai koordinátora volt. Szerkesztőbizottsági tag az Őstörténeti Tanulmányokban.

Publikációi: <https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=authors10028398>



**Mateovics-László Orsolya** biológus-antropológus MSc tanulmányait a Debreceni Egyetemen biológus-ökológusként végezte, majd paleopatológus specializációt szerzett az angliai Durhami Egyetem Régészeti Tanszékén. PhD fokozatát a Szegedi Tudományegyetemen (SZTE) védte meg. Tanulmányai során korán a régészeti ásatásokon előkerülő emberi maradványok (főleg csontok) vizsgálata felé fordult, majd külföldi kutatásokban is részt vett. Régészeti embertani vizsgálataival a biorégészet komplex témakörében tevékenykedik, ahol az interpretáció különböző módszerekkel nyert adatok átfogó értelmezésével történik, és tágabb értelemben vizsgálja az ember kapcsolatát a környezettel. Fő kutatási területe a régészeti korú humán populációk biológiai rekonstrukciója paleopatológiai vizsgálatokkal, különösképpen a gyermekek életkörülményeinek vizsgálata csontmaradványaikon keresztül, illetve a traumás eredetű elváltozások regionális és temporális jellegzetességeinek feltérképezése. Jelenleg a Magyar Nemzeti Múzeum munkatársa. Részt vesz az ELTE és az SZTE régész és biológus hallgatóinak oktatásában, szakdolgozati témák vezetésében. Aktív tagja a kelet-közép-európai embertani szakmai közösségnek. Az MTA köztestületi tagja, a Biológiai Tudományok Osztálya Antropológiai Osztályközi Tudományos Bizottságban.

Publikációi:

<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=authors10043586>

Tagságukat örömmel fogadtuk, munkájukhoz minden jót kívánunk!

*Szilágyi Veronika  
szerkesztő*



**Magyar  
Talajtani  
Társaság**

**Beszámoló a Régészeti Talajtani Szakosztály megalapításáról •**

A természet- és környezettudományos módszerek régészeti és kulturális örökségvédelmi kutatásokban történő alkalmazására több hazai példát, sikeres kezdeményezést is láthattunk a közelmúltban. A további együttműködések erősítendő a Magyar Talajtani Társaság a Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Régészeti Intézetével, valamint a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Tanszékével közösen egy olyan szakmai közösség létrehozását célozta meg, amely a két tudományterület közötti konstruktív párbeszéd elindítására alkalmas, és a kutatási szinergiák erősítésében is szerepet játszik.

Ezen kezdeményezés eredményeképpen 2023. május 15-én, a Nemzeti Régészeti Intézetben hivatalosan is megalakult a Magyar Talajtani Társaság Régészeti Talajtani Szakosztálya. A szakosztály (RTSz) megalapítását kezdeményező szakemberek régészként, illetve természet-tudományos területen, de régészeti kérdések megválaszolásában régóta résztvevő kutatóként úgy tapasztalják, hogy a két szakterület/tudományterület összekapcsolása több szempontból is hiánypótló kezdeményezés. Mind az alkalmazott tudományos, mind pedig az elméleti kutatások területén jelentős átfedések vannak. Olyan kutatási eredmények születnek mindkét tudományterületen, illetve olyan gyakorlati tapasztalatok fogalmazódnak meg akár talajtani, akár régészeti feladatellátás során, amelyek a „társtudomány” számára rendkívül hasznosak lehetnek.

A fentiek tükrében a Régészeti Talajtani Szakosztály megalapításának fő célja, hogy hidat képezzen két olyan szakmai közösség és azok művelői között, amely szakmai közösségek tevékenysége kiterjed a talajokkal való foglalkozásra, azok tudományos célú kutatására, és amelyek mindennapi feladatellátásában is megjelennek a talajok.



**Régészeti  
Talajtani  
Szakosztály**

**A szakosztály feladatának tekinti, hogy**

1. elméleti és gyakorlati képzési lehetőségeknek, továbbképzéseknek biztosítson teret mind régész, mind természettudományos hallgatók/PhD hallgatók/szakemberek számára;
2. a két szakterület inter- és multidiszciplináris módszereire építő kutatások eredményeit bemutassa, teret és alkalmat biztosítson a témával foglalkozó kutatók eszmecseréjéhez, és elősegítse a tudományos párbeszédet ezen a területen;
3. a tudományos párbeszéd mellett lehetőséget biztosítson a két szakterület alkalmazott tudományi és napi gyakorlati kérdéseinek megbeszéléséhez, jó gyakorlatok kidolgozásához.

A szakosztály által tervezett programok a Magyar Talajtani Társaság honlapján ([www.talaj.hu](http://www.talaj.hu)), annak Facebook oldalán:

<https://hu-hu.facebook.com/Magyar.Talajtani.Tarsasag/>,

továbbá az MTT rendszeres hírleveleiben kerülnek meghirdetésre a jövőben.

Minden kedves érdeklődőt várunk szakmai programjainkon! A szakosztály tevékenységéhez történő csatlakozáshoz, illetve az MTT hírlevelére történő feliratkozáshoz a szakosztály tisztségviselői állnak az érdeklődő kollégák rendelkezésére.

Pető Ákos ([Peto.Akos@uni-mate.hu](mailto:Peto.Akos@uni-mate.hu))

Régészeti Talajtani Szakosztály elnöke, társalapító  
MATE, Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Tanszék

Szegedi Kristóf ([szegedi.kristof@mnmm.hu](mailto:szegedi.kristof@mnmm.hu))

Régészeti Talajtani Szakosztály titkára, társalapító  
MNM, Nemzeti Régészeti Intézet

Kovács Gabriella ([kovacs.gabriella@mnmm.hu](mailto:kovacs.gabriella@mnmm.hu))

Régészeti Talajtani Szakosztály társalapítója  
MNM, Nemzeti Régészeti Intézet, Archeometriai Labor