

A HENCIDAI RÉZKORI ARANYKINCSEN VÉGZETT PIXE VIZSGÁLATOK TANULSÁGAI

EXPERIENCES OF THE PIXE ANALYSES PERFORMED ON THE COPPER AGE GOLD TREASURE OF HENCIDA

CSEDREKI LÁSZLÓ¹, DANI JÁNOS²

¹ MTA Atommagkutató Intézete (ATOMKI) Ionnyaláb-alkalmazások Laboratórium, 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

² Déri Múzeum, 4026 Debrecen, Déri tér 1.

E-mail: csedreki@namafia.atomki.hu; dani@derimuz.hu

Abstract

The aim of the examination was to collect basic quantitative and qualitative data about the gold treasure of Hencida to be comparable with other objects for the research on Copper Age gold metallurgy. The series of PIXE measurements described in the article is closely connected to the already available ED-XRF, OM, SEM and FTIR analyses. It was confirmed by the new examination that the samples belong to at least 3 (or possibly 5) different groups based on their composition. The composition of the pendants differs from the elemental composition of the gold mines in the Roşia Montană area, which implies the use of other sources of raw material. The elemental mapping shows homogeneity in the element distribution of pendants, which may be a new piece of evidence for casting. At the same time – beside the XRF analysis – the PIXE examinations also confirmed the production of the various pendants on different occasions and of different raw materials.

Kivonat

A vizsgálatsorozatok célja az volt, hogy a Hencidai aranykincsről kvantitatív és más tárgyakkal összehasonlítható (alap)adatokat szolgáltatasson a rézkori aranyművesség kutatásához. A cikkben leírt PIXE módszerrel történt mérésorozat egy, már elvégzett ED-XRF, OM, SEM, FTIR komplex vizsgálat folytatásának tekinthető. A vizsgálatok során további megerősítést nyert, hogy a minták legkevesebb 3 (vagy 5) csoportba sorolhatók összetétel alapján. A csüngők összetétele eltérést mutat a Verespatak környéki bányák jellemző elem-arányaival szemben, ami más nyersanyagforrás használatát valószínűsíti. Az elemterképezés a csüngők homogén elemeloszlását mutatta, mely további érv lehet az öntéstechnika használata mellett. A PIXE vizsgálat is megerősítette a kincs több alkalommal és nyersanyagból való készítését.

KEYWORDS: GOLD TREASURE OF HENCIDA; COPPER AGE GOLD METALLURGY; PIXE EXAMINATIONS; PROVENANCE INVESTIGATION

KULCSSZAVAK: HENCIDAI ARANYKINC, RÉZKORI ARANYMŰVESSÉG, PIXE VIZSGÁLATOK, PROVENIENCIA VIZSGÁLAT

Rövid bevezetés

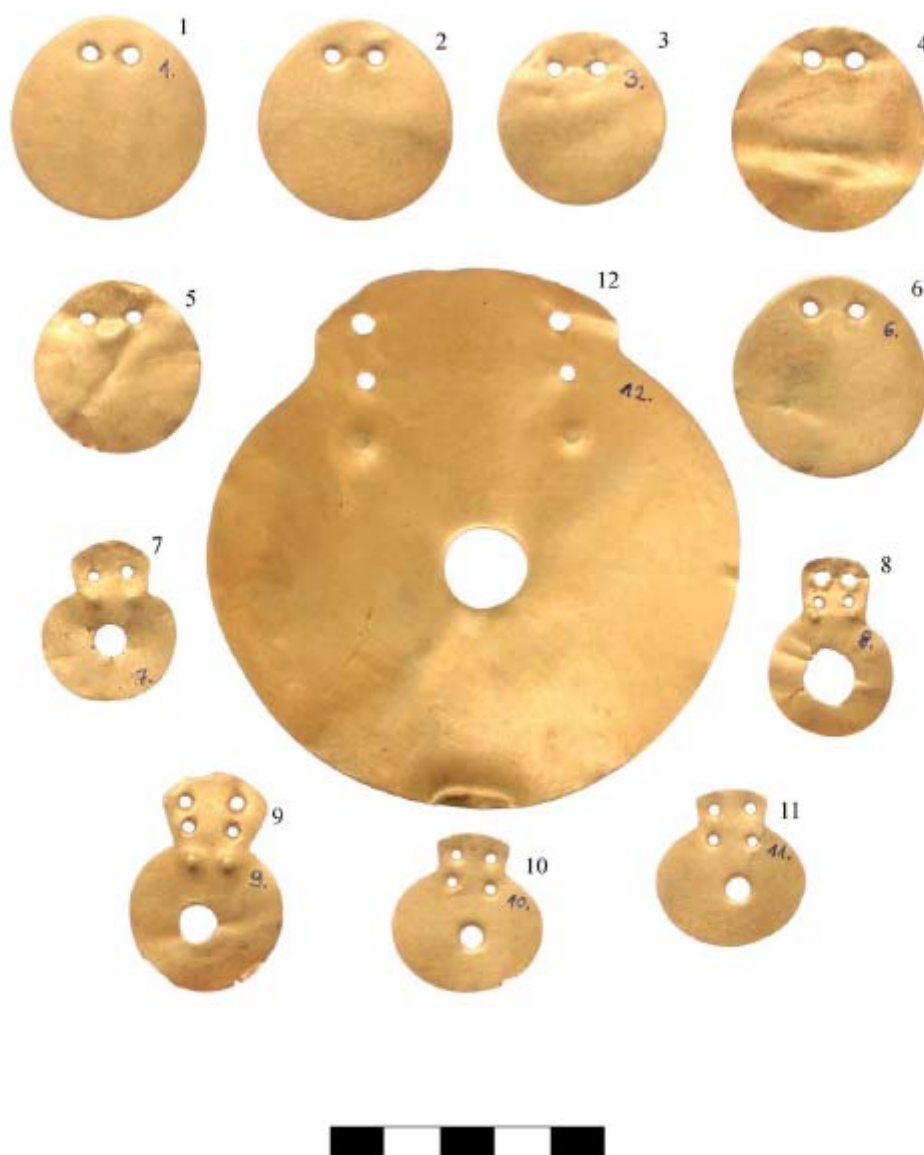
A Hencida határában előkerült 12 db arany csüngőből álló, a kora- és középső rézkor váltásának időszakára keltezhető, feltehetően kultikus okokból elrejtett kincs máig megoldatlan kérdéseket vet fel a régészeti kutatás számára. Az eredeti jelentés szerint az aranykincs 1964 őszén történt mélyszántás során kerülhetett felszínre, de csak 1965. május 10-én találták meg répakapálás során. Ez a kiemelkedő jelentőségű lelet - amint a megtalálásának és a Déri Múzeum régészeti gyűjteményébe való kerülésének körülményei is mutatják - kalandos utat járt be (Csedreki et. al. 2011).

A minták heterogenitása, illetve különböző elemekben való dúsulási helyek keresése céljából választottuk a minta elemterképezésére is alkalmas pásztázó nukleáris mikroszondát. A PIXE mérések másik célja a csüngőkön korábban elvégzett Antimon targetes ED-XRF berendezés által nem érzékelt, ill. a fő összetevőként szereplő Au spektruma által esetlegesen elfedett elemek felderítése volt. Olyan kis koncentrációban (ppm) jelentkező nyomelemek

kimutatását is reméltük, amelyek karakterisztikusak lehetnek a tárgyak nyersanyagaként szolgáló arany származási helyére vonatkozóan.

A mérési módszer leírása

A kincs 12 darab aranylemez-ékszerből (valójában csüngők) áll, melyek mérete változó: 1 nagyobb (kb. tenyérnyi korong) és 11 db kisebb (kb. 3-5 cm-es) darab (**1. ábra**). A tárgyakon a korábbi műszeres analitikai vizsgálatok (ED-XRF, OM, SEM, F-TIR) mellett az MTA-ATOMKI-ban található pásztázó nukleáris mikroszondán végeztünk elemanalitikai méréseket Részecske Indukált Röntgen Emissziós (PIXE) módszer segítségével, amely széleskörűen alkalmazható a legkülönbözőbb régészeti tárgyak gyors és pontos roncsolásmentes analitikai vizsgálatában (Demortier 1996, 2005, Ben Abdelouahed et al. 2010). A minta heterogenitása, illetve különböző elemekben való dúsulási helyek keresése céljából választottuk a minta elemterképezésére is alkalmas pásztázó nukleáris mikroszondát.



1. ábra: Hencidai aranykincs

Fig. 1.: The gold treasure of Hencida

A PIXE mérések másik célja az Antimon targetes ED-XRF berendezés által nem érzékelt, ill. a fő összetevőként szereplő Au spektruma által esetlegesen elfedett elemek felderítése volt. Olyan kis koncentrációban (ppm) jelentkező szennyező- és nyomelemek kimutatását is reméltük, amelyek karakterisztikusak lehetnek a tárgyak nyersanyagaként szolgáló arany származási helyére vonatkozóan.

A kísérleti berendezés egy ultra vékony ablakú (SUTW) és egy hagyományos Be ablakú Si (Li) röntgen detektort foglal magában. A csüngők fő összetevői (az arany és ezüst) mellett lévő könnyű elemek legnagyobb részt korrózióként voltak jelen. Emiatt az összetétel meghatározásánál a Be ablakos detektor által gyűjtött spektrumokat használtuk fel. A röntgen detektor Gresham típusú, 30 mm²-es ablak területtel. Az energia feloldása 136 eV (5.6 KeV-on) és a nyaláb irányhoz képest 135 fokos szögben van elhelyezve. A kísérleti berendezés részletes leírása megtalálható a

szakirodalomban (Uzonyi et al. 2001, Kertész et al. 2005). A szimultán gyűjtött spektrum kiértékelésre a GUPIX szoftvert használtuk. A méréseket 3.5 MeV proton energián végeztük, PIXE módszer érzékenységét, illetve a közepes rendszámú elemekre vonatkozó röntgen hozamok növelése miatt. A tipikus mérési idők 2400 másodpercesek voltak, amelyek megfelelnek 0,6 mikroC begyűjtött töltésnek. A tipikus nyaláb áram 250 pA volt. A pásztázási méretek 1,5-1,5 mm 3,5 MeV -en.

A csüngők vizsgálata során megállapítottuk, hogy homogén összetételűek és a szennyeződéstől eltekintve nem található elemdúsulás a felső néhány 10 mikronos rétegben, ahonnan a berendezés az információt nyeri.

A mérési eredmények értelmezése

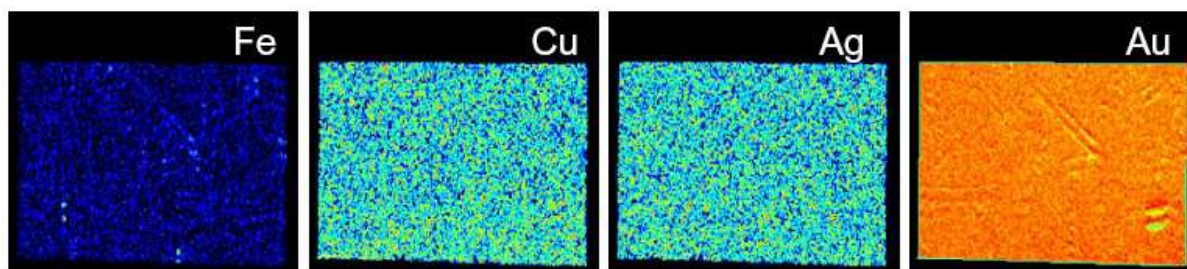
Az **1. táblázat** tartalmazza a PIXE mérésekből meghatározott elemkoncentrációkat ppm mennyiségben.

1. táblázat: Hencidai aranykincseken végzett PIXE vizsgálatok eredményei**Table 1.** Results of the PIXE examination of the Hencida treasure

	Fe		Cu		Ag		Pt		Au		Tl	
Sorszám	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.
1	800.2	2.9	1935.3	1.5	78604.0	0.8	2719.7	6.3	913575.3	0.1	1141.0	11.1
2	1018.8	2.1	1749.5	1.3	70107.0	0.7	2751.0	5.1	922059.0	0.1	1188.5	8.7
3	1008.8	2.1	29392.5	0.3	72315.0	0.7	3385.5	6.3	891813.5	0.1	1199.0	8.9
4	925.0	2.1	2034.0	1.1	73945.5	0.6	2609.0	5.1	918399.0	0.1	1158.2	8.8
5	1350.0	1.8	2240.5	1.1	93673.5	0.6	2408.5	6.0	898027.5	0.1	1118.0	9.6
6	1217.3	1.7	1847.0	1.2	71669.0	0.6	2433.0	5.4	920557.7	0.1	1087.0	8.8
7	1307.5	1.7	1818.0	1.3	79061.0	0.6	2680.5	5.3	912818.0	0.1	1171.5	8.8
8	1588.5	1.6	1867.5	1.3	81573.5	0.6	2522.5	5.8	909792.5	0.1	1200.0	9.0
9	961.1	2.0	2239.0	1.0	82842.0	0.6	2476.5	5.3	909206.0	0.1	1157.0	8.2
10	1237.6	1.9	32238.0	0.3	74501.0	0.6	3225.5	6.2	886734.0	0.1	1099.5	8.8
11	1732.0	1.7	7125.5	0.7	66485.5	0.8	2810.0	6.7	919537.5	0.1	1396.5	8.6
12	1267.7	1.6	1528.0	1.1	60855.0	0.6	2583.5	4.2	931560.0	0.1	1067.5	7.7
LOD (ppm)	<19.2		<24		<106		<1378		<134		<484	

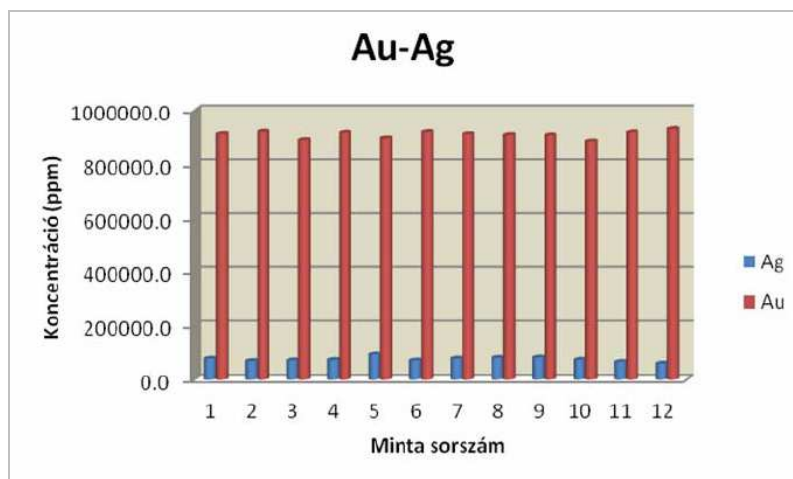
1. táblázat, folyt.**Table 1., cont.**

	Ti		Cr		Mn		Ni		Ga		As		Bi	
Sorszám	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.	Conc. (ppm)	%Fit err.
1	90,1	74,5	104,5	26,9	85,7	24,9	120,5	10,8	177,0	14,5	269,7	13,2	204,5	54,9
2	76,5	59,2	95,1	25,3	64,8	29,3	116,6	9,2	175,6	12,1	300,2	9,6	333,8	26,5
3	75,7	58,5	221,4	12,0	78,5	23,6	157,0	9,2	158,6	17,0	246,2	11,9	219,6	41,6
4	<43.6		146,0	15,7	81,9	23,9	125,9	8,3	183,2	10,9	293,7	9,5	242,7	35,0
5	217,9	19,5	135,5	17,6	49,4	39,2	126,3	8,9	185,3	11,8	283,4	10,5	266,0	34,9
6	138,1	29,2	144,4	16,0	<31		145,9	7,0	195,8	9,8	246,0	11,4	216,2	43,1
7	183,6	23,6	122,8	19,2	72,2	25,9	119,0	9,2	184,1	11,4	257,0	11,6	152,0	63,6
8	162,7	28,8	173,8	16,6	68,3	29,4	149,1	7,9	166,8	13,0	310,9	9,9	325,5	29,0
9	77,8	67,1	110,5	20,6	86,2	19,8	114,1	8,8	162,9	12,0	259,1	10,3	218,2	38,3
10	83,6	114,8	125,9	17,9	65,8	26,5	130,8	9,2	178,5	14,0	239,2	11,2	235,9	46,7
11	96,6	55,1	126,4	20,7	50,1	39,9	139,1	9,5	184,5	14,7	300,6	11,1	188,2	54,7
12	96,3	35,6	235,1	9,9	77,9	18,1	167,3	5,8	184,9	8,9	245,2	9,4	191,5	37,2
LOD (ppm)	<43.6		<27		<31		<13.2		<28.1		<35.4		<118	



2. ábra: Pásztázó nukleáris mikroszondán készített elem térképek

Fig. 2.: Elemental maps based on scanning nuclear microprobe measurements



3. ábra: Leletek arany- és ezüst-eloszlása

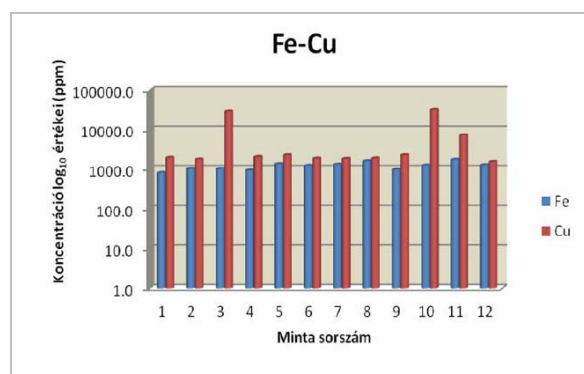
Fig.3.: Distribution of gold and silver in the finds

A **2. ábra** egy tipikus mérési helyen felvett elem térképeket tartalmaz, amelyeken jól látszik, hogy a vizsgált terület elemeloszlás szempontjából homogénnek tekinthető.

A fő összetevőnek tekinthető arany és ezüst eloszlása a tárgyakban nagyon hasonló. Az arany koncentráció 88,6-93,13% között változik, míg az ezüst koncentrációja 6,08-9,36% közötti. A fő alkotók mintánkénti aránya viszonylag kis eltérést mutat (**3. ábra**), ami egységes készítést feltételezne.

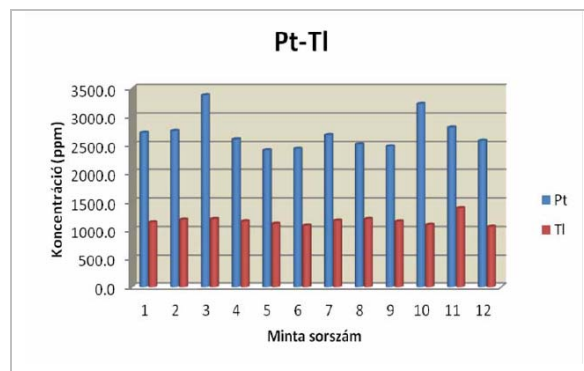
A csüngők mellékalkotónyi mennyiségben található Fe, Cu, Pt, Tl koncentrációit összehasonlítva megállapítható, hogy a 3., 10., 11. minta magasabb Cu-Pt tartalmú. A 3. és 10. minta hasonló összetétele miatt feltételezhetően ezek a csüngők egy öntésből készülhettek (**4-5. ábra**).

A nyomelemek alapján nehéz további csoportokat megkülönböztetni (**6. ábra**), ezért statisztikai vizsgálat segítségével próbáltunk végső választ adni arra, hogy a csüngők hány öntésből származhatnak.



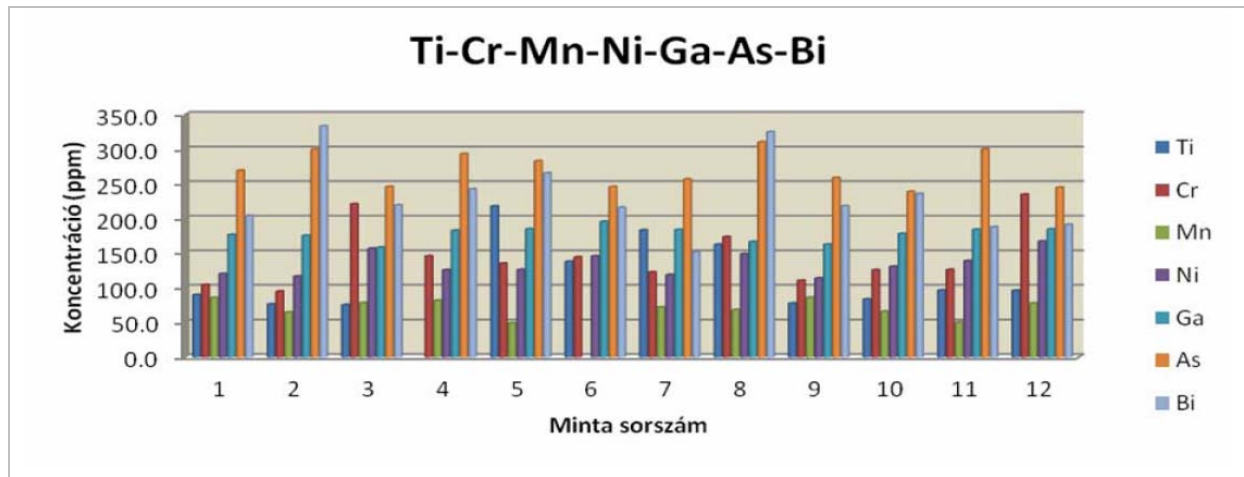
4. ábra: Vas és réz koncentrációk

Fig. 4.: Concentration of iron and copper in the finds



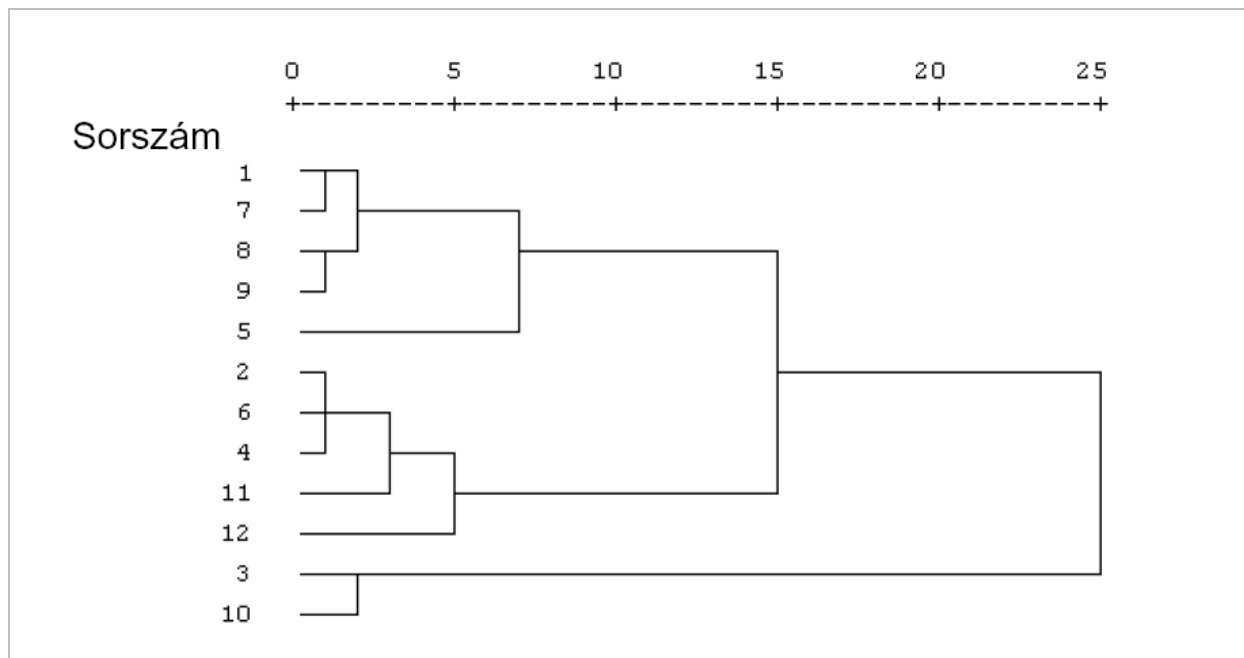
5. ábra: Platina és tallium koncentrációk

Fig. 5.: Concentration of platina and tallium in the finds



6. ábra: Nyomelem koncentrációk

Fig. 6.: Concentration of trace elements in the finds



7. ábra: Az adatokon végzett hierarchikus-klaszter analízis eredménye

Fig. 7.: Results of the Hierarchical-Cluster analysis carried out on the data

Az adatokon végzett hierarchikus-klaszter analízis alapján (7. ábra) a mintákat legalább 2 különböző nyersanyagból készítették, ahogy azt az előző vizsgálatok már kimutatták, de feltételezhető a 3 (esetleg 5) egymástól kissé különböző nyersanyagból történő készítés is, amit a tárgyak külső morfológiai jegyei is alátámasztanak. A különböző nyersanyagok jelen esetben különböző készítési időpontokat is feltételeznek (Csedreki et al. 2011).

További vizsgálatok eredményei

Az ED-XRF mérések választ adtak a minták elemösszetételére vonatkozó kérdésre, ez alapján elmondhatjuk, hogy magas 89-93 % aranytartalmú

tárgyról van szó. Az arany mellett fő összetevőként 5,2-8,5% mennyiségben van jelen az ezüst, továbbá kísérő elemként változó koncentrációban vas és réz mutatható ki. A főösszetevők alapján a csüngők nagy része hasonló összetételű, amely alól - első ránézésre is - a 3. és 10. sorszámú lelet kivétel, a 3 tömegszázalék feletti réz koncentrációnak köszönhetően. Ezt, az elemösszetétel alapján, két karakterisztikusan elkülönülő csoportra való felosztást támasztja alá az adatokon végzett hierarchikus klaszter analízis is (Csedreki et. al. 2011, 3. ábra).

A felületen elvégzett optikai mikroszkópos (OM) és scanning elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatok további információkat nyújtottak a tárgyak

használatára és bizonyos (1., 3., 6. és 8. sorszámú) csüngők hátlapján látható vörösesbarna anyagra vonatkozóan. A csüngőkön lévő lyukak részletes OM vizsgálata alapján feltételezhető, hogy ezeket a tárgyakat viselték, illetve a ruhára, testre való rögzítést valamilyen rögzítőfonal segítségével oldották meg. Erre utal a lyukakon megfigyelhető egyirányú kopási felület.

A vörösesbarna színű lerakódás OM vizsgálata alapján elmondható, hogy az valamilyen oxidálódott, folyékony formában a felületre került és megszilárdult anyag, amely feltételezhetően a megtalálást megelőzően került az aranytárgyakra. Ezt a SEM vizsgálatok a következőkkel egészítették ki: Az ismeretlen bevonat valamilyen oxid lehet, amelynek az aranyrétegen mért vastagsága 10 mikron körüli. A bevonat röntgenspektruma alapján legnagyobb mennyiségben O-t, Si-ot és Al-ot tartalmaz, emellett kísérő elemként Na, Mg, K, Ca és a Fe fordul elő. Az összetétel alapján feltételezhető volt, hogy az anyag a szilikátok csoportjába tartozik. Az ismeretlen vörösesbarna anyag azonosításához a fentiek mellett FTIR-spektroszkópiai vizsgálat is készült, amely igazolta, hogy a vizsgált arany csüngők hátoldalán lévő barnásvörös színű anyagmaradványt legnagyobb részben okker festék alkotja. További eredményként megállapítható volt, hogy az egyes csüngőkön lévő okker festékek kémiai összetétele egymással megegyezik, valamint, hogy az okker pigment mellett jellegzetes összetételű kísérő anyag jelenléte nem mutatható ki. (Csedreki et al. 2011).

Eredmények és következtetések

Az ED-XRF vizsgálathoz hasonlóan a PIXE analízis sem mutatta ki a csüngőkben a híres erdélyi Verespatak (Roşia Montană) környéki bányák érceiben meglévő magas (általában 20-25% közötti) ezüst (Ag) tartalmát, illetve az ottani ércelőfordulásokra jellemző tellúr (Te), antimonit (Sb) nyomelemeket (Hauptmann-Rehren-Pernicka 1995, Table 2, 379; Lehrberger 1995, 136; B. Constantinescu 2008). A higany és irídium tartalom a csüngőkben kimutatási határ alatt voltak, ezért ezen elemeket a proveniencia vizsgálatban nem tudtuk felhasználni. Mindezek alapján feltételezhetjük, hogy a hencidai kincs nyersanyagául szolgáló arany nem Verespatak környékéről („Aranyégyszög”) származik. A nyersanyagforrás felderítését újabb - feltételezhetően őskori használatot (is) mutató - érclélőhelyek összehasonlító vizsgálataitól remélhetjük.

Az ón (Sn) hiánya továbbra is kizárja azt a lehetőséget, hogy a csüngők nyersanyagául szolgáló arany (folyók medréből származó) mosott arany lenne (Hartmann 1968, 20)

Bár a kincs ilyen jellegű készítésechnikai vizsgálataira még nem került sor, a várnai temető hasonló tárgyain végzett metallurgiai vizsgálatok (Echt-Thiele-Ivanov 1991) alapján feltételezhetjük, hogy a hencidai csüngők is öntéssel készülhettek. Erre utalhat a csüngők sima, felpolirozott előlapjával szemben a hátoldalak mikroszkóp alatt jól látható finom szemcsézettsége is.

Az XRF vizsgálatok eredményeit finomítva a PIXE a 11. számú csüngő magasabb réz (Cu) tartalmát is kimutatta, így megerősítette azt a feltételezést, hogy ez a 3. és 10. csüngővel külön csoportot alkotva feltehetőleg a többi csüngőtől eltérő nyersanyagból készült.

Az XRF vizsgálatok alapján feltételezett további nyersanyagcsoportok létezését, vagyis a kincs heterogenitását a PIXE analízis által kimutatott egyéb nyomelemek eltérő koncentrációja is igazolni látszik. Ez tovább erősíti azt a feltételezést, amely szerint a kincs 12 db csüngője nem egyszerre, egy időben készülhetett. Ezt egészítette ki a hierarchikus-klaszter analízis, mely szerint feltételezhető a 3 (vagy 5) öntésből való származás, amit a tárgyak tipokronológiai vizsgálatai is alátámasztanak.

A PIXE vizsgálatok a protonnyaláb kis áthatoló képessége miatt bizonyos elemekre (pld. Fe) az XRF-eredményeknél alacsonyabb koncentrációkat mértek.

A kiértékelő program által számolt kimutatási határok szerint a minták Sn tartalma 260 ppm alatti, Sb<220 ppm, Te<110 ppm, Hg<1000 ppm, Pb<150 ppm alatti.

Néhány csüngő hátoldalán megmaradt, immár fizikai vizsgálatokkal is kimutatott okkerfesték a kincs jelentésére, használatára vonatkozó alapvetően új információt szolgáltatott: joggal feltételezhető, hogy a kincset kultikus szertartások során használhatták és hasonló körülmények között kerülhetett sor elrejtésére.

Összefoglalás

A hencidai rézkori aranykincs csüngőinek PIXE vizsgálata újabb, az XRF analízist jól kiegészítő, adatokkal szolgált azok nyom- és szennyezőelemeire vonatkozóan. A fent részletezett eredmények arra utalnak, hogy a kincs egyértelműen heterogén a csüngők készítése során felhasznált nyersanyag szempontjából. Az egyes mintákban rendkívül kis koncentrációban kimutatott jellegzetes nyomelemek (Te, Ir, Hg) nem támasztják alá a nyersanyag Verespatak környékéről való származását.

Irodalom

- CONSTAN-TINESCU, B., BUGOI, R., COJOCARU, V., RADTKE, M., CALLIGARO, T., SALOMON, J., PICHON, L., RÖHRS, S., CECCATO, D., OBERLÄNDER-TĂRNOVEANU, E. (2008): Micro-SR-XRF and micro-PIXE studies for archaeological gold identification – The case of Carpathian (Transylvanian) gold and of Dacian bracelets, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **266** 2325–2328.
- BEN ABDELOUAHED, H., GHARBI, F., ROUMIÉ, M., BACCOUCHE, S., BEN ROMDHANE, K., NSOULI, B., TRABELSI, A. (2010): PIXE analysis of medieval silver coins, *Elsevier Material Characterisations* **61** 59–64.
- CSEDREKI L., DANI J., KIS-VARGA M., DARÓCZI L., SÁNDORNÉ KOVÁCS J. (2011): A hencidai aranykincs interdiszciplináris vizsgálatai (új szempontok, új eredmények). *A Debreceni Déri Múzeum Évkönyve 2010* 35–52.
- DEMORTIER, G. (1996): Ion beam studies of archaeological gold jewellery items. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **113** 347–353.
- ECHT, R., THIELE, W.-R., IVANOV, I. S. (1991): Untersuchungen zur kupferzeitlichen Goldverarbeitung. In: Die Kupferzeit als historische Epoche. *Symposium Saarbrücken und Otzenhausen* 6-13.11.1988. Hrsg. von: Lichardus, J., Bonn, 633–691.
- HARTMANN, A. (1968): Spektralanalytische Untersuchungen bronzezeitlicher Goldfunde des Donauraumes. *Germania* **46/1** 19–27.
- HAUPTMANN, A., REHREN, TH., PERNICKA, E. (1995): The composition of gold from the ancient mining district of Verespatak/Roşia Montană, Romania. In: *Prehistoric gold in Europe. Mines, metallurgy and manufacture*. Ed. by Morteani, G. & Northover, J. P., Dordrecht-Boston-London, 369–381.
- KERTÉSZ, ZS., SZIKSZAI, Z., UZONYI, I., SIMON, A., KISS, Á. Z. (2005): Development of a bio-PIXE setup at the Debrecen scanning proton microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **231** 106–111.
- LEHRBERGER, G. (1995): The gold deposits of Europe: An overview of the possible metal sources for Prehistoric gold objects. In: *Prehistoric gold in Europe. Mines, metallurgy and manufacture*. Ed. by Morteani, G. & Northover, J. P., Dordrecht-Boston-London, 115–144.
- UZONYI, I., RAJTA, I., BARTHA, L., KISS, Á. Z., NAGY, A. (2001): Realization of the simultaneous micro-PIXE analysis of heavy and light elements at a nuclear microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **181** 193–198.

ŐSKORI RÉZ ÉS BRONZ LELETEK METALLOGRÁFIAI ÉS METALLURGIAI VIZSGÁLATA

METALLOGRAPHICAL AND METALLURGICAL INVESTIGATION OF PREHISTORIC COPPER AND BRONZE FINDS

BARKÓCZY PÉTER¹; KOVÁCS ÁRPÁD¹; P. FISCHL KLÁRA²

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Anyagtudományi Intézet

²Miskolci Egyetem, BTK, Történettudományi Intézet, Őstörténeti és Régészeti Tanszék

E-mail: peter.barkoczy@gmail.com, femkov@uni-miskolc.hu, flklari@gmail.com

Abstract

Examination of three findings (a hammer axe from the Copper Age, a bracelet, and a disc-butted axe from the Bronze Age) was performed by the Research Group on Archeometallurgy of University of Miskolc. This research group is stated by the Department of Prehistory and Archaeology and the Faculty of Materials Engineering of University of Miskolc. The chemical composition, the phase constituents and the microstructure of the findings was examined.

Beyond the common analysis of chemical composition features of the microstructure was examined, and data from the production process were collected (metallurgical processes, casting, cold and hot deformation).

It was stated that the bracelet is produced by casting; the hammer axe and the disc-butted axe give plastic deformation, probably hammering, after casting. Not only the annealed and hammered microstructure but the casted primer microstructures were analyzed by application of different etching techniques. The chemical compositions and structures of inclusions were analyzed by SEM and XRD techniques. The amount, shape and ordering was examined of the inclusion on micrographs.

The afore mentioned results gives a detailed study of producing process of the findings which was compared with the recent data of archeometallurgical research.

Kivonat

A Miskolci Egyetem Őstörténeti és Régészeti tanszéke és a Műszaki Anyagtudományi Kar Anyagtudományi Intézete (Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoport) közös vizsgálati projektjének a bevezető lépéseként 3 régészeti tárgyon (rézkori kalapácsbalta, bronzkori kardisz és nyakkorongos csákány) végeztünk összetétel elemzést, fázisanalízist és metallográfiai vizsgálatot.

Vizsgálatainkban az összetételen túlmenően a mikroszerkezeti jellemzőket is meghatároztunk és a gyártási eljárásra utaló adatokat is gyűjtöttünk (kohósítási, öntési és utólagos meleg- illetve hidegmegmunkálási eljárások).

Megállapítottuk, hogy a kardisz öntéssel készült, a kalapácsbalta és a nyakkorongos csákány öntés után egészében vagy részlegesen megmunkálást is kapott. Különböző maratósi technikákkal vizsgáltuk a mikroszerkezetet, így nem csak a látható kovácsolt mikroszerkezetet, hanem az öntött primer szövetszerkezetet is sikerült vizsgálnunk. Pásztázó elektronmikroszkóppal és röntgendiffrakciós vizsgálattal elemeztük a zárványok összetételét és szerkezetét. Mikroszkópi felvételeken elemeztük a zárványok mennyiségét elhelyezkedését és alakját.

A fenti eredmények alapján az összetétel elemzésén túlmenően részletes képet kaptunk a leletek gyártástechnológiájából, amit a korszerű szakirodalmi adatokkal és elméleti megfontolásokkal összevetettünk.

KEYWORDS: COPPER AGE, BRONZE AGE, COMPOSITION ANALYSIS, METALLOGRAPHY

KULCSSZAVAK: RÉZKOR, BRONZKOR, ELEMÖSSZÉTÉTEL, METALLOGRÁFIA

Bevezetés

A Miskolci Egyetem Őstörténeti és Régészeti tanszéke és a Műszaki Anyagtudományi Kar Anyagtudományi Intézete (Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoport) közös vizsgálati projektjének a bevezető lépéseként 3 régészeti tárgyon (**1. ábra**, részletes leírásukat lásd lejjebb)

összetétel elemzést, fázisanalízist és metallográfiai vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálathoz kiválasztott tárgyak különböző régészeti korszakokba sorolhatók. Ezzel a vizsgálatssorozattal kívántuk kialakítani a két tanszék közös munkájának módszertanát, összehangolni a résztvevő kollégák gondolkodásmódját és átgondolni a közös kérdésfeltevés lehetőségeit. Az itt bemutatott

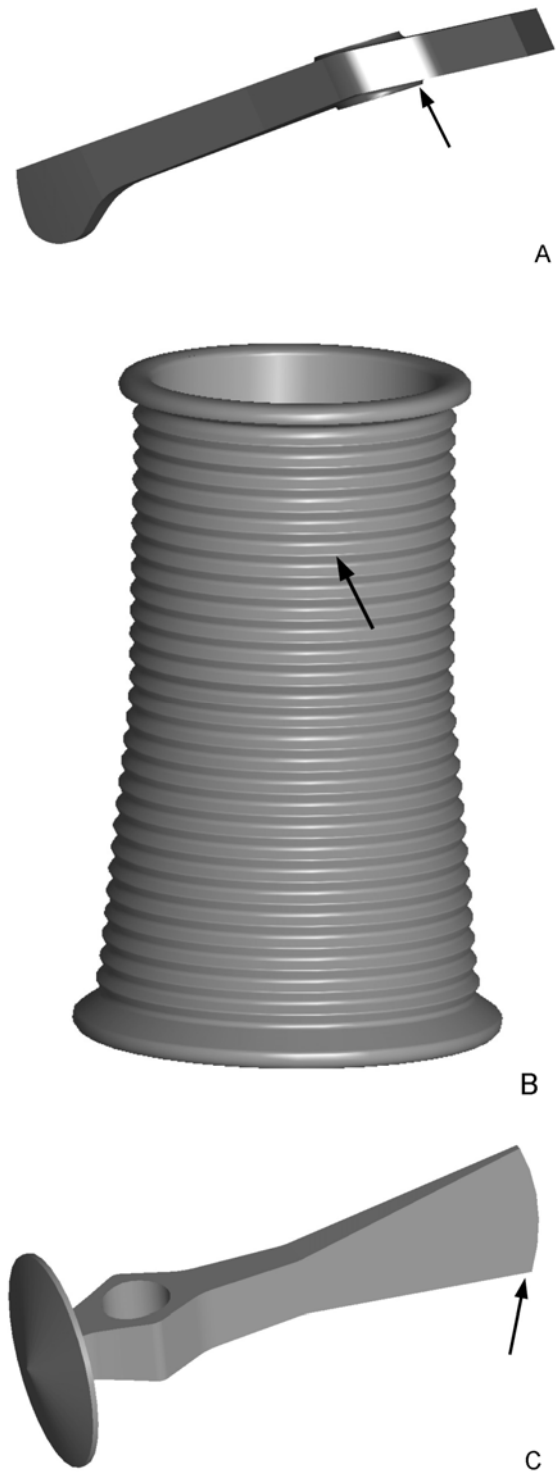
eredmények és nagyobb részt kérdésfelvetések egy nagyobb vizsgálati széria előkészítését képezik.

A tárgyakat a Herman Ottó Múzeum bocsájtotta a vizsgálatok céljára rendelkezésünkre.

A vizsgált tárgyak

Az első tárgy egy középső rézkori kalapácsbalta (**1a ábra**, HOM Ltsz.: 53.335.1). Közelebbi lelőhelye ismeretlen, biztosan csak annyit tudunk, hogy Borsod megyéből származik. Patay Pál feldolgozása szerint a Székely-Nádudvar típusú kalapácsbalta Monostorpályi variánsa (Patay 1984, 52, Taf. 19/235). Oldalnézetben a test a nyéllyuknál íves, a csákánykar ívelt és a körív alakú penge előtt kiszélesedik, az átmetszet erősen legömbölyített. A kalapácsrészen használat nyoma figyelhető meg. A nyéllyuk alsó részénél karima található. Szoros kapcsolatot mutat a jászladányi típusú ellentett élű rézcsákányokkal (Patay 1984, 51, 54–55), datálása javarészkori (4000–3600 BC).

A második vizsgálat alá vont tárgyunk a borsodgeszti kardíszpár egyik darabja (**1b ábra**, HOM Ltsz.: 53.646.2; Bóna 1958, Mozsolics 1967, 131, Taf. 1.9–10). Az öntött, felfelé keskenyedő végű karperecek kívül bordázottak, felülettük belül sima. „Minden második (néha harmadik vagy ötödik) bordát függőleges bevagdosással hangsúlyoztak, ezzel enyhítve a felület egyhangúságát. A csövek két végén a bordák duzzadt peremmé alakítva zárják le a díszítést és az ékszert. A csőkarpereceket lapos öntőmintába öntötték ki, majd az egyenes lemezt henger alakban összehajtván, végeit összeforrasztották” írja már az első publikálás alkalmával Bóna István (Bóna 1958). Három hasonló, de nem teljesen azonos darabot ismerünk az Északi-középhegység területéről. A nógrádmarcali 2 kardíszból egy zárt, egy nyitott végű. A harmadik darab ismeretlen lelőhelyű, szintén nyitott végű. Utóbbi a borsodgesztihez hasonlóan a Herman Ottó Múzeum gyűjteményében található, vagyis feltehetően a megyéből származik (Koós 1989). A tárgytípussal foglalkozó irodalom az említett magyarországi kardíszeket az aunjetitzi kultúra karékszereihez kapcsolja és az Odera és Elba vidéki kapcsolatokat hangsúlyozzák. Bóna István az aunjetitzi kultúra import készítményeinek tartja őket (Bóna 1958, 42). Koós Judit – bár felveti a hazai készítés lehetőségét, mint munkahipotézist – szintén importtárgyként értékeli az ismeretlen lelőhelyű darabot (Koós 1989, 435). Ezt a véleményt foglalja össze Jozef Bátor is az aunjetitzi bronzok keleti határzónájának vizsgálatakor (Bátor 2001, 267, Abb. 9). A karékszerek hazai megjelenését a hatvani kultúra időszakához kötik.



1. ábra: A vizsgált lelelték: 53.335.1 kalapácsbalta (a), 53.646.2 kardísz (b), 53.637.1 balta (c).

Fig. 1.: The examined finds: hammer-axe 53.335.1 (a), bracelet 53.646.2 (b) and pick 53.637.1. (c).

Martin Bartelheim a csehországi aunjetitzi kultúra tárgytypusainak vizsgálatakor a kardíszeket két nagy csoportra bontja (Bartelheim 1998, 84, Taf. 173). A feltehetően idősebb, poncolt és bekarcolt díszű, ún boroticei típus a morva területekre jellemző. Általában ónszegény rézlemezéből készül. Az öntött, bordázott, de nyitott végű csehországi darabok nyersanyaga már ónbronoz.

Az öntött, bordázott darabok R. Krause szerint az aunjetitzi kultúra északi területéről (észak Csehország és közép Németország) származnak, ezek azonban nyitott végűek. Két zárt, öntött, bordázott karperecet említ, az egyiket Darmstadtból, a másikat Weil im Schönbuchból (Krause 2003, 178–182, Abb. 158–159). Mindkét tárgy kísérőlelet nélküli, ezért egytagú depóleletként értékelhetjük őket (*Einzeldeponierung*). E két karperec tekinthető a borsodgészti karperecpár legjobb párhuzamának a korábbi kutatók által említett darabok mellett (Bóna 1958, 41; Koós 1989, 27–28). Míg a nyitott, öntött aunjetitzi példányok réztípusa fakóérc (*klassische Ösenringkupfer*), addig a két zárt, említett kardísz összetétele nem ismert. R. Krause feltételezi, hogy azok helyi, délnémet műhelyekben készültek aunjetitzi előképek nyomán és összetételükben feltehetően más rézfajták találhatóak (Krause 2003, 182).

Az öntött, bordázott karpereceket az aunjetitzi kultúra (Kr. e. 2300–1600) időszakán belül a fiatalabb horizontba sorolhatjuk (Kre. e. 1800–1600). Ennek alapján a Kárpát-medencében előkerült példányokat – származási helytől függően – mind a fiatalabb hatvani kultúra mind a füzesabonyi kultúra importjaiként vagy helyi utánzataiként értékelhetjük.

A harmadik tárgy a szendrőládi lelőhelyű (**1c ábra**, HOM Ltsz.: 53.637.1) nyakkorongos csákány, mely a nyakkorongos csákányok A1-es, hajdúsámsoni variánsához tartozik (Kemenczei 1966, 7–11, Abb. 3–4; Mozsolics 1967, 33, 35, 36, 158, Taf. 22.1; David 2002, 82, 265, 417, 472). Legjobb párhuzamai, a hajdúsámsoni és a szeghalmi darabok a hajdúsámsoni kincshorizont legkorábbi leletei között jelölik ki a helyét (Kr. e. 1800–1600). A pengén található díszítés záró variánsa párhuzam nélküli.

A hajdúsámsoni kincshorizont tárgytypusait (rövid kardok, nyakkorongos csákányok, nyélcsöves csákányok) helyi, Felső-Tisza vidéki-erdélyi innovációnak és gyártmánynak tarthatjuk. A feltehetően nem egy műhelyben készült, de azonos típusú és hasonló díszítésű, stílusú tárgyak korai, gazdagon díszített csoportja a korabeli társadalom presztízstárgyaiként értékelhető. A hajdúsámsoni kincsek nyersanyagának beszerzési helyéül csak általánosságban az Erdélyi- és a Szlovák érchegeység területeit tudjuk megnevezni. Nem

ismert a forma kőből készült öntőmintája. Ilon Gábor öntőmintakatalógusa szerint egy öntőminta töredéke sorolható kérdőjelesen ehhez a típushoz (ezen belül is a B variánsához) Bácsáról (Ilon 2006, 277). Horváth Tünde említ szintén B típusú nyakkorongos csákányokhoz tartozó öntőmintákat (Horváth 2004a, 46; Horváth 2004b, 110, 119) melyek az eredeti publikációban található méretarányok alapján nem sorolhatók a nyakkorongos csákányokhoz (Bartik 1999, 187, Abb. 4.1a–b; Batora 2009, Fig 18.2, Fig. 20.5).

Mintavétel és vizsgálati módszer leírása

A mikroszerkezeti- és fázisösszetétel vizsgálatokhoz a mintavételi eljárás roncsolásos módszerrel történt. Mindegyik leletből egy 1–2 gramm tömegű mintát vágunk ki. A mintavétel helyének megállapításakor két alapvető szempontot vesszünk figyelembe. Egyrészt a tárgyak műtárgy jellegét, esztétikai értékét és későbbi kiállíthatóságát, másrészt az elsődlegesen megfogalmazott kérdéseinkre keresett válaszokhoz legalkalmasabb felületeket. Így a rézkori kalapácsbalta esetében a nyéllyuk alsó, peremes részéből vettük a mintát. Egyrészt itt érte a baltát a legkevesebb beavatkozás használat közben, másrészt ez esetben kérdéses volt a nyéllyuk (öntés során öntőmaggal vagy utólagos eljárással készült-e) és ezen keresztül a tárgy kialakításának a módszere.

A kardísz esetében a tárgy egy helyen, az öntvény közepében sérült volt. Így itt a mintavétel helyét ez határozta meg.

A nyakkorongos csákánynál a szintén a már sérült élrész sarkából vágunk mintát az **1c ábrán** megjelölt helyen. A tárgy e helyen már sérült volt, a minimális mintavételi lehetőség miatt az innen vett mintából nyerhettük a darabra vonatkozó legtöbb nem felületi információt. Az így nyerhető ismeretek nem vetíthetők teljes egészében a tárgy készítési eljárására, az eredmények értékelésekor figyelembe vettük, hogy a tárgy jellege presztízsz funkciót sugall.

Mivel a vizsgálatok nem felületi vizsgálati módszerrel történtek a felület közeli óndulás hibalehetőségét kizárhatjuk a vizsgálatok esetében (Szabó 2010, Porter & Easertling 1996).

A mintákat műgyantába ágyaztuk úgy, hogy az egyik vágott felületet tudjuk vizsgálni. A leletek restaurálására korábban sor került. A restaurálási folyamat során olyan vegyszermaradványok kerülnek a felületre, amelyek zavarják az alkalmazott elemanalitikai eljárást, ezért a lelet belső összetételét reprezentáló felületet vizsgáltuk.

A minták mikroszerkezetét optikai mikroszkópi technikával vizsgáltuk. A mintát polírozás után sósav és vas-klorid elegyében marattuk. A primer szövet kimutatására ammónium-kloriddal történő

maratást alkalmaztunk (ASM International 2004). A felvételeket Zeiss AxioImager mikroszkóppal készítettük. Az előkészített minták átlagos és lokális összetétel elemzését AMRAY 1830I energiadiszipatív mikroszondával felszerelt pásztázó elektron-mikroszkóppal (SEM-EDX) végeztük el a Miskolci Egyetem LISA (www.matsci.uni-miskolc.hu) laboratóriumában. Az EDX analízisnél ultravékony berillium ablakot alkalmaztunk, azaz az oxigén és annál nagyobb tömegszámú elemeket tudjuk kimutatni. Az analízisnél az összes olyan elem mennyiségét vizsgáltuk, mint a lelet összetételét, amelyet a berendezés számottevő mennyiségben kimutatott. A berendezések kalibrációja a gyártó által előírt etalonokkal és módon történt.

Eredmények

Összetétel elemzés:

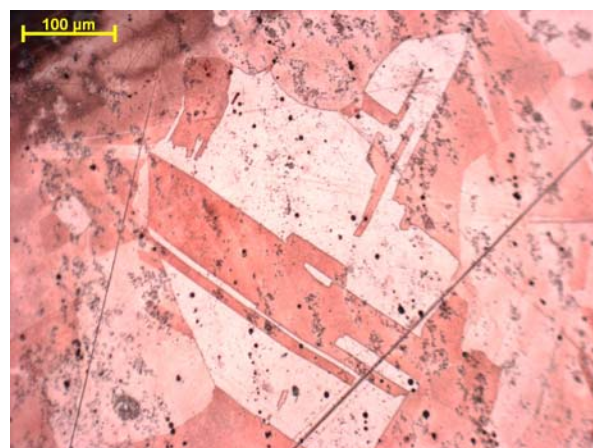
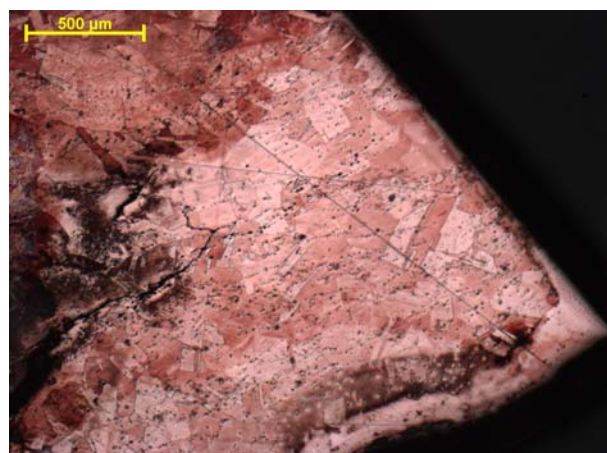
A kiválasztott tárgyak mindegyikéről készült összetétel elemzés a SAM projekt keretében OES módszerrel (Krause 2003, ANR 12963, 12970, 12979). Ez a vizsgálat a tárgy felületéről vett mintában zajlott, ahol a korrózió és a restaurálási eljárás által szennyezett volt a lelet.

Jelen vizsgálat célja elsősorban nem átlagos elemösszetétel-elemzés volt, mégis érdekesnek tartjuk bemutatni a SAM projekt által mért adatok összehasonlítását a jelen mérés eredményeivel (**1. táblázat**).

1. táblázat: A vizsgált tárgyak elemösszetételének összevetése a korábbi elemzéssel

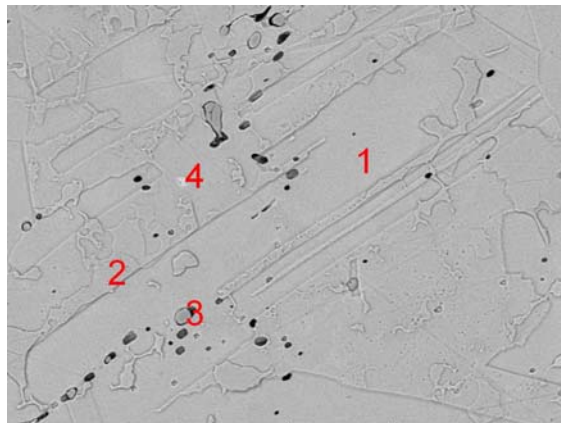
Table 1.: The chemical composition of the examined objects and the results of the earlier analysis

lelet	mérés	Sn (%)	Sb (%)	Ag (%)	Ni (%)	As (%)	Bi (%)	Pb (%)
53.335.1	SAM	–	0,006	0,01	0,001	–	–	–
	LISA	–	0,49	0,31	–	–	–	–
53.646.2	SAM	2,5	2,8	0,03	0,58	0,19	–	–
	LISA	3,39	2,81	0,53	1,6	–	–	–
53.637.1	SAM	5	0,1	0,09	0,5	0,72	0,006	0,01
	LISA	6,07	–	0,46	0,94	1,17	–	–



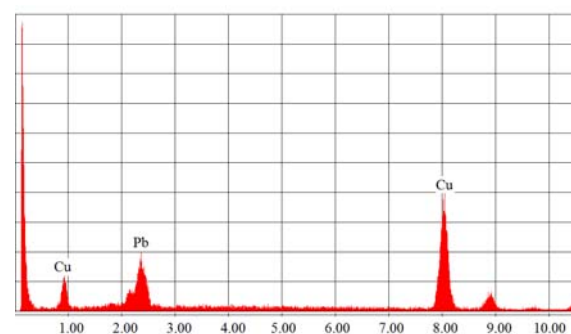
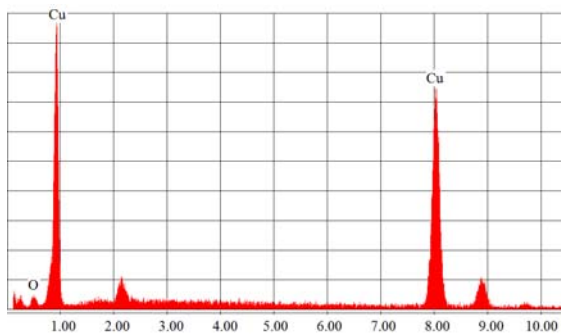
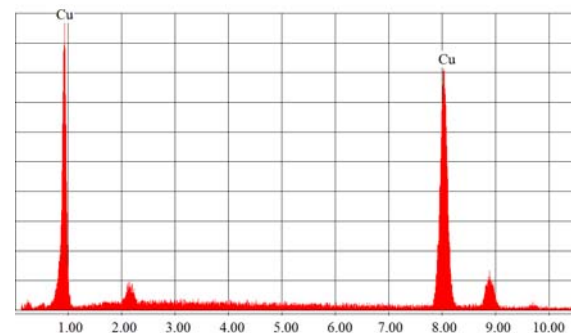
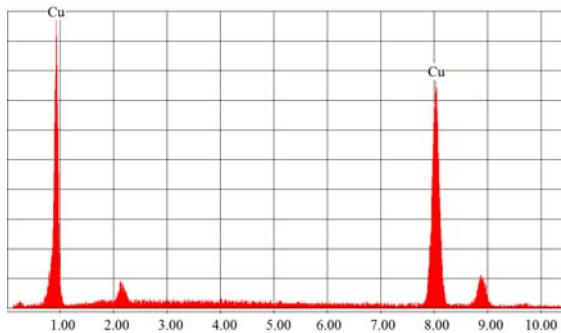
2. ábra: A kalapácsbalta mikroszerkezete

Fig. 2.: The microstructure of the hammer axe



3. ábra: A kalapácsbaltá mikroszerkezetének pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálata. A mikroszerkezetről készített visszaszórt elektron kép (a), (b)–(e) rendre az 1–4 pontok lokális elemzésének spektrumai.

Fig. 3.: The SEM-EDX analysis of the microstructure of hammer axe. A backscattered electron image of the microstructure (a), and the energy spectrum of the local analysis of the points 1-4 in order (b)-(e).



Mikroszerkezeti vizsgálatok eredményei:

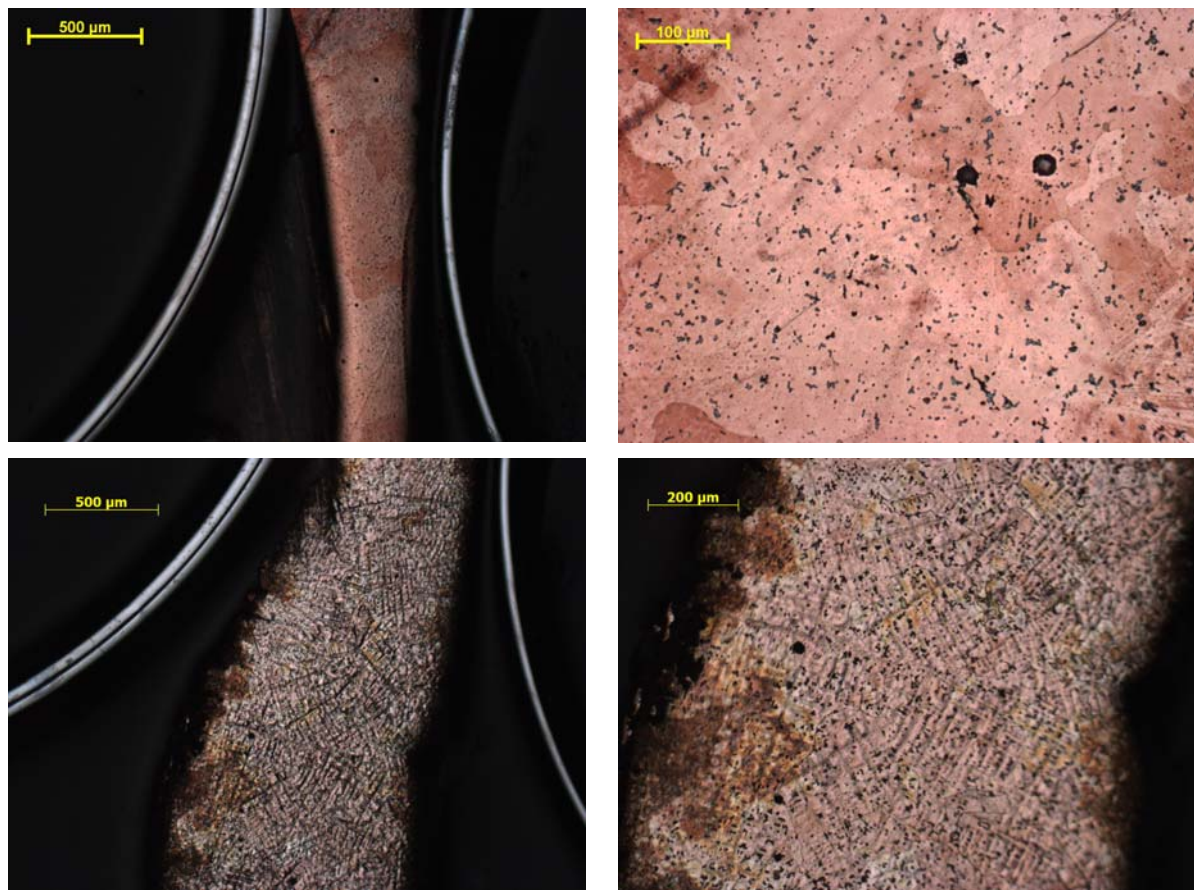
A 2. ábrán a kalapácsbaltá mikroszerkezetét mutatjuk be. Nagyméretű (~100–200 μm) szemcsékből áll a mikroszerkezet, ami a lágyított rézre jellemző ikerhatárok szelnek át. Magas hőmérsékleten kovácsolt rézötvözetek szemcseszerkezetére jellemző ez a megjelenési forma (ASM International 1990d).

A szövetszerkezetben apró fekete zárványok láthatók. Ezek azonosítására elektronmikroszkópi vizsgálatot is végeztünk.

Az elektroszkópi vizsgálatok kimutatták, hogy az alapfémekben nincs jelen a réz mellett jelentős mennyiségű ötvöző. A kalapácsbaltát feltehetően termérszéből olvasztották össze. Az optikai mikroszkópi vizsgálatkor észlelt zárványok réz oxid zárványok (3d ábra spektrumában a réz vonalai mellett megjelenik az oxigén vonala is), amelyek az

olvasztási–öntési folyamat során kerülhettek a kalapácsbaltá anyagába. Nagyon kevés, magas ólomtartalmú zárvány ugyancsak található volt a mikroszerkezetben (3e ábra spektrumában a réz vonalai mellett megjelennek az ólom vonalai is). A kalapácsbaltá anyagának átlagos összetételét az 1. táblázatban közöljük.

A kardísból vett minták mikroszerkezetete a 4. ábrán látható. A primer szövet maratása felfedi az öntött szerkezetre jellemző dendriteket (ASM International 2004). Látható, hogy mind a szemcsék mérete, mind a dendritág távolság nagyon apró, ami az öntés után bekövetkező gyors hűtésre utal (ASM International 1990e). A kardíszot öntéssel készítették, a gyors hűlést a minta csekély falvastagsága okozza. 4.d. ábrán ebben a szerkezetben is zárványok láthatók egyenletes eloszlásban, amelyeknek az alakja jelentősen eltér az előző lelet mikroszerkezetében látottól.



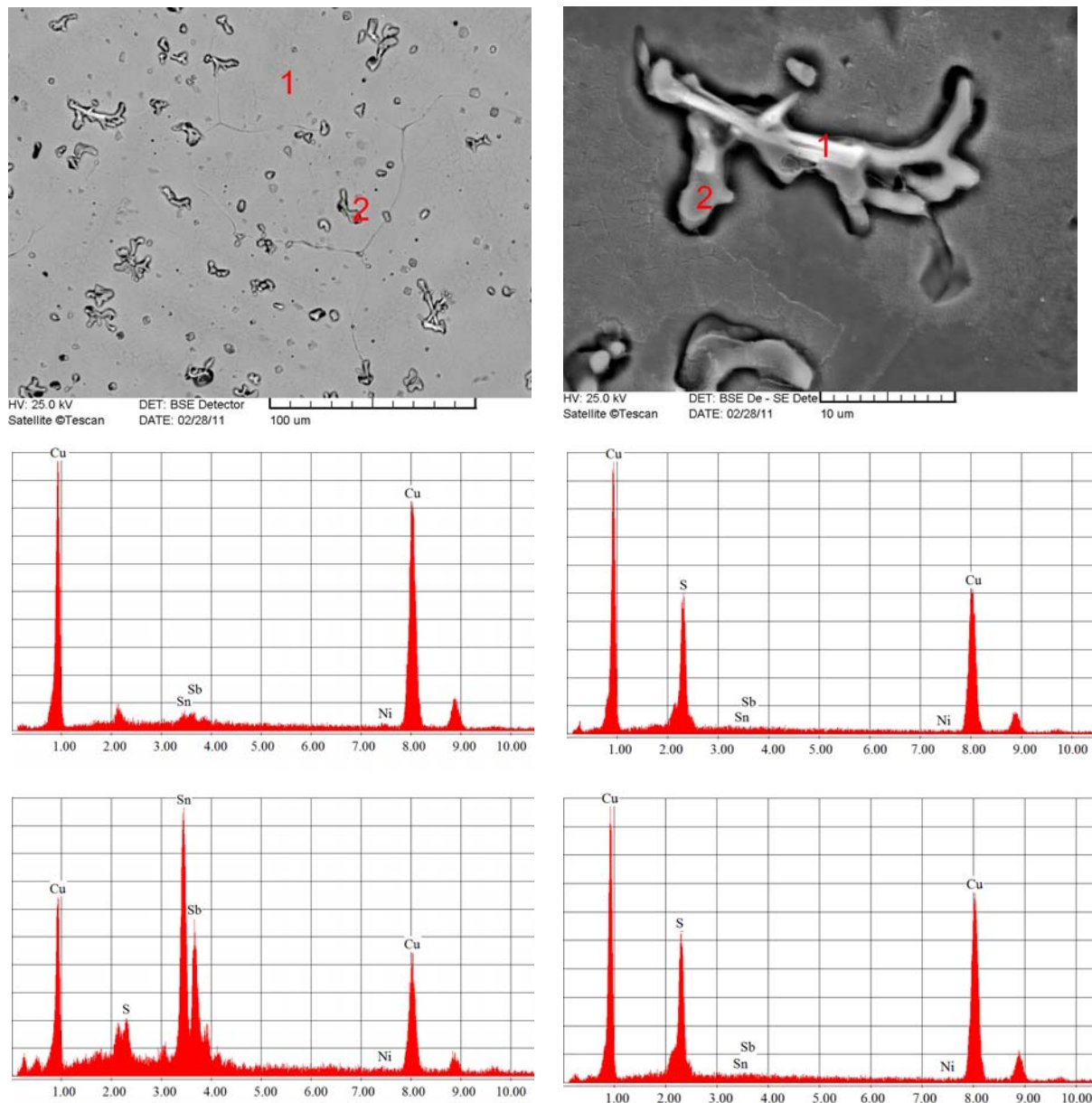
4. ábra: A kardisz mikroszerkezete. A sósav és vas-klorid elegyével történő maratás a szemcseszerkezetet fedi fel ((a) és (b) fotók), amíg az öntött szerkezetre jellemző dendritok az ammónium-kloridos maratással tehetők láthatóvá ((c) és (d) fotók).

Fig. 4.: The microstructure of the bracelet. The etching with the solution of HCl and FeCl₂ reveals the grain structure (a, b). The etching with ammonium-chloride shows the dendrites as in the casted microstructures (c, d).

Mind a mikroszerkezetet, mind a zárványokat részletesebben megvizsgáltuk pásztázó elektronmikroszkóppal (**5. ábra**). Az alapfém réz mellett ónt, antimont és nikkelt tartalmaz (**5b ábra**). A részletes összetételt az **1. táblázat**ban adjuk meg. A zárványok összetett alakúak, lekerekített kontúrokkal, ami alacsony olvadáspontú vegyületfázisra utal (ASM International 1990a, 1990b). A kristályosodás befejező fázisában keletkezhetett. Látható, hogy két jól elkülöníthető részre bomlik: a gerincre és a nyúlványokra. A nyúlványok leginkább réz-szulfidból állnak (**5f ábra**), a gerinc inkább az ón és az antimon kénnel alkotott vegyületeiből (**5e ábra**). Ezek azt mutatják, hogy az alapanyag a réz-szulfidos érceiből kohósodott, amelyben az ón és az antimon kísérő ásvány formájában volt jelen (Davenport et al. 2002).

A nyakkorongos csákány mikroszerkezete mutatja a legösszetettebb képet (**6. ábra**). A szemcseszerkezeten látható, hogy nagyon apró ekvixiális

szemcsékből áll a szerkezet, amelyben bőven láthatunk iker határokat (**6b ábra**). Ez arra enged következtetni, hogy a balta képlékeny alakításon esett át, majd hőkezelték (Cotterill & Mould, 1982). Valószínűleg kovácsolás során vagy hidegen kovácsolták, vagy elhűlt a darab meleg kovácsolás közben, az utolsó lépés bizonyosan a darab hőmérsékletének megemelése volt (Verő & Káldor 1996). A primer szöveten (**6c** és **6d ábra**) látható, hogy az öntött szerkezet nagyon kis mértékű alakítást szenvedett. Ez nem következik a használatból (az élből vettük a mintát), mert a szemcseszerkezete újrakristályosodott jelleget mutat, ami arra enged következtetni, hogy a technológia folyamat során kapta az alakítást, majd a hőkezélést (Verhoeven 1975). A balta mikroszerkezetében is zárványok láthatók (**6b ábra**). A zárványok mérete és alakja eltér az eddig látottaktól, ezért pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálattal is megelemeztük. A zárványok eloszlása egyenletes.

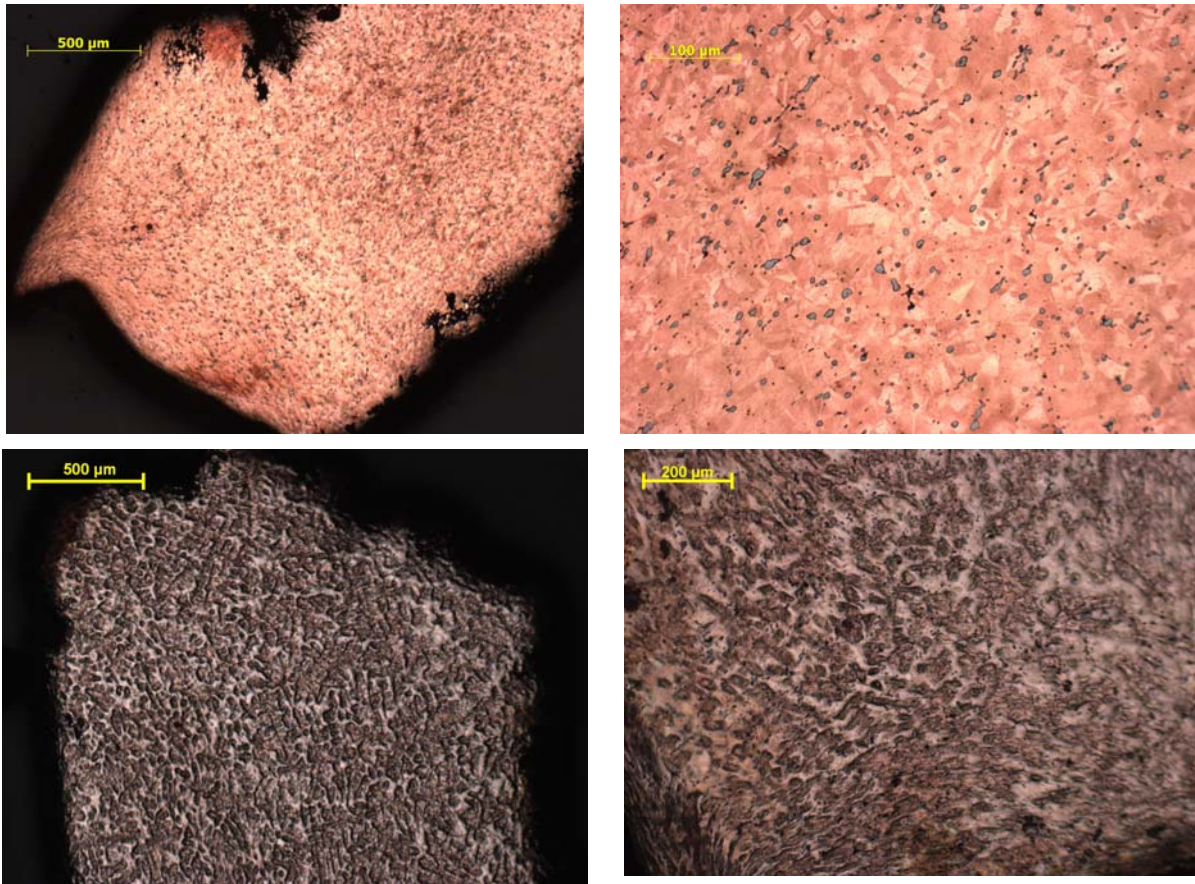


5. ábra: A kardísz mikroszerkezetének pásztázó elektron mikroszkópi elemzésének eredményei.

Fig. 5.: The results of the SEM-EDX analysis of the microstructure of bracelet

A pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálatok feltárták, hogy az alapfém jelentős ón tartalmú és kevés nikkelt is tartalmaz (részletes összetételt az 1. táblázatban közlünk). A zárványokról kiderült, hogy réz-szulfid (7. ábra). Ez arra enged következtetni, hogy szulfidos ércből kohósították (Kékesi et al. 1990). Az alakja jelentősen eltér a kardísz esetén látott zárványok alakjától. A zárványok alakja gömbszerű. Az elszennvedett alakváltozás és az azt következő hőkezelés hatására gömbösödött be a zárvány, ami újabb bizonyítéka annak, hogy öntés után a baltát még külön hőkezelték (ASM International 1990c).

Ennek oka a balta felületén és a 6.a. ábrán látható. A balta felületét díszítés borítja, egy vésett minta, amely helyenként már lepattozott. A balta élét mindenképpen kovácsolták. A minta alapja egy kalapácsolt réteg, amely művelettel felkeményítették a felületet, hogy pontosabban ki tudják alakítani a mintát. Ez a művelet nem eredményes a kovácsolt élen, csak ha előtte kilágyították. A kalapácsolás nyomai, és a kalapácsolt réteg jól látható, a 6a ábrán. Az alakított réteg, és a lágú alapszövet között korróziós potenciálkülönbség alakul ki, ami elég ahhoz, hogy ennyi év alatt a korrózió megtámadja a két réteg közötti határfelületet, és lepattozjon néhol a díszítés a 6.a. ábrán látható mechanizmus szerint.



6. ábra: A nyakkorongos csákány mikroszerkezete. A sósav és vas-klorid elegyével történő maratás a szemcseszerkezetet teszi láthatóvá ((a) és (b) fotók), az ammónium kloridos maratás a primären kristályosodott szövetet mutatja ((c) és (d) fotók).

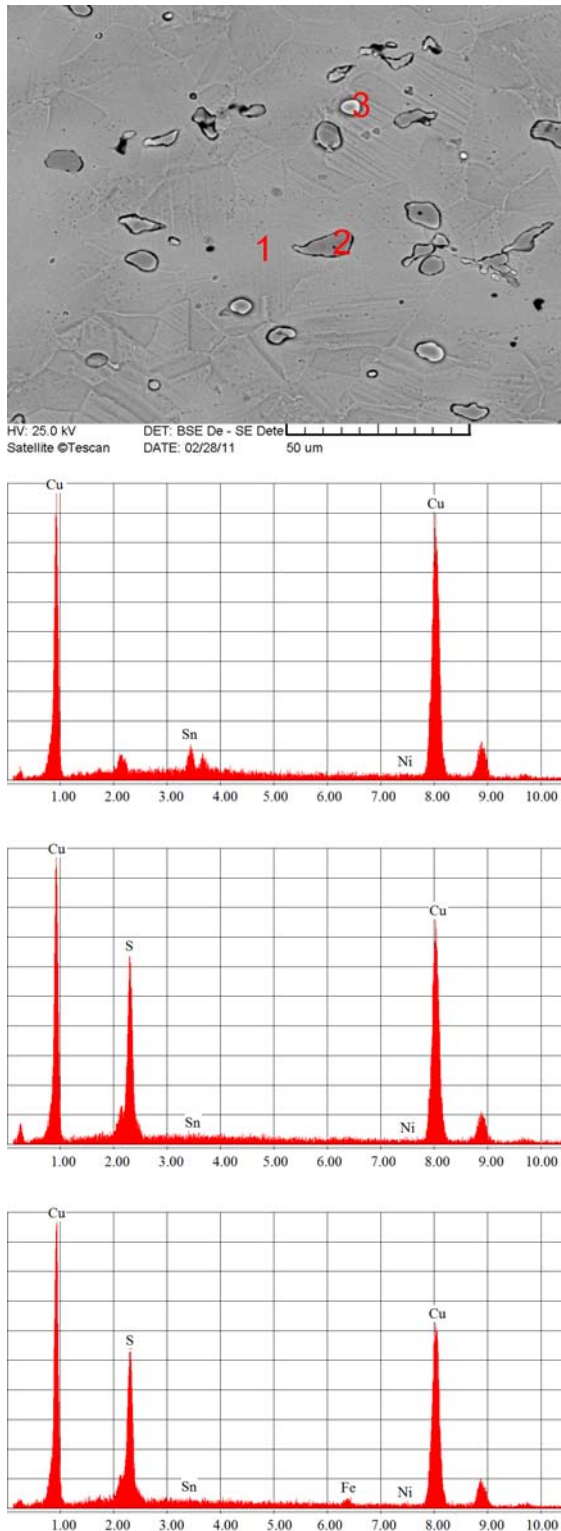
Fig. 6.: the microstructure of the pick with neck disc. The etching with the solution of HCl and FeCl₂ reveals the grain structure (a, b). The etching with ammonium-chloride shows the primarily solidified structure (c, d).

Történeti konklúzió:

A rézkori kalapácsbalták és ellentett élű csákányok előállításával kapcsolatban sokáig többféle elképzelés élt. A tárgyak öntéséhez nem fért kétség, bár öntőformákat a mai napig nem ismerünk a Kárpát-medence és a Balkán területéről. A nyélluk kialakításával kapcsolatban a maggal történő öntés mellett az öntés utáni meleg állapotban történő átfúrás, átlukasztás merült fel megoldásként (Patay 1984, 10–13; Boroffka 2009, 251–252; Kienlin & Pernicka 2009, 270–271). N. Boroffka foglalta össze legutóbb az ellentett élű csákányok készítésével kapcsolatos elképzeléseket és közölt több, egyrészes, a nyélluk kialakításához öntőmaggal rendelkező agyag formát a Kaszpi-tenger déli partjáról és attól keletre levő területekről. Ezek az öntőminták fiatalabbak mint a Kárpát-medence java rézkora, de meglétük nagyban valószínűsíti hasonló használatát a vizsgált időszakban. Java rézkori hiányukat magyarázhatja, hogy az agyag

mintákat csak egyszer lehet öntésre használni, így igen kicsi a valószínűsége, hogy régészeti kontextusban felismerhetően megmaradjanak. A közölt daraboknál N. Boroffka felhívja a figyelmet, hogy ezek valószínűleg sohasem voltak használatban (Boroffka 2009).

A borsodi kalapácsbalta nyéllukának pereméből vett minta metallográfiai vizsgálata öntést és öntés utáni magas hőmérsékleten végzett megmunkálást állapított meg. A tárgy előállításának technológiája megegyezik a T. L. Kienlin és E. Pernicka (2009) által rézkori tárgyakon végzett vizsgálatok során megállapított I. horizont technológiájával. A szerző a rézkori fémművesség vizsgálatokor két technológiai és kronológiai horizontot különített el (Kienlin 2008, 89–101; Kienlin & Pernicka 2009, 262–270). Az első horizont újrakristályosodott mikrostruktúrája melegen alakított vagy lágyított, de erre a horizontra jellemző, hogy a végső hideg megmunkálás hiányzik a tárgyaknál.



7. ábra: A 6. ábrán látható mikroszerkezet pásztázó elektronmikroszkópi elemzése.

Fig. 7.: The SEM-EDX analysis of the microstructure showed on Fig. 6.

Ebbe a horizontba sorolja a jászladányi típusú csákányokat és többek között a Szakálhát típusú baltákat is. Mindez kronológiailag a Kárpát-medence java rézkorával esik egybe, melybe az általunk vizsgált borsodi darab is jól illeszkedik

Kienlin 2. horizontjánál a végső technológiai művelet egy részleges, vagy teljes hideg megmunkálás. Ebbe a horizontba a Hunyadihalom csoporttól (Furchenstich, proto-Boleráz, Baden, Kostolac) a rézkor végi Vučedol kultúráig és a bronzkori Makó kultúráig sorolják az anyagi műveltségek fémművességét. Ez utóbbi horizontra a kétrészes öntőminták és a fakőrcsek használata valamint a többszöri hőkezelés-lágyítás és kovácsolás majd a végső hideg megmunkálás (felületkialakítás és élkeményítés) technológiai együttese jellemző. Tudatosan alkalmazzák az alakítás-lágyítás egymásutáni technológiai lépéseit (Hosford & Caddell 2007).

Kienlin és Pernicka szerint a rézkor és a bronzkor határán kevésbé a nyersanyagkülönbségek (tisztaréz és szulfidos ércek) a meghatározók hanem inkább az alkalmazott technikai újítások, eltérések.

Két másik vizsgált tárgyunk azonos időhorizontban keletkezett a Reinecke szerinti korabronzkor fiatalabb szakaszában (RB A2; magyar terminológia szerint: középső bronzkor közepe). Összetételük alapján az ónbronzozok közé soroljuk őket.

Mindkét tárgy öntött. A kardísz funkciójánál fogva nem igényelt öntés után további metallurgiai beavatkozást.

A tipológiai kutatások (zárt, öntött példány) és az anyagösszetétel-elemzés (eltérő réznyersanyag mint az anyaterületen) alapján a kardíszat aunjetitzi előképek alapján helyben gyártott tárgynak is tarthatjuk. Ez az interpretáció eltér a dolgozat elején bemutatott eddigi véleményektől, melyek szerint a kardísz import tárgy.

A nyakkorongos csákány esetében összetett gyártási folyamatot rekonstruálhattunk. Az alapfém jelentős óntartalma alapján szulfidos ércből, tudatos ötvözéssel készült tárgyról beszélhetünk.

Irodalom

ASM INTERNATIONAL (1990a): Metals Handbook vol. 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM International.

ASM INTERNATIONAL (1990b): Metals Handbook vol. 3, Alloy Phase Diagrams, ASM International.

ASM INTERNATIONAL (1990c): Metals Handbook vol. 4, Heat Treating, ASM International.

ASM INTERNATIONAL (1990d): Metals Handbook vol. 14, Forming and Forging, ASM International.

ASM INTERNATIONAL (1990e): Metals Handbook vol. 15, Casting, ASM International.

ASM INTERNATIONAL (2004): Metals Handbook vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM International.

BARTELHEIM, M. (1998): Studien zur böhmischen Aunjetitzer Kultur – Chronologische und chorologische Untersuchungen. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 46.

BARTÍK, J. (1999): Die Metallgiesserei der Maďarovce-Kultur. In: BÁTORA, J., PEŠKA, J. (Eds.): *Aktuelle Probleme der Erforschung der Frühbronzezeit in Böhmen und Mähren und in der Slowakei*. Nitra 183–193.

BÁTORA, J. (2001): Die Frage der östlichen Verbereitungsgrenze der sog. Aunjetitzer Bronzen. In: GANCARSKI, J. (ed.): *Neolit i początki epoki brązu w Karpatach polskich*. Krosno 251–272.

BÁTORA, J. (2009) Metallurgy and Early Bronze Age Fortified Settlements in Slovakia. *Metalurgia a opevnené sídliská zo staršej doby bronzovej na Slovensku. Slovenská Archeológia* 57 195–219.

BÓNA I. (1958): Bronzkori öntött kardiszek Borsodgesztről. Bronzezeitliche gerippten Armstulpen aus Borsodgeszt. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve* 2 41–44.

BOROFFKA, N. (2009): Simple technology: Casting Moulds for Axe-adzes. In: KIENLIN, T. L. & ROBERTS, B. W. (eds.): *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 169 246–256.

COTTERILL, P. & MOULD, P. R. (1982): *Recrystallization and Grain Growth in Metals*, Surrey University Press, London.

DAVENPORT, W. G., KING, M., SCHLESSINGER, M. & BISWAS, A. K. (2002):

Extractive Metallurgy of Copper, Pergamon Press, Kidlington, Oxford 57–71.

DAVID, W. (2002): Studien zu Ornamentik und Datierung der bronzezeitlichen Depotfundgruppe Hajdúsámson-Apa-Ighiel-Zajta. *Bibliotheca Musei Apulensis*, 18.

HORVÁTH T. (2004a): Néhány megjegyzés a vatyai kultúra fémművességéhez – Technológiai megfigyelések a kultúra kőeszközein. Die Metallkunst der Vatya-Kultur technologische Beobachtungen an ihren Steingeräten. *Communicationes Archaeologicae Hungariae*, 11–64.

HORVÁTH T. (2004b) A vatyai kultúra településeinek kőanyaga. Komplex régészeti és petrográfiai feldolgozás *PhD disszertáció*. <http://www.archeo.mta.hu/hun/munkatars/horvathu/nde/vatya2.pdf>.

HOSFORD, W. M & CADDELL R. M. (2007): *Metal Forming – Mechanics and Metallurgy*. Cambridge University Press, Cambridge. 182–193.

ILON G. (2006): Bronzezeitliche Gussformen in dem Karpatenbecken. In: KOBAL, J. (ed.): *Bronzezeitliche Depotfunde – Problem der Interpretation. Ushhorod*, 273–301.

KEMENCZEI T. (1966): Bronzkori fejszék a miskolci múzeumban. *A miskolci Herman Ottó Múzeum Közleményei* 7 7–11.

KÉKESI T., PÁSZTOR G. & SZEPESSY A. (1990): *Színesfémek metallurgiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 80–170.

KIENLIN, T. L. (2008): Tradition and Innovation in the Copper Age Metallurgy: Result of a Metallographic Examination of Flat Axes from Eastern Central Europe and the Carpatian Basin. *Proceedings of the Prehistoric Society* 74 79–107.

KIENLIN, T. L. & PERNICKA, E. (2009): Aspect of the Production of Copper Age Jászladány Type Axes. In: KIENLIN, T. L. & ROBERTS, B. W. (eds.): *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 169 258–276.

KOÓS J. (1989): Ritka bronzkori kardisz a Herman Ottó Múzeumban. Ein seltenes bronzezeitliches Armband im Museum herman Ottó in Miskolc. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve* 27 431–437.

KRAUSE, R. (2003): *Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee. Vorgeschichtliche Forschungen* 24.

MOZSOLICS A. (1967): *Bronzefunde des Karpatenbeckens – Depotfundhorizonte von Hajdúsámson und Kosziderpadlás*. Budapest.

PATAY P. (1984): Kupferzeitliche Meißel, Beile und Äxte in Ungarn. *Praehistorische Bronzefunde* IX.15. München.

PERNICKA, E (1995): Gewinnung und Verbreitung der Metalle in Prähistorischer zeit. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 37 21–129.

PORTER, D. A. & EASTERLING, K. E. (1996): *Phase Transformation in Metals and Alloys*. Chapman & Hall, London, 237-239.

SZABÓ G (1998): Szabó Géza vizsgálatai. *Iparrégészeti és Archeometriai Tájékoztató*. <http://www.ace.hu/iramto/98szabovizsg.html>.

SZABÓ G (2010): [Az archaeometallurgai kutatások gyakorlati és etikai kérdései / Practical and ethical issues of archaeometallurgic research](#). *Archeometriai Műhely* 7/2 111–122.

VERHOEVEN, J. D. (1975): *Fundamentals of Physical Metallurgy*, Willey & Sons, New York, 325–362.

VERŐ J. & KÁLDOR M. (1996): *Fémtan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 184–213.

WASEDA, Y & ISHIKI, M (2002): *Purification Process and Characterization of Ultra High Purity Metals*. Springer, London.

KOSZIDERI ÉS HALOMSÍROS BRONZTÁRGYAK KOMPLEX VIZSGÁLATA – ÖSSZETÉTEL, FÁZISOK ÉS KORRÓZIÓS FELÜLETEK

COMPLEX STUDY OF BRONZE OBJECTS FROM KOSZIDER AND TUMULUS PERIOD – COMPOSITION, PHASES AND CORROSION

SÁNTA GÁBOR

SZTE BTK Régészeti Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2.

E-mail: archeo.santa@gmail.com

Abstract

An archaeometallurgical project have founded between the Archaeological department of Szeged University and MTA ATOMKI (Nuclear Research Institute of Hungarian Academy of Sciences, Debrecen) in 2007 (Sánta et al. 2007), which has followed in 2010 in Slovenia among the CHARISMA European Archaeometry Program. Our group (Gábor Sánta, Zsófia Kertész PhD, Žiga Šmit PhD, Imre Uzonyi PhD, Lajos Daróczi, David Jezeršek, László Csedreki) have won measurement time (4 days) in the laboratory of Jožef Štefan Institute next to Ljubljana, Slovenia. We measured 39 objects from the Middle and Late Bronze Age and one piece with questionable dating. In February, 2011 the group completed the earlier results with other measurements made in the Debrecen laboratory of ATOMKI. We have measured cross-sections of some typical object to get answers about the inner phases of bronze, the corrosion and tin-enrichment on the surface. Our results refine the methods of bronze archaeometallurgy and reveal the complexity of the problem. This is a preliminary report about our results based on a conference presentation in Miskolc, 16-18. May 2011. A multi-author paper will be published soon.

Members of the group in the 2010-2011 session: Gábor Sánta, Zsófia Kertész PhD, Žiga Šmit PhD, Imre Uzonyi PhD, Lajos Daróczi, David Jezeršek, László Csedreki.

Kivonat

A Szegedi Tudományegyetem Régészeti Tanszéke és az MTA Atommagkutató Intézete (ATOMKI) között régészeti metallurgiai program keretében együttműködés jött létre 2007-ben, amelyet 2010-ben a projekt újabb állomása követett Szlovéniában, a CHARISMA Európai Archeometriai Programon belül. Csoportunk (Sánta Gábor, Dr. Kertész Zsófia, Dr. Ziga Smit, Dr. Uzonyi Imre, Daróczi Lajos, David Jezeršek, Csedreki László) 4 nap mérési időt nyert a szlovéniai (Ljubljana) Jozef Stefan Intézet laborjában. 39 db középső és késő bronzkori és egy bizonytalan datálású tárgyat vizsgáltunk meg. 2011 februárjában a csoportunk kiegészítette az első eredményeket az ATOMKI debreceni laborjában végzett elemzésekkel. Néhány jellegzetes tárgy metszetét vizsgáltuk annak érdekében, hogy a tárgyak belső szerkezetéről, fázisairól, a korrózió mértékéről és jellegéről, valamint a felületi óndúsulásról adatokat kapjunk. Eredményeink a bronz archeometria módszertanát árnyalják, ugyanakkor közelebb visznek a származási hely kérdésének eldöntéséhez is. Ez az (előzetes) értékelés a 2011. május 16-18-án, Miskolcon elhangzott előadásom szerkesztett és bővített változata. A témában később egy bővebb, többszerzős cikk kerül közzésre.

A csoport tagjai a 2010-2011-es mérési időszakban: Sánta Gábor, Dr. Kertész Zsófia, Dr. Žiga Šmit, Dr. Uzonyi Imre, Daróczi Lajos, David Jezeršek, Csedreki László.

KEYWORDS: KOSZIDER PERIOD, TUMULUS CULTURE, METALLURGY, COPPER ORES, MINING, TRADING, BUBBLES, CORROSION, TIN-ENRICHMENT

KULCSSZAVAK: KOSZIDERI IDŐSZAK, HALOMSÍROS-KULTÚRA, METALLURGIA, RÉZÉRCEK, BÁNYÁSZAT, CSEREKAPCSOLATOK, ZÁRVÁNYOK, KORRÓZIÓ, ÓNDÚSULÁS

Bevezetés

2010-ben az EU-s CHARISMA programon belüli SPIRIT pályázati rendszerben a debreceni kollégákkal (Dr. Uzonyi Imre, Dr. Kertész Zsófia, Csedreki László) együtt pályázatot adtunk be a Ljubljana-i Jožef Štefan Intézetben (Szlovénia) végzendő archeometallurgiai mérésekre. A mintasorozat kezdetben 50 db koszideri és

Halomsíros bronztárgyat foglalt magába. A leletek kiválogatása során 10 mintát kivettünk a célcsoportból, mivel az erős oxidáció miatt rendkívül rossz állapotban voltak, fémmagot nem tartalmaztak. A megmaradó 40 minta közül 39 bronzkori, 1 db kora népvándorlás kori (szarmata).i A használt módszer PIXE ionsugaras mérés volt 3 MeV-os lineáris gyorsítón (Tandetron), levegőben,

Al és Co abszorbenseken keresztül. Az abszorbensek célja az volt, hogy az együtt vagy egymás közelben jelentkező csúcsokat a spektrumon belül jól el tudjuk különíteni. A minta-előkészítés során a felületi oxidréteget egy néhány mm²-es területen a fémmagig eltávolítottuk. Munkatársak: Dr. Žiga Šmit és David Jezeršek. 2011 februárjában microPIXE mérést végeztünk az ATOMKI debreceni laborjában, 6 tárgy elemtérképeit vettük fel, egy tárgyat SEM-EDX-szel (pásztázó elektronmikroszkóp, visszaszórt elektronkép, mikroszkonda) vizsgáltunk, a tárgyból származó 2 mm-es töredék vágott, polírozott felületén.

Jelen cikk a 2011. május 16-18. között Miskolcon rendezett konferencián tartott előadásom szerkesztett és bővített változata.

A vizsgált tárgyak

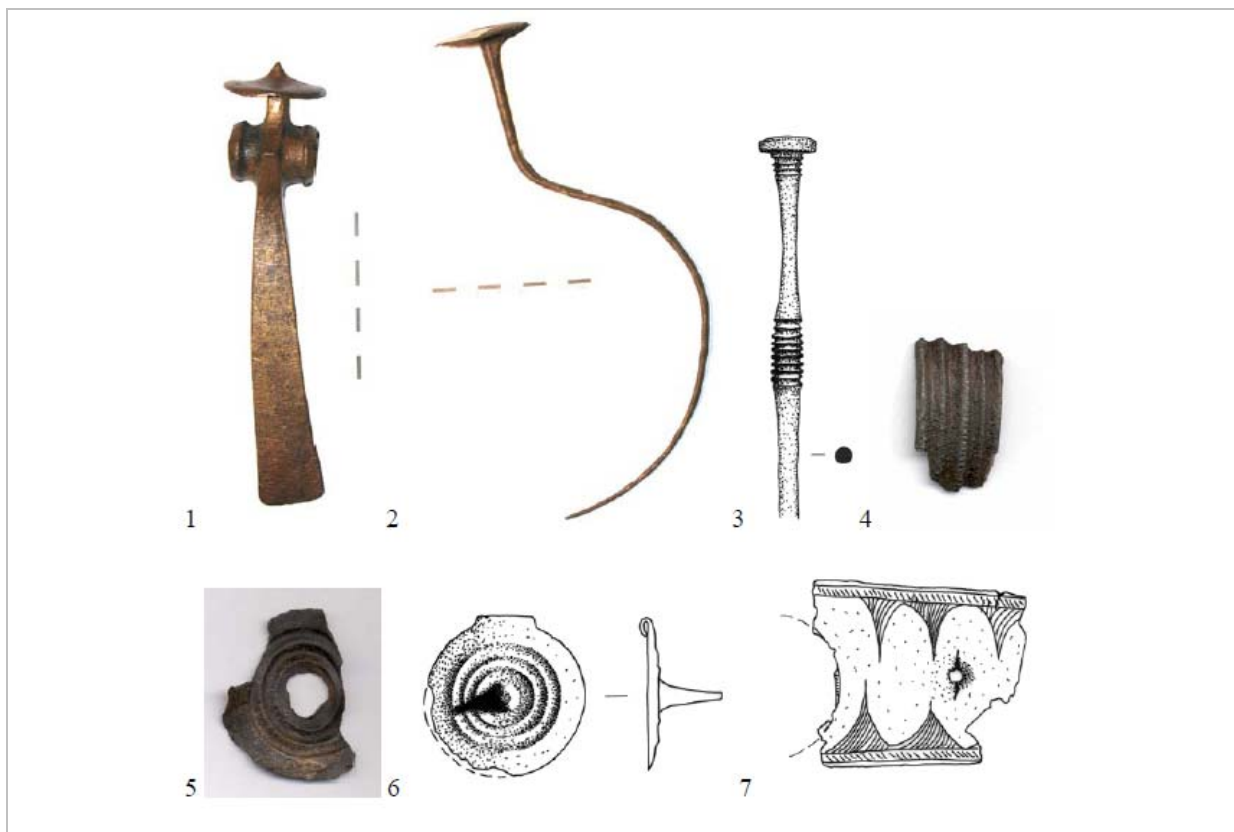
A leletek Csongrád megyében, elsősorban Szeged környékén előkerült, a Halomsíros- és Vatyakultúrák temetőinek mellékletei, egy részük közöletlen (1. táblázat, Tömörkény 1902, 1903, Foltiny 1957, Trogmayer 1975, Sánta 2004a-b).

A kiválasztás szempontjai voltak:

1. A tárgyak fedjék le a Halomsíros-kultúra egész időszakát, beleértve a koszideri korú leleteket is.
2. A vizsgált korszakon belül lehetőleg a legtöbb tárgytípust képviseljék.

A tárgyak eltérő korúak. A koszideri periódusba tartozó, Vatyakultúrához köthető a Csengele-(Belső)mételyesi lelet, a koszideri korú Halomsíros-kultúrába tartozik a Tömörkény-újmajori, Ásotthalom-bilisicsi sarlós tű, és a Szeged-bogárzói és Röske-sárosvölgyi leletek is ide sorolhatóak. A többi tárgy a klasszikus Halomsíros-kultúra időszakában készült (a legnagyobb mintasort a Tápé-széntgláégetői leletek alkotják). Kifejezetten késői tárgy nincs a leletek között, datálásuk nem terjed ki a BD időszakra.

A leletek között előforduló bronztárgy-típusok: pecsét- és korongfejű, sarlós és pödrött végű tűk, tűtöredékek, karperecek (mindenféle típus) és töredékeik, csüngők (több típus) és töredékeik, lemezöv töredék, pinzetta, kés, csákány (1. ábra).

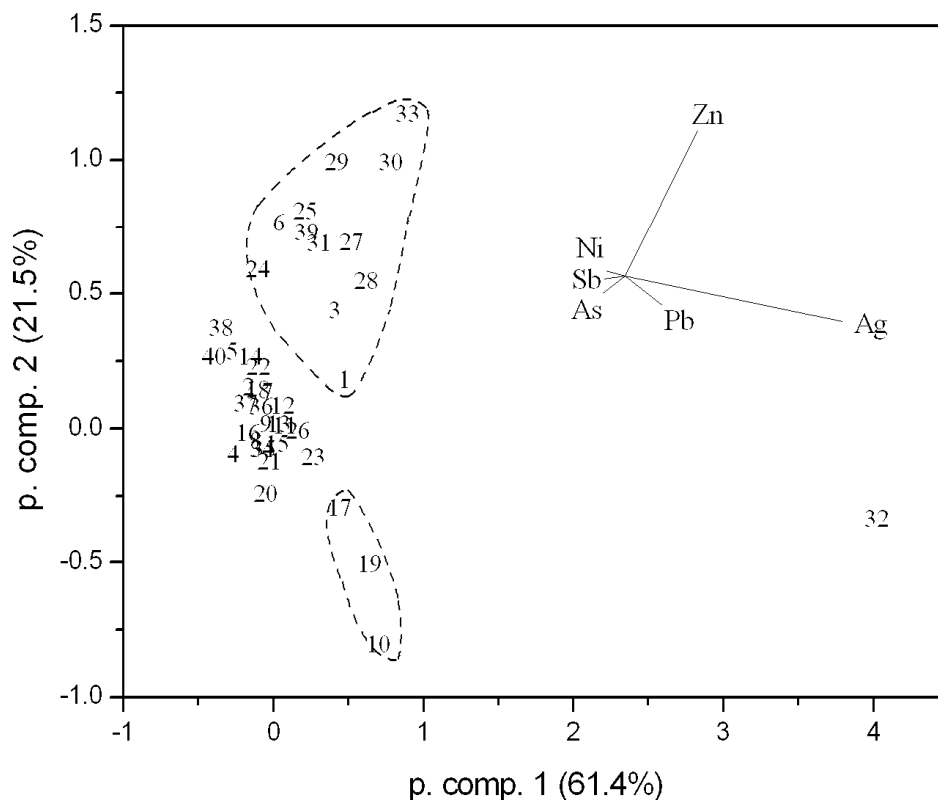


1. ábra: Válogatás a 2010-2011-ben vizsgált tárgyak közül.

1. Tüskés-korongos végű csákány, Szeged-Alsótanya-Kancsalszél, 1/1904. 2. Sarlós tű, Ásotthalom-Bilisics, 1/1905b. 3. Pecsétfejű tű, Kiskundorozsma-Átokháza, 53.61.1. 4. Ötbordás lemezkarpercc töredéke, Röske-Sárosvölgy, 128/1885/18/3. 5. Tüskés-körbordás tutulus, Szeged-Bogárzó, 15. sír, 53.25.19. 6. Tüskés-körbordás tutulus, Csengele-Mételyes, 80.35.2. 7. Lemezöv töredéke, Kiskundorozsma-Átokháza, 53.61.3.

1-2: M=1:3, 3, 5-7: M=1:2, 4: M=1:1.

Fig. 1.: Selection from the objects measured in 2010-2011



2. ábra: 2010-ben a Ljubljanában vizsgált 40 bronztárgy főkomponens-analízissel létrehozott csoportjai (készítette Dr. Žiga Šmit)

Fig. 2.: Clusters among bronze objects measured in Ljubljana (in 2010) by main component analysis (prepared by Žiga Šmit PhD)

Főkomponens-analízis

A főkomponens-analízist Dr. Žiga Šmit végezte a mérési adatok (1-2. táblázat) alapján, az eredményeket a kapott grafikon alapján én értékeltem. A minták között csoportok különíthetők el a Zn, Pb, Ni, Sb, As, Ag tartalom alapján (2. ábra). Egy minta rögtön kiugrik, ez rosszezüst (40% réztartalommal), vagy ezüstözött bronz (szarmata).

Csoportok:

1. Zn-dús csoport. Azoknak a temetőknek (Röszke-Sárosvölgy, Bogárczó-B, Ásotthalom-Bilisics) az egyes leletei tartoznak ide, melyek már a koszideri időszak végén is használatban lehettek. Ez a csoport nagyon élesen elkülönül, és mögötte kronológiai okokat kell látnunk. A kronológiai különbség a fémek összetételében azért nyilvánulhat meg, mert ebben a (koszideri korú, korai Halomsíros) szakaszban más lehetett a fémek beszerzési területe.

2. Ólomban gazdag öntvénynek mutatkozott három lelet, a Tápé-széntéglaegetői 326. és 444. sírból

származók (ltsz. 65.1.409, 65.1.578), valamint egy zánkányi felszíni szórvány (zakany-04). A vizsgált időkereteken belül csak a középső Halomsíros-kultúra leletei közt található, ritka bronztípus. A késő bronzkor későbbi szakaszaiban az ólomban ötvözött bronztárgyak száma emelkedik, sőt jellegzetessé válik (Liversage 1994, Trampuž-Orel et al. 1996, Fig. 4, 211-212).

3. A többi fém anyaga egymáshoz közel áll, mindegyikben található Ni, Sb és As, 0,5 % körüli mennyiségben, tehát ezek AsNi, 'dasni' és ASN fém típusok (Liversage 1994), melyek nagyon homogén és zárt csoportot alkotnak. Ezeket a típusokat a fémművességgel foglalkozó kutatók közül többen azonosították, de eltérően nevezték el. Így Schubert & Schubert (1967) munkájában ez a típus az SAM FA/B. Krause (2003) „Einheitskupfer” vagy „Ostalpin Kupfer” néven nevezi, ami azt jelenti, hogy jellegzetes, arzén-nikkel-antimon összetételt mutat. Ma már nem lehet egyértelműen kijelenteni, hogy ez a réztípus kizárólag kelet-alpi származású (Liversage 1994).

1. táblázat: A tárgyak összetétele tömeg %-ban és besorolásuk Liversage (1994) rendszere alapján**Table 1.:** Composition of objects in mass % and their classification in Liversage's (1994) system

Code	Type	Site	Type (after Liversage 1994)
128-134/1885/19	pin fragment	Röszke-Sárosvölgy	AsNi/ASN
53.25.3	pendant fragment	Szeged-Bogárzó B, Grave 1	AsNi/ASN
128/1885/18/3	pendant fragment	Röszke-Sárosvölgy	AsNi
128/1885/14	pendant fragment	Röszke-Sárosvölgy	ASN
53.25.19	pendant fragment	Szeged-Bogárzó B, Grave 15	dasni
53.25.9	pendant fragment	Szeged-Bogárzó B, Grave 6	dasni
Zakany-01	knife	Zákányszék-Zákány d., Grave 12	ASN
Zakany-02	pendant	Zákányszék-Zákány d. NY/69. lh	ASN
Zakany-03	bracelet	Zákányszék-Zákány d. NY/70. lh	ASN
Zakany-04	pendant	Zákányszék-Zákány d. NY/70. lh	ASN
1/1906	bracelet	Ásotthalom-Királyhalom	ASN
2/1906	bracelet	Ásotthalom-Királyhalom	AsNi/ASN
65.1.46	pin fragment	Tápé-Széntégláégető, Grave 25	ASN
65.1.47/1	bracelet	Tápé-Széntégláégető, Grave 25	AsNi/ASN
65.1.396	pin fragment	Tápé-Széntégláégető, Grave 324	ASN
65.1.78/1	pin fragment	Tápé-Széntégláégető, Grave 48	ASN
65.1.409	bracelet	Tápé-Széntégláégető, Grave 326	ASN
65.1.575	pin fragment	Tápé-Széntégláégető, Grave 444	AsNi/ASN
65.1.578	bracelet	Tápé-Széntégláégető, Grave 444	ASN
65.1.603	pin fragment	Tápé-Széntégláégető, Grave 463	ASN
65.1.693	pinzetta	Tápé-Széntégláégető, Grave 518	ASN
65.1.705	bracelet fragment	Tápé-Széntégláégető, Grave 526	AsNi/ASN
65.1.707	pendant	Tápé-Széntégláégető, Grave 526	ASN
53.61.1	pin	Kiskundorozsma-Átokháza-dülő	AsNi
53.61.2	bracelet	Kiskundorozsma-Átokháza-dülő	AsNi
53.61.3	bronze belt fragm.	Kiskundorozsma-Átokháza-dülő	ASN
53.61.4	bracelet	Kiskundorozsma-Átokháza-dülő	ASN
53.61.6	bracelet fragment	Kiskundorozsma-Átokháza-dülő	ASN/AsNi
53.60.1	bracelet	Nagyszéksós-Oltványi tanya	AsNi/ASN
53.60.2	bracelet	Nagyszéksós-Oltványi tanya	ASN
4/1894	sickle pin	Tömörkény-Újmajor	ASN/AsNi
53.219.1	pendant	Kömpöc-Gerzsa	-----
53.137.1	bronze ornament fr.	Ásotthalom-Királyhalom	ASN
2001.3.2	bracelet	Ópusztaszer-Kápolnai erdő	ASN
2001.3.3	pin	Ópusztaszer-Kápolnai erdő	ASN
53.135.1	pin	Szeged-Rókusi téglagyár	ASN/AsNi
80.35.2	pendant	Csengele-Mételyes	ASN
1/1904	axe	Szeged-Alsótanya	AsNi
10/1905b	sickle pin	Ásotthalom-Bilisics	AsNi
53.50.8	pin	Kiskunmajsa	AsNi

1. táblázat, folyt.: A tárgyak összetétele tömeg %-ban és besorolásuk Liversage (1994) rendszere alapján**Table 1., cont.: Composition of objects in mass % and their classification in Liversage's (1994) system**

Code	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Sn	Sb	Pb
128-134/1885/19	0	0,342	0	0,300	84,5	0,50	0,947	0,27	0	12,4	0,36	0,41
53.25.3	0	0,067	0	0,540	77,9	0	0,365	0,20	0	20,5	0,38	0,05
128/1885/18/3	0	0,117	0,068	0,717	85,9	0,78	0,693	0,12	0	11,1	0,32	0,25
128/1885/14	0	0,099	0	0,250	88,7	0	0,562	0,11	0	9,3	0,93	0,03
53.25.19	0	0,158	0	0,200	91,4	0	0,162	0,09	0	7,6	0,34	0,10
53.25.9	0	0,360	0,055	0,232	91,2	0,82	0,144	0,07	0	6,9	0,19	0,01
Zakany-01	0	0,055	0	0,365	91,9	0	0,350	0,08	0	6,6	0,51	0,18
Zakany-02	0	0,263	0	0,452	89,4	0	0,654	0,12	0,044	8,2	0,71	0,09
Zakany-03	0	0,132	0	0,570	85,2	0	0,584	0,16	0	12,7	0,51	0,11
Zakany-04	0	0,185	0	0,421	89,7	0	1,491	0,08	0	5,3	0,56	2,34
1/1906	0	0,050	0,063	0,445	88,2	0	0,554	0,10	0	9,8	0,51	0,30
2/1906	0	0,610	0,131	0,444	89,0	0	0,527	0,09	0	8,6	0,32	0,28
65.1.46	0	0,579	0	0,406	83,5	0	0,626	0,16	0,064	14,0	0,48	0,22
65.1.47/1	0	0,158	0	0,361	93,0	0	0,204	0,07	0	5,7	0,29	0,23
65.1.396	0,059	0,269	0,072	0,605	80,5	0	0,631	0,17	0	16,9	0,64	0,20
65.1.78/1	0	0,558	0	0,416	89,5	0	0,556	0,10	0	8,1	0,73	0,03
65.1.409	0	0,268	0	0,203	88,0	0	0,495	0,10	0	9,1	0,84	0,97
65.1.575	0	0,325	0	0,456	87,4	0	0,439	0,13	0	10,9	0,34	0,10
65.1.578	0	0,020	0	0,387	81,8	0	0,746	0,15	0	14,4	0,71	1,80
65.1.603	0	0,174	0	0,571	83,0	0	1,120	0,17	0	14,3	0,61	0,11
65.1.693	0,043	0,560	0	0,718	84,4	0	0,768	0,13	0	12,6	0,65	0,13
65.1.705	0	0,076	0	0,185	90,3	0	0,421	0,10	0	8,5	0,32	0,13
65.1.707	0	0,038	0	0,401	88,3	0	0,424	0,13	0	9,4	0,60	0,61
53.61.1	0	0,077	0	0,857	89,7	0,44	0,296	0,07	0	8,4	0,12	0
53.61.2	0	0,468	0,053	0,844	83,9	1,06	0,379	0,13	0	12,9	0,30	0
53.61.3	0	0,151	0	0,543	86,0	0	0,421	0,11	0	11,9	0,52	0,40
53.61.4	0	0,435	0	0,437	89,4	1,30	0,474	0,11	0	7,0	0,72	0,12
53.61.6	0	0,262	0,080	0,538	88,0	1,20	0,483	0,11	0	8,2	0,72	0,41
53.60.1	0	0,332	0,093	0,580	86,3	1,79	0,417	0,13	0	10,0	0,35	0
53.60.2	0	0,055	0	0,378	85,1	2,45	0,352	0,14	0	10,5	0,59	0,39
4/1894	0	0,053	0	0,330	88,3	0,98	0,215	0,14	0	9,5	0,44	0,07
53.219.1	0	0,062	0	0,047	40,2	1,88	0,030	55,3	0	0,95	0	1,26
53.137.1	0	0,184	0	0,325	86,1	3,20	0,440	0,11	0	8,6	0,53	0,48
2001.3.2	0	0,119	0,121	0,689	86,9	0	0,759	0,13	0	10,7	0,47	0,08
2001.3.3	0	0,119	0,123	0,673	87,3	0	0,770	0,12	0	10,4	0,48	0,10
53.135.1	0	0,082	0	0,574	90,5	0	0,474	0,08	0	7,7	0,45	0,11
80.35.2	0	0,114	0	0,436	92,0	0	0,470	0,08	0	6,4	0,50	0
1/1904	0	0,026	0	0,369	95,1	0	0,119	0,05	0	4,2	0,15	0
10/1905b	0	0,154	0	0,306	89,7	0,98	0,404	0,09	0	8,1	0,30	0
53.50.8	0	0,099	0	0,419	87,6	0	0,531	0,12	0	11,2	0	0

2. táblázat: A mérési eredmények atom %-ban**Table 2.: Results of measurements in atomic %**

Code	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Sn	Sb	Pb
128-134/1885/19	0	0,42	0	0,35	90,29	0,52	0,86	0,17	0	7,06	0,20	0,14
53.25.3	0	0,08	0	0,65	86,37	0	0,34	0,13	0	12,19	0,22	0,02
128/1885/18/3	0	0,14	0,08	0,82	90,93	0,80	0,62	0,07	0	6,28	0,17	0,08
128/1885/14	0	0,12	0	0,28	93,26	0	0,50	0,07	0	5,25	0,51	0,01
53.25.19	0	0,19	0	0,23	94,95	0	0,14	0,06	0	4,23	0,19	0,03
53.25.9	0	0,42	0,06	0,26	94,32	0,83	0,13	0,04	0	3,84	0,11	0
Zakany-01	0	0,07	0	0,41	95,18	0	0,31	0,05	0	3,66	0,27	0,06
Zakany-02	0	0,31	0	0,51	93,47	0	0,58	0,07	0,03	4,61	0,39	0,03
Zakany-03	0	0,16	0	0,66	90,95	0	0,53	0,10	0	7,28	0,29	0,04
Zakany-04	0	0,22	0	0,48	93,92	0	1,32	0,05	0	2,95	0,30	0,75
1/1906	0	0,06	0,07	0,51	92,89	0	0,49	0,06	0	5,54	0,28	0,10
2/1906	0	0,72	0,15	0,50	93,02	0	0,47	0,06	0	4,82	0,17	0,09
65.1.46	0	0,71	0	0,47	89,70	0	0,57	0,10	0,04	8,07	0,27	0,07
65.1.47/1	0	0,19	0	0,40	95,83	0	0,18	0,04	0	3,13	0,16	0,07
65.1.396	0,08	0,33	0,08	0,71	87,81	0	0,58	0,11	0	9,85	0,37	0,07
65.1.78/1	0	0,66	0	0,47	93,40	0	0,49	0,06	0	4,50	0,40	0,01
65.1.409	0	0,32	0	0,23	93,00	0	0,44	0,06	0	5,16	0,46	0,31
65.1.575	0	0,39	0	0,52	92,25	0	0,39	0,08	0	6,14	0,19	0,03
65.1.578	0	0,03	0	0,46	89,32	0	0,69	0,10	0	8,41	0,40	0,60
65.1.603	0	0,21	0	0,67	89,37	0	1,02	0,11	0	8,24	0,34	0,04
65.1.693	0,06	0,68	0	0,83	90,07	0	0,69	0,08	0	7,19	0,36	0,04
65.1.705	0	0,09	0	0,21	94,30	0	0,37	0,06	0	4,75	0,17	0,04
65.1.707	0	0,05	0	0,46	93,17	0	0,38	0,08	0	5,34	0,33	0,20
53.61.1	0	0,09	0	0,97	93,45	0,44	0,26	0,04	0	4,68	0,06	0
53.61.2	0	0,57	0,06	0,97	89,36	1,09	0,34	0,08	0	7,35	0,17	0
53.61.3	0	0,18	0	0,63	91,57	0	0,38	0,07	0	6,76	0,29	0,13
53.61.4	0	0,51	0	0,49	92,85	1,31	0,42	0,07	0	3,91	0,39	0,04
53.61.6	0	0,31	0,09	0,61	92,17	1,23	0,43	0,07	0	4,57	0,40	0,13
53.60.1	0	0,40	0,11	0,66	90,74	1,82	0,37	0,08	0	5,63	0,19	0
53.60.2	0	0,07	0	0,43	90,16	2,52	0,32	0,08	0	5,96	0,33	0,13
4/1894	0	0,06	0	0,37	92,70	1,00	0,19	0,09	0	5,32	0,24	0,02
53.219.1	0	0,09	0	0,07	53,17	2,42	0,03	43,04	0	0,67	0	0,51
53.137.1	0	0,22	0	0,37	90,40	3,27	0,39	0,07	0	4,84	0,29	0,16
2001.3.2	0	0,14	0,14	0,79	91,84	0	0,68	0,08	0	6,04	0,26	0,03
2001.3.3	0	0,14	0,14	0,77	92,04	0	0,69	0,07	0	5,85	0,26	0,03
53.135.1	0	0,10	0	0,65	94,19	0	0,42	0,05	0	4,31	0,25	0,03
80.35.2	0	0,13	0	0,49	95,11	0	0,41	0,05	0	3,54	0,27	0
1/1904	0	0,03	0	0,41	97,05	0	0,10	0,03	0	2,30	0,08	0
10/1905b	0	0,18	0	0,35	93,39	0,99	0,36	0,06	0	4,52	0,16	0
53.50.8	0	0,12	0	0,48	92,52	0	0,48	0,07	0	6,34	0	0

Néhány tárgy, így az ásothalmi sarlós tű, egy korai jellegű kiskunmajsai tű (wetzleinsdorfi típus), valamint egy Szeged-bogárzói tuskés-körbördős tutulus, Ni-gazdag csoportként különül el kissé (a megadott variabilitási értékek alapján nem minősülnek önálló csoportnak). Ezek korai keltezésűek, így lehetséges, hogy az eltérések oka kapcsolatban van az időrendi helyzetükkel.

A mintákban mért 0,1 % körüli ezüsttartalom igen alacsony. Az AsNi és ASN típusú bronzokban ugyanakkor még ennél is alacsonyabb, 0,05 % körüli értékek általánosak. A Liversage (1994) munkájában megadott variabilitás (kb. 0,03-0,05 %) alapján ezek még nem minősülnek önálló bronztípusoknak, de a típusokra megadott maximális, vagy annál kissé nagyobb ezüsttartalommal rendelkeznek.

A Rüdiger Krause (2003) által publikált teljes Stuttgarter Datenbank adatai között számos dél-alföldi tárgy is van. A bogárzói temetőből több tárgyat is analizáltak, de ezek nem azonosak, illetve nem azonosíthatóak az általunk vizsgált darabokkal. A táblázat adatai alapján a bogárzói fémek 6-7% ónt, 0,5-0,7 % arzént, 0,1-1% antimont, 0,2-0,4 % nikkelt tartalmaztak, bizmut és ezüst jelenléte nem igazolható (Stuttgarter Datenbank, Krause 2003 CD-melléklete). Az adatok igen közel állnak a mi mérési eredményeinkhez. Az adatbankban szereplő további dél-alföldi, Halomsíros-kultúrába sorolható leletek (Bilisics, Tisza-meder Szegednél) 6-10 % ónt; 3 esetben (bilisicsi karperecek) 0,3% körüli ólmot, 0,2-1,65% arzént 0,15-1,85% antimont 0,37-0,84 % nikkelt tartalmaztak minimális ezüst (0,05 % vagy az alatt) jelenléte mellett. A jellemzett tárgyakat az Einheitskupfer/Ostalpinen Kupfer csoportba sorolták. A stuttgarti törzsfán (Junghans et al. 1968) a fémek az FB1-2 csoportba tartoznak.

Alapvetően két fémtípus ismerhető fel az általunk vizsgált tárgyak között is:

1. As-Ni összetételű réz kevés antimonnal, bizmut, kobalt és ezüst nélkül, valamint ennek „dasni”-ként leírt változata (Liversage 1994). Ez az ún. Einheitskupfer, vagy FA réz (Krause 2003, Schubert & Schubert 1967). Liversage-nél ez az AsNi-dasni típus.

2. As-Ni-Sb összetételű fém, ahol az antimon mennyisége szignifikánsan magasabb az előzőeknél (kb. kétszerese). Ezt nevezte Liversage (1994) ASN típusnak, Krause (2003) Einheitskupfernek, Schubert & Schubert (1967) FB-nek.

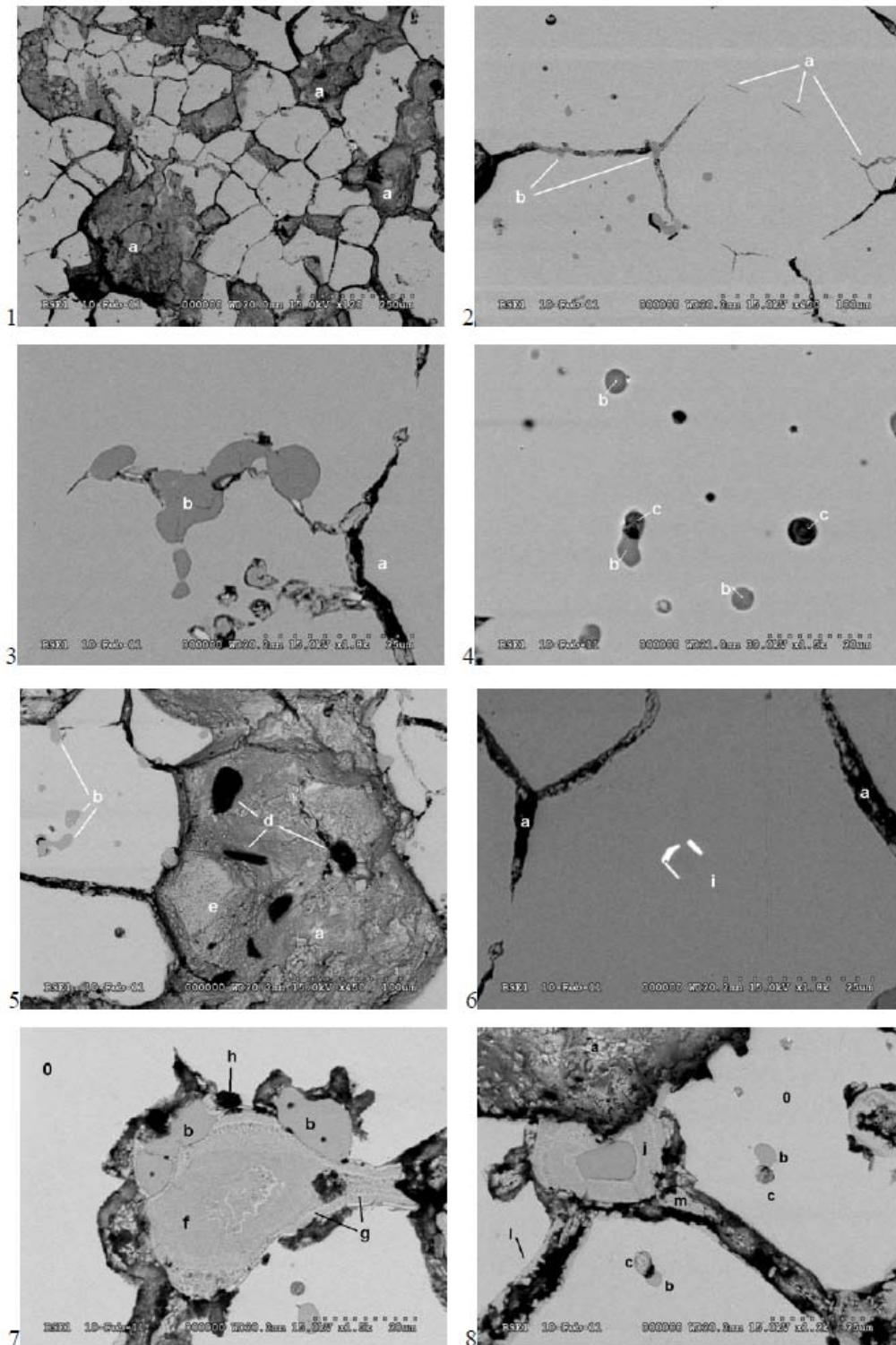
Elektronmikroszkópos vizsgálatok

A mérésorozatban másik célunk volt a tárgyak nagyfelbontású SEM-EDX vizsgálata. A tárgyak közül a 128/1885/18/3-as számú lelet egy apró (3 mm) darabját elváltuk és SEM-EDX módszerrel,

elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. A tárgy egy ötbördős lemezkarperccel töredéke, mely a máglyán megégett, összetöredezett, a sírból sok töredék formájában került elő. A hőhatás ugyanakkor nem olvasztotta meg még a felszínét sem, kilágyulás sem történt, így a tűz hőfoka néhány száz C fok lehetett, ami megfelel a szabad tűzön, máglyán történő hamvasztás körülményeinek (Szabó 2004).

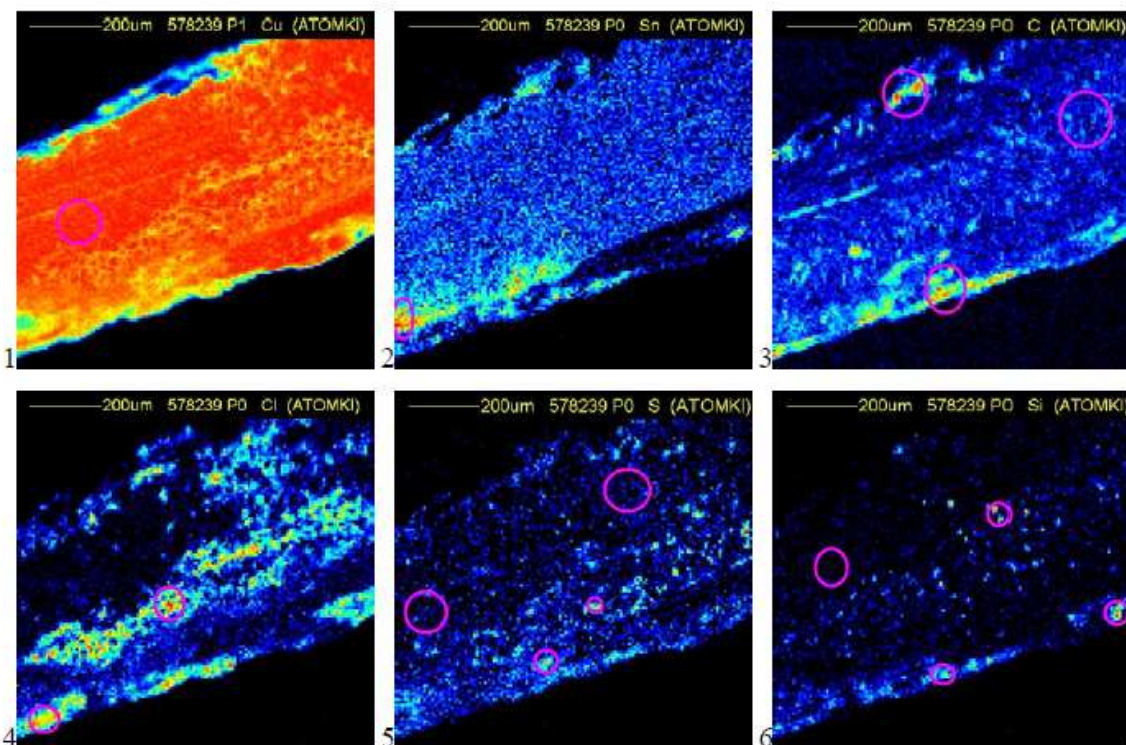
Az elektronmikroszkópos vizsgálatokat Dr. Daróczy Lajos végezte az ATOMKI elektronmikroszkóplaborjában. A 3 mm-es szemcsét, mely egy nagyobb karperec-töredék széléről tört le, elektromos szikravágóval kettévágta és a beágyazott darabokat polírozta. Az elektronmikroszkópos felvételeket a 3. ábrán láthatjuk. Nagyobb méretű, 100-150 mikronos, hatszöges kristályokat figyeltünk meg, melyek a minta magas hőfokon történő öntését, és lassú lehűtését bizonyítják (**3. ábra 1-2**). Az öntés feltehetően előre felhevített öntőformába történt. A kis számban megfigyelhető ikerkristallitok gyenge utólagos megmunkálásra engednek következtetni, mely a lemez karpereccé hajlítását jelenti. A mintában sok üreget figyeltünk meg, melyek az előrehaladott korróziót jelzik. A korrózió mindig a kristálylapok mentén indul meg (**3. ábra 2**). A minta számos zárványt is tartalmaz, melyek közül a legfontosabbak a szulfidos zárványok (**3. ábra 3**), ezek összetétele Cu_2S , néha pontosan a „tankönyvi” arányok szerinti (66 – 33 atom %). Ez az ásvány a kalkozin, a réztelemek cementációs övének gyakori, igen magas réztartalmú (79 tömeg %) ásványa. A szulfidzárványok szabályos csepp alakúak, de előfordulnak amorfi formájúak is, méretük 5-20 mikron közötti. Tartalmaz továbbá kicsiny buborékokat, hólyagokat, nem egyszer a szulfidos fázishoz tapadva (**3. ábra 4**), valamint hasonló morfológiájú szilikát/kvarc-zárványokat, melyek a salakképző kvarchomok (Ecsedy 1982) melléktermékeként jelennek meg. Egy esetben a salak és a szulfid mellett szénzárványt észleltünk, mely a kohósításkor használt faszén maradványa lehet. Nem gyakori, de két esetben is előfordult egy koncentrikus réteges, viszonylag lassabban kihűlt, 30-40 mikronos, szabályos ovális csomó alakú zárvány. Ennek összetétele réz-oxidnak és réz-szulfidnak mutatkozott. Az el nem keveredett oxid olvadákcsepp belső felületén réz-oxid (kuprit vagy tenorit) kristályok kezdtek növekedni, kristályaik metszetét azonosítottuk (**3. ábra 7-8**). Egy esetben találtunk ólom vázkristályt, mely a bronz alapanyagban elkülönülten található (**3. ábra 6**). Néhol megfigyelhető volt az ón szételegyedése a réztől.

Az üregekben mutatkozó sötét foltok szénhidrogének (**3. ábra 5**), a felületen látható gömbös-vesés, karfiolszerű kivirágzások pedig talán réz-karbonáttól származnak.



3. ábra: Elektronmikroszkóppal készült részletfelvételek a 128/1885/18/3 sz. tárgy (1. ábra 4.) metszetén. a: üreg, b: szulfid (Cu_2S), c: salak, d: szénhidrogén (recens), e: karbonát-kéreg, f, j: réz-oxid és réz keveréke, g: réz-oxid kristályok, h: faszén, i: ólom, 0: mátrix, l: fenn-nőtt (másodlagos) kristályok, m: óndús folt

Fig. 3.: Detail images on the cross-section of the object 128/1885/18/3 (see Fig 1. 4.) made by electronic microscope. a: vug/hole, b: sulphid (Cu_2S), c: slag, d: hydrocarbon (recent), e: carbonate layer, f, j: mixture of copper and copper oxide, g: copper oxide crystals, h: charcoal, i: plumb, 0: matrix (bronze), l: posterior up-grown crystals, m: tin-rich spot



4. ábra: Zákányszék-Zákány dűlő, Ny/70 lelőhelyről, a felszínről előkerült szórvány, félgömbös ruhadísz metszete a perem közelében. MicroPIXE felvétel (ATOMKI, 2011. február). Óndúsulás, szénhidrogén, kloridosodás, szulfidosodás. Az ábrákon a bal felső és a jobb alsó sarokban a minta széle azonosítható.

Fig. 4.: Near-rim cross-section of a hemispherical object mounted on clothes (surface find at the site Zákányszék-Zákány dűlő, Ny/70). MicroPIXE images (ATOMKI, February 2011). Tin-enrichment, hydrocarbon, chloridisation and sulphidisation. At the upper left and lower right corners of the images the rims of the cross-section could be identified.

A fémtárgyak archeometallurgiai vizsgálatára a SEM-EDX bizonyult a leghasznosabbnak, ez adta a legtöbb adatot a készítés technológiájáról.

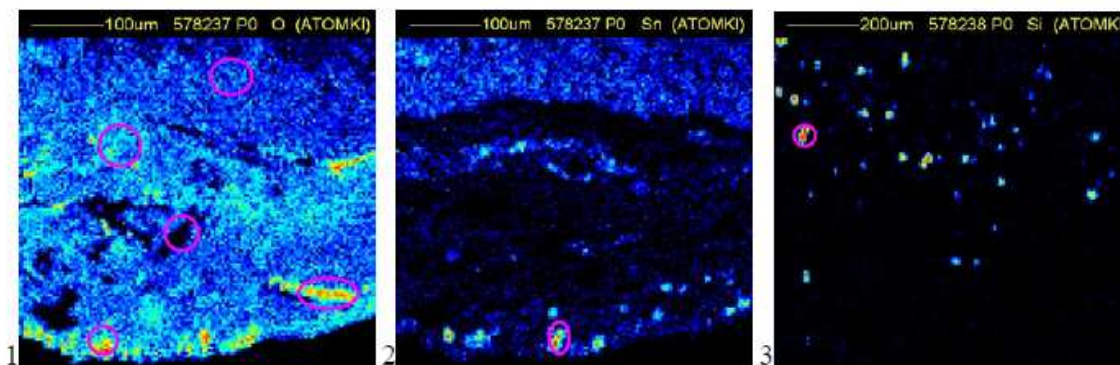
MicroPIXE vizsgálatok

Az ATOMKI-ban Dr. Kertész Zsófiával, Dr. Uzonyi Imrével és Csedreki Lászlóval néhány tárgy polírozott törésfelületéről microPIXE elemzést végeztünk, a felület 1x1 mm-es területének elemtérképét kaptuk meg. A felület korróziójára és a felszíni óndúsulásra vonatkozó adatokat reméltünk. A felszín valóban erősen korrodált, néha 1,5 mm mélységig, ami a tárgyak 3-5 mm-es vastagságát figyelembe véve azt jelenti, hogy a korrózió – még ha kezdeti fázisában is – de a teljes vastagságában átjárja a legtöbb mintát (**4. ábra 1, 4**). Ugyanakkor ezek a minták alapvetően épnek tűnnek, csak a részletes elemzés fedti fel a kristálylapok mentén megindult korróziót. Ez arra figyelmeztet minket, hogy kisméretű tárgyak, ékszerek esetében még a jól látható manggal rendelkező darabokat is részben korrodáltak kell tekinteni addig, amíg ennek ellenkezője be nem bizonyosodik.

Minden mintát keresztmetszetben vizsgáltunk. A felületen sosem találtunk egybefüggő, tömör

bevonatot, hanem szerkezete laza, porózus vagy sejtes volt. Előfordult a felületen óndúsulás, de épp ugyanazon a tárgyon, alig néhány száz mikronnal arrébb már inkább ónhány mutatkozott (**4. ábra 2, 5. ábra 2**). Az óndúsulás – ha előfordul – néhány 10, esetleg 100 mikron vastagságban jelentkezik. Az viszont nyilvánvaló, hogy ez a dúsulás nem az öntéskor, hanem a korrózió során keletkezett, és ezeknél a kis átmérőjű tárgyaknál ez jó mintaelőkészítéssel (korróziós réteg eltávolítása) kiküszöbölhető. Természetesen a legmegfelelőbb módszer az volna, ha minden egyes tárgyat a belsejéből vett mintán vizsgálnánk, de ez műtárgyvédelmi okok miatt általában nem lehetséges.

A felületi oxidrétegben jelentős mennyiségű szenet és oxigént mutattunk ki (**4. ábra 3, 5. ábra 1**). Ezt kezdetben a karbonátos oxidáció (malachit, azurit, stb.) számlájára írtuk, holott a (restaurált) felszínen nem láttunk zöldes-kékes bevonatot. Restaurátorral (Véninger Péter) való konzultáció után a szén- és oxigéntartalmat az állagmegóvás során alkalmazott szénhidrogéneknek (paraffinoknak) tulajdonítottuk. Ezt a kezelést a régebbi időkben előszeretettel alkalmazták.



5. ábra: Rösztke-Sárosvölgy, 128/1885/18/2 sz. tárgy metszetének microPIXE elem térképei. Oxigén dúsulás (szénhidrogén, oxid), üregek, felületi ónhány/ónszemcsék, Si-gazdag salakzárványok azonosíthatók

Fig. 5.: Element distribution (MicroPIXE) on the cross-section of object coded "128/1885/18/2" from the site Rösztke-Sárosvölgy. Oxygen enrichment (hydrocarbons), vugs, tin absence and tin particles on the surface (rim), Si-rich slag enclosures could be identified.

Erős kloridos oxidáció nyomait észleltük (**4. ábra 4**). A klorid a restaurátorok számára nagyon kellemetlen anyag, mivel a tisztítás és állagmegóvás után is képes tovább roncsolni a tárgyakat (Véninger Péter szóbeli közlése). A talajvízben, így a régészeti tárgyakban is jelen lévő, egyébként oldott klór a minta kiszáradása után lép reakcióba a rézzel.

A korróziós rétegben réz-szulfidok és réz-oxidok is jelen vannak, a kén a réz átalakulása során a primer szulfidzárványok oxidációjakor szabadul fel, majd a minta felületén eltérő redoxi-viszonyok közé kerülve ismét reakcióba lép a rézzel (**6. ábra 1**). A fekete színű réz-oxid (tenorit) valószínűleg a minta kiemelése és restaurálása óta keletkezett.

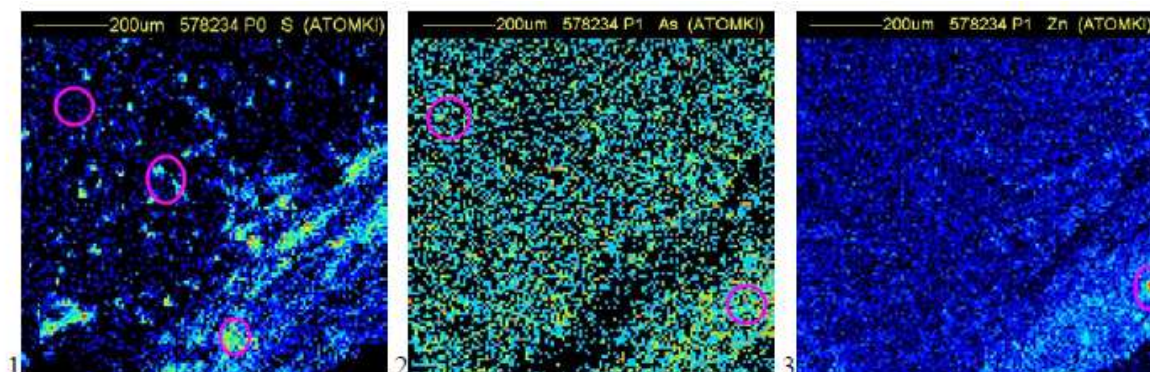
A tárgyak pereme mentén egy esetben As és Zn dúsulást mértünk, mely azonban nem volt jelentős, ez a dúsulás egy nagyságrendet nem haladott meg (**6. ábra 2-3**).

A tárgyak mállatlan belső részén a kén apró foltjai az elektronmikroszkópos megfigyelések során azonosított szulfidzárványoknak felelnek meg (**4. ábra 5, 6. ábra 1. bal felső része**).

Hasonló, apró szemcsék formájában mutatkozik a Si-dús salak is (**4. ábra 6, 5. ábra 3**).

Érc, bányászat, forrásterület

Kiindulási ércként nem egyetlen ásványt, hanem egy ásványkeveréket feltételezhetünk, illetve az érc bámyánként eltérő ásványos összetételű lehetett. A telepeket az oxidációs zóna színes (zöld és kék) réz-ásványainak segítségével találhatták meg, és részben ezeket fejtették is, főleg a kuprit és a termérsz miatt. Egyes rézérceteket, így a kalkozint, covellint és a tetraedrit csoport ásványait kizárólag a mállásuk során keletkező zöldes-kékes színű réz-ásványok alapján lehet rézércként azonosítani, mivel friss állapotban színük fekete, kékes vagy acélszürke. A réz fő tömegének előállítására a bronzkorban már szulfidos mállásokat használtak.



6. ábra: Rösztke-Sárosvölgy, 128/1885/18/3 sz. tárgy metszetének microPIXE felvétele. Kéndúsulás, As- és Zn-dúsulás azonosítható

Fig. 6.: Element distribution (MicroPIXE) on the cross-section of object coded "128/1885/18/3" from the site Rösztke-Sárosvölgy. Sulphur-, arsenic-, zinc-enrichment could be identified.

A mintában talált szulfidos zárványok összetétele Cu_2S , azaz kalkozin, mely döntően az érctelepek cementációs övezetében keletkezik (ugyanakkor primer ércképződés is létrehozhatja). Ez az anyag azonban a rézkohászat mellékterméke is („feketeréz”), mely a primer szulfidércből a kén egy részének eltávozásával keletkezik, egyfajta félig redukált állapotú anyag. Ennek a beolvadására is sor kerül, amint azt a cseppek szabályos alakja mutatja. Ebből következik, hogy a kalkozin (feketeréz) a kohóban létrejöhet: 1. egy kalkozinos érc részleges (nem teljes tömegében lezajlott) redukciójával,

2. kalkopirit és bornit nem teljes mértékű (tökéletlen) redukciójával, ahol a vas eltávozik a rendszerből,

3. valamint keletkezhet antimon- és arzénfakóércből hasonló úton, miközben az antimon és arzén a rendszerből eltávozik, ill. az olvadékba vándorol.

Tehát ha az érceket és érces zónákat keressük, egyetlen olyan helyet sem szabad kihagynunk, ahol ezek az ásványok – főleg együtt – előfordulnak, és a kultúrák kapcsolatrendszerét figyelembe véve, szóba jöhetnek forrásterületként.

A kárpát-medencei (potenciális) érclelőhelyek kataszterét is összeállítottam, ennek közlésétől azonban hely hiányában itt el kell tekinteni. Most csupán azokat a helyeket emelem ki, melyek a legvalószínűbb jelölteként szerepelnek az érc származási helyeként.

Bányászati nyomok ismertek Úrvölgy mellől Homokhegyről (Špania Dolina – Piesky), a telepek főleg teléres megjelenésűek (Žebrák 1990, Točík-Žebrák 2003). Az Alpokból is előkerültek középső bronzkori, Halomsíros-kultúrához köthető bányavágatok az alagútépítési munkák (Arthurstollen) során (Stöllner et al. 2006), melyek a megmaradt bányafa dendrokronológiai adatai alapján a Kr. e. 15-14. századra, a közép-európai középső bronzkorba, vagyis a Halomsíros-kultúrába (Hügelgräberzeit) keltezhetőek, és vizsgált mintáinkkal javarészt egykorúak. Az ércteléreket igen szűk, 60x80 cm-es keresztmetszetű vágatokkal és felszíni bányákkal, aknákkal művelték. A vágatokat kalkopirit-ankerit-fakóérc kitöltésű, ún. alpi típusú (metamorfózishoz kapcsolódó elemobilizáció révén létrejött) telérekre hajtották, fillitben és kvarcitban. Az érc kobalt- és nikkeltartalmú volt. Feltárták a bányászat eszközeit, így a fejtőcsákányok (?) (tokosbalták) fanyelét, a kő és érc zúzására használt kőkalapácsokat, valamint az érc kihordására használt, lapos, sajkaszerű faedényeket (Stöllner et al. 2006, 87, 92, Abb. 21, 24, 32, 37, 38-40, 45, 48, 50.). A mitterbergi rézérc bányászata bizonyíthatóan visszavezethető a korai bronzkorra (Stöllner et al. 2006, további irodalommal).

Mitterbergben – ideiglenesen használt – bányásztelepek is napvilágot láttak. Közvetlenül a bányák mellett dolgozták fel és kohósították, tisztították az ércet, mely a kalkopirit volt. Ennek kohósításakor fayalitos (vas-szilikát) salak keletkezett (Eibner-Persy & Eibner 1970). A salak mennyisége és a horpák mérete alapján itt mintegy 18.000 tonna nyersrezet termeltek ki a teljes bronzkor folyamán. Az érc 2,5 % réztartalmú volt kvarc mátrixban. A számítások szerint a nagyarányú bányászat sok ember munkáját igényelte (Zschocke & Preuschen 1932, Pittioni 1951, 1957).

A nagyobb, metasomatikus-metamorf telepek bányászati nyomai – ahogy ezek oxidációs-cementációs zónája is – a modern bányászat eredményeként jórészt megsemmisülhettek. Ilyen telepek Dobsina (Dobšina, SK), Rozsnyó (Rožnava, SK), Libetbánya (L'ubetová, SK), Úrvölgy (Špania Dolina, SK), Rudabánya, Oravicabánya (Oravița, RO), és Bor-Majdanpek (SRB) környékén találhatóak. Ma már egyiket sem művelik (Gimesi 1994, Szakáll 2002).

Az AsNi és „dasni”(SAM FA/B, Einheitskupfer/Ostalpin Kupfer) nyersanyagok jellemző nyomeleme az arzén és a nikkel, kevés antimontartalom mellett. A Kárpát-medencében csak néhány olyan lelőhely van, melynek rézérc, és más (rézércéhez hasonló, és velük együtt kitermelt) szulfidos ércei kohósítás után ilyen összetételt adnak. Ezek főleg Dobsina (Dobšina, SK) környékére (Szepes-Gömöri Érchegeység) jellemzőek, ahol a kontakt metasomatikus vas- és rézérctelep jelentős mennyiségű gersdorffitot (NiAsS) tartalmaz. A bánya fő érce a kalkopirit és a fakóérc (Szakáll 2002, Gimesi 1994). A gersdorffit külső tulajdonságai alapján a fakóérchez igen hasonló, acélszürke ásvány, melyen nikkeltartalmának köszönhetően ugyanúgy zöld színű oxidációs réteg (az annabergit nevű ásvány) jelenik meg, mint a rézásványokon, így az őskorban pusztán külső jegyek alapján nem, csak kohósításkor lehetett eldönteni, milyen fémeket tartalmaz. A gersdorffitot véletlenül, vagy akár állandó ötvöző anyagként keverhették a rézérchez.

Bár a fenti eredmények önmagukban nem bizonyító erejűek, mégis erős érvet jelentenek a koszideri korú, AsNi , „dasni” és talán az ASN (SAM FA/B, Einheitskupfer) típusú fémek Szepes-Gömöri Érchegeységből való származása mellett. A fém a tiszai úton, a Füzesabony-kultúra, s tőle délre a késő Hatvan-kultúra közvetítésével érkezhettek a Dél-Alföldre. Később a Halomsíros-kultúra újonnan kiépült nyugati irányú kapcsolatrendszere a kelet-alpi fém elterjedését is segíthette. Az arzén-nikkel réz legvalószínűbb származási helye tehát a Szepes-Gömöri Érchegeység vagy a Kelet-Alpok.

Az ASN típus erdélyi eredetét (magasabb antimon tartalma miatt) Liversage (1994) vetette fel. A késő bronzkorban azonban az eddigi adatok alapján egyre inkább kísérleteztek más, ónt helyettesítő ötvözőanyagokkal, így az ólommal (Trampuž-Orel et al. 1996, Fig. 4, 211-212), és az antimonnal (kérdéses, Költő 1996). Ennek hátterében talán az önlelőhelyek kezdődő kimerülése vagy a fokozott, iparszerű bronzfeldolgozás (Velem-Szent Vid, Celldömölk-Sághegy, Várvolgy-Nagy-Lázhegy, stb.) megnövekedett nyersanyagigénye állhat, amit az önlelőhelyek talán nem tudtak teljes mértékben kielégíteni, ezért kerülhetett sor más, az önhöz hasonlóan viselkedő, ötvöző anyagok használatára is.

A Maros menti út fontosságára utalnak bizonyos leletek, így a marosvásárhelyi sírlelet és a mezősámsondi (Șincai, RO) Keszthely-Boiu típusú kard (Roska 1942, 199. kép, 215. kép). E szórvány leletek a Maros felső folyásánál, Parajd (Praid, RO) sóvidékének közelében kerültek elő, így jelenlétük egyértelműen a sókereskedelemhez köthető, és nincs közük a fém beszerzéséhez.

Rézkohászat Pliniusnál

C. Plinius Secundus (Idősebb Plinius) a Naturalis Historia-ban (Plinius 2001, Nat. Hist. XXXIV, 117) értekezik a rézércéről. Plinius chalcitis-nek nevezi a réz ércét, melyről két dolgot állít: egyrészt, hogy ez az anyag a kohóban is keletkezik, másrészt, hogy nem egységes ásvány, hanem három részből tevődik össze. Ezeket az összetevőket réz- és vasszulfid, valamint ezek oxidjainak keverékének határozták meg. A chalcitis kifejezés valószínűleg mállott kalkopirit-pirit ásványtartalmú kőzetet takar (Forbes 1964, 8), Plinius együtt említi a chalcitis-t a cadmea-val (mely gálma néven is közismert), ez utóbbi réz- és cink-oxidok, hidroxidok és karbonátok, víztartalmú karbonátok (kuprit, tenorit, malachit, azurit, hidrocinkit, smithsonit stb.) keveréke lehet. Plinius fontosnak tartja e két anyagnak az elkülönítését, mert megjegyzi, hogy a cadmea-t a felszínen és annak közelében találják, míg a chalcitis-t mélyen a föld alatt. A kifejezés etimológiai vizsgálata azonnal elárulja, hogy kapcsolatban kell állnia ennek a rézércnek a kalkozinnal, melynek hivatalos angol nyelvű ásványneve Chalcocite, mely nagy valószínűséggel a chalcitis névre vezethető vissza. A chalcitis = kalkozin azonosítás másik fő támpontja Plinius utalása, miszerint a chalcitis a kohóban is keletkezik, és épp ezt, a kalkozint találtuk meg szulfidzárványok formájában, a bronztárgyakban. A „feketeréz” a (kalkozin porszerűen fekete, ásványként sötét acélszürke színű) a rézfeldolgozás utolsó állomása a tiszta réz kinyerése előtt, így világos, hogy a mintákban ez fog benne maradni zárványként (Forbes, 1964, 30, Table 1). Természetesen nem lehetséges a római, és egyéb

ókori adatokból a pontos bronzkori technikát és ismereteket rekonstruálni, de bizonyosak lehetünk abban, hogy az ércfeldolgozás alapvető mikéntje az ipari forradalom előtt nem sokat változott.

Bányászat, metallurgia és gyakorlati ásványtani ismeretek a bronzkorban

A bronzkorban fejlett, felszíni és mélyművelésű bányászat folyt, mely a római, középkori bányászattól nem sokban különbözhetett. Megfelelő szerszámokkal, így 3 féle tömegű kőkalapácsokkal (1 kg alatti, 1-2,5 kg, 3-7 kg, Točík-Zebrák, 2003, Zebrák, 1990), tokosbaltákkal (Stöllner et al. 2006), és vélhetően faékekkel, hevítéssel és vízzel, esetleg savas anyaggal (ecet) való lelocsolás után fejtették az ércet (hevítés nyomai Walesben: Pickin & Timberlake 1988). Ezt zúzták, örölték, a meddőtől elválasztották. Ez a folyamat egyszerűen, először kézi válogatással, majd a zúzás és őrlés után az ércnek nagyobb fajsúlyát kihasználva széreléssel (mosás) történhetett, ahogy ezt Mitterbergben feltételezik (a kohók a patak partján voltak, feltehetőleg itt történt a válogatás és a mosás: Harding 2000, 215, Eibner-Persy & Eibner 1970). A pörkölést követően került sor a kohósításra, melyhez 1083 °C szükséges (a réz olvadáspontja). Ezt a hőfokot faszénnel hevítéssel érték el, így a faszénégetés jelentős erdőirtáshoz vezetett az ércfeldolgozó területeken, hiszen 5 kg réz kinyeréséhez 100 kg faszén szükséges. Könnyen belátható, hogy a mitterbergi bányákból a bronzkorban kitermelt 18.000 tonna réz kinyeréséhez összesen 360 ezer tonna faszénre volt szükség. 100 kg faszénhez 700 kg fára van szükség, így kb. 2,5 millió tonna fát használtak fel a bronzkorban rézolvasztáshoz (Horne 1982). A fa sűrűsége fajonként eltérő, a leggyakoribb tölgy, bükk 0,65-0,7 kg/dm³ körüli, a fenyő 0,43 kg/dm³. Ha 0,6 kg/dm³-t veszünk alapul, nem tévedhetünk nagyot. Ebben az esetben kb. 4 millió m³ fát vágtak ki Mitterberg környékén a bronzkor folyamán.

Az érc döntően szulfidos fázisokat tartalmazott, azaz a primer érceket és a cementációs zóna másodlagos szulfidjait fejtették. A szulfidos rézércnek közül gyakorlatilag az összes fellelhető bányászhatták, így a kalkopiritet, bornitot, fakőérceket, kalkozint, talán a covellit is, mivel a kohósítás során mindegyik hasonlóképp redukálódik, és „feketeréz”-hez jutunk. Fejthették még az oxidos érceket, így a cadmea-nak nevezett anyagot, talán a kupritot is, mely vas-oxidokkal együtt képezi az ún. tégláércet. A fekete színű tenorit járulékos ércalkotóként jöhetett számításba. Világos, hogy a fémekben talált oxidos fázis egy ilyen oxidos érc típusra vezethető vissza.

A kitermelt érces anyagot válogatták, törték, tisztították, pörkölték és kohósították. Sajnos a Kárpát-medencéből olvasztókohót nem ismerünk. A Kárpát-medencében ismert kohászati emlékek

mind a finomítás (salak eltávolítás) fázisához kötődnek. Ilyen műhelyeket a kora bronzkorból Zók-Várhegyen (Ecsedy 1982, 1995), a középső bronzkorból (Vatya-kultúra) Lovasberényben tártak fel (Kovács 1977). Gyanítjuk, hogy ekkor történt az ónnal való ötvözés is. Ötvözőanyag – ha nem szennyező – talán az arzén és az antimon is.

Külön szeretném kiemelni a kalkozin és a bornit szerepét, melyeket eddig nem méltattak nagyobb figyelemre. Mindkettő a cementációs zónában feldúsuló, de elsődlegesen is létrejövő ércásvány. Mind Dobsinán (Dobšina, SK), mind a bánáti Csiklován (Ciclova Montaná, RO) és Oravicabányán (Oravița), és különösen a bihari Rézbányán (Băița Bihor, RO) igen gyakori, elterjedt ércásvány volt a cementációs övben, melyet mára teljes egészében lefejtettek (Gimesi, 1994, 151-156, Szakáll 2002).

Tisztában voltak az ón és az ólom közötti különbséggel (bár az ónt még Plinius is „fehér ólom”-nak mondja, de a görögök kassziterosz-nak nevezik, Plinius 2001, Nat. Hist. XXXIV. 156.), és egyes Alpok-vidéki késő bronzkori bronzok magas antimon-tartalmából (Költő, 1996) ítélve az antimonnal is (itt az antimon-tartalmú telérek nem a rézzel együtt jelennek meg, így, ha ezt használták, magát az antimont kellett keresniük, és megtalálniuk). Antimont a középső és újkorban pl. Városszalónakon (Stadtschlaing, A) és környékén bányásztak nagyobb tömegben (Gimesi 1994, 9-10). Ezeknek az ásványait a rézércékétől eltérő színük, keménységük, kristályformájuk, hasadásuk és különféle színű oxidációs bekéregzéseik alapján különítették el:

A szürke galenit (ólom-szulfid), kocka alakban kristályosodik, ilyen a hasadása is (hasonló színű a fákóérc, de az nem hasad), az antimonit (antimon-szulfid) színében a galenithez hasonlít, de tüszoszlopos, hosszában hasadó kristályokat alkot, a kassziterit (ón-dioxid) kemény, nagy fajsúlyú és sötét színű, ezt torlatokból mosták (Plinius 2001, Nat. Hist. XXXIV. 157.). Ezek – nem mellékesen – a bronzkori bányászok és fémművesek magas szintű gyakorlati mineralógiai tudására utalnak. A szándékosan magas antimontartalmú bronzok gyártását Szabó Géza erősen vitatja. Saját vizsgálati eredményeire (alacsony antimon- és arzéntartalom) támaszkodva elveti a fákóércet komolyabb felhasználását a késő bronzkori Dunántúlon, ugyanakkor az ón eredetét a sztanninra (CuFeSnS₄) vezeti vissza (Szabó 1999). Mivel a sztannin csak nyomokban fordul elő a térségünkben, az ónt nem lehet ebből származtatni (Gimesi 1994, Szakáll 2002).

A kohósítás során az arzén szublimál, jelentős része eltávozik a rendszerből. Ezért a kiindulási mennyiséget legfeljebb csak becsülni lehet a bronzban maradó mennyiség alapján. Az

arzénfakóérc (tennantit, (Fe, Zn)₂Cu₁₀(As, Sb)₄S₁₃) gyakori és komolyan számításba vehető nyersanyag.

Czajlik Zoltán és munkatársai (Czajlik et al. 1999) Velem-szentvidi bronzokban zárványként Cu₂S közelítő képletű anyagot (kalkozin, feketeeréz) találtak, melyet akár Cu₂S és CuS (covellin) keverékeként is értelmezhetünk. A benne lévő vas arra utal, hogy a salakképzés előtt az érc vasat tartalmazott (kalkopirit, bornit, szennyező pirit).

Az ón nagy tömegben, bányászható formában a Kárpát-medencében és az alpi régióban nem található meg. Az ásványtani irodalom nagyobb tömegű ércetekre vonatkozó megállapításai (a régebbi irodalmat összefoglalja Gimesi 1994, Szakáll 2002, további hivatkozásokkal) alapján el kell vetnünk a Felvidéken található ónra vonatkozó adatokat (pl. Schalk 1998, Abb. 3., újraközli Krause 2003, Abb. 15.). Ónt legvalószínűbben a Cseh-Szász Érchegeységéből szerezhettek be távolsági kereskedelem útján. Ez a távolsági kereskedelmi rendszer, tehát maga az ón nagy szerepet játszott mind a korszaki időszak egységesen jellegzetes fémművességének kialakulásában, mind a Halomsíros-kultúra létrejöttében. Ebben a kereskedelmi rendszerben nagy szerepet játszott a kelet-alpi réz is.

Az ónbronzo feltűnéséről, különösen a korai ónkereskedelemtől M. Primas (2002) értekezett. Véleménye szerint a kora bronzkori (hazai kronológiában a korai és a középső bronzkor határára datálható) ónkereskedelemben nagy szerepet játszottak a ritkán feltűnő óngyöngyök, melyek létét a Maros csoportban (Szöreg-Perjámos kultúra) is felveti (a „fajansz”-gyöngyök között lehetnek oxidált óngyöngyök is, ezek felismeréséhez azonban nagy mintaszámú anyagvizsgálatok elvégzésére lenne szükség).

A tárgyak elsősorban formába öntéssel készültek, ilyen öntőformákat Soltvadkerten tártak fel a Halomsíros-kultúra településén (Gazdapusztai 1958). Köztük megtalálhatók a karperecek, tük öntésére szolgáló formák, így bizonyos, hogy ezek az egyszerű ékszerek sem kalapálással előállított lemezből, vagy húzott drótból készültek. Nagyméretű, 100 mikron nagyságrendű hatszöges kristályok keletkeztek az olvadék magas hőmérsékletéről történő lassú lehűlésekor. A karperec kristályszerkezetében megfigyelt ritka ikerkristallitok kismértékű hideg megmunkálásra utalnak, mely az egyenes lemezként öntött karperec meghajlításakor történt (Czajlik et al 1999).

Korrózió, restaurálás, anyagvizsgálat

A fémvizsgálatok egyik fontos célja volt a korróziós felületek szerkezetének, a felületi óndúsulás jelenségének vizsgálata. Ezzel

kapcsolatban eredményeinket a következőképp foglalhatjuk össze.

1. A kisméretű tárgyak korróziója sokszor a makroszkóposan épen látszó fémekben is előrehaladott állapotú, ezért a vékony lemezek és tűk akár teljes mélységükben részben oxidálódhatnak. A korrózió a kristályhatárok mentén halad előre.

2. A felületen levelesen felváló, laza szerkezetű korróziós réteg keletkezik, mely alatt egy nemespatinának nevezett rézoxid réteg húzódik (Cronyn 1992). A tárgyról a leveles, zöld színű réteget a restaurálás során eltávolították, a díszítéseket is megőrző nemespatinát nem. A metszetekben világosan látszik a szintén réteges, leveles szerkezetű, de nem elváló oxidréteg, mely döntően réz-oxidokból (tenorit, kuprit), réz-szulfidból és réz-kloridból áll. A réz-klorid a rezet erősen roncsolja, a tárgy pusztulását okozhatja, mivel a restaurált tárgyakban is benne maradhat (különösen régen restaurált tárgyakban), és azután is kifejti hatását. A réz-klorid vízben jól oldódik, ezért a talajban lévő tárgyakban nem alakul ki szilárd réz-kloridos fázis, ennek keletkezése a tárgy kiemelése és kiszáradása után kezdődik el.

3. A tárgyak felszínén és üregeiben megjelenő szén és oxigén a 100 éve alkalmazott szénhidrogénes átítatás (paraffin) hatásának tulajdonítható.

4. A tárgyak felszínén csak egy esetben, foltszerűen és vékony (néhány 10 mikron vastag) rétegben tudunk óndúsulást kimutatni, mely arra utal, hogy bár a jelenség valóban létezik, a kis tömegű tárgyaknál ezzel a folyamattal nem kell számolni. Az öntés és hűlés során keletkező óndúsulásra nem találtunk adatokat.

5. A korróziós rétegben elemmobilizáció történik, a kén az oxidálódó réz-szulfid zárványokból felszabadul, és a minta felszíne felé vándorolva másodlagos réz-szulfidokká alakul. Az ón a korróziós fronton részben mobillá válik és a korrodált rétegből kioldódik, esetleg foltszerűen összegyűlik. Az arzén és a cink ugyancsak mobilizálódik, és a minta felszínén rétegszerűen dúsulnak, míg a korróziós fronton lecsökken a koncentrációjuk.

Ezek alapján a bronzkori fémtárgyak vizsgálatára – hacsak nem igen jó állapotú a minta – a különféle módszerek kombinációit tartjuk célravezetőnek. Meg kell állapítani, hogy a fő- és nyomelemzéssel vizsgált mintarész valóban az intakt fém összetételét tükrözi-e, vagy a korrózió – makroszkopikus nyomoktól függetlenül – befolyásolja-e az eredményeket. A mikrofúrások mintavételezést a kisméretű, vékony, sokszor díszített ékszereknél műtárgyvédelmi okokból nem tartjuk helyes eljárásnak. A minta kiválasztott pontjáról néhány négyzetmilliméteres felületen a

patinát a fémmag eléréséig – amit makroszkopikusan, esetleg binokuláris mikroszkóppal ellenőrzünk – eltávolítjuk.

Összegzés, továbblépés

Vizsgálataink jól illeszkednek az eddigi fémvizsgálások eredményeihez, azok a csoportok körvonalazhatók bennük, amelyeket a közép-európai kutatás már korábban felismert (Krause 2003, Liversage 1994, etc.). Igazolható volt a metallurgiai folyamat néhány kisebb részlete a SEM-EDX vizsgálatokkal, melyekhez történeti adatokat is felhasználtam (Plinius 2001, Forbes 1964). Ugyanakkor a származási hely kérdését nem tudtam megoldani, bár jelentősen szűkítette a kört az arzén és a nikkelt együttes jelenléte, melyekre új magyarázatként a gersdorffitall való szennyezést vettem fel. E ritka ásvány Dobsinán (Dobsina, SK) és környékén elég gyakori járulékos érc (ugyanakkor a legtöbb más helyről hiányzik), így az AsNi/dasni típus (Einheitskupfer/Ostalpin Kupfer) forrásaként igen komolyan számításba kell venni a területet. Az ásványtani irodalom (Szakáll 2002, Gimesi 1994 stb.) alapján nagy valószínűséggel el kell vetni a kárpát-medencei nagyobb arányú ónbányászat lehetőségét, ez a fém itt csupán nyomelemként és ritkán található, beszerzése távolsági kereskedelem útján kellett, hogy történjen, mely kereskedelem az erős egységesülő tendenciákat mutató koszideri fém- és kerámiaművesség és a Halomsíros-kultúra létrejöttéhez vezethetett.

Közös munkánk folytatása a következő területeken kecsegtet új eredményekkel. A SEM-EDX mérések folytatása és a metallurgiai folyamatra vonatkozó interpretációk elmélyítése (kohászati szakemberekkel) hozhat még számos újdonságot. Ehhez kapcsolódva elengedhetetlen egy rézolvastási és ötvözesi kísérlet elvégzése korabeli módszerekkel (a számításba vehető fontosabb bányahelyeken gyűjtött ércmintákból). Az érc forrásterületének pontos megjelöléséhez az ólomizotópos méréseket tartanám igazán célravezetőnek, de sikerrel kecsegtethet a nemesfémek és a bizmut alapján történő klasszifikáció is.

Köszönetnyilvánítás

A mérések nem jöhettek volna létre a SPIRIT európai nagyműszeres (ionsugaras) pályázati rendszer nélkül, mely támogatta a 083-as számú pályázatunkat, lehetővé téve a ljubljana-i és debreceni mérések elvégzését.

Irodalom

- CRONYN, J. M. (1992): *The elements of archaeological conservation*. London, 1992.
- CZAJLIK, Z. (1996): Ein spätbronzezeitliches Halbfertigprodukt: Der Gusskuchen. Eine

- Untersuchung anhand von Funden aus Westungarn. *Archaeologia Austriaca* **80** 165-180.
- CZAJLIK, Z., MOLNÁR, F., SÓLYMOS, K. G. (1995): Angaben zu den spätbronzezeitlichen Metallrohmaterialversorgung am Velem-St. Veit Berg (Westungarn). *Archäologie Österreichs* **6** 30-35.
- CZAJLIK, Z., MOLNÁR, F., SÓLYMOS, K. G. (1999): On the Origin of Late Bronze Age Semi-products Found at Celldömölk-Sághegy According to Electron-microprobe (EPMA) Studies. *CommArchHung* 35-46.
- ECSEDY, I. (1982): Ásatások Zók-Várhegyen (1977-82). Előzetes jelentés. *JPMÉ* **27** 59-105.
- ECSEDY, I. (1995): Rézkori hagyományok és a bronzkori technika kezdetei. In: MARÁZ, B. (szerk.): *A bronzkor kincsei Magyarországon*. Pécs, 31-37.
- EIBNER-PERSY, A. – EIBNER, C. (1970): Erste Grossgrabung auf dem bronzezeitlichen Bergbaugelände von Mitterberg. *Der Anschnitt* **22/5** 12-19.
- FOLTINY, I. (1957): A halomsíros és lausitzi kultúrák nyomai Szeged környékén — Spuren der Hügelgräber und der Lausitzer Kultur in der Umgebung von Szeged. *RégFüz* **4**.
- FORBES, R. J. (1964): *Studies in Ancient Technology*. Vol. IX. Leiden 1–295.
- GAZDAPUSZTAI, GY. (1958): Der Gussformfund von Soltvadkert. *ActaArchHung* **9** 265–288.
- GIMESI, I. M. (1994): *A Kárpát-övezet ásványának magyar bibliográfiája* (1859-1951). Szeged, 1994. 1–318.
- HARDING, (2000): *European Societies in the Bronze Age*. Cambridge University Press, 2000.
- HORNE, L. (1982): Fuel for the metal worker. The role of charcoal and charcoal production in ancient metallurgy. *Expedition* **25/1** 6-13.
- JUNGHANS, S. – SANGMEISTER, E. – SCHRÖDER, M. (1968): *Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas*. Die Materialgruppen beim Stand von 12000 Analysen. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 2. 1-3. Berlin.
- KRAUSE, R. (2003): *Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee*. Rahden/Westf. 1–203.
- KOVÁCS, T. (1977): *A bronzkor Magyarországon*. Hereditas sorozat, Corvina, Bp. 1994. 1–99.
- KOVÁCS, T. (1995): A középső bronzkor: a virágkor. In: MARÁZ, B. (szerk.): *A bronzkor kincsei Magyarországon*. Pécs, 18–24.
- KÖLTŐ, L. (1996): Néhány nagy antimontartalmú bronzkori bronztárgy röntgenemissziós analízise. *Pápai Múzeum Évkönyve* **6** 83-88.
- LIVERSAGE, D. (1994): Liversage, D.: Interpreting composition patterns in ancient bronze: the Carpathian Basin. *Acta Archaeologica*, Kopenhagen **65** 57–134.
- PICKIN, J. – TIMBERLAKE, S. (1988): Stone hammers and fire setting: a preliminary experiment at Cwmystwyth mine, Dyfed. *Bull. Peak District Mines Historical Soc.* **10/3** 165-167.
- PITTIONI, R. (1951): Prehistoric copper-mining in Austria: problems and facts. *University of London Institute of Archaeology 7th Annual Report* 16-43.
- PITTIONI, R. (1957): Urzeitliche Bergbau auf Kupfererz und Spurenanalyse. *Archaeologica Austriaca* **1**.
- PLINIUS, C. S. (2001): *Naturalis Historia. – Természetről. (XXXII-XXXVII.) Az ásványokról és a művészetekről*. Enciklopédia Kiadó, Bp., 2001. 1–438.
- PRIMAS, M. (2002): Early tin bronze in central and southern Europe. In: BARTELHEIM, M. – PERNICKA, E. – KRAUSE, R. (eds.): *Die Anfänge der Metallurgie in der alten Welt. – The beginnings of metallurgy in the old world*. Rahden/Westf. 303-314.
- ROSKA, M. (1942): *Erdély régészeti repertóriumai I. Őskor. – Thesaurus Antiquitatum Transsilvanicarum Tom. I. Praehistorica*. Kolozsvár 1–368.
- SÁNTA, G. (2004a): Sánta G.: A halomsíros kultúra leletei Zákányszék határában. *MFMÉ–StudArch* **X** 53-80.
- SÁNTA, G. (2004b): Bronzkori sír Zákányszék határában – Adatok a halomsíros kultúra fémművességéhez. *Ősrégészeti Levelek* **6** 40-47.
- SÁNTA, G. – UZONYI, I. – CSERHÁTI, CS. – DARÓCZI, L. (2007): A halomsíros kultúra néhány dél-alföldi bronztárgyának analitikai vizsgálata. *Archeometriai Műhely* **4/3** 19-31.
- SCHALK, E. (1998): Die Entwicklung der prähistorischen Metallurgie im nördlichen Karpatenbecken. Eine typologische und metallanalytische Untersuchung. *Internationale Archäologie – Naturwissenschaft und Technologie* Band 1. Rahden/Westf. 1998.
- SCHUBERT, F. – SCHUBERT, E. (1967): Spektralanalytische Untersuchungen von Hort- und Einzelfunden der Periode B-III. In: MOZSOLICS, A. (1967): *Bronzefunde des Karpatenbeckens. Depotfundhorizonte von Hajdúsámson und Kosziderpadlás*. Akadémiai kiadó, Budapest.

STÖLLNER, T. – CIERNY, J. – EIBNER, J. – BOENKE, N. – HERD, R. – MAASS, A. – RÖTTGER, K. – SORMAZ, T. – STEFFENS, G. – THOMAS, P. (2006): Der bronzezeitliche Bergbau in Südevier des Mittelberggebietes. Bericht zu den Forschungen der Jahre 2002 bis 2006. *Achaeologica Austriaca* **90** 87-137.

SZABÓ, G. (1999): Adatok a velemi késő bronzkori ónbronozok archaeometallurgiai vizsgálataihoz. – Beiträge zu den Archäometallurgischen Untersuchungen der spätbronzezeitlichen Zinnbronzen von Velem. *Savaria* **24/3** (1998-1999) 329-357.

SZABÓ, G. (2004): Ásatási megfigyelések és kísérleti régészeti adatok a hamvasztásos temetkezésekhez. – Beobachtungen auf Ausgrabungen und experimentalarchäologische Daten zu den Brandbestattungen. *ΜΩΜΟΣ III*. Őskoros kutatók III. Összejövetelének konferenciakötete. Halottkultusz és temetkezés. Szombathely-Bozsok, 2002. október 7-9. 441-458.

SZAKÁLL, S. (ed.) (2002): *Minerals of the Carpathians*. GRANIT Publ. House. Prague, 2002.

SZATHMÁRI, I. (2005): Folyókból előkerült kardleletek a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményében. – Bronzezeitliche Schwertfunde aus Flüssen in der Sammlung des Ungarischen Nationalmuseums. *CommArchHung* 143-166.

TÖMÖRKÉNY, I. (1902): Leletek a szegedi határban. *ArchÉrt* ú.f. **XXII** 372-376.

TÖMÖRKÉNY, I. (1903): A bilisitsi ásatásokról (Szeged-Alsótanya). *ArchÉrt* ú.f. **XXIII** 50-54.

TRAMPUŽ-OREL, N. – HEATH, D. J. – HUDNIK, V. (1996): Spektrometrične raziskave depojskih najdb pozne bronzaste dobe. – Spektrometric Research of the Late Bronze Age Hoard Finds. In: TERŽAN, B. (ed.): Depojske in posamezne kovinske najdbe bakrene in bronzaste doba na Slovenskem. – Hoards and individual metal finds from the Eneolithic and Bronze Ages in Slovenia. *Katalogi i monografije* **29**. Narodni Muzej, Ljubljana, 165-242.

TROGMAYER, O. (1975): Die bronzezeitlichen Gräberfeld bei Tápé. *FontesArchHung* 1975 1-228.

TOČIK, A. – ŽEBRÁK, P. (2003): Ausgrabungen in Špania Dolina-Piesky. Zum Problem des urzeitlichen Kupfererzbergbaus in der Slowakei. In: STÖLLNER, T. – KÖRLIN, G. – STEFFLENS, G. – CIERNY, J. (eds.): *Man and Mining – Mensch und Bergbau*. Studies in honour of Gerd Weisgerber on occasion of his 65th birthday. Bochum, 71-78.

ZSCHOCKE, K. – PREUSCHEN, E. (1932): Das Urzeitliche Bergbauebiet von Mühlbach-Bischhofshofen. *Materialien zur Urgeschichte Österreichs* **6** Wien.

ŽEBRÁK, P. (1990): The traces of the primary mining of non-ferrous metals in Slovakia. In: JOVANOVIĆ, B. (ed.): Ancient Mining and Metallurgy in Southeast Europe. *Arch. Inst. Beograd Monographs* **27** Bor, 13-21.

¹ Móra Ferenc Múzeum Őskori Gyűjtemény Ltsz. 53.219.1. Függesztőtagos lunulacsüngő, Kömpöc-Gerzsa lelőhelyről, ahol Halomsíros leletek is előkerültek. A tárgy az őskori leltárban van. A forma is bronzkori jellegű, és a lelőhely is ismert bronzkori lelőhely. Emiatt – bár feltűnt a különbözősége – mégis elvittük magunkkal. Anyaga 40% réztartalmú ezüst, vagy ezüstözött bronz (csak a felületét vizsgáltuk meg néhány tized mm mélységben).

A cikkben bemutatott többi régészeti lelet is a Móra Ferenc Múzeum Őskori Gyűjteményében található, a táblázatokban megadott leltári számok alatt.

³ Az eredményeket részletező sokszerzős tanulmány terveink szerint hamarosan megjelenik.

RÓMAI KOCSI VASALKATRÉSZEINEK ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATA

ARCHAOMETRICAL ANALYSES OF IRON PARTS OF A ROMAN-AGE CARRIAGE

THIELE ÁDÁM¹, LENGYEL BOGLÁRKA², MRÁV ZSOLT³

¹BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék, E-mail: adam.thiele@hotmail.com

²Magyar Képzőművészeti Egyetem, Restaurátor szak

³Magyar Nemzeti Múzeum, Régészeti Tár, E-mail: mrav.zsolt@hnm.hu

Abstract

Recently, Roman wagon graves have been excavated in Budaörs (Country Pest, Hungary). Archaeometrical analyses (metallographic, micro-hardness measurement, microanalysis by SEM-EDX) were carried out in case of five iron-part artifacts of a Roman carriage. All of the examined iron parts had different kinds of strain (abrasion, bending, etc. stress). On the basis of the results, we tried to answer the question: Did the ancient blacksmiths use sufficient iron material and processing technology against the mechanical strain? We can state that with some exceptions, regarding most of the iron parts the ancient materials and technologies were suitable against the mechanical strain in the light of modern engineering as well.

Kivonat

A közelmúltban római kori kocsisírokat tártak fel Budaörsön. Az egyik sírból előkerült római kocsi lelet öt különböző igénybevételelű (koptató-, hajlító-, stb. igénybevételelű) vasalkatrészének archeometriai vizsgálatát (metallográfiai, mikro-keményiségmérés és elektronsugaras mikroanalízis) végeztük el. A célunk az volt, hogy az anyagvizsgálatok eredményei alapján következtetéseket vonhassunk le a kérdést illetően: Vajon a kocsit készítő korabeli kovácsmesterek megfelelő vasanyagokat és gyártástechnológiát választottak-e az ismert igénybevételelű alkatrészek elkészítése során? Megállapítottuk, hogy néhány kivételtől eltekintve a vizsgált alkatrészek többségénél az anyagválasztás és a gyártástechnológia tekintetében mai mérnöki szemmel tekintve is helyesen jártak el a régi mesterek.

KEYWORDS: ARCHAOMETRICAL ANALYSES, METALLOGRAPHIC ANALYSES, ROMAN AGE CARRIAGE, ANCIENT TECHNOLOGIES

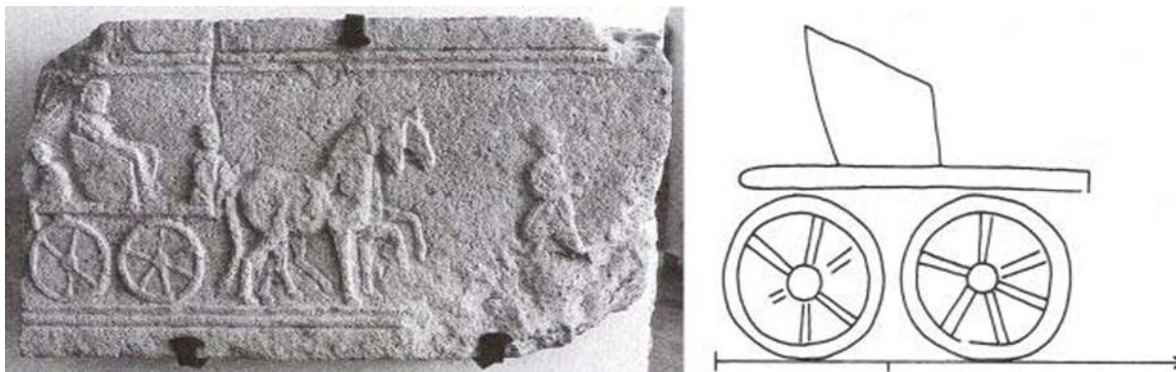
KULCSSZAVAK: ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATOK, METALLOGRÁFIAI VIZSGÁLATOK, RÓMAI KOCSI, ÓKORI GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK

Bevezetés

A technikatörténet egyik ókori csúcsteljesítménye, a korabeli szárazföldi közlekedés és teherszállítás nélkülözhetetlen kelléke, a fogatos kocsi volt.

Az etruszk és kelta hagyományokra épülő római kocsik gyártása és a kifejlesztett szerkezeti megoldásaik a római császárkorra olyan magas technikai színvonalat értek el, hogy azt csak a késő középkorban sikerült újra megközelíteni (Mráv 2005a). Annak ellenére, hogy a pannoniai és thrákiai „kocsisírokból” több száz, gyakran teljes kocsilelet került elő, és az ismert kocsi alkatrészek száma tízezres nagyságrendű, nagyon keveset tudunk a császárkori bognár- és az ehhez szorosan kapcsolódó kocsikovács-iparról. Az írott források szűkszavú megjegyzésein, és egyes alkatrészek görög terminológiáján (ld. Pollux, Onomasticon) kívül csak néhány elrejtett, mintadarabokat és bognár-illetve kovácsszerszámokat tartalmazó depóleltre (például: Mannersdorf, 1. depó: Pollak

2006; Immendorf: Garbsch 1986, 54) és feltárt, inkább javítással, mint gyártással foglalkozó műhelyre támaszkodhatunk (ilyen került elő például Ambrussumban: Fiches 1996). Ezért fontos, hogy az antik kocsikovács-ipar kutatásába egy új forráscsoportot, a kocsivasalások archeometriai vizsgálatát sikerült bevonjunk, amelynek segítségével a kocsik gyártásánál felhasznált vasanyagok minőségéről és az alkatrészek gyártástechnikájáról vonhatunk le következtetéseket. Általános megállapításokat azonban még nem tehetünk, mivel a kocsialkatrészek természettudományos vizsgálata a kezdeténél tart és így kevés összehasonlító anyagvizsgálat áll rendelkezésünkre (például: Kastowsky & Mehofer 2006). A manchingi vasleletek archeometriai vizsgálatából azonban azt már tudjuk, hogy a római-korban használt kovácstechnikákat (Mutz 1976) a késővaskori kelták is ismerték és alkalmazták (Schwab é. n.).



1. ábra: Rögzített szekrényű, ülésellátott utazókocsi ábrázolása sírkövön

Fig. 1.: Roman period carriage with fixed cart-body represented on a funerary relief

A vizsgált minták régészeti háttere

Ottományi Katalin és Mráv Zsolt 2002-ben négy bolygatatlan kocsisírt tárt fel a Budaörs, Kamaraerdei dűlőben fekvő római település temetőjében (Mráv 2005b; Mráv 2006). Ezek a kocsit és leölt ígás lovakat tartalmazó gödrök azoknak a gazdag kocsis temetkezéseknek a sorába illeszkednek, amelyekből ma már közel harmincat ismerünk, elsősorban az Északkelet-Pannoniában lakó kelta eraviscusok törzsi területéről (Mráv 2009). A kocsik és felszerszámozott ígás- és hátsólovak szepulchrális célból való eltemetése (feláldozása) a törzs elitjének Kr. u. 2. században és 3. század elején ápolt arisztokratikus temetkezési szokása volt, amelynek gondolati hátterét a halott túlvilágra történő utazása adta. A sírok legjellemzőbb és legdrágább mellékletei a túlvilági utazás kellékei, a fogatos kocsik voltak, amelyek nemcsak az eraviscusok túlvilághitéről, hanem a császárkori utazókocsik típusairól, szerkezetéről és felépítéséről is rengeteg információt hordoznak. Ezek a kocsik ugyanis nem a temetkezés alkalmára készült halotti kocsik voltak, hanem olyanok, amelyeket a családok mindennapi utazásaik során is használtak.

Tanulmányunk tárgyát a budaörsi temető 125-ös számú kocsisírijában feltárt négykerekű utazókocsi adja, amelyet két felszerszámozott és járomba fogott ígáslóval együtt temettek el. A kocsi a rögzített szekrényű, ülésellátott utazókocsi típusába tartozik, amelyeket gyakran ábrázoltak az eraviscusok síremlékein is (ld. **1. ábra**, Visy 1997).

Kinézetüket és díszítésüket tekintve ugyanilyen kocsik kerültek elő a budaörsi temető 124-es és 162-es sírijából, valamint a kálózi kocsis temetkezésből (Marosi 1935, 213-216). Ezek nemcsak azonos időszakban, a Kr. u. 2. század első harmadában készültek, hanem azonos sorozatot alkotnak, amelyek valószínűleg egyetlen, nagy produktivitású pannoni műhelyben készültek (Mráv 2009). A budaörsi 125-ös sír kocsiából 212 fémlelet került elő, amelyből 127 a vasalkatrészek száma, a többi a kocsi díszítéséhez vagy a járomhoz

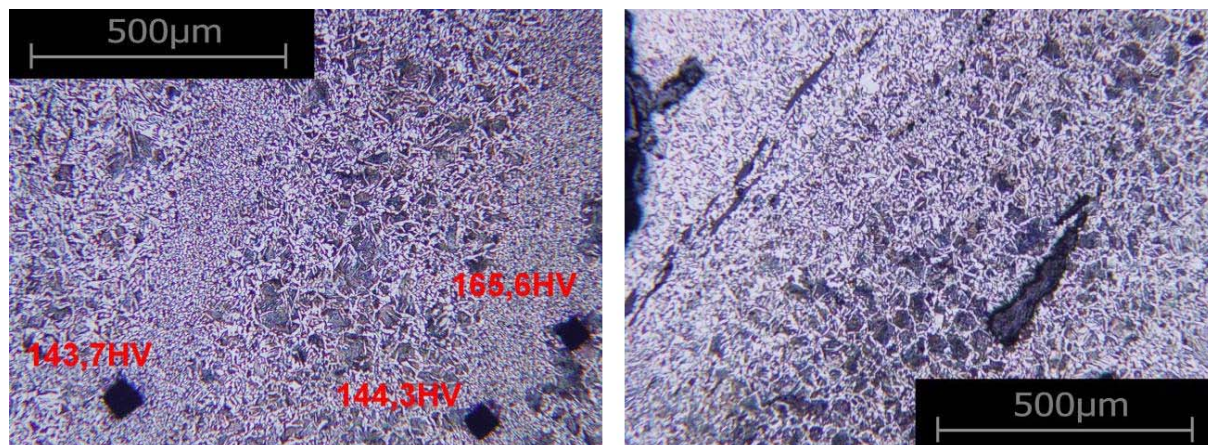
tartozó bronz és ólomlelet. A kocsi megtalált vas alkatrészeinek száma azonban nem azonos a kocsi épített összes vasalásával, mivel a sírba nem a teljes kocsit helyezték el. Hiányzanak ugyanis a nyújtó és a hátsó tengely, valamint a vánkos vasalásai és bronz díszítményei.

Az előkerült vasleleteket pergő, lemezesen leváló korrodálódott réteg borította, amely alatt azonban anyagvizsgálatok elvégzésére alkalmas ép fémfázis volt található.

A vizsgált minták gyártástechnológiai háttere

A korabeli kovácsok a vastárgyakat vasbucákból, illetve az azokból kikovácsolt vastömbökből kovácsolták. Az általában 5-15kg tömegű vasbucákat néhány méter magasságú, faszéntüzelésű ún. bucakohókban állították elő a kohászok. A kohászat során a kohóba adagolt oxidos vagy hidroxidos vasérből a nagy CO-tartalmú atmoszféra redukáló hatására kis szemcsék formájában szilárd állapotban színlőd a vas (indirekt redukció). Ezek a vasszemcsék a kohó alján vasbucává hegedtek össze. A vas az akkoriban elérhető kis kohászati hőmérséklet (1200-1300°C) mellett nem olvadt meg, ebből következően a karbon tartalma sem növekedhetett meg túlzottan – néhány tized százalékos karbon tartalmú acél keletkezett. Az érc meddő tartalmából és vas-oxidokból álló olvadt salakot a vasbucától a kohászat közben végzett salakcsapolásokkal választották el, így jutottak egy szivacsos, de még erősen salakos vascipóhoz, amelyet a kohászat után többszöri újraizálásokkal és tömörítésekkel, átkovácsolással szabadítottak meg a megmaradt felesleges salaktartalomtól (Thiele & Bán 2010, Thiele 2011).

A napvilágra került római kocsi vasalkatrészeit szabadalakító kovácsolással készítették: a faszéntüzelésben felhevített munkadarabot a maihoz hasonló kovácsszerszámok segítségével munkálhatták meg (Tylecote 1972).



2. ábra: A koptatóvas metallográfiai csiszolata. Baloldalon: mikro-keménységmérési eredmények. Jobboldalon: nagyméretű ellapított salakzárványok.

Fig. 2.: Metallographic picture of the wearing-part. On the left: micro hardness values. On the right: large flat slag inclusions.

Az alakadás után a munkadarabot hőkezelték. Végezhettek a teljes keresztmetszetre kiterjedő hőkezelést, pl. a munkadarabot megfelelő karbon tartalom esetén nemesíthették (edzés és megeresztés), emellett felületi hőkezelésre is lehetőség volt, ha csupán a munkadarab felületi rétegének keménységét akarták növelni. Gyakran alkalmazott felületi hőkezelési eljárás volt a betétedzés. Ennek során 1-2mm vastagságú nagy karbon tartalmú réteget hoztak létre az eredetileg kis karbon tartalmú munkadarabon a kovácstűzben, redukáló atmoszférában, néhány órán át tartó iztással – ezt nevezzük cementálásnak. Ezt követően az edzés során csak a felületi réteg edződött be, a kis karbon tartalmú mag lágy és szívós maradt (Konkoly 1992).

Célok és anyagvizsgálati módszerek

A római kocsi vasalkatrészeinek anyagvizsgálatával arra a kérdésre próbáltunk meg választ kapni, hogy vajon a régi mesterek tudatosan választottak-e anyagot és gyártástechnológiát az adott alkatrész jellemző igénybevételével szemben? Pl. a kopásnak kitett alkatrészeket nagyobb karbon tartalmú acélból kovácsolták-e, illetve elvégezték-e azok keménységnövelő hőkezelését?

A kérdés megválaszolása céljából a római kocsi néhány eltérő igénybevételű alkatrészéből mintákat vágunk ki. A vizsgált vasalkatrészek:

1. koptatóvas – ezen fordul el a kocsi első tengelye, koptató igénybevétel
2. zablakarika – nincs jelentős mechanikai igénybevétel
3. szeg (hosszmetszet) – igénybevétel kihajlásra a beütéskor
4. kartámasz – nincs jelentős mechanikai igénybevétel

5. kerékabroncs – koptató igénybevétel az abroncs futófelületén

Minden vasalkatrészen metallográfiai vizsgálatokat és mikro-keménységmérést, a koptatóvas (1) és a szeg (3) minták esetében pedig elektronsugaras mikroanalízist (EDS) is végeztünk.

A metallográfiai vizsgálatok során csiszolatok készültek a kivágott mintákból, amelyeket maratás után (a marószert 2%-os Nitál volt) fénymikroszkóp alatt 50-200-szoros nagyítás mellett vizsgáltunk a minták szövetszerkezetének megismerése és a karbon tartalom becslése céljából.

A mikrokeménység méréseket szintén a csiszolatokon végeztük el: Vickers-keménységet mértünk néhány jellegzetes szövetszerkezeti képet mutató területen 10N-os mérőerővel.

A csiszolatot továbbá pásztázó elektronmikroszkópon (SEM) vizsgáltuk, néhány jellemző területen energiadiszperzív röntgenspektroszkópiával (EDX) mikroanalízist végeztünk az esetleges ötvöző és szennyező elemek mennyiségének meghatározása céljából. Sajnos ez a vizsgálati módszer a kis tömegszámú elemek mennyiségének pontos kimutatására nem alkalmas, így pl. a karbon tartalom sem határozható meg vele.

Anyagvizsgálati eredmények

A koptatóvas (1) maratlan csiszolatán soros elrendeződést mutató, nagyméretű, ellapított zárványok voltak láthatók, a zárványokban salakot is megfigyelhettünk (a bucakohászati technológia maradványa). A maratott csiszolaton tisztán ferrites finomszemcsés szövetszerkezetű (a becsült karbon tartalom: C% \approx 0), finomszemcsés ún. Wiedmanstatteni (perlit szemcsék proeutektoidos ferritűkkel, a szemcsehatárokon szintén proeutektoidos ferrit, C% = kb. 0,4) és ferrithálós szövetszerkezetű (a perlit szemcsék határain

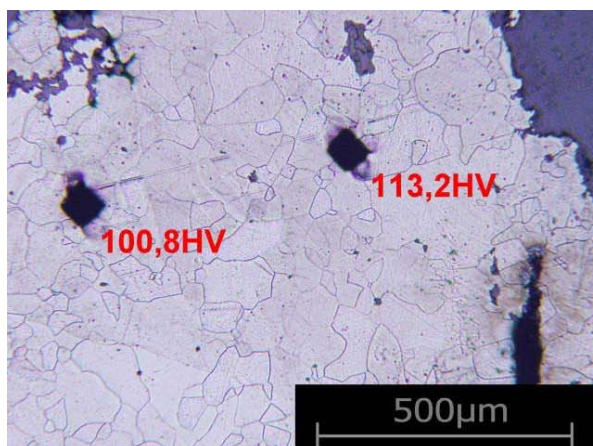
proeutektoidos ferrit, $C\% = \text{kb. } 0,6$) területek váltakoztak. A mikro-keménységmérések során a szövetszerkezettől függően 140-170HV értékek adódtak (ld. **2. ábra**). Az elektronsugaras mikroanalízis eredménye szerint a minta sem ötvözőt, sem szennyezőket nem tartalmaz kimutatható mennyiségben (a korbontartalom a maratott csiszolatokon látott szövetelemek alapján becsülhető).

Az ötvözők és szennyezők hiányával magyarázhatóak a keménységmérések során tapasztalt nagyon kis keménység értékek. Az egyik nagyobb salakzárvány elektronsugaras mikroanalízise során adódott elemösszetételeket a **3. ábra** foglalja össze.

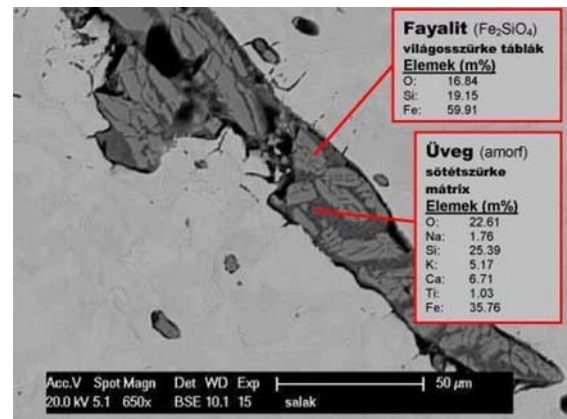
A zablakarika (2) maratlan csiszolatán sok, nagy, elrendeződést nem mutató zárvány volt látható. A felületi rétegekben helyenként kristályközi korrózió jelentkezett. A maratott csiszolaton durvaszemcsés, tisztán ferrites ($C\% = 0$) szövetszerkezet mutatkozott. A mikro-keménységmérések során 100-110HV értékek adódtak (ld. **4. ábra**).

A szeg (3) hosszmetzetének maratlan csiszolatán sok apró, elrendeződést nem mutató zárvány és a felülethez közel kristályközi korrózió volt látható. A maratott csiszolaton sávosan eldurvult, többnyire finomszemcsés ferritet és kevés perlit tartalmazó szövetszerkezet ($C\% = \text{kb. } 0,1$) jelent meg. A mikro-keménységmérések során 160-170HV értékek adódtak (ld. **5. ábra**). Az elektronsugaras mikroanalízis eredménye szerint a minta sem ötvözőt, sem szennyezőket nem tartalmaz kimutatható mennyiségben.

A kartámasz (4) maratlan csiszolatán sok, soros elrendeződést mutató zárványt és a felületi rétegekben helyenként kristályközi korróziót lehetett megfigyelni.



4. ábra: A zablakarika metallográfiai csiszolata. Baloldalon: mikro-keménységmérési eredmények. Jobboldalon: salakzárvány.



3. ábra: A koptatóvas egyik salakzárványának elemösszetétele

Fig. 3.: Chemical composition of a slag inclusion of the wearing-part

A maratott csiszolaton javarészt lemezes perlites szövetszerkezet ($C\% = \text{kb. } 0,8$) volt látható, amely az egyik oldalon ferrithálós majd Wiedmanstatteni szövetszerkezeten keresztül ment át finomszemcsés ferritbe. A mikro-keménységmérések során a szövetszerkezettől függően 190-290HV értékek adódtak (ld. **6. ábra**).

A kerékabroncs (5) maratlan csiszolatán a koptatóvashoz (1) hasonlóan kevés, de nagy, ellapított zárványt lehetett megfigyelni. A maratott csiszolaton finomszemcsés szövetszerkezet volt látható. Korbontartalom gradiens volt megfigyelhető: az egyik oldal ferrites ($C\% = \text{kb. } 0,1$), középen ferrit-perlites ($C\% = \text{kb. } 0,2$), a másik oldal Wiedmanstatteni ($C\% = \text{kb. } 0,4$), ferrithálós ($C\% = \text{kb. } 0,6$) majd a legkülső réteg tisztán perlites-szövetszerkezetű ($C\% = \text{kb. } 0,8$). A mikro-keménységmérések során a szövetszerkezettől függően 100-200HV értékek adódtak (ld. **7. ábra**).

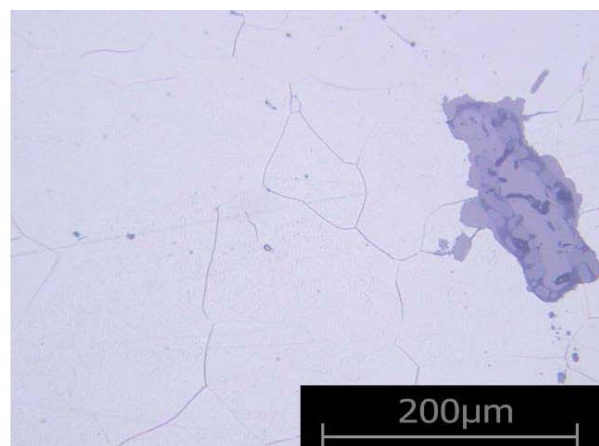
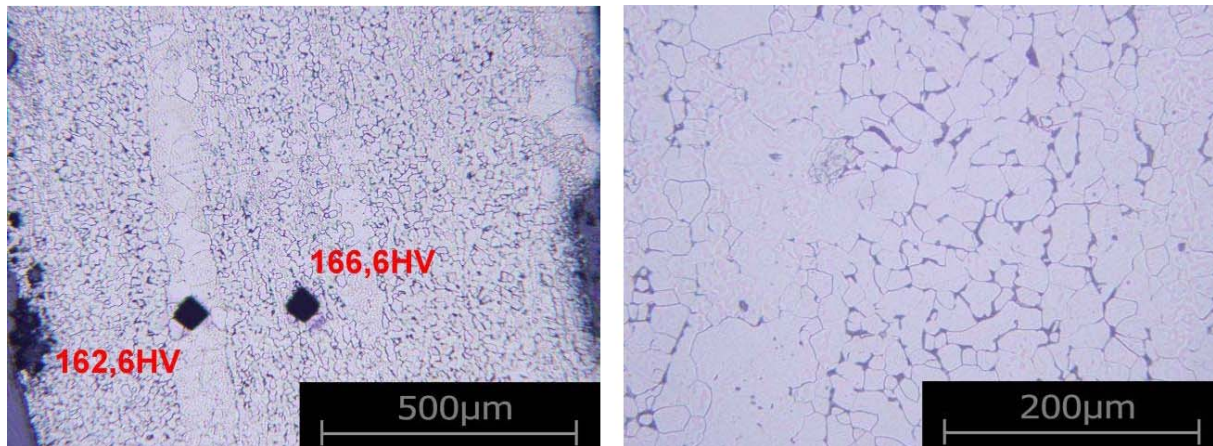
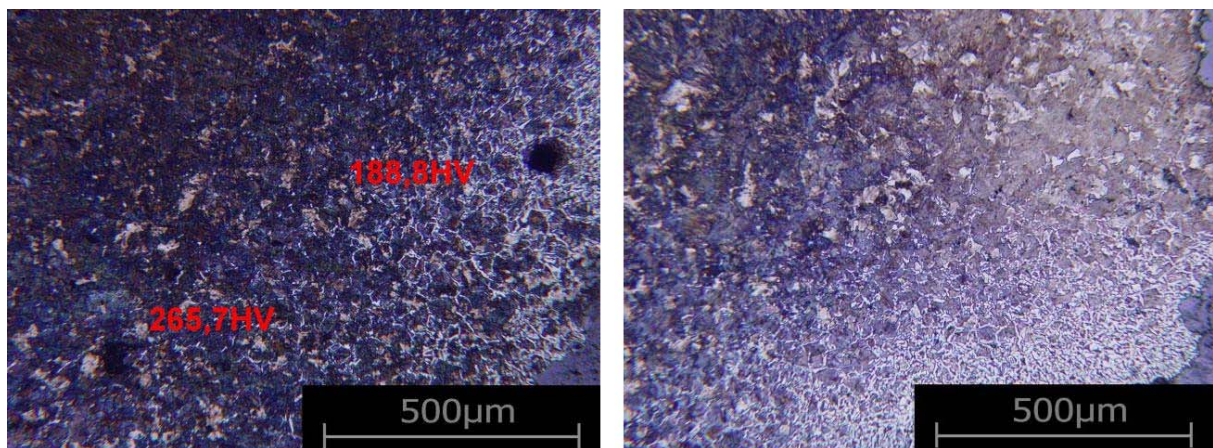


Fig. 4.: Metallographic picture of the bit-ring. On the left: micro hardness values. On the right: slag inclusion.



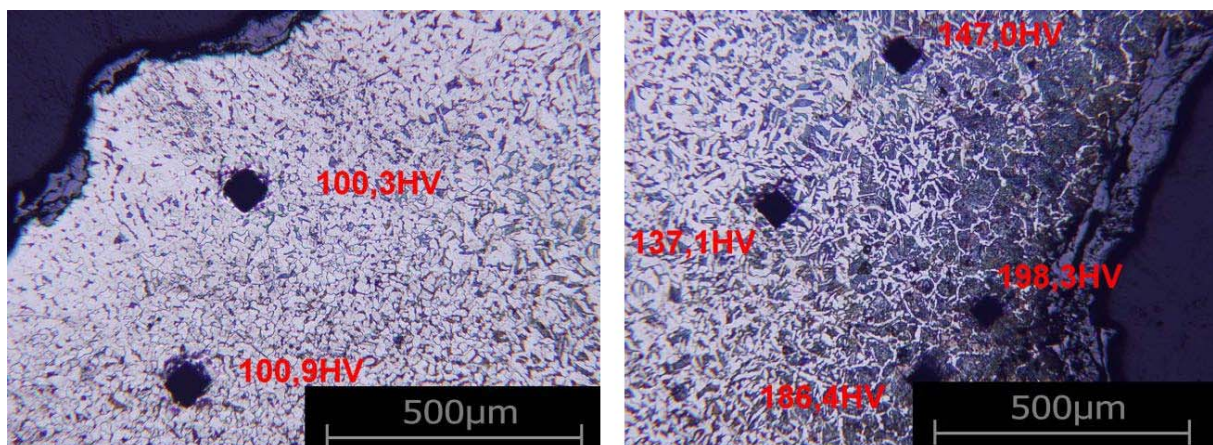
5. ábra: A szeg metallográfiai csiszolata. Baloldalon: mikro-keménységmérési eredmények . Jobboldalon: durvaszemcsés ferritsáv mellett finomszemcsés ferritsáv .

Fig. 5.: Metallographic picture of the nail. On the left: micro hardness values. On the right: fine-grained ferrite layer between large-grained one.



6. ábra: A kartámasz metallográfiai csiszolata. Baloldalon: mikro-keménységmérési eredmények. Jobboldalon: a perlites szövetszerkezet ferritesbe megy át .

Fig. 6.: Metallographic picture of the arm-rest. On the left: micro hardness values. On the right: ferritic texture change to perlitic texture.



7. ábra: A kartámasz metallográfiai csiszolata. Baloldalon: mikro-keménységmérési eredmények a minta egyik oldalán. Jobboldalon: mikro-keménységmérési eredmények a minta másik oldalán.

Fig. 7.: Metallographic picture of the arm-rest. On the left: micro hardness values on the one side of the part. On the right: micro hardness values on the other side of the part.

Következtetések

Az anyagvizsgálati eredmények alapján a korabeli mesterek igénybevételekkel szembeni anyagválasztására és az alkalmazott gyártástechnológiájára vonhatók le következtetések.

A koptatóvas (1) igénybevétele koptató jellegű, a kopásnak kitett felületek keménységét ezért célszerű lett volna megnövelni. A metallográfiai vizsgálatok és a mikro-keménységmérések eredményei alapján azonban az állapítható meg, hogy bár az anyagválasztás megfelelő volt, a gyártástechnológia során szükség lett volna nemesítő hőkezelésre is. Az alkatrész karbontartalma ugyanis elegendő lett volna ahhoz, hogy edzés során (vörösszársól vízben lehűtve a munkadarabot) martenzites szövetszerkezet alakuljon ki. Ezzel szemben a munkadarab a kovácsolás után feltételezhetően mindössze a szabad levegőn hűlhetett le, így alakult ki az egyensúlyihoz közeli, többnyire Wiedmanstatteni szövetszerkezet (Verő & Káldor 1977). A salakzárványok nagy méretei a bucakohászati technológiát követő nagymértékű átkovácsolás elmaradására utalnak.

A zablakarika (2) igénybevétele nem jelentős, ennek megfelelően a választott karbonszegény anyag megfelelő. Viszont a durva szemcseszerkezet a mechanikai tulajdonságokat jelentősen rontja, ennél az alkatrésznél a szemcseszerkezet további átkovácsolással történő finomítása célszerű lett volna, tehát a technológia hiányosságai ismét felröghatók.

A szeg (3) igénybevétele a beütéskor ébred, kihajlás jellegű. Ma a szegek kis karbontartalmú acélból, képlékeny hidegalakítással készülnek, ezáltal szilárdságnövekedés érhető el. A vizsgált minta karbontartalma kicsi, így a szilárdságnövelésre a maihoz hasonló hidegalakítási technológia kínál megoldást. Ezzel a módszerrel bizonyos mértékben valószínűleg éltek is, ugyanis a keménység 160HV értékre növekedett a többi mintánál a javarészt ferrites szövetszerkezethez tartozó kb. 100HV keménységértékekhez képest. Nagymértékű hidegalakítás okozta szemcsemegnyúlások, deformációk azonban nem figyelhetők meg.

A kartámasz (4) jelentős mechanikai igénybevételnek feltételezhetően nem volt kitéve a használat során. Ennek ellenére nagy karbontartalmú, nemesíthető acélt választottak ehhez az alkatrészhöz. A gyártástechnológia során azonban nem nemesítették a munkadarabot, az igénybevételt figyelembe véve ez valóban nem is szükséges.

A kerékabroncs (5) a futófelületén koptató igénybevételnek van kitéve. Ennek megfelelően alakul a mintán megfigyelt karbontartalom gradiens

is: a külső felület felé haladva növekvő karbontartalomra utaló szövetszerkezetet láthatunk. Az anyagválasztás és a technológia is megfelelő volt, mert az eredetileg kis karbontartalmú acél felületét cementálással (ld. bevezető, 1.2.) dúsították fel karbonban, ezáltal egy keményebb (kb. 200HV), kopásállóbb felületi réteget kaptak.

Az elektronsugaras mikroanalízis eredményei alapján megállapítható, hogy a római kocsi vizsgált vasalkatrészei ötvözetlen szénacélból készültek, amely anyag szilárd oldatos szennyezőket sem tartalmaz kimutatható mennyiségben. A koptatóvas egyik nagyobb salakzárványának elemösszetétele kristályos fayalit és üvegfázis jelenlétére utal. A salakzárványok fázisösszetétele és a fémfázis szövetszerkezete között egy korábban megjelent publikáció szerint összefüggés mutatkozik: a ferrit-perlites szövetszerkezetben megjelenő salakzárványokban túlnyomó részben fayalit és üvegfázis található (Buchwald & Wivel 1998). Ez az összefüggés a koptatóvas esetén is látható.

A salak üvegfázisának elemösszetételében 1% Ti volt kimutatható, a fémfázisban pedig nem fordult elő a foszfor, mint szennyező. E két mérési eredmény alapján feltételezhető, hogy a vasbucák, amelyekből a római kocsi vasalkatrészeit kovácsolták genetikájukat tekintve nem üledékes eredetű gypvasérc kohósításából származnak (Molnár 2008). A titán mint nyomelem jelenlétéből a vasbucakohászati technológiához felhasznált érc eredetére lehetne következtetni, ha ismernénk a környékbeli vasércbányák érceinek nyomelem-háztartását (vö. Navasaitis et al. 2010).

Összességében elmondható, hogy az adott római kocsi vasalkatrészeinek kovácsai az igénybevételekkel szemben általában megfelelő anyagot, de nem mindig megfelelő technológiát (megmunkálást és hőkezelést) választottak.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Portó Mihálynak (BME, Anyagtudomány és Technológia Tanszék) a SEM-EDX vizsgálatokért.

Irodalom

- BUCHWALD V. F., WIVEL H. (1998): Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects, *Elsevier Science Inc.*, New York, p. 73-96.
- FICHES J-L. (1996): *Ambrossum, une étape de la voie Domitienne en Lunellois*, Montpellier
- GARBSCH, J. (1986): Mann und Roß und Wagen. Transport und Verkehr im antiken Bayern. *Ausstellungskataloge der Prähistorischen Staatssammlung*. **Bd. 13**. München.

- KASTOWSKY K. & MEHOFER M. (2006): Metallografische Analysen an den kaiserzeitlichen Depots aus Mannersdorf am Leithagebrige. *Pollack 2006*, 55-63.
- KONKOLY T. (1992): *Hőkezelés*, Tankönyvkiadó, Budapest, 143-146.
- MAROSI A. (1935): A székesfehérvári múzeum római kocsilelete Kálózról, *Archaeologiai Értesítő* **48** 213-216.
- MOLNÁR F. (2008): Ércsek, salakok, fémek, A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, *Bányászat* **74** 91-111.
- MRÁV ZS. (2005a): Die Deichselmanschette. Zugarmkonstruktion bei römischen Wagen. *Archaeologiai Értesítő* **130** 21-52.
- MRÁV, ZS. (2005b): Kocsival a túlvilágra. Kocsit tartalmazó római temetkezések a budaörsi vicus temetőjében. In: Ottományi K. – Mester E. – Mráv Zs., *Antik gyökereink. A Budaörsön feltárt régészeti leletek gyűjteménye*. Budaörs, p. 56-60.
- MRÁV, ZS. (2006): Paradeschild, Ringknaufschwert und Lanzen aus einem römerzeitlichen Wagengrab in Budaörs). *Archaeologiai Értesítő* **131** 33-73.
- MRÁV, ZS. (2009): Utas két világ között. A helyi elit kocsit tartalmazó temetkezései a császárkori Pannóniában, *Ókor* **8/3-4** 78-87.
- MUTZ A. (1976): Römisches Schmeidehandwerk. *Augster Mushefte* **1**.
- NAVASAITIS J., SELSKIENĖ A., ŽALDARYS G. (2010): The study of trace elements in bloomery iron, *Materials Science* **16/2** 113-118.
- POLLACK M. (2006): Stellmacherei und Landwirtschaft: Zwei römische Materialhorde aus Mannersdorf am Leithagebrige, Niederösterreich. Fundberichte aus Österreich, *Materialhefte Reihe A Bd. 6*. Wien.
- SCHWAB R. (é. n.): Technologie und Herkunft eisener Werkzeuge und Waffen aus dem späteltischen Oppidum von Manching, PhD Thesis, Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- THIELE Á, BÁN K. (2010): A bucavaskohászat kora középkori technológiája a megvalósíthatóság tükrében, *BKL Kohászat* **2010/2** 7-12.
- THIELE Á. (2011): A földtől a vastárgyig – a bucavaskohászat metallurgiája, *BKL Kohászat* **2011/1** 1-5.
- TYLECOTE R. F. (1972): *The history of metallurgy*. The Institute of Metals, London, 102-113.
- VERŐ J., KÁLDOR M. (1977): *Fémtan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp., 1-205.
- VISY ZS. (1997): *Wagendarstellungen der pannonischen Grabsteine*. Pécs, 1-142.

CSÁSZÁRKORI IPARI (?) TEVÉKENYSÉG NYOMAI A HERNÁD VÖLGYÉBEN

THE SIGNS OF ROMAN AGE INDUSTRY IN THE HERNÁD-VALLEY

SOÓS ESZTER

ELTE-BTK Régészettudományi Intézet, 1088 Bp. Múzeum krt. 6-8.

E-mail: soos.eszter.56@gmail.com

Abstract

Outside of Csörsz-trench, North-East Hungary lays the Hernád-valley and its settlement history from the Roman Age is still slightly unknown. Among the Hernád to Kassa is the road no.3., and during its rehabilitation and the large-scale rescue excavations settlements from Roman Age were found which were opening new perspectives in the region's exploration.

In occurrence Hernádvécse-Nagy rét 4-5-6-7. and occurrence Garadna-Elkerülő út 1, settlement segments were found from the Roman Age with differently constructed houses, furnaces, ovens, and pits for all kind of foods, waste, cooking. In these occurrences industrial zones are separated from the residential area, where specific objects were found in small groups (10-20 pieces/groups). These small furnaces (grouped, sometimes ordered in a line) show the same structure: the intently burned square lateral walls filled with charcoal, the huge burned stone and beam pieces intimate constant industrial activity in excess of the cottage industry.

Sparsely and less but similar furnaces were found in the north-eastern Carpathians earlier. The exploration neglected these object-types because of the unclarified function and inappropriate date of ceramic ware. Explanation for its use as pits for drying or charcoal burning has been suggested. The analogy that they were found outside of the Carpathians insures the connection with iron-working.

Kivonat

Északkelet-Magyarország Csörsz-árkon kívül eső része, azon belül is a Hernád völgyének római kori településterülete kevésbé ismert. A Hernád mentén Kassa felé haladó 3-as út rehabilitációjának keretében elvégzett nagyfelületű leletmentő feltárások során előkerült római császárkori települések és teleprészletek új távlatokat nyitottak meg a régió kutatásában.

Hernádvécse-Nagy rét 4-5-6-7. lelőhelyeken és Garadna-Elkerülő út 1. lelőhelyen római császárkori teleprészletek kerültek elő különböző szerkezetű házakkal, tűzhelyekkel, kemencékkel, élelemtároló-, hulladék- és főzőgödörökkel. A lelőhelyeken a lakókörzettől elkülönült ipari egységek foghatóak meg, melyek tízes-húszasával előkerülő, jellegzetes objektumokból állnak. A csoportokban elhelyezkedő, helyenként sorokba rendezett kisméretű tüzelőhelyek azonos struktúrát mutatnak: erősen átégett, négyszögletes oldalfalaik, betöltésükből előkerült nagy mennyiségű faszén, nagyobb szenült gerenda- és kődarabok a háziipar szintjét meghaladó, állandó ipari tevékenységet sejtetnek.

A fent leírtakhoz hasonló tüzelőhelyek kis számban, szórtan kerültek eddig elő a Kárpát-medence északkeleti részén. A betöltésükből előkerülő minimális keltezésre alkalmas kerámiaanyag és funkciójuk tisztázatlansága miatt kevésbé foglalkozott az objektumtípussal a kutatás. Felmerült szárítógödörként vagy faszénegető kemenceként való értelmezésük. A Kárpátokon kívüli párhuzamok alapján esetleg a vasművességhez lennének köthetők.

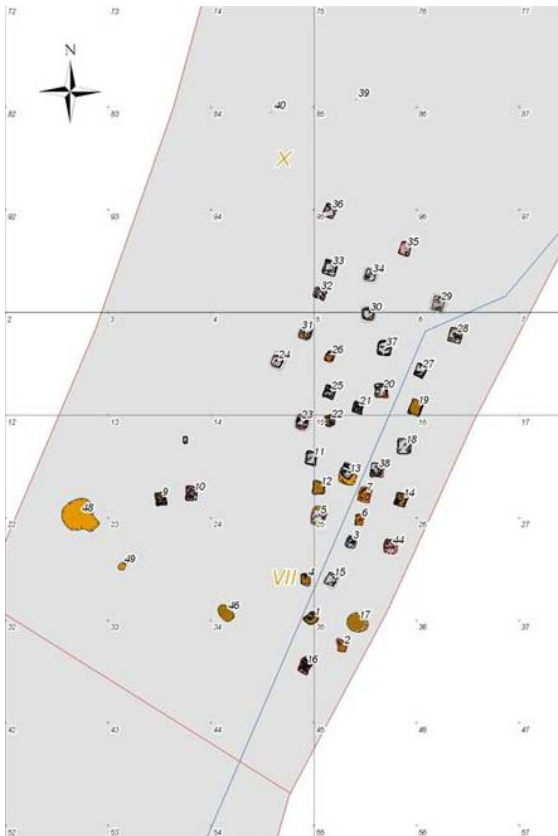
KEYWORDS: IRON METALLURGY, LATE ROMAN AGE, SETTLEMENT RESEARCH, IRON ORE ROASTING

KULCSSZAVAK: VASMETALLURGIA, KÉSŐCSÁSZÁRKOR, TELEPÜLÉSKUTATÁS, ÉRCPÖRKÖLÉS

Bevezetés

A Kárpát-medence császárkori germán településtörténetének jelen kutatási szintjéhez képest (Lamiová-Schmiedlová 1969, Matei & Stanciu 2000, Gindele 2010) az északkelet-magyarországi régió kevésbé vizsgált. Az 1950-es évek első feltárásai után a 1960-as évek közepén és második felében, és részben az 1980-as években folytak utoljára olyan nagyobb felületen végzett

ásatások, melyek császárkori teleprészleteket hoztak napvilágra. A leletanyag mennyisége és töredékes volta eddig nem tette lehetővé átfogó településtörténeti kép megalkotását. A Hernád mentén Kassa felé haladó 3-as út rehabilitációjának keretében elvégzett nagyfelületű leletmentő feltárások során előkerült római császárkori települések és teleprészletek új távlatokat nyitottak meg a régió kutatásában.



1. ábra: Hernádvécse-Nagy rét 5. lelőhely déli felén feltárt tüzelőhelye

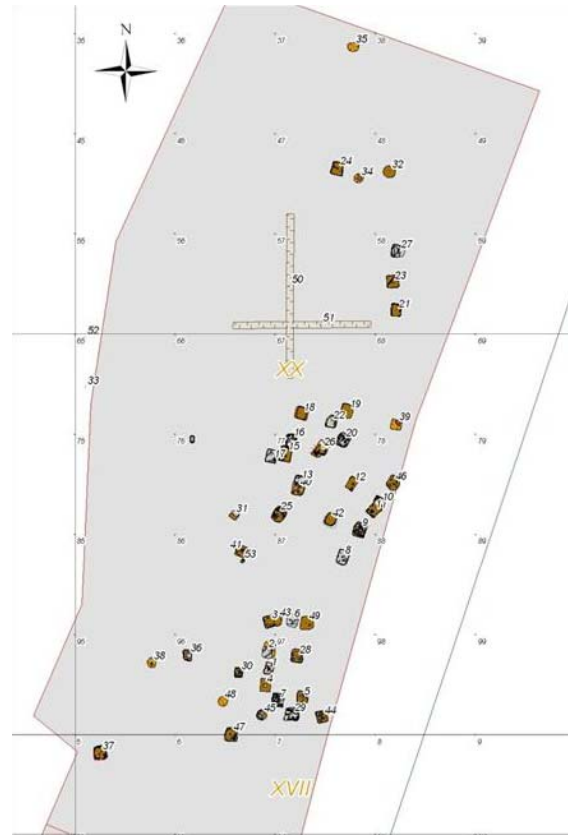
Fig 1.: Fireplaces from the southern part of Hernádvécse-Nagy rét Site 5.

A nagy felületű leletmentések pontos dokumentációja alapján vizsgálhatóvá vált a települések szerkezete, a nagy mennyiségű, selejtezetlen leletanyag pedig lehetővé teszi a kronológia pontosítását. Az alább bemutatott lelőhelyeken napvilágra került, tisztázatlan funkciójú objektumtípus új kérdéseket vet fel a régió gazdasági-ipari szerepéről is.

A vizsgált császárkori lelőhelyek és jelenségek

Hernádvécse-Nagy rét 4-5-6-7. lelőhelyek

A lelőhelyek feltárását a miskolci Herman Ottó Múzeum munkatársai végezték el 2004 áprilisa és augusztusa között, Pusztai Tamás és Szörényi Gábor András vezetésével. A lelőhelyek észak-északkelet tájolásban, 30-40 m szélességben húzódtak a Hernád egyik keleti lejtésű folyóteraszán. Az előkerült neolitikus és bronzkori telepjelenségeken kívül a római császárkorra 141 objektum volt keltezhető. A lelőhely császárkori telepeinek régészeti feldolgozását a szerző végzi doktori disszertáció keretében.



2. ábra: Hernádvécse-Nagy rét 7. lelőhelyen feltárt tüzelőhelyek

Fig 2.: Fireplaces from Hernádvécse-Nagy rét Site 7.

A leletanyag alapján elkülöníthető egy korai, a markomann háborúk utánra (Eggers B2/C1 periódusra) keltezhető fázis, az ide tartozó objektumok épületek, valamint élelem- és hulladéktároló gödrök voltak. A házak a császárkorból ismert 6 cölöpös szerkezetet mutatták, tüzelőberendezésre utaló maradvány nem került elő belőlük.

A telep késői, 4. századi periódusához tartozó épületek szabályos, négyzet alaprajzú, kissé földbe mélyített házak voltak, falaik egymásba csapolt gerendákból álltak. A nyugati és keleti oldalak közepén előkerült oszlophelyek alapján nyeregtetős szerkezet valószínűsíthető, északkeleti sarkukba apró kövekből rakott kemencét építettek. Az épületek pontos analógiái nem ismertek. A telep legkésőbbi időszakához tartozott még egy Henning B-típusú edényégető kemence a 4. lelőhely északi felében, hasonló jelenség idáig a Kárpát-medence északkeleti részéről csak a Kassai medencéből (Lamiová-Schmiedlová & Tomášová 1995, 121-122, Abb. 1) és Tiszavasváriból (Istvánovits 1999, 175-176) ismert.



3. ábra: Hernádvécse-Nagy rét, 5. lh, 7. sz. tüzelőhely

Fig 3.: Hernádvécse-Nagy rét, Site 5 fireplace 7.



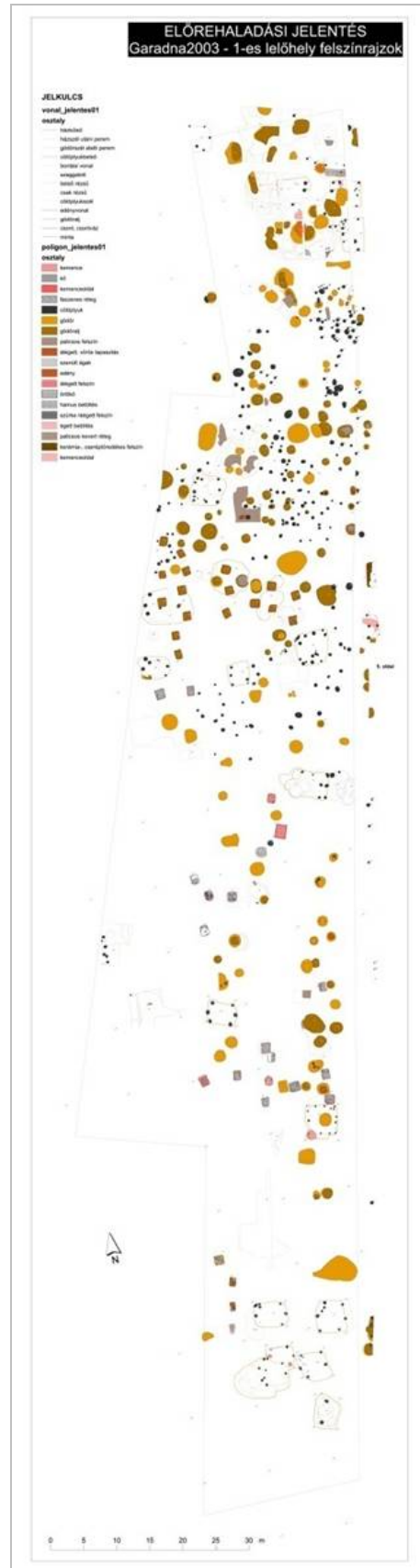
4. ábra: Hernádvécse-Nagy rét, 5. lh, 20. sz. tüzelőhely

Fig 4.: Hernádvécse-Nagy rét, Site 5 fireplace 20.



5. ábra: Hernádvécse-Nagy rét, 5. lh, 21. sz. tüzelőhely

Fig 5.: Hernádvécse-Nagy rét, Site 5 fireplace 21.



6. ábra: Garadna-Elkerülő út, 1. lelőhely térképe

Fig 6.: Map of Garadna-Elkerülő út site 1.

A 4. lelőhelyen feltárt település az 5. és 7. lelőhelyeken is folytatódott. Az 5. lelőhely déli felén (**1. ábra**), a többi településobjektumtól észak-északkeletre külön ipari negyed került elő: kisméretű, szabályos négyzet vagy téglalap alakú, földbe mélyített tüzelőhelyek sora, melyek a 7. lelőhely területén is megtalálhatóak voltak (**2. ábra**), összesen mintegy 120 darab.

A négyszögletes tüzelőhelyek azonos struktúrát mutattak: falaik 3-10 cm vastagon át voltak égvé, aljukon ez egy esetben sem volt megfigyelhető.

Méreteik azonosak voltak, oldalaik hosszúsága 90-140×60-110 cm közt változott (**3. ábra**). Betöltésükben sok volt a hamu, faszén, paticsdarab, aljukon gyakran nagyobb, szenült ág- vagy gerendadarabok is feküdtek. Feltűnő volt több jelenség betöltésében a nagyobb mennyiségű kő: termés- és törött malomkövek, nagyobb kavicsok egyaránt előfordultak egy objektumon belül (**4. ábra**). Kerámiaanyag szinte egyáltalán nem került elő belőlük, salak, vagy arra utaló nyom sem volt azonosítható.

Garadna-Elkerülő út 1. lelőhely:

Az 1960-as évek óta ismert császárkori lelőhely (Salamon & Török 1960) közelében fekvő terület leletmentő feltárását a 3-as út szélesítése miatt 2002 és 2003 során végezték el a miskolci Herman Ottó Múzeum munkatársai, az ásátás vezetője Csengeri Piroska volt. A lelőhely a jelenlegi községtől nagyjából 1 km-re északkeletre, szintén egy egykori folyóteráson helyezkedett el.

A telepen 180 élemtároló- és hulladéködrön kívül 22 lekerekített sarkú, négyszögletes, félig földbe mélyített cölöpszerkezetes épület került elő, melyek 4 csoportba tömörültek. Az épületek tájolása Ny-K/ÉNy-DK volt, alapterületük 5,5 m² körüli. Padlószintet nem, kemence maradványát csak néhány esetben sikerült rögzíteni a házakon belül.

Garadnán is megfigyelhetőek voltak a négyszögletes tüzelőödrök, a telepen összesen 40 ilyen jelenség került elő. A tüzelőhelyek 10-20-asával helyezkedtek el, 6 csoportba tömörülve (**6. ábra**). Amennyiben érintkeztek egyéb telepobjektumokkal, minden esetben felülrétegezték azokat (**7. ábra**).

Szerkezetük és betöltésük megegyezett a hernádvécseiekkel, méretük is 100×120 cm közt változott. Tájolásuk általában É-D, legnagyobb mélységük 50-60 cm volt. 8 objektumban másodlagos felhasználásra utaló nyomok voltak: aljukra nagyméretű, korongolt hombárokat állítottak.

A hernádvécsei teleppel ellentétben a négyszögletes tüzelőhelyek Garadnán a településen belül, a telepobjektumok között helyezkedtek el.



7. ábra: Garadna-Elkerülő út, 1. lelőhely északi felén feltárt épületek és tüzelőhelyek kapcsolata

Fig 7.: Connection between the houses and fireplaces in the northern part of Garadna-Elkerülő út Site 1.

A telep teljes feldolgozása után válaszolható csak meg, hogy a feltárt házcsoportok egyidejűek-e, így egy korábbi település és egy későbbi ipari tevékenység nyomai kerültek elő Garadnán, vagy a település több korszakra bontható, tehát az egyes házakhoz, házcsoportokhoz tartoztak az egyes tüzelőbokrok.

Négyszögletes tüzelőhelyek a Kárpát-medencében

A Kárpátok északkeleti részének császárkori leletanyaga szoros rokonságot mutat. A késő vaskori kelta illetve dáki anyagi kultúra hagyatékára rátelepült germán népcsoportok leletanyaga hasonlóan fejlődött Kelet-Szlovákia, Kárpát-Ukrajna, Északnyugat-Erdély és Északkelet-Magyarország területén egészen a Kr.u. 5. század elejéig. A magyar területen feltárt négyszögletes tüzelőhelyek számos párhuzama előkerült császárkori településekről, a kutatás azonban nem szentelt nagyobb figyelmet a jelenségnek. A Kárpát-medencéből az alábbi lelőhelyekről kerültek publikálásra a vizsgált objektumok (a teljesség igénye nélkül):

Beregurány/Beregovo-Barátság-kert (HU) (Istvánovits & Vaday 1983, Istvánovits 1997)
Csengersima-Petea (HU-RO) (Gindele & Istvánovits 2009),

Hereclean/Haraklány-Dămbul iazului (RO) (Matei & Stanciu 2000),

Kisvarsány-Hidéri (HU) (Istvánovits 1993),

Lazuri/Lázár-Lubi tag (RO) (Matei & Stanciu 2000),

Malye Geevcy/Kisgóce (U) (Kotigorsko 1995),

Medzany/Megye (SLO) (Lamiová-Schmiedlová 1969),

Ondrochov-Lipová/Nyitramalomszeg-Ondrohó (SLO) (Lamiová-Schmiedlová 1969),

Tarpa-Almatároló (HU) (Istvánovits 1993),

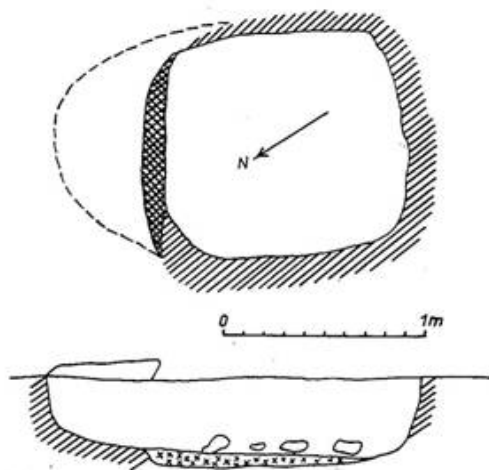
Peder/Péder (SLO) (Lamiová-Schmiedlová 1969),

Šebatovce-Barca/Zsebes-Bárca (SLO) (Lamiová-Schmiedlová 1963),

Tășnad/Tasnád Sere (RO) (Gindele 2007),

Zalău/Zilah-Vitéz Mihály utca (RO) (Matei & Stanciu 2000).

Az objektumok szerkezete földrajzi területtől függetlenül szinte teljesen megegyezik. Eltérések csak méreteikben akadhatnak, illetve az alföldi területen feltárt tüzelőgödörből nem került elő kőanyag. Amennyiben keltezésre alkalmas leletek voltak bennük, azok a Kr.u. 3. századtól keltezhetőek: gyorskorongolt, jó minőségű, redukált égetésű töredékek besimított vagy bepecsételt díszítéssel. (Az egyik legkorábbi példa az erdélyi Hereclean-Dămbul iazului: itt egyrétegű település került feltárássra, az előzetes keltezés alapján az Eggers C1a periódusból – (Gindele & Istvánovits 2009, 16).



8. ábra: Peder/Péder, 4. sz. kemence (Lamiová-Schmiedlová 1969 nyomán)

Fig 8.: Kiln 4 in Peder/Péder (after Lamiová-Schmiedlová 1969)

A tüzelőhelyek településeken belüli elhelyezkedése – mint a magyarországi példák is mutatják – változatos lehet. Csengersima-Petea lelőhelyen 63 ilyen jelenség került feltárássra. 84×118 és 140×164 cm közt változott méretük, és kis eltéréssel É-D tájolásúak voltak. Oldalaik 2-4 cm vastagon voltak tapasztva, betöltésükből csonttöredékek, szén, tapasztás darabok és minimális kerámia került elő. Csengersimán a tüzelőhelyek nagy része, mintegy kétharmada a településmagtól északnyugatra egy nagyjából 50×15 m-es területen koncentrált. Négy sorban helyezkedtek el az Erge-patak mentén. Ezekből 20-25 m-re egy szűkebb területen még 8 objektum került elő. Az ásató szerint a tüzelőhelyek elrendezése a település fejlődésével volt kapcsolatban: a kisebb csoport a korai, a nagyobb a késői házcsoporthoz tartozhatott (Gindele & Istvánovits 2009, 15-16).

Tășnad/Tasnád Sere lelőhelyen a tüzelőhelyek 2-4-es csoportokban helyezkedtek el egyéb objektumok mellett, de teljesen szeparáltan és a településegek közt is megtalálhatóak (Gindele 2007, 54-55).

A jelenségek egykori szerkezetére utaló nyom kevés került elő. Az oldalfalak és a betöltésükben talált tapasztás darabok alapján oldalaik valamennyire az egykori felszín fölé emelkedhettek. A szlovákiai Peder/Péder lelőhelyen 4 tüzelőhely került elő, a 3. számú jelenség északkeleti részén a bűb egy részét is sikerült megfogni, melyet 55 cm magasan lehetett követni. Az oldalak egyébként 40 cm magasak voltak, a kemence szája is megfogható volt, DK felé nézett (Lamiová-Schmiedlová 1969, 416, Abb. 6) **(8. ábra)**.

A jelenségekhez kapcsolódó, épített szerkezetre utaló nyomot egy esetben sikerült azonosítani: Lazuri/Lázár-Lubi tag lelőhelyen a tüzelőhely felett cölöpszerkezetes építmény állhatott (Matei & Stanciu 2000, 159, Fig. 25).

Az M0-s autópálya és a 4-es út csomópontjában végzett megelőző feltáráson, Üllő 5. lelőhelyen, a nagy kiterjedésű szarmata telepen előkerült, Kr.u. 3. századi 6512. sz. objektumot az ásatók kovásműhelyként interpretálták (Kulcsár & Jakab 2009, 59). A gödörkomplexum környezetében kérdéses funkciójú, de valamilyen módon tüzeléssel kapcsolatos jelenségek kerültek elő. Az objektumok jellegzetessége, hogy általában kis mélységben jelentkeztek, gyakran csak a humuszba ásva. Hosszuk 80-100 cm között mozgott, szélességük 50 cm körüli volt, nyújtott alaprajzúak voltak. Független vagy méhkasos faluk felső része, kb. 10 cm magasan átégett, aljukon ez egyetlen esetben sem volt megfigyelhető. Betöltésükben csak kevés patic, faszenes réteg volt megfogható, leletek csak minimális számban kerültek elő belőlük (Kulcsár & Jakab 2009, 59, 9-10. kép).

A tüzelőgödrök értelmezése a kárpát-medencei szakirodalomban meglehetősen vitatott.

Maria Lamiová-Schmiedlová a bárcai tüzelőhelyet szárítógödörként értelmezte (Lamiová-Schmiedlová 1963, 74).

Magyarországon egyedül Istvánovits Eszter írta le a jelenséget: a beregsurányi fazekascentrumot bemutató cikke kapcsán érintette a tűzhelyek kérdését, mivel a lelőhelyen Beregsurányban gyártott, szürke bepecsételt töredékek is előkerültek. A tüzelőhelyek konkrét funkciójáról nem írt, a Csengersima-határátkelőnél előkerült objektum funkciójaként pedig az ásatók felvetették, hogy az esetleg faszén égetésére szolgált (Istvánovits & Kulcsár 2003, 278).

Gindele Róbert szerint a tüzelőhelyek szoros kapcsolatban voltak a lakóépületek építési periódusaival, ezért egy meghatározott kultikus, háztartásokhoz kötődő, napi szinten végzett konnotációval lehetnek kapcsolatban (Gindele & Istvánovits 2009, 16).

A garadnai telep ásatói szerint, ha szénégetésre használták volna a tüzelőhelyeket, az csak néhány nagyobb faszenes foltot eredményezett volna (Csengeri & Pusztai 2008, 98).

A hernádvécsei, garadnai és csengersimai jelenségek nagy számban kerültek elő, és igen ritkán vágják egymást, tehát egy időszakban, párhuzamosan lehettek használatban, esetleg egy folyamatosan ismétlődő tevékenység nyomai.

A garadnai telep előzetes közlése kapcsán az ásatók felvetették, hogy a jelenségek a vasművességgel hozhatóak kapcsolatba. Bár egyik objektumban sem került elő vassalak vagy vasbuca (mint ahogy Hernádvécseken sem), a többi garadnai objektumban talált salak és nagyobb mennyiségű vastárgy az ásatók szerint alátámasztja a helyi vasérc-feldolgozó tevékenységet (Csengeri & Pusztai 2008, 98).

A garadnai és hernádvécsei telepek egymáshoz igen közel helyezkednek el, közelükben másodlagos, folyóvízi üledékképződéshez köthető, kis mennyiségű ércelőfordulásra van adat. Egészen a korai középkorig a kohászok elsősorban a felszín közeli gypvasércet és a neogén ércelőfordulásokat hasznosították (Gömöri 2000, 257). A Gömör-Szepesi érchegységben Bükk és a Cserehát területén (Uppony, Tornaszentandrás, Rudabánya lelőhelyeken) kívül a Zempléni-hegységből is ismertek limonit érc lelőhelyek Mád és Mogyoróska települések mellett (Gömöri 2000, 263).

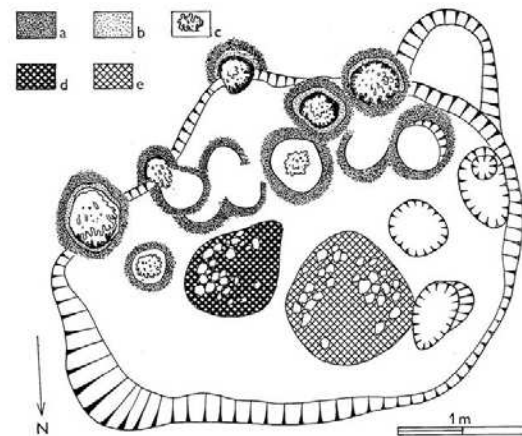


Abb. 6. Ořech (Bz. Praha-ájsúd). Grubeneinhütte 5. Grundriss, Geländebefund. Erläuterung: a vorgebrannte Schlackevöde, b Schlackenaufkantung, c Schlackenklötz, d Höllehole und Eng, e Erz und abgeordnete Gangart. Bemerkung: für die Nummerierung der Ofeneinheiten siehe Abb. 10.

9. ábra: A Prága melletti Ořech lelőhelyen feltárt vasolvasztó műhely (Motyková & Pleiner 1987, Abb. 6)

Fig 9.: Iron-smelting workshop in site Ořech, near Praha (Motyková & Pleiner 1987, Abb. 6)

Tüzelőhelyek a Kárpátokon kívül

Közép-Európa területén kövekkel kirakott, kisméretű tüzelőhelyek olyan telepeken jelennek meg, ahol valamilyen szintű vasművesség folyt.

Csehországban a Prága melletti Ořech lelőhelyen 1977-ben Eggers B1-B2 fázisra keltezhető császárkori telep került napvilágra (Motyková & Pleiner 1987). Egyéb telepjelenségek mellett előkerült egy vasolvasztó műhely kohókkal: a félig földbe mélyített ház déli és délkeleti oldalánál összesen 15, különböző időben használt fémolvasztó kemencét lehetett megfigyni. Az épület északi felében két szabálytalan négyszög alakú lemezyedést lehetett megfigyni: méreteik 83×72 cm ill. 94×100 cm voltak, és csupán 10 cm mélyek (**9. ábra**). Az egyik betöltéséből faszendarabok és érces kőzet töredékei kerültek elő, a másiktól érc, illetve érc-tartalmú kőzet törmelékei. Utóbbit vasérc-tároló helynek értelmezték („*Erzlager*”); előbbit faszén terítésére, később a meddő kőzet válogatására („*Gangartabraumstelle*”) szolgáló objektumnak tartották a publikálók. Kérdéses, használhatták-e ezeket a jelenségeket ércpörkölként. Az egyértelmű égésnyomok és mágneses pörkszilánkok mellett szólnak, ahogy a pörköltlen érces kődarabok is (Motyková & Pleiner 1987, 387). A két objektum a műhely egész fennállása alatt használatban volt.

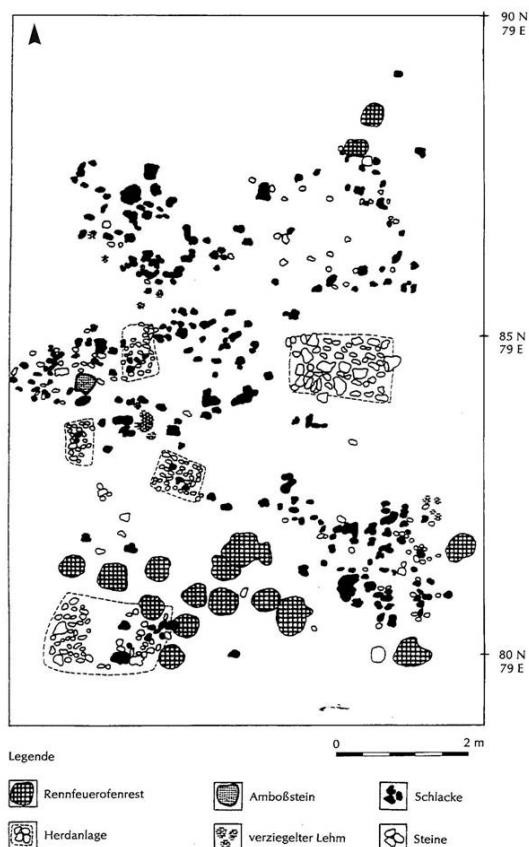


Abb. 11 Göhlen, Lkr. Ludwigslust, Fundplatz 20. Detailplan eines Schmiedeplatzes im südlichen Teil der Grabungsfläche.

10. ábra: Kövel borított tüzelőhelyek Göhlen, Kr. Ludwigslust lelőhelyen (Jöns & Wollschläger 1999, Abb. 11.)

Fig 10.: Stone covered fireplaces in site Göhlen, Kr. Ludwigslust (Jöns & Wollschläger 1999, Abb 11.)

A délnyugat-mecklenburgi Göhlen, Kr. Ludwigslust lelőhelyen fekvő, a Kr.u. 3-5. századra keltezhető hatalmas ipari települést 1987-1995 között az „Archeometallurgia” kutatási projekt keretében vizsgálták. A geomágneses vizsgálat alapján több mint 2000 vasolvasztó kemencét lehet a településen belül valószínűsíteni. A kiválasztott területen 1992 és 1994 között folyt ásatás, melynek eredménye mintegy 530 olvasztókemence azonosítása és dokumentálása volt (Jöns & Wollschläger 1999, 104).

Köztük nagyméretű, akár 45 m²-t is elérő alapterületű salakdombokat tártak fel. A terület déli felében feküdt 5, enyhén bemélyített, négyszögletes, egy sor kövel betertett tüzhelyalap, köztük nagyobb mennyiségű összetört salakdarab, kövek és tapasztás darabok feküdtek (**10. ábra**) (Jöns & Wollschläger 1999, 107). Egyedi jelenség betöltésükben a nagy mennyiségű malomkő, gránit, de ezeken kívül az alapkőzet darabjai is előkerültek. A jelenségek kimagaslóan nagy száma és a betöltésükből hiányzó leletanyag miatt a szerző szerint valószínűleg a vassfeldolgozás egy

folyamatával hozhatóak összefüggésbe. (Jöns & Wollschläger 1999, 117).

Az Odera-Spree csatorna közelében fekvő Waltersdorf Kr. Königs Wusterhausen lelőhely az 1930-as évek óta ismert. A hatalmas germán településen 1968 és 1981 közt folyt ásatás, több mint 50 földbe mélyített, cölöpszerkezetes ház mellett számos egyéb telepobjektum is előkerült. A műhelynek tartott objektumok a vassfeldolgozással hozhatóak összefüggésbe: ezek legnagyobb része újraüzemelt tüzhely volt, csaknem 100 darab, melyek a telep északkeleti és délkeleti részén koncentráltak, közvetlenül egy egykori tömeder partján (Krüger 1987, 87, Abb 70). A kő tüzelőhelyek különböző megtartásúak voltak, de viszonylag egységes építésűek, nagyságuk általában 1-1,2×0,8-1 m közt változott (Krüger 1987, Abb 56). Belőlük kis és közepes méretű, erősen átégett kövek, nagyobb széndarabok is előkerültek. Ahol hiányoztak a kövek, ott is erős elszíneződés jelezte az objektumok eredeti alakját. A belőlük előkerült leletanyag minimális volt, összesen pár kerámia- és csonttöredék.

Az előzőekkel ellentétben a szerző szerint a tüzelőhelyek elsősorban a nyersvas további megmunkálására szolgáltak. Konkrétan a tüzelőhelyeken nem bizonyítható vassfeldolgozás, az egész telepen előkerült vassalak-darabok alapján azonban biztosan folyt vasművesség a lelőhelyen (Krüger 1987, 72). A kemencékben elsőként előállított nyersvas még egyszeri felüzemelésével kísérletet tehetek az anyagban megmaradó egyenetlenségek és légbuborékok eltávolítására. A nyersvas darabok átforrósításához szükséges 1000 fok körüli hőmérsékletet faszén és fűjtató segítségével érheték el (Krüger 1987, 88).

A kutatás jelen állása alapján a négyszögletes tüzelőhelyekhez hasonló jelenségek mindenhol vassfeldolgozással összefüggésbe hozható lelőhelyeken tűnnek fel, és hasonló struktúrát mutatnak egész Közép-Európában. A legelterjedtebb feltételezés szerint az összegyűjtött és darabokra tördelt vasérc előzetes pörkölésére szolgálhattak.

A magyarországi lelőhelyeken idáig nem került elő egyértelmű bizonyíték vassfeldolgozásra. Probléma, hogy a Hernádvécsein és Garadnán az egyéb telepobjektumokból és szórványként előkerülő vassalak-darabok egyetlen esetben sem a tüzelőhelyek betöltéséből származnak. Különbözik az objektumok telepekhez viszonyított elhelyezkedése is a nyugat-európai jelenségektől: hazánkban egyetlen esetben sem folyt vaskohászat közvetlen környezetükben. Míg a nyugati szakirodalomban helytálló a tüzelőhelyek vasművességhez kapcsolása, a Kárpát-medence területén ez a magyarázat nem állja meg a helyét. A jelenségek pontos funkciója ma még tisztázatlan, a régészeti módszerek mellett a további kutatás feltétlenül igényel természettudományos vizsgálatokat is.

Irodalomjegyzék:

CSENGERI P. & PUSZTAI T. 2008: Császárkori germán település a Hernád völgyében. *HOMÉ XLVII*. 89-106.

GINDELE R. 2007: Așezarea din epoca romană de la Tășnad Sere. In.: *Relații româno-ucrainiene. Istorie și contemporaneitate II*. (ed. V. Ciobotă, T. Nicoră, M. Veghes, L. Horvat) Satu Mare 43-61.

GINDELE R. 2010: Die Entwicklung der kaiserzeitlichen Siedlungen im *Barbaricum* im nordwestlichen Gebiet Rumäniens. Satu Mare 1-399.

GINDELE R. & ISTVÁNOVITS E. 2009: Die römerzeitliche Siedlung von Csengersima-Petea. Satu Mare 1-570.

GÖMÖRI J. 2000: Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat emlékei Pannóniában. (*Magyarország iparrégészeti lelőhelykatasztere I. Vasművesség*). Sopron 1-373.

ISTVÁNOVITS E. 1993: Some Data on the History of the Upper Tisza Region in the Roman Age. *Príspevky k dejinám Szatmársko-Beregskej nížiny v dobe rímskej. Východoslovenský Pravek IV* Košice 127-142.

ISTVÁNOVITS E. 1997: Beregsurány-Barátság kert. *RégFüz. Ser I.* 49 61.

ISTVÁNOVITS E. 1999: Tiszavasvári-Város földje-Jegyző tag. A settlement of the 5th century. (Hunkori település maradványai Tiszavasváriban, a Városföldjén). *JAMÉ XLI* 173-254.

ISTVÁNOVITS E. & VADAY A. 1983: Tarpa-Esze Tamás Tsz. *RégFüz. Ser I.* 36 58.

ISTVÁNOVITS E. & KULCSÁR V. 2003: A szarmata területek észak, északkeleti határvidékének régészete. In.: *Magyar régészet az ezredfordulón*. Budapest, 278-280.

JÖNS, H. & WOLLSCHLÄGER, B. 1999: Frühe Eisengewinnung in Südwestmecklenburg – Ergebnisse eines interdisziplinären

Forschungsprojektes des Schwerpunktes „Archäometallurgie“. *Bodendenkmalpf. In Mecklenburg-Vorpommern, Jahrb.* 46 93-125.

KOTIGORSKO, V. G. 1995: Ținuturile Tisei Superioare in veacurile III. i.e.n. – IV. i.e.n. (Perioadele La Tène și romană). *Biblioteca Thracologica XI*. București.

KRÜGER, B. 1987: Waltersdorf. Eine germanische Siedlung der Kaiser- und Völkerwanderungszeit im Dahme-Spree-Gebiet. *Schriften zur Ur- und Frühgeschichte* 43 Berlin 1-150.

KULCSÁR V. & JAKAB A. 2009: A szarmata vasművesség nyomai Üllő 5. lelőhelyről (Pest megye). In.: *NAGY Z.-SZULOVSKY J. szerk., A vasművesség évezredei a Kárpát-medencében*. Szombathely. 55-66.

LAMIOVÁ-SCHMIEDLOVÁ, M. 1963: Dve sídliská z doby rímskej na východnom Slovensku. *SlovArch XI-1* 59-86.

LAMIOVÁ-SCHMIEDLOVÁ, M. 1969: Römerzeitliche Siedlungskeramik in der Südoslowakei. *SlovArch XVII-2* 403-502.

LAMIOVÁ-SCHMIEDLOVÁ, M. & TOMÁŠOVÁ, B. 1995: Töpferöfen von der Wende des 4/5 Jh. In Ostrovany, Bezirk Presov. In: *Kelten, Germanen, Römer in Mitteldonaugebiet von Ausklang der Latène-Zivilization bis zum 2. Jh.* Brno-Nitra. 121-127.

MATEI, AL. & STANCIU, I. 2000: Vestigii din epoca romană (sec.II-IV. p. Chr. în spațiul nord-vestic al României. Funde der römischen Kaiserzeit (2-4. Jh. n. Chr.) im Nordwestgebiet Rumäniens. *Zalău* 1-540.

MOTYKOVÁ, K. & PLEINER, P. 1987: Die römerzeitliche Siedlung mit Eisenhütten in Ořech bei Prag. *PamArch LXXVIII* (1986) Prag. 371-448.

SALAMON Á. & TÖRÖK GY. 1960: Funde von Nordost-Ungarn aus der Römerzeit. *FolArch XII* 145-172.

**KORA KÖZÉPKORI GEPIDA KARD
ARCHEOMETALLURGIAI VIZSGÁLATA
ARCHAOMETALLURGICAL INVESTIGATIONS
OF AN EARLY MEDIEVAL GEPIDIC SWORD**

TÖRÖK BÉLA¹, KOVÁCS ÁRPÁD²

¹ Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Intézet 3515 Miskolc-Egyetemváros

² Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet

E-mail: bela.torok@uni-miskolc.hu, bela.torok@borsoditranzit.hu

Abstract

Following the international terminology, the research fields of archaeometallurgy include not only the examinations of archaeological findings, ancient techniques and technologies, but -among others - the professional examinations of metallic tools too. The following study reports about the complex material examination of a Gepidian sword from the 6th century carried out by the researchers of the Archaeometallurgical Research Group of the University of Miskolc and his colleague. The research on one hand is model kind because of many reasons. On the other hand it is a pioneer of examinations, since specifically archaeometallurgical interdisciplinary examination on a metallic Gepidian tool was not carried out in our country so far. Due to the chemical, physical, macro- and microstructure examinations not only the structure and the mechanical properties of the sword and its wooden scabbard were revealed, but comparing these to the results of previous similar examinations of metallic tools from the Langobard, Avar periods and the Hungarian Settlement Era, conclusions about the production technologies of these tools in metallurgical and forging points of views can also be made. Through these it can be concluded that the sword presumably made locally was produced from heterogeneous iron bloom without heat treatment by a very simple forging technique. Its blade contains some inclusions and it was made of relatively soft iron, while its scabbard was made of a wood peculiar for that area.

Kivonat

A nemzetközi terminológiát követve, az archeometallurgia kutatási területei közé nem csak a fémek előállításával kapcsolatos régészeti leletek, korabeli technikák, technológiák, hanem – többek között - az egyes fémtárgyak műszaki jellegű vizsgálatai is hozzátartoznak. A következő rövid tanulmány egy 6. századi gepida kard komplex anyagvizsgálatáról számol be, amelyet a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának kutatói végeztek. A vizsgálatsorozat több okból is modell értékű, egyben úttörő jellegű; gepida fémtárgyon még nem végeztek hazánkban kifejezetten archeometallurgiai, interdiszciplináris jellegű vizsgálatokat. A kémiai, fizikai, makro- és mikroszerkezeti, metallográfiai vizsgálatok eredményeként a kardnak és fatokjának nem csak az anyagszerkezetét és mechanikai jellemzőit térképeztük fel, hanem általuk és korábbi, langobard, avar és honfoglalás kori vastárgyakon végzett hasonló jellegű vizsgálataink során tapasztaltakkal összevetve következtetéseket vonhattunk le a kard készítési technológiájára vonatkozóan, metallurgiai és kovácsolási vonatkozásból egyaránt. Ezáltal meghatározható, hogy a vélhetően helyben előállított fegyvert heterogén bucavasból hőkezelés nélkül, igen egyszerű kovácstechnikával készítették. Pengéje helyenként zárványos, relatíve lágy vasból, tokja pedig a térség jellemző fájából készült.

KEYWORDS: ARCHAOMETALLURGY, GEPIDIC SWORD, SEM, HARDNESS TEST, FORGING

KULCSSZAVAK: ARCHEOMETALLURGIA, GEPIDA KARD, PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓP, KEMÉNYSÉGVIZSGÁLAT, KOVÁCSOLÁS

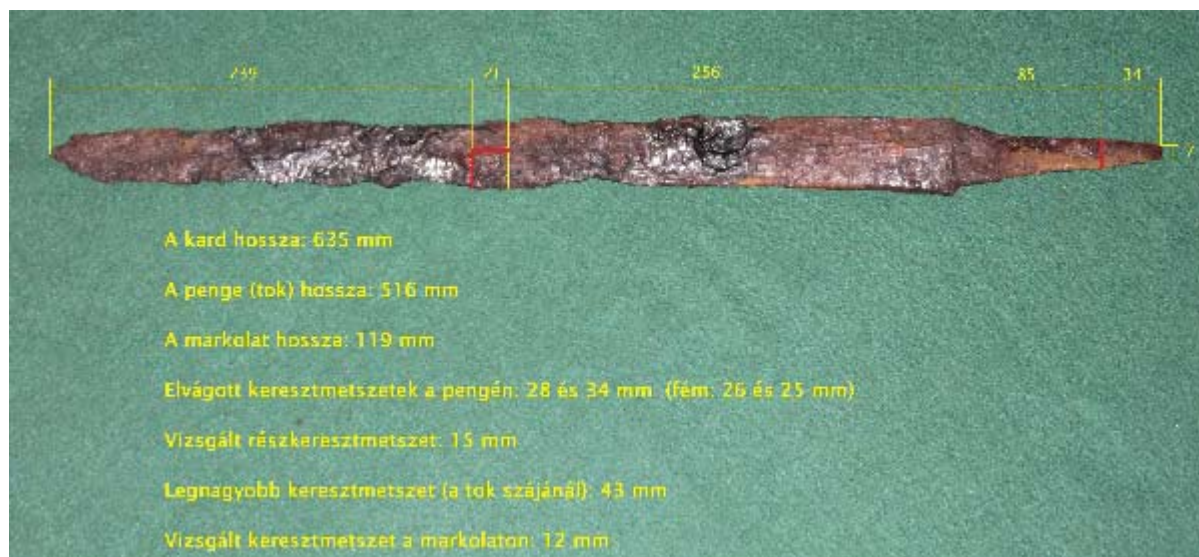
Előzmények

2010-ben Gallina Zsolt régész egy vélhetően 6. századi gepida sírból származó, fatokban lévő vaskardot (langsax) juttatott el hozzánk, amely értesülésünk szerint 2009-ben Pusztataskony-Ledence 1. sz. lelőhelyén került elő. Az ásatást Sebők Katalin és Váczi Gábor vezetésével az ELTE Régészettudományi Intézetének Ős- és Koratörténeti Tanszéke végezte. A kard primer állapotában, földdel, tapadványokkal erősen szennyezett állapotban érkezett, majd az Ásatárs Kft. által végzett restaurálás után 2011 tavaszán komplex

vizsgálatsorozatnak vetettük alá, amelyben főként a vas (és a fa) szövetszerkezetét vizsgáltuk, illetve a korabeli készítési technológiára árukladó jellemzőket kerestünk.

Vizsgálati módszerek

A restaurált, erősen korrodált kardot egészében és részleteiben is lefényképeztük, majd a Borsodchem Nyrt. Anyagvizsgáló Laboratóriumában, Kazincbarcikán röntgenfelvételek készültek róla, amely alapján nagy biztonsággal meg lehetett határozni a fém vasban relatíve gazdag területeket.



1. ábra: A kard jellemző méretei és a vizsgálati metszetek (pirossal)

Fig. 1.: The characteristic dimensions of the sword and the examined sections (red)

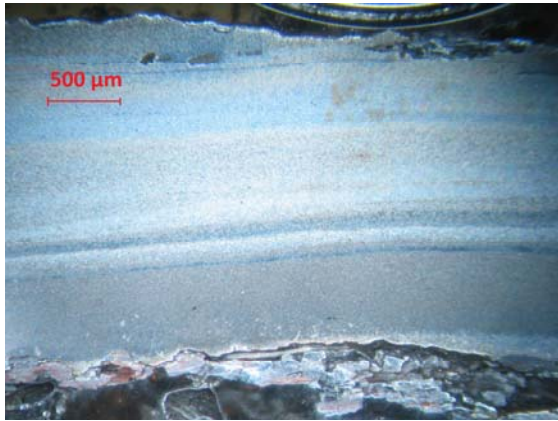
A kadból ezután a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetének műhelyében az **1. ábrán** látható méretezések alapján csiszolat-készítés céljából mintákat vágunk ki a kard pengéjéből és markolatából. A vágás során keletkezett minimális (alig fél gramm) fémport néhány esetleges ötvözőelemre irányuló kémiai analitikai vizsgálatnak vetettük alá a Furol Kft. ózdi analitikai laboratóriumában, Varian 710-ES ICP spektrométerrel.

A kivágott mintáknak piros színnel jelölt vágási felületeit vizsgáltuk az Anyagtudományi Intézet Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában. A jelzett felületeken csiszolatokat készítettünk, amelyeket 2%-os nitállal maratva, Zeiss AxioVision Imager számítógépezérelt tárgyasztalos optikai mikroszkóppal és Amray 1830I scanning elektronmikroszkóppal vizsgáltunk. Az elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálat során a markolat, illetve a penge salakzárványokat tartalmazó felvételein több pontban röntgen elemspektrumot vettünk fel. A kard pengéjének hosszirányú metszetének felületén 11 ponton, a keresztirányú vágási felületen pedig 5 ponton, 3 kg-os terheléssel Vickers-féle keménységértékeket (HV3) mértünk. Végül a fatokból lepattintott töredékből is készítettünk elektronmikroszkóppal vizsgálható mintát, amelynek felvételeivel kapcsolatosan Dr. Fehér Sándortól a Nyugat-Magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Faanyagtudományi Intézetének egyetemi docensétől kértünk szakvéleményt.

Megállapítások

A kard erősen korrodált állapotban van, néhol teljesen átrozsdásodott. A metszeteket a röntgenfelvételek alapján kevésbé oxidált területről, hossz- és keresztirányban is a penge középső zónájából vágunk ki. A penge hossz- és keresztirányú metszetén egyértelműen látszik, hogy a maximum 3 mm vastagságú fémes felület két részre oszlik: van egy sötétebb és egy világosabb réteg (a sötétebb, illetve világosabb árnyalat attól függ, melyik mikroszkópon milyen leképezést használunk). Ezeknek a rétegeknek a mérete sztochasztikus, nem állandó vastagságú. Annyi mindenesetre már elég korán megállapítható volt, hogy a kard pengéje egyfajta anyagból van, gyakorlatilag ötvözetlen acél. A vágáskor keletkezett fémpor kémiai analitikai vizsgálata 0.142% nikkelt, 0.041% mangánt, 0.028% rezet és 0.005% krómot mutatott ki. Sajnos a minta mennyisége nem volt elegendő kén-, karbon- és szilícium-elemzésre.

Az éltől kereszt irányban mintegy másfél cm-re lévő, hosszirányú metszet optikai képein vastagabb, némileg – főleg középtájékon - rétegezett világosabb és egy vékonyabb sötétebb zóna látható. Utóbbi a pengének csak egyik lapja felé koncentrálódott, szinte kizárólag perlit - a ferrit és a cementit (vaskarbid) diffúziós átalakulással képződő lemezes eutektoidja – az előbbi, vastagabb sáv pedig ferrit (lágú α -vas) és perlit sűrű rétegződéséből tevődik össze. Ennek eklatáns példáját mutatja be a **2. ábra**.



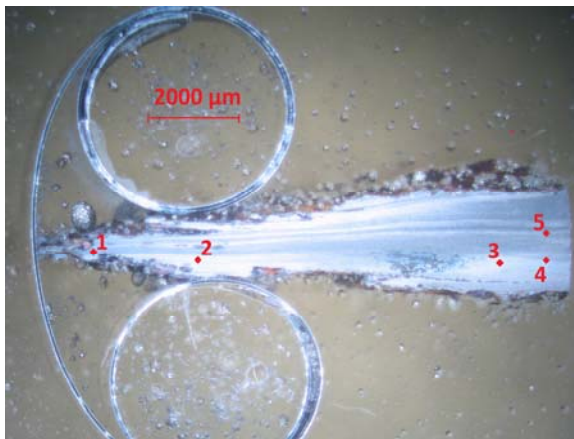
2. ábra: Hosszirányú metszet optikai képe

Fig. 2.: Micrograph of the longitudinal section

A keresztirányú metszet optikai képei hasonló szerkezetet mutatnak (**3. ábra**). A vastagabb, ferrit-perlites sávon belül a penge középső régiójában kissé nagyobb a ferrites részek aránya, de alapvetően itt is ugyan azzal a féloldalas szerkezettel találkozunk. Az ábrán jelöltük a keresztirányú csiszolaton elvégzett keménységmérések helyét, amelynek értékei: **1.:** 315.9; **2.:** 247.7; **3.:** 229.9; **4.:** 237.8; **5.:** 300.8.

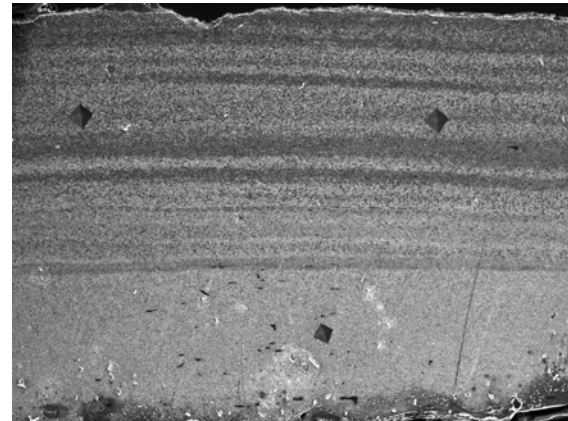
A markolat metszetének optikai mikroszkópos vizsgálata látszólag csontszerű, szaruszerű anyagra utalt, annak tipikus heterogén, hullámos szerkezetével. A kardot ismerve ez meglepő volt, de az anyagjelleg tisztázása mindenképpen az elektronmikroszkópos vizsgálatra várt.

Az elektronmikroszkópos vizsgálat számos feltételezést megerősített, illetve néhány bizonytalanságot tisztázott.



3. ábra: Keresztirányú metszet optikai képe, a keménységmérések helyének jelölésével

Fig. 3.: Micrograph of the cross-section with markings of the locations of hardness tests



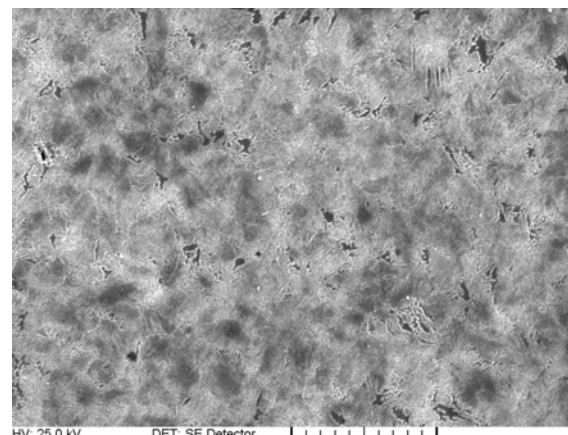
4. ábra: Hosszirányú csiszolat elektronmikroszkópos képe a keménységmérések nyomaival

Fig. 4.: SEM micrograph of the longitudinal section with the markings of the locations of hardness tests

A **4. ábrán** látható, a hosszirányú csiszolat osztott szerkezete, a ferrit-perlites sáv rétegzésével (az elektronmikroszkóp esetében – az optikaival ellentétesen – a ferritet sötét, a perlitet világos árnyalat jelzi). Az ábrán láthatóak a keménységmérésnél használt gyémántgúllák lenyomatai, illetve az, hogy a tisztán perlites (világos) sávban a gúllák átmérője kisebb, tehát az anyag természetesen keményebb. A hosszirányú csiszolaton két sorban végzett keménységmérések eredményei:

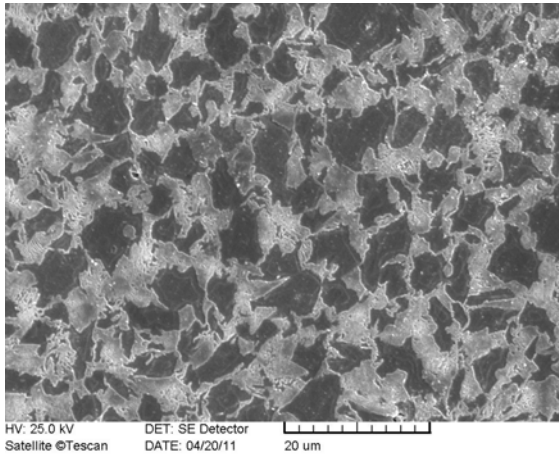
Ferrit-perlites sáv (SEM-vizsgálatnál sötétebb): 236.0; 227.0; 251.4; 240.9; 234.0; 230.7

Perlites sáv (SEM-vizsgálatnál világosabb): 366.8; 370.4; 369.2; 365.6; 369.5



5. ábra: Perlites szövetszerkezet a hosszirányú metszeten

Fig. 5.: Perlitic structure on the longitudinal section

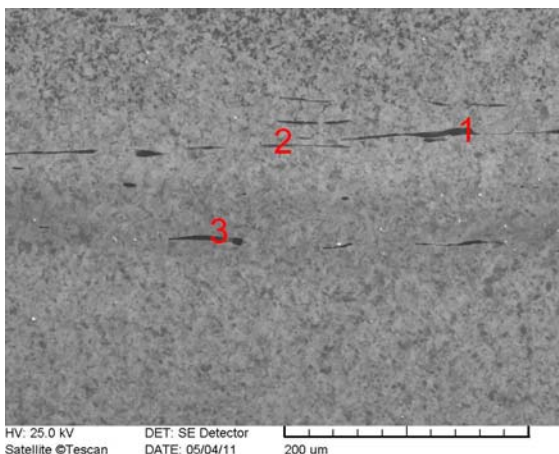


6. ábra: Ferrit-perlites szövetszerkezet a hosszirányú metszeten

Fig. 6.: Structure of ferrite-perlite on the longitudinal section

Erősebb nagyítású kép is készült mind a szinte teljesen perlites (**5. ábra**), mind a ferrit-perlites (**6. ábra**) részről. Az utóbbinál átlagosan csak mintegy 6-8 μm átmérőjű ferritszemcséket találtunk (a mai normál ipari acél átlagos szemcsemérete 20-40 μm). Ez az igencsak összetört szerkezet a relatíve lágy anyag sokszori átkalapálásáról tanúskodik. A világosabb perlites zónában mintegy 0.6-0.8% C-tartalmú, a megközelítőleg 50-50%-os eloszlásban ferrit-perlites részben pedig 0.4-0.5% C-tartalmú acél feltételezhető.

A penge keresztirányú metszetének elektronmikroszkópos képein a már megismert szerkezet mellett, külön figyelmet érdemel a jellemzően 50-100 μm hosszú, lapos salakzárványok vizsgálata (**7. ábra**).



7. ábra: Salakzárványok a keresztirányú csiszolat elektronmikroszkópos képén

Fig. 7.: Slag inclusions on the SEM micrograph of the longitudinal section

A ferrit-perlites sávban lévő lapos zárványok esetében a számokkal jelölt pontokban elemspektrumot határoztunk meg a következő eredményekkel:

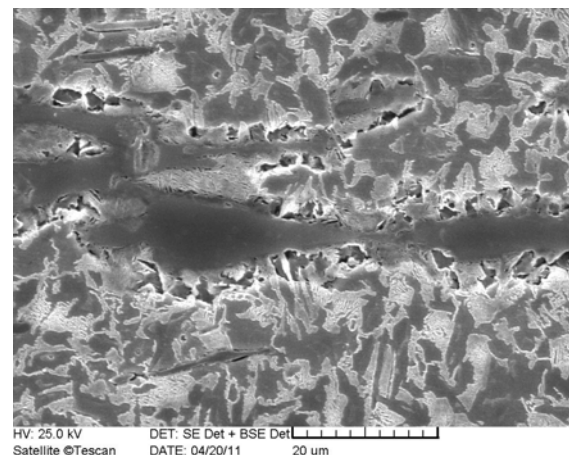
1.: Fe=34.34%; O=9.64%; Si=30.12%; Al=9.60%; Ca=7.88%; K=4.13%; Mg=2.30%; Mn=1.98%

2.: Fe=22.72%; O=14.52%; Si=40.74%; Al=5.79%; Ca=10.89%; K=3.32%; Mg=1.55%; Mn=0.46%

3.: Fe=48.33%; O=7.68%; Si=21.71%; Al=7.73%; Ca=6.61%; K=3.05%; Mg=2.52%; Mn=2.37%

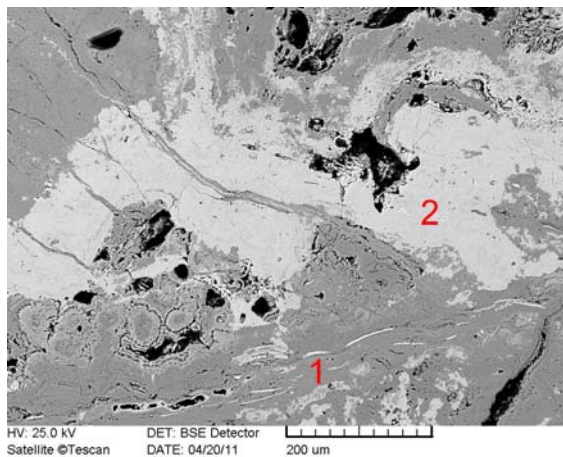
A salakzárványok a könnyebben alakítható ferrites rész mellett az alpmátrixszal együtt könnyebben elnyúlnak, összepréselődnek a merevebb perlit között (**8. ábra**). A szemléltetett elemspektrumok igen magas SiO_2 -tartalomról tanúskodnak, amely az alacsony bázikuságú (CaO/SiO_2), alapvetően fayalitos ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$), szilikátos bucakemence salakokra jellemző, kiváltképp a kemencéből eltávozó folyósalakokra, viszont azok esetében a Ca-tartalom rendszerint kisebb, vastartalmuk némileg nagyobb. Ugyanakkor talákoztunk olyan alacsony vastartalmú, Ca-Al-szilikátos salakzárvánnyal is a perlites területen, amelynek elemspektruma mindössze 8.48% vas mellett 39.90% szilíciumot, 11.05% kalciumot és 11.35% alumíniumot mutatott. Mindez összecseng Buchwald & Wivel (1998) megfigyeléseivel, akik mintegy 900 salak és vasmintát vizsgálva, a ferritbe ágyazódva jellemzően wüstit(FeO)-dús salakzárványokat, míg perlites szövetelem mellett nagy fayalit-, illetve üvegszerű SiO_2 -tartalmú salakzárványokat tapasztaltak.

A markolat tuskéjének metszetéről készült elektronmikroszkópos felvételek egyértelműen bebizonyították, hogy az optikai mikroszkóp képei által szerves anyagnak (csontnak) tűnő szerkezet valójában heterogén szerkezetben korrodált vas.



8. ábra: Salakzárvány erősebb nagyításban

Fig. 8.: Slag inclusions with higher magnification



9. ábra: A markolat metszetéről készült elektronmikroszkópos kép

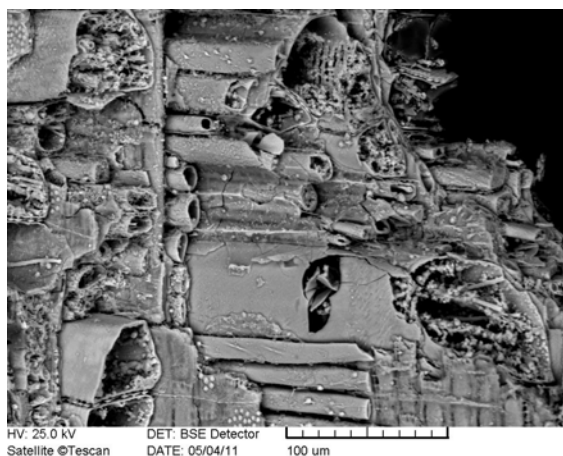
Fig. 9.: SEM micrograph of the section of the grip

A **9. ábrán** kijelölt pontok elemspektrumai jól mutatják a különböző oxigéntartalmú vasoxidok előfordulását. (Minél sötétebb az árnyalat, annál nagyobb arányú a kisebb rendszámú elemek előfordulása.)

1.: Fe=83.49%; O=14.33%; Si=1.44%; Mg=0.75%

2.: Fe=88.80%; O=10.26%; Si=0.52%; Mg=0.42%

A fatokról vett minta elektronmikroszkópos képei vasoxidszemcsékkel teleszórta, nedvességszállító rostokban dús, csöves szerkezetet mutattak – ennek eklatáns példája a **10. ábrán** látható –, amely alapján már a szakértői vélemények előtt is vízparti, jó nedvszívó képességű, vízben is tartós fafajtát feltételeztünk.



10. ábra: A kard tokjáról készült elektronmikroszkópos kép

Fig. 10.: SEM micrograph of the scabbard of the sword

Technológiai vonatkozások, feltételezések

A kard vélhetően egyazon bucavasból készült, amely viszont heterogén szerkezetű lehetett. Különböző anyagok hajtogatására, kovácshegesztésére utaló jeleket (pl. vékony reverétegeket) nem találtunk, - mint például egy általunk korábban vizsgált, a szekszárdi múzeumból származó, illetve a 60-as évek hegykői ásatásainál talált langobard kardok esetében (La Salvia et al. 1999) - csak a kovácsolás során az anyagban elszórta megmaradt salakzárványokat. Szándékos hőkezelés, de még csak szisztematikus alakítási módszer nyomaira sem bukkantunk a vizsgált mintáknál, mint például a Gallina Zsolt vezette, Zamárdiban zajló ásatásokról származó avar kori vaskések esetében, amelyeket a közelmúltban részletesen tanulmányoztunk (Török 2009; Török & Kovács 2011). Mindazonáltal a penge keresztmetszetének féloldalas szerkezete figyelemre méltó. Érdekes lett volna hasonló vizsgálatokat végezni a teljes hossz vonatkozásában, de ez persze nem volt lehetséges. Az nem valószínű, hogy kizárólag a kovácsolás alkalmával „szénült” volna fel ilyen féloldalasan a kard úgy, hogy mindig ugyanazon lapja lett volna minden hevítéskor a kovácsstűzhely izzó faszénhalma felé fordítva, mivel a karbon ilyen jellegű diffúziójára nem volt akkor elég idő. Inkább maga az alapanyagként felhasznált bucavas lehetett heterogén szerkezetű és egy karbonban relatíve dúsabb része tömörülhetett féloldalasan (hangsúlyozzuk, hogy csak mintegy 2 cm-es hosszrészletet vizsgáltunk ebből a szempontból).

Az alföldi gepidák vaselőállítási technikájáról nincsenek ismereteink (szemben például a későbbi avarokéval, amelyről igen kiterjedt), de a jelek szerint ez a kard egy kissé heterogén szerkezetű, lágy színvasból készült. Különösebb szisztéma nélkül, sokszori, rövidebb idejű felmelegítés során gyakorlatilag „szétkalapálták” a fémeket, amiről a ferritszemcsék kis mérete tanúskodik.

Árulkodik a salakzárványok nagyon alacsony bázikusitása. Mint említettem, gepida bucakemencék metallurgiai salakjával még nem találkoztam, dunántúli avar típusú kohóéval annál többször. A gepidák alföldi gyepvasérc vélhetően szintén nagy SiO₂-tartalmú volt, talán a dunántúli ércekétől is nagyobb. Mindazonáltal közelmúltbeli vizsgálataink alkalmával a metallurgiai salakok esetében volt inkább jellemző a magasabb SiO₂-tartalom – ugyanúgy az avar kori zamárdi és kaposvár-fészerlaki kohótelepek, mint például a 10. századi hartai, vagy a tatárjárás-kori ceglédi vaskohászati leletek esetében (Török 2008; Török 2010) – különösen a kemencéből eltávozó, üvegszerű, fayalitos ún. folyósalakoknál (15-30%).

A nagy biztonsággal kovácssalakként azonosítható mintáknál gyakran kisebb SiO₂-tartalmat találtunk, mint a metallurgiai folyamatok salakjainál. Ez a ceglédi 13. századi minták esetében volt különösen jellemző, ott jól definiálhatók voltak a kovácsműhelyek, míg az avar vaskohászati műhelyeknél a kovácsolás jellemzően a bucakemencék közvetlen közelében történhetett, felszíni kovácstűzhelyek mellett, így a salakok „szakma szerinti azonosítása” jóval nehezebb. Az említett tapasztalatra több analóg példát lehet találni Európa más területeiről származó középkori vastárgyak salakzárványainak vizsgálatából, ugyanakkor néhány publikáció - főleg német és skandináv területről - analitikai vizsgálatai éppen a kovácssalakoknak a metallurgiai salakokétól nagyobb SiO₂-tartalmáról számolnak be (Buchwald 2005; Dillmann & L'Héritier 2007; Blakelock et al. 2009). Az általunk vizsgált kard salakzárványainak elemspektrumai természetesen nem minősülnek kémiai analitikának, de az elemek pontszerű előfordulási valószínűsége több esetben is a fentebb említett korábbi vizsgálataink kovácssalakjainál, de még a metallurgiai salakoknál is nagyobb SiO₂-tartalomról árulkodnak. Valószínűleg a kohóból kivett vasbuca tömörítése és előkovácsolása alatt a salak mennyisége jelentősen lecsökkent, ezért a kovácsolás alatt homok, mint mesterséges salakképző használata történt.

A markolat vasának intenzívebb korróziójára magyarázat egyrészt, hogy az vékonyabb és keskenyebb, mint a penge, másrészt, míg a pengét némileg védte a talán valamilyen anyaggal impregnált tok, addig a markolat vasa körül vélhetően olyan szerves anyag volt (textillel bevont nyers fá?), amely még inkább kedvezett a korróziós folyamatnak.

A tok fájáról való előzetes feltételezéseinket igazolta a soproni kolléga véleménye, aki szerint a létrás áttörések miatt három fafajta jön számításba: bükk, nyár és éger. A bükk túl kemény ilyen tokhoz. Legvalószínűbb az éger, mivel Tisza menti, vízhez közeli településről, sirokról van szó, az alföldi gepidák tudtommal egyébként is keresték a közvetlen vízpartiságot. Más irányú metszettel, bélsugár méretének meghatározásával lehetne abszolút pontosítani, kontrollálni, de az éger igen valószínű.

Konklúzió

Egy kard archeometallurgiai vizsgálatából természetesen még nem lehet túl messzemenő, átfogó feltérképezni egy nép vasfegyver-készítési technikáját, technológiáját, bármilyen vizsgálat sorozatnak is vetjük alá. Mindazonáltal a korai középkori Kárpát-medencei germánság vonatkozásában úttörő jellegű projektünk komplex jellege, és a korszak egyéb vasmetallurgiai és anyagszerkezeti vizsgálataink eredményeivel,

konklúzióival való összevetés azért az alapvetőségeket, egyben a „szakmai részleteket” tekintve is izgalmas, színes foltot tárt fel az eddig fehér területen.

A vizsgált gepida kard valószínűleg „helyi termék” és a korszak, illetve a térség hasonló jellegű, avar és langobard vastárgyaival összevetve meglehetősen közepes minőségű, relatíve lágy, heterogén szerkezetű, zárványokkal tarkított vasból készült. A kard igen jelentősen korrodált az idők folyamán, mindemellett valószínű, hogy használati tárgy volt. A vélhetően gepida kovács vagy kovácsok szakmai tudásáról, annak bármiféle speciális jellegzetességéről a kard vizsgálata igen keveset árult el, ellentétben az általunk vizsgált, 7-9. századi pannoniai avar vaskohászati centrumokból (Zamárdi és Kaposvár) kikerült vastárgyak esetével. A szövetszerkezet jellege, szemcsemérete sokkal inkább gyors, több, rövidebb ciklusú, különösebb szisztéma nélküli kalapálásra, mint gondosan megtervezett és kivitelezett kovácsmunkára utalt. A vizsgálat fényében különösen érdekes lehet további, Tisza-menti gepida településen talált vasfegyver maradványok hasonló jellegű vizsgálata és összevetése a többi, a korszak Kárpát-medencei történetét meghatározó, befolyásoló nép vastárgyaival, hiszen a katonai felszereltség minősége történelemformáló tényező lehet, de bővítve a kört a földművelésnél, állattartásnál, illetve a korabeli háztartásban használt vaseszközök anyagminősége is alapvetően befolyásolhatta az adott közösség életmódját.

*

A publikáció a Miskolci Egyetemen zajló TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-0001-2010 program keretén belül készült.

Irodalom

BLAKELOCK, E.; MARTINÓN-TORRES, M.; VELDHUIJZEN, H. A. & YOUNG, T. (2009): Slag inclusions in iron objects and the quest for provenance: an experiment and a case study. *Journal of Archaeological Science* **36** 1745–1757.

BUCHWALD, V.F. & WIVEL, H. (1998): Slag analysis as a method for characterization and provenancing of ancient iron objects. *Materials Characterization* **40** Elsevier Science Inc. New York 73–96.

BUCHWALD, V. F. (2005): Iron and steel in ancient times. *The Royal Danish Academy of Sciences and Letters*, Copenhagen p. 106–107, 242, 304.

DILLMANN, P. & L'HÉRITIER, M. (2007): Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes. *Journal of Archaeological Science* **34** 1810–1823.

LA SALVIA, V.; MIHOK, L.; BÓNA I. & GÖMÖRI J. (1999): Metallographic analysis of „Lombard” swords. *Archeometallurgy in the Central Europe. Archeologický ústav Slovenskej Akadémie Vied, Nitra, Kassa & Hutnícka fakulta TU Kassa*.180–186. ISBN 80-88709-08-3.

TÖRÖK B. (2008): Alföldi jellegű egykori településeken feltárt 10. és 13. századi vaskohászati emlékek archeometallurgiai vizsgálata. Archaeometallurgical examinations of finds from medieval settlement sites dating from the 10th and 13th centuries, in the areas of the Hungarian Plain. *X. Bányászati és Kohászati Konferencia kiadványa, Nagyszeben, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság* 99–105.

TÖRÖK B. (2010): Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces.

Materials Science Forum 649 (2010) Trans Tech Publications, Switzerland p. 455–460. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.649.455.

TÖRÖK B. & KOVÁCS Á. (2009): Avar vastárgyletek szövetszerkezetének elektronmikroszkópos vizsgálata. Examinations of metallographic structure of Avar iron finds by electron microscope. *XI. Bányászati és Kohászati Konferencia kiadványa, Máramarossziget, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság* p. 91–95.

TÖRÖK B. & KOVÁCS Á. (2011): Materials Characterization of Iron and Slag Finds of the Early Medieval Avar Metallurgists. *Proceedings of the 15th International Metallurgy & Materials Congress (11-13 November 2010), Istanbul* 386–397.

VASTERMELÉS, VASKIHOZATAL ÉS A KOHÓSÍTOTT GYEPVASÉRCEK MINIMÁLISAN SZÜKSÉGES VASTARTALMA AZ AVAR ÉS ÁRPÁD-KORI VASBUCAKOHÁSZATBAN

IRON PRODUCTION, IRON YIELD AND THE MINIMAL IRON CONTENT OF BOG IRON ORES REGARDING AVAR AND ÁRPÁD-AGE BLOOMERY IRON SMELTING

THIELE ÁDÁM¹, TÖRÖK BÉLA²

¹BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék

²Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Intézet 3515 Miskolc-Egyetemváros

E-mail: adam.thiele@hotmail.com

Abstract

This study tries to answer two basic questions of industrial archaeologists arising related to archaeological excavations of Avar and Árpád-Age bloomery workshops:

- 1. How much iron did a given excavated bloomery workshop produce?*
- 2. What was the minimal iron content of the bog iron ores used for a successful iron smelting process?*

These questions could be answered using a kind of calculation method firstly, on the basis of the results of archaeometrical analyses of excavated bog iron ore and slag samples, secondly, on the basis of the experiences of the iron smelting experiments used to reconstruct the period technology.

Kivonat

Az avar és Árpád-kori vaskohászati műhelyek régészeti feltárása kapcsán az iparrégészet oldaláról felmerülő két alapvető kérdésre keres választ a cikk:

- 1. Mennyi lehetett a vastermelése az adott műhelynek?*
- 2. Mekkora vastartalmú gyepvasércet lehetett elméletileg eredményesen kohósítani az adott műhelyben?*

A kérdések megválaszolásához egyrészt a régészeti feltárásokon talált gyepvasérc és vassalak minták archeometriai vizsgálatainak eredményei, másrészt a korabeli vaskohászati technológia felelevenítését célzó ún. próbakohósítások tapasztalatai alapján kidolgozott számítási módszerek használhatók fel.

KEYWORDS: BLOOMERY IRON SMELTING, IRON YIELD, IRON PRODUCTION, BOG IRON ORE, ARCHAOMETRICAL ANALYSES

KULCSSZAVAK: VASBUCAKOHÁSZAT, VASKIHOZATAL, VASTERMELÉS, GYEPVASÉRC, ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATOK

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben az iparrégészeti feltárások során napvilágra kerültek az avar kori és Árpád-kori vaskohászat objektumai (bucakemencék, ércpörkölő gödrök, újraizzító tűzhelyek, stb.) (Gömöri 2000). A régészeti feltárásokon talált gyepvasérc, vas és vassalak mintákon számos anyagvizsgálatot végeztek (Török 1995). Ezek az iparrégészeti és archeometriai alapok adják a szerző immár három éve tartó munkájának háttérét, amelynek fő célja a korabeli vaskohászati technológia rekonstruálása, részleteiben történő megértése. Ennek érdekében számos próbakohósítás elvégzésére került sor a Magyarország területén fellelhető történelmi gyepvasérc-lelőhelyeken található ércek felhasználásával. Ezek eredményeiről már korábban beszámolt a szerző (Thiele & Bán 2010).

Jelen cikkben ezúttal a korábbi archeometriai vizsgálati eredmények és a legújabb kísérleti régészeti tapasztalatok alapján a vasbucakohászati technológiával kapcsolatosan a régészet oldaláról gyakran felmerülő kérdésekre keressük a választ. A vaskohászati műhelyek feltárásakor rendszerint nagy mennyiségű salakot találnak a régészek, de a kora középkorban nagy értéket képviselő vasbuca csak ritkán kerül elő. Gyakori kérdés:

1. Mennyi vasat állíthatott elő az adott műhely?

Ez kiszámítható, ha ismerjük a következő három adatot: a kohósított érc vastartalmát, a salakok vastartalmát, illetve a műhelyben előállított salak mennyiségét. Az első két adatból már meghatározható, hogy az egyes korabeli vaskohászati műhelyekben milyen vaskihozattal érhettek el, ez a mérőszám pedig a technológia fejlettségi fokára utalhat.

1. táblázat: Mai magyarországi gyevasérc-lelőhelyről és régészeti feltárásból származó gyevasércek kémiai összetételei

Table 1.: Chemical composition of iron ores from recent Hungarian bog iron ore deposits and archaeological excavations

Azonosító	Megjegyzés	Kémiai összetétel (tömeg%)				Fe%
		FeO(OH)	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	
1.	Harkáról származó gyevasérc minta (9-10. sz.)	61,9	29,1	4,2	6,4	38,9
2.	Sopron-Potzmannról származó gyevasérc minta (9-10. sz.)	55,3	35,4	3,9	1,8	34,8
3.	Kópházáról származó gyevasérc minta (mai)	34,2	45,7	8,0	6,1	21,5
4.	Kópházáról származó gyevasérc minta pörkölés után (mai)	47,1	35,0	9,6	7,5	29,6
5.	Kópházáról származó gyevasérc minta (mai)	58,3	25,9	6,6	1,7	36,7
6.	Imoláról származó gyevasérc minta (9-10..sz.)	73,0	11,8	0,8	6,5	45,9
7.	Imoláról származó gyevasérc minta (9-10. sz.)	84,2	10,0	0,5	2,3	53,0
8.	Felsőcselényről származó gyevasérc minta (9-10. sz.)	81,3	19,4	1,5	0	51,2
9.	Nyírségi gyevasérc minta (mai)	64,4	26,2	3,1	3,3	40,5
10.	Somogyból származó gyevasérc minta (mai)	68,3	14,0	10,0	3,3	43,0
11.	Somogyból származó gyevasérc minta (mai)	90,1	3,8	0,3	0,5	56,7

A vaskihozattal kapcsolatban gyakran felvetődik egy másik, a gyevasércek kohósíthatóságára vonatkozó kérdés:

2. Mekkora vastartalmú gyevasérceket lehetett elméletileg eredményesen kohósítani az adott műhelyben?

Ez a kohósítás során keletkező salak vastartalmától függ.

A következőkben a fenti két kérdés egyszerű megválaszolására szolgáló számítási módszer kerül bemutatásra.

A gyevasércek vastartalma

A Magyarország területén megtalálható gyevasércek nagyon eltérő kémiai összetételűek. A gyevasércek vastartalma jellemzően a goethit (FeO(OH), vashidroxid) ásványos fázisban található. Az érc azonban nem tisztán goethitből áll, hanem általában jelentős mennyiségben tartalmaz meddő ásványos fázisokat – főleg kvarcot, néha sok

kalcitot, kisebb mennyiségben agyagásványokat (illitet, montmorillonitot) – amelyekből az érc SiO₂, CaO, Al₂O₃ alkotói származnak.

Néhány mai magyarországi gyevasérc-lelőhelyről és régészeti feltárásból származó érc kémiai összetételét az **1. táblázat** foglalja össze (csak az 5%-ot meghaladó mennyiségben jelenlévő alkotókra és goethit tartalomra vonatkozóan; 1-5. minta: Török 1995, 6-8. minta: Heckenast et al. 1968, 9-11, minta: Thiele 2011a).

Egy adott műhelygödörben elért vaskihozatal meghatározásához az ott felhasznált gyevasércek átlagos vastartalma lenne az egyik fontos adat. Sajnos azonban nincs olyan módszer, amivel ez pontosan meghatározható lenne. Két lehetőség kínálkozik: a feltárást során talált (feltételezhetően kohósításra szánt) ércdarabok, vagy ha ilyenek nem állnak rendelkezésre, akkor a műhelyhez köthető közeli gyevasérc-lelőhely érceinek anyagvizsgálata.

2. táblázat: Régészeti feltárásból származó vassalakok kémiai összetételei**Table 2.:** Chemical composition of iron slag samples from archaeological excavations

Azonosító	Megjegyzés	Kémiai összetétel (tömeg%)					Fe%
		FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	
1.	Avar típusú bucahóhból származó folyósalak	39,6	4,4	20,6	10,8	2,9	33,9
2.	Avar típusú bucahóhból származó folyósalak	41,2	7,0	25,5	1,7	4,5	36,9
3.	Avar típusú bucahóhból származó folyósalak	46,3	2,1	20,2	3,2	0,5	37,5
4.	Avar típusú bucahóhból származó folyósalak	34,0	4,7	17,9	28,1	1,6	29,7
5.	Avar típusú bucahóhból származó folyósalak	43,7	3,7	21,2	5,2	5,7	36,6
6.	Avar típusú bucahóhból származó kemencesalak	26,2	24,5	13,4	1,7	2,2	37,6
7.	Avar típusú bucahóhból származó kemencesalak	18,8	29,9	14,4	3,0	2,6	35,5
8.	Avar típusú bucahóhból származó folyósalak	51,3	4,3	27,1	4,2	7,2	42,9
9.	Avar típusú bucahóhból származó folyósalak	33,1	2,7	36,7	7,1	11,8	27,6
10.	Nemesékéri típusú bucahóhból származó kemencesalak	47,5	14,6	23,4	2,9	3,9	47,1
11.	Imolai típusú bucahóhból származó folyósalak	52,4	2,5	26,1	1,3	6,9	42,5
12.	Imolai típusú bucahóhból származó kemencesalak	31,6	20,2	30,2	1,8	6,1	38,8
13.	Fajszai típusú bucahóhból származó kemencesalak	43,6	14,4	25,7	4,2	4,1	44,0
14.	Fajszai típusú bucahóhból származó kemencesalak	43,6	14,4	25,7	4,2	4,1	44,0

Annak eldöntésére, hogy egy műhelyben melyik gyevasérc-lelőhely ércét kohósították, egy új módszer, a műhelyben talált vastárgyak, vassalakok nyomelemháztartás alapján történő eredetvizsgálata is lehetőséget nyújthat (Navasaitis et al. 2010).

A vassalakok vastartalma

Az ércek goethit, majd a pörkölés utáni hematit (Fe₂O₃) és magnetit (Fe₃O₄) tartalmából származó vasoxidok nem redukálódtak teljes mennyiségükben színvassá a bucakemencében, hanem még wüstit (FeO) formájában a meddő anyagokkal (főleg kvarccal, SiO₂) híg folyós salakot képeznek, amelynek fő ásványos alkotója az olivin ásványcsoportba tartozó fayalit (2FeO.SiO₂). A fayalitban kémiaiilag megkötött wüstit tovább nem redukálható, így a wüstitben kötött kétértékű vas (Fe²⁺) többé nem nyerhető ki (ld. részletesen: Thiele 2011a). Az érc vastartalmának jelentős része tehát a salakba kerül, ahelyett, hogy metallizálódva a vasbuca tömegét növelné.

Ez az alapvető oka annak, hogy a vasbucakohászati technológia vaskihozatala kicsi.

A vassalakok kémiai összetételét első sorban a fayalit kémiai összetétele határozza meg. Tiszta fayalitos salak esetén FeO%=70,6, SiO₂%=29,4. A

salakok azonban nem tisztán fayalitból állnak. Kémiai összetételüket módosítja a kisebb mennyiségben előforduló egyéb ásványos fázisok - szabad wüstit, egyéb olivinek, spinellek, kvarc, leucit – jelenléte, amelyekből a salak SiO₂, CaO, Al₂O₃ alkotói származnak.

A salakok vastartalma azonban – ahogyan az a régészeti feltárásokból származó salakleleteken elvégzett anyagvizsgálatok eredményei alapján kiderült (Török 1995) – nem csupán kétértékű, a wüstitben kötött vas formájában van jelen. A salakminták vastartalma két- és háromértékű vasból tevődik össze, Fe²⁺ és Fe³⁺, amit a vegyelemzések során FeO és Fe₂O₃-ként adnak meg. A háromértékű vas a magnetit (Fe₃O₄=Fe²⁺Fe³⁺₂O₄) vagy a hematit ásványos fázishoz köthető. A háromértékű vas jelenlétére a magyarázat, hogy bár a salak közvetlenül a kialakulásakor egyáltalán nem tartalmaz háromértékű vasoxidot, de a salakban lévő szabad wüstit kétértékű vasoxidja vagy a salakba ágyazódott fémes vasszemcsék elemi vastartalma az évszázadok során, vagy a még a kohászat közben a fűvósik oxidáló atmoszféráján visszaoxidálódhat háromértékű vassá (Török 1999). Az utóbbi okból kifolyólag a kemencesalakok (amelyek a kohósítás során végig a bucakemencében maradnak) Fe₂O₃-tartalma nagyobb, mint a

folyósalakoké (amelyeket a bucakemencéből kicsapolnak) (Török & Gömöri 2002).

Példaként néhány korabeli salakminta kémiai összetételét a **2. táblázat** foglalja össze (csak az 5%-ot meghaladó mennyiségben jelenlévő alkotókra vonatkozóan, 1-9. minta: Dr. Török Béla még nem publikált anyagvizsgálati eredményei – amelyekért e helyen is köszönetét fejezi ki a szerző, 10-14. minta: Gömöri 2000).

Egy adott műhelygödör vonatkozásában a salakminták kémiai összetétele eltérő lehet. A számításokhoz ideális lenne a salakminták átlagos

$$V\% = Fe\%_{\text{érc}} \left(1 - \frac{\frac{100}{Fe\%_{\text{érc}}} - \frac{M_{FeO(OH)}}{M_{Fe}}}{a \cdot \frac{100}{Fe\%_{\text{salak}}} - \frac{M_{FeO}}{M_{Fe}}} \right)$$

(1)

ahol: $Fe\%_{\text{érc}}$ és $Fe\%_{\text{salak}}$ – a már korábban bemutatott vastartalom az ércre és a salakra vonatkozóan

M_x – moláris tömegek

a – a salak Fe_2O_3 tartalmától függő módosító tényező, számítása:

$$a = 1 - \frac{Fe_2O_3\%_{\text{salak}} \left(1 - \frac{2M_{FeO}}{M_{Fe_2O_3}} \right)}{100}$$

(2)

Példaként tegyük fel, hogy az imolai műhely esetén az **1. táblázat** 7. mintájának összetétele megfelel az ott kohósított gypvasérc átlagos kémiai összetételének, és ugyan így a **2. táblázat** 12.

mintájának összetétele megfelel az ott előállított salakok átlagos kémiai összetételének. Milyen vaskihozatalt érthettek el az imolai műhelyben?

Adatok: $Fe\%_{\text{érc}} = 53,0$; $Fe\%_{\text{salak}} = 38,8$; $Fe_2O_3\%_{\text{salak}} = 20,2$

Az a módosító tényező értéke a (2) összefüggés szerint:

$$a = 1 - \frac{Fe_2O_3\%_{\text{salak}} \left(1 - \frac{2M_{FeO}}{M_{Fe_2O_3}} \right)}{100} = 1 - \frac{20,2\% \left(1 - \frac{2 \cdot 72}{160} \right)}{100} = 0,9798$$

A vaskihozatal az (1) összefüggés szerint:

$$V\% = Fe\%_{\text{érc}} \left(1 - \frac{\frac{100}{Fe\%_{\text{érc}}} - \frac{M_{FeO(OH)}}{M_{Fe}}}{a \cdot \frac{100}{Fe\%_{\text{salak}}} - \frac{M_{FeO}}{M_{Fe}}} \right) = 38,8 \left(1 - \frac{\frac{100}{38,8} - \frac{89}{56}}{0,9798 \cdot \frac{100}{20,2} - \frac{72}{56}} \right) \cong 28,3\%$$

Tehát ebben a műhelyben 100kg gypvasércből 28,3kg vasat tudtak előállítani. A kapott értéket összevethetjük az elvégzett kb. 40 rekonstrukciós

kísérlet során elért vaskihozattal, amelynek értéke 15-40% közötti volt (Thiele 2011b).

A műhelyben előállított vas mennyisége

Ha a már ismert vaskihozatal alapján szeretnénk kiszámítani az adott műhelyben előállított vas mennyiségét, akkor szükséges ismerni a műhelyben előállított salak mennyiségét is. Ez egy nagyon bizonytalan adat, ugyanis egy régészeti feltárás során általában nem kerül napvilágra az összes vassalak, amit a műhelyben előállítottak.

Az adott műhelyben előállított vassalak tömegének ismeretében a műhelyben előállított vas mennyisége a következő összefüggés szerint számítható:

$$m_{\text{vas}} = \frac{V\%}{100} \cdot m_{\text{salak}} \quad (3)$$

Példaként tegyük fel, hogy az imolai műhely feltárása során 10t vassalakat találtak. Mennyi vasat állíthattak elő ebben a műhelyben?

Adatok: $m_{\text{salak}} = 10t$; $V\% = 28,3\%$ (az előző számítások alapján)

Az előállított vas mennyisége a (3) összefüggés szerint:

$$m_{\text{vas}} = \frac{V\%}{100} \cdot m_{\text{salak}} = \frac{28,3\%}{100} \cdot 10 = 2,83t$$

Tehát a megtalált salakmennyiség alapján legalább 2,83 tonna vasat állíthattak elő ebben a műhelygödörben.

Adatok:

$$Fe\%_{\text{salak}} = 38,8; Fe_2O_3\%_{\text{salak}} = 20,2, \text{ amelyből a már bemutatott számítás szerint } a = 0,9798$$

A minimálisan szükséges vastartalom a gyepvasércben a (4) összefüggés szerint:

$$Fe\%_{\text{érc,min}} = \frac{100}{\left(a \cdot \frac{100}{Fe\%_{\text{salak}}} - \frac{M_{FeO}}{M_{Fe}} + \frac{M_{FeO(OH)}}{M_{Fe}} \right)} = \frac{100}{\left(0,9798 \cdot \frac{100}{38,8} - \frac{72}{56} + \frac{89}{56} \right)} = 35,35\%$$

A kapott értéket összevetve az imolai műhelyben kohósított gyepvasérc vastartalmával (1. táblázat 6-7 minta), látható azok meghaladják az eredményes kohósíthatósághoz szükséges minimális vastartalmat, tehát kohósíthatók lettek volna. Az 1. táblázat gyepvasérceinek többsége szintén kohósítható lett volna az imolai műhelyben.

Összefoglalás

A cikkben az avar és Árpád-kori vaskohászati kutató iparrégészeti oldaláról felmerülő két gyakori kérdésre kerestünk választ:

1. Mennyi vasat állíthattak elő az adott feltárt vaskohászati műhelyben?

A gyepvasérc kohósíthatósága

Ha meg szeretnénk határozni, hogy legalább mekkora vastartalmú gyepvasércet lehet elméletileg eredményesen kohósítani (ne a salakba kerüljön az érc teljes vastartalma), akkor ehhez a keletkező salak vastartalmát ismernünk kell. Itt is tudni kell, hogy a vastartalom milyen formában van jelen a salakban (FeO és Fe_2O_3 százalékos mennyisége).

Az adott salakösszetétel esetén a kohósítandó érc minimális vastartalma a következő összefüggéssel határozható meg (a képlet levezetését részletesen ld. Thiele 2011b):

$$Fe\%_{\text{érc,min}} = \frac{100}{\left(a \cdot \frac{100}{Fe\%_{\text{salak}}} - \frac{M_{FeO}}{M_{Fe}} + \frac{M_{FeO(OH)}}{M_{Fe}} \right)} \quad (4)$$

ahol: $Fe\%_{\text{salak}}$ – a salak vastartalma

M_x – moláris tömegek

a – a már megismert, salak Fe_2O_3 tartalmától függő módosító tényező

Példaként tegyük fel, hogy az imolai műhely esetén a 2. táblázat 12. mintájának összetétele megfelel az ott előállított salakok átlagos kémiai összetételének. Legalább mekkora vastartalmú érccel lehetett ebben a műhelyben eredményes a kohászat?

Ha ismert a műhelyben kohósított gyepvasérc átlagos vastartalma, az előállított vassalak vastartalma, illetve a salakban esetlegesen jelen lévő Fe_2O_3 mennyisége, akkor a bemutatott (1) összefüggés szerint meghatározható a vaskihozatal. Ha ismert az előállított vassalak mennyisége, akkor a kiszámított vaskihozatal felhasználásával a (3) összefüggés szerint meghatározható, hogy mennyi vasat állítottak elő a műhelyben.

2. Mekkora vastartalmú gyepvasércet lehet elméletileg eredményesen kohósítani az adott vaskohászati műhelyben?

Ha ismerjük a műhelyben előállított vassalak vastartalmát, illetve a salakban esetlegesen jelen

lévő Fe_2O_3 mennyiségét, akkor a (4) összefüggéssel a kérdés megválaszolható.

A számítási eredmények pontossága természetesen a számításokhoz felhasznált adatok pontosságától függ. Az ezekkel kapcsolatosan a gyakorlatban felmerülő problémákra a cikkben több helyütt is kitért a szerző.

Irodalom

GÖMÖRI J. (2000): Az Avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannóniában, Kiadja a Soproni Múzeum Régészeti Gyűjteménye és az MTA VEAB Iparrégészeti és Archeometriai Munkabizottsága, Sopron, 2000.

HECKENAST G., NOVÁKI GY., VASTAGH G., ZOLTAY E (1968): *A magyarországi vaskohászat története a korai középkorban*, Akadémia Kiadó, Bp. 1968, 167-168.

NAVASAITIS J., SELSKIENĚ A., ŽALDARYS G. (2010): The study of trace elements in bloomery iron, *Materials Science*, **16/2** 113-118.

THIELE Á & BÁN K (2010): A bucavaskohászat kora középkori technológiája a megvalósíthatóság tükrében, *BKL Kohászat*, **2010/2**, 7-12.

THIELE Á. (2011a): A földtől a vastárgyig – a bucavaskohászat metallurgiája, *BKL Kohászat*, **2011/1** 1-5.

THIELE Á. (2011b): A koraközépkori direkt acélgyártás (bucavaskohászat) technológiájának lehetőségek szerinti reprodukálása és tanulmányozása korszerű műszaki anyagvizsgálati módszerekkel, *Diplomamunka*, 2011. 88-94.

TÖRÖK B. (1995): Chemical and metallographic analysis of iron ores and slags, *Študijné Zvesti Archeologického Ústavu Sav* **31** 279-295.

TÖRÖK B. (1999): Latest technical examinations (1997-1999) of medieval iron slags found in Hungary – metallurgical processes in the medieval bloomery, *Výhodoslovenský Pravek, Special Issue, Archaeometallurgy in the Central Europe*, Archeologický ústav Slovenskej Akadémie Vied Nitra, Košice & Hutnícka fakulta TU Košice, 213-218.

TÖRÖK B. & GÖMÖRI J. (2002): Technical Examination of the Early Medieval Ferrous metallurgical Finds from Hungarian Sites, In: Jerem E., T. Biró K. (eds.) *Archaeometry 98, Proceedings of the 31st Symposium, Budapest (1998)*, BAR International Series **1043 / II** Oxford, 375-381.

A SÁROSPATAKI ÁGYÚÖNTŐ MŰHELY RÉGÉSZETI KUTATÁSA ÉS A RÉGÉSZETI LELETANYAG METALLURGIAI VIZSGÁLATA

ARCHAEOLOGICAL RESEARCH OF THE SÁROSPATAK GUN FOUNDRY AND THE METALLURGICAL STUDY OF THE FINDS

RINGER ISTVÁN,¹ BARKÓCZY PÉTER,² KOVÁCS ÁRPÁD³

¹Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma E-mail: ringer.istvan@gmail.com

^{2,3}Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet E-mail: peter.barkoczy@gmail.com, femkov@uni-miskolc.hu

Abstract

The Rákóczi Museum of the Hungarian National Museum revealed a cannon casting foundry in the territory of the castle of Sárospatak. The excavation started at the summer of 2006. A great amount of findings revealed from the metallurgical, alloying and casting processes of the foundry. The Archaeometallurgical Research Group of the University of Miskolc examines the microstructure and the chemical composition of these findings. The aim of this research work to complete the knowledge of the contemporary literature, and reconstruct the technological processes of the foundry. In this article the current status of the examination is introduced.

Kivonat

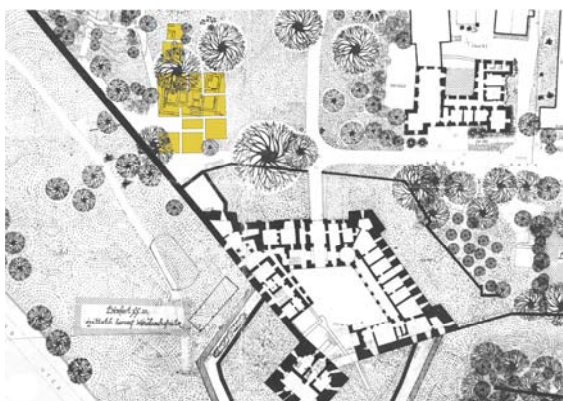
A Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma a sárospataki vár területén 2006-ban megkezdett kutatásában feltárta I. Rákóczi György ágyúöntő műhelyét. Az ásátás során számos ötvözetkészítési, metallurgiai és öntészet technológiai lépéssel kapcsolatos lelet került elő. Ezek mikroszerkezetének és összetételének vizsgálatával a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja foglalkozik. A vizsgálatok célja, hogy a korabeli dokumentumokban rejlő ismeretanyagot kiegészítve pontosabban rekonstruálni lehessen az ágyúöntő műhelyben végzett kohászati munkát. Cikkünkben az eddig kapott eredményekről számolunk be.

KEYWORDS: CANNON CASTING, METALLURGY, METALLOGRAPHY, CHEMICAL COMPOSITON

KULCSSZAVAK: ÁGYÚÖNTÉS, METALLURGIA, METALLOGRÁFIA, KÉMIAI ÖSSZETÉTEL

Bevezető

A Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma 2006 nyarán tervásatást kezdett a sárospataki külső vár délnyugati sarkában, a mostani park területén (1. ábra).



1. ábra: A feltárási terület elhelyezkedése a sárospataki külső várban. (Hermann Orsolya Zsanett)

Fig. 1.: The localization of the exploration site at the outer castle of Sárospatak. (Zsanett Orsolya Hermann)

A kutatás célkitűzése az volt, hogy felszínre hozza és dokumentálja az itt lévő ágyúöntő műhely maradványait. A téma kutatása Sárospatak vonatkozásában – történeti értelemben legalábbis – nem számított előzmény nélkülinek. Détsy Mihály levéltári forrásfeltáró munkája nyomán zömmel egykorú levelezések formájában ismertté váltak azok a dokumentumok, amelyek az öntőműhely I. Rákóczi György kori történetéről, az 1631 és 1648 közötti ágyúöntésekről nagy részletességgel tájékoztatnak. A közelmúltban elhunyt kiváló kutató kivonatolt formában közzé is tette ezeket a forrásokat (Détsy 1971; a téma további történeti feldolgozása: Szendrei 1891, Szilágyi 1888, Makkai 1954). A régészeti feltárás megkezdése előtt tehát rendelkezésünkre állt egy olyan történeti kutatás, melynek eredményeire munkánk során több ponton nagy haszonnal tudtunk támaszkodni. A mára teljesen föld alá került műhely külső váron belüli topográfiáját a 17-18. századi urbáriumok alapján aránylag biztosan meg tudtuk határozni. Az összeírások a belső vár előtti szárazárokkal párhuzamosan futó út szemközti házsorának délről legutolsó épületeként említik az ágyúöntő házat. A források alapján meghatározott területen a feltárás megkezdése előtt geofizikai kutatást végeztek a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékének munkatársai (Hursán 2006).



2. ábra: Az ágyúöntő műhely feltárt részletei nyugatról (fotó: Váradi László)

Fig. 2.: The explored details of the cannon foundry; picture from West (photo: László Váradi)



3. ábra: Az ágyúöntő műhely feltárási összesítő alaprajza, 2006-2009. (Rácz Miklós és Szökrön Péter)

Fig. 3.: The global ground-plan of the excavated cannon foundry, 2006-2009 (Miklós Rácz and Péter Szökrön)

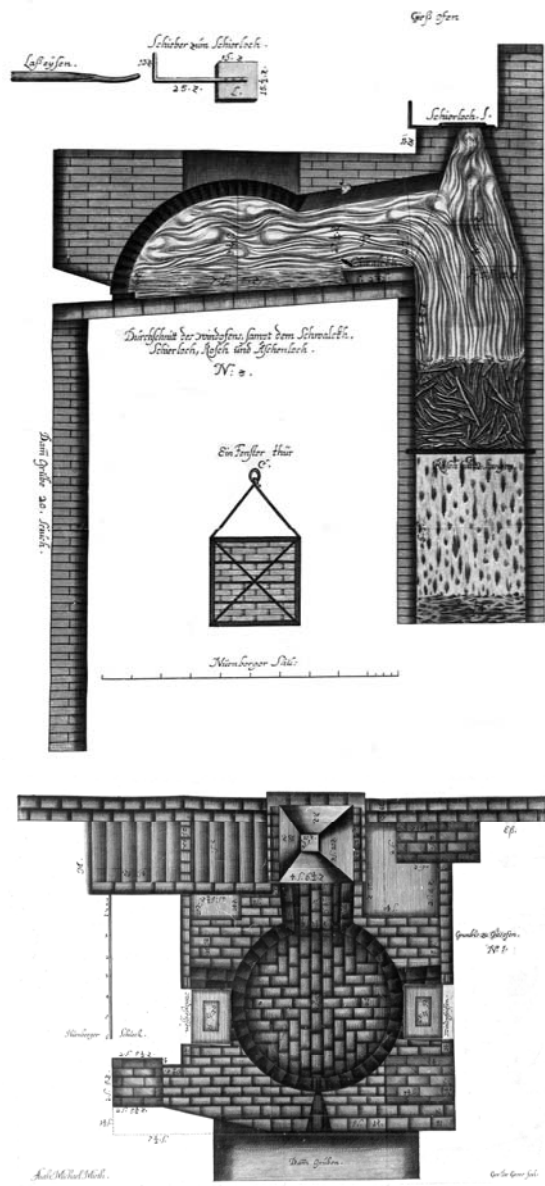


4. ábra: Lángkemence működés közben (Pierre Surirey de Saint-Remy: Mémoires d'Artillerie)

Fig. 4.: Furnace at work (Pierre Suriery de Saint-Remy: Memories d'Artillerie)

Az itt végzett geoelektromos mérések eredményeinek kiértékelése után a vizsgált területen egy nagy alapterületű, összetett kőépület felszín közeli maradványai rajzolódtak ki, melyet az ásás megkezdése előtt feltételelesen az elpusztult műhellyel azonosítottunk. Teljesen feltártnak tekinthető a műhely technológiai értelemben legizgalmasabbnak számító részlete, annak „lelke”, az épület déli oldalán lévő olvasztókemence és környezete (**3., 4. ábra**). A Sárospatakon feltárt ipartörténeti emlék azonosításában és értelmezésében nagy szerepet játszott az, hogy a tulajdonképpen – európai vonatkozásban is – egyetlennek számító, ugyancsak régészeti kontextusban előkerülő párhuzam feldolgozása munkánkkal egy időben zajlik. A budai Szent György téren folytatott régészeti kutatás során a Szent György utca 6. és 8. számú telkén napvilágra kerültek az írásos forrásokból ismert, 15-16. század fordulóján működött királyi ágyúöntő műhely maradványai. Az itteni feltárás során előkerülő két, erősen roncsolt állapotban megőrződött kemence maradványaiból Belényesy Károly példaértékű rekonstrukciós munkával azonosított egy olyan bronzolvasztó kemence típust, mely a 15-16. század fordulóján jelenhetett meg, s a 17. századra vált általánosan elterjedté az európai bronzöntő műhelyekben: a lángkemencét (Belényesy 2008. 348-350). A korábbi, aknás kemencéket felváltó új típus megjelenésében, s általánosságban véve a bronzöntés technológiájában bekövetkezett váltás mögött a tűzfegyverek szerepének fokozatos növekedése állt,

melynek eredményeként a 17. században már az egységes ágyútípusok és nagyobb szériák gyártására rendezkedtek be a műhelyek. A budai és sárospataki emlék két külön fejezetet képvisel az ágyúöntés magyarországi történetében, hiszen míg a 15. század végén működő – technológiailag modernnek számító – budai ágyúöntő házban igazolhatóan négy ágyút öntöttek, a működését másfél évszázaddal később megkezdő sárospataki műhelyben készített ágyúk száma százas nagyságrendű lehetett. A két emléket ugyanakkor sajátos és szerencsés módon összekapcsolja a fent említett speciális, a korábbi olvasztókemencéknél nagyobb hatásfokkal működő lángkemence típusa. A budai maradványok értelmezése segített tehát a sárospataki kemence meghatározásában. Ez utóbbi pontosabb rekonstrukciójában további régészeti analógiák és álló, ma is tanulmányozható hasonló emlékek hiányában figyelmünk fokozatosan egy olyan forráscsoport felé irányult, mely szinte kimeríthetetlen gazdagságban tárja elénk a kora újkori európai ágyúöntő műhelyeket: ezek a 17-18. században íródott nagy tűzérési munkák, a traktátusok. A legtöbb esetben csupán kéziratban fennmaradt, zömmel német és francia, kisebb számban angol és itáliai szakírók (legtöbbször tüzérmesterek) által szerzett könyveknek külön fejezete foglalkozik a bronzöntéssel és így következésképpen a kemencékkel is.



5. ábra: Lángkemence alaprajza és metszete (Miethen, Michael: *Artillerie Recentior Praxis...*)

Fig. 5.: The ground-plan and the cross-section of the furnace (Miethen, Michael: *Artillerie Recentior Praxis...*)

A fejezetekhez sokszor a műszaki rajz igényességével készített, pontos méretezéssel és megnevezésekkel ellátott alap- és metszetrajzok társulnak.

Jelen dolgozatnak nem lehet célja, hogy részletesen áttekintse valamennyi, általunk eddig felgyűjtött ilyen jellegű forrást, terjedelmi korlátok miatt csupán néhány, a sárospataki kemence rekonstrukciója kapcsán igen jól hasznosítható munka ismertetésére szorítkozhatunk. A korszak egyik legnépszerűbb tüzéségi írása Pierre Surirey de Saint Remy nevéhez fűződik (Saint-Remy 1707). A kétkötetes munkában található illusztrációk között olyan lángkemence metszetrajz is fellelhető, ahol jól megfigyelhető a bronzolvasztó berendezés jellegzetes rész-

letei: a tüzelőtér, az olvasztótér és az ez utóbbi előtt lévő öntőakna. Az egyik perspektivikus ábrázoláson pedig, ahol a kemencét működés közben, körülré sűrű-forgó munkásokkal ábrázolják, szinte meg-elevenedik előttünk a korabeli öntőműhelyek izgalmas világa (4. ábra). A francia szakíróéhoz hasonló népszerűségnek örvendő tüzéségi traktátus volt a 18. században David Emanuel Musly gazdagon illusztrált könyve. Ennek legelső fejezetében részletes leírás található a kemence építésénél alkalmazott szempontokról, a felhasználásra javasolt építőanyagokról. Mindezt precíz alaprajzok és többirányú metszetrajzok egészítik ki. Kevésbé ismert, ám esetünkben elsődleges fontossággal bír Michael Miethen 1683-ban megjelent traktátusa. Az itt közölt lángkemence alaprajz ugyanis elrendezését és méreteit tekintve csaknem teljes azonosságot mutat a sárospataki kemence feltárási alaprajzával (5a-b ábra.). Mivel a német tüzermester ugyanannak a kemencének a metszetrajzát is közli, ez alapján megkísérelhetjük az elpusztult részletek elméleti rekonstrukcióját is.

Mindezek előtt fontos azonban összefoglalnunk röviden azt, hogy hogyan is működtettek egy ilyen kemencét. Noha az egyes lángkemencék – a felgyűjtött képi ábrázolások tanúsága szerint is – részleteikben különbözhetnek egymástól, a főbb elrendezésük, szerkezetük azonos volt. A kemence két alapvető részből állt. A tulajdonképpeni kemencéből: az olvasztótérből, ahol a fémot megolvasztották és a tüztérből, ahol ölfákkal tüzelve, folyamatosan hevítették a kemencét. A lángkemence működési elve a forró levegő, a hő áramoltatásán alapult. A tüztérben keletkezett lángokat egy nyíláson keresztül vezették az olvasztótérbe, ahol a lángok a fém körül cirkulálva azt felhevítették, továbbá átizzították a kemence tetejét, ahonnan a visszasugárzó hő ugyancsak elősegítette az olvadást. Ahhoz, hogy egészen hosszú lángnyelveket kapjanak, a fűtőanyagoknak nagy felületen kellett érintkeznie a levegővel és izzás közben sok gázt kellett leadnia. A tüzeléshez száraz, egyenes, görcs nélküli ölfát használtak. A fának gyantásnak és gyorsan égőnek kellett lennie, leggyakrabban szilfát, bükköt és nyírfát alkalmaztak. A tűz erőteljes, egyenletes égésének biztosítására bőségesen hagytak helyet a levegőnek, mely a műhely itteni része alatt kiépített boltozatos alagútrendszerből egy rácson keresztül jutott be a tüztérbe. Ettől szélesebb járatra volt szükség a füst elvezetéséhez. A megfelelő huzat eléréséhez és a füst elvezetéséhez végett kéményeket építettek. Maga a kemence kör alakú volt, melynek feneké enyhén lejtett a tüztértől a csapoló nyílásig. Derékszöveget bezárva a tüzelőnyílással és a csapoló nyílással, egymással átellenben két széles ajtó volt, ahonnan a kemencét megtölthették, és használat közben ellenőrizhették. Ezeket a nyílásokon keresztül távolították el a fémfűdő felszínén úszó salakot és egyéb szennyeződések is. Amikor az ágyúöntő mester új kemencét épített, nagyon precíz munkát kellett vé-

geznie, s gondosan ki kellett választania a megfelelő anyagokat. Az olvasztótér tégláinak tűzállónak kellett lenniük. A sárospataki öntőműhely kapcsán Debreczeni Tamás prefektus többször beszámolt leveleiben arról, hogy a kemence fenekét átépített, és ahhoz tűzálló, „passaui” téglá küldését sürgeti. Az újonnan megépített kemencét először gyenge tüzeléssel szárították. A kemencét minden egyes öntés után hagyták teljesen kihűlni, hogy a szükséges javításokat véghez lehessen vinni rajta. Amikor a kemencét megtöltötték, ügyelni kellett arra, hogy fokozatosan hevítsék fel, nehogy szerkezetében komolyabb károsodás következzen be. Miközben az olvasztás zajlott, az öntömesternek nyomon kellett követnie a kemencében lévő fémek elegyének összetételét. Ennek érdekében minden olyan fémadarabot, melyet a kemencében helyeztek el, pontosan lemértek.

Az ágyúak anyaga hazánkban a 17. században általában a bronz, vagyis vörösréz és ón ötvözet volt. Ez az ötvözet lényegesen jobb tulajdonságokkal rendelkezett, mint a korai módszerekkel öntött vas. Ráadásul annak ellenére, hogy a bronz 20%-kal nehezebb a vasnál, a bronzágyúk mégis könnyebbek voltak, mivel az ellenállóbb fémből vékonyabb falú ágyút készíthettek, mint az ugyanolyan kaliberű vaságyú esetében. A bronzágyú jobban bírta a kilövés okozta rázkódást és a korróziónak is jobban ellenállt, ugyanakkor kisebb volt a valószínűsége annak, hogy tüzelés közben tönkremenjen. Ha ez mégis előfordult, az ágyúcső kidudorodott, vagy hosszában megrepedt a csőfar tájékán, de nem feltétlenül robbant fel. Ha viszont egy vaságyú felrobbant, akkor rendszerint apró darabokra hullott, darabjai mindenfelé szétszóródtak, s ez a közelben állók között katasztrofális sérüléseket okozott. A bronzágyú könnyen újraönthető, s ami ugyancsak lényegesnek számított, könnyen díszíthető is volt. Ágyúkészítő alapanyagként a bronznak negatívuma volt viszont, hogy nagyon hamar felmelegedett. Ennek következtében, ha egy bronzágyúból sorozatos lövéseket adtak le, akkor hajlamos volt a meglágyulásra, megvetemedésre, vagy a furat más módon történő megsérülésére. A bronzágyúk legfőbb hátrányát mégsem ez, hanem az előállítás költséges volta jellemezte. Általában háromszor, négyszer kerültek többbe, mint a vaságyúk. Nem meglepő tehát, hogy a 17. század első felének európai uralkodói elkezdtek megbízásokat adni a vaságyú öntésével kapcsolatos kísérletek végzésére, illetve támogatták is azokat. Céljuk a vasból készült tüzérségi fegyverek minőségének javítása volt. Ámbár a vaságyúkat sohasem tartották olyan biztonságosnak, mint a bronzból készületeket, az 1630-as évekre Anglia és Svédország is elismert minőségű vaságyúkat exportált (Cipolla 1965. 43.). Fontos azonban utalni arra, hogy míg a hadfelszerelésben, haditechnikában Nyugat-Európában megjelenő újítások a tárgyalt időszakban késedelem nélkül megjelentek Magyarországon, az ágyúak öntése terén fentebb leírt fejle-

dés nem mutatkozik meg a korabeli forrásokban. A modern, huzagolt hátultöltő lövegek megjelenéséig a magyarországi ágyúk túlnyomó többségét bronzból öntötték.

Az ágyúbronz összetételének pontos arányát csak ritkán jelölik meg a korabeli források, s a közölt mennyiségeket is kritikusán kell kezelni. Egy 1640-ben közölt német recept szerint: 100 rész réz, 20 rész ón, 5 rész sárgaréz és 10 rész ólom, míg egy 1716-ból származó szerint 100 rész réz, 10-12 rész ón és 6 rész sárgaréz ötvözet a legalkalmasabb ágyúöntésre (Dolleczek 1884. 164.). A Sárospatakon öntött ágyúk összetételére vonatkozóan több adatunk is fennmaradt. Egy 1645. november 10-én kelt levélben szereplő említés szerint az öntömester „160 mázsa rezet és 6 mázsa ónat rakott vala be a kemencében”. Majd egy évvel későbbi adat szerint: „145 mázsa réz és 7 mázsa fejer ón volt benne”. Ez az összetétel 95-96% réz és 4-5% ón keverési arányt eredményezett. Általában azonban, mint ahogyan a fenti két öntés esetében is, nemcsak színrezet adagoltak, hanem a tönkrement ágyúk és harangok bronzát, ún. „materiás rezet” is beolvasztották, továbbá a formákból túlsorodult, kemence fenekén visszamaradt bronzdarabokat, illetve a cső és a gyújtólyuk fűrásánál nyert „furadékrezet” is felhasználták, amivel az öntartalom 8-9%-ra emelkedett. A témával foglalkozó szakirodalom általános vélekedése szerint ágyúöntés céljára legjobban a Cu=90%, Sn=10% tartalmú ötvözet felelt meg. Az olvasztótér töltésének módját és az olvasztási folyamat sorrendjét a lángkemence különös adottságai határozták meg. Amint a fém elkezdett összeolvadni, fennállt a veszélye annak, hogy a még szilárd fémadarabok lesüllyednek. Ez azzal járt, hogy sem a lángok, sem a hősugárzás nem érte el őket, s csak csekély esély maradt arra, hogy az ilyen darabok elérjék az olvadási hőfokot. Ennek megelőzésére az olvasztani kívánt anyagot kissé megemelték, s előbb csak enyhébb erejű tüzet raktak, melynek hőfokát fokozatosan emelték. Így a kemence alja már teljesen átforrósodott, mire elárasztották az olvadt fémmel. A töltés során először az igazán nagy fémadarabokat tették be, s ezeket a töltőnyíláshoz közel tartották. Az ilyen darabok régebbi, kiselejtezett ágyúk és egyéb öntvények lehettek. Ha tiszta rezet is adtak az anyaghoz, akkor azt a lángok közvetlen közelébe tették, ahol legmagasabb volt a hőmérséklet. A fémfürdőt időről időre hosszú, száraz fenyő rudakkal kavarták meg.



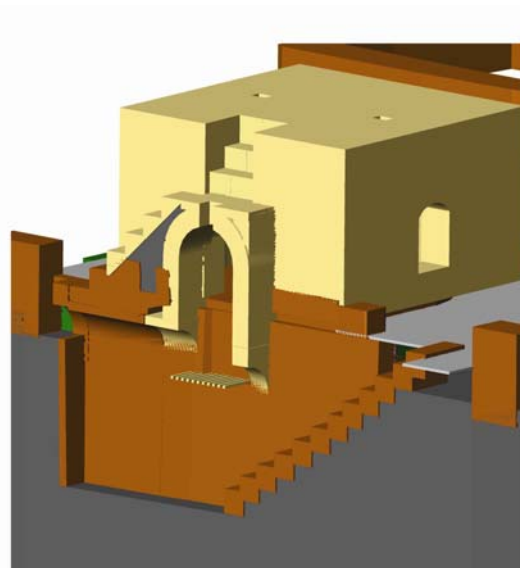
6. ábra: A kemence tűzterébe vezető lépcsősor (fotó: Váradi László)

Fig. 6.: Stairs leading to the fireplace of the furnace (photo: László Váradi)

A fa erre a célra nagyszerűen megfelelt: az elszeneződés során kiváló gázok megnövelték a kevergetés hatását. Mintegy 14-16 órányi olvasztás után, a téglák és kődarabok – melyek segítségével a fémdarabokat megemelték, hogy ne érintkezzenek a kemence aljával – valamint az egyéb szennyező anyagok már a megolvadt bronz felszínére emelkedtek. A salakot és szennyeződésekot kotrószerszámmal távolították el, mely súlyos, keményfa lapból állt.

Ehhez előszeretettel használtak bükköt vagy tölgyet. Az első tisztogatás után a fémfürdőt fél órán át nyugodni hagyták, hogy a hőmérséklet újra visszaálljon a megfelelő szintre, mivel az ajtó kinyitása miatt a hőmérséklet lecsökkent.

A fémolvasztás folyamata akár 20 órát is igénybe vehetett. A tüzelés időtartamáról több említés is maradt a sárospataki forrásokban: „a 12 lövészerszámot tegnap estve önté meg az ágyúöntő... tegnapelőtt 9 órakor gyújtotta vala be az kemencét, attól fogva estvéig majd 8 óráig mind égette.” Az öntés előtt 2-3 órával a fával táplált tüzet egy erősebb faszéntüzzel váltották fel. Lényeges volt pontosan meghatározni azt a pillanatot, amikor a fémfürdő készen áll az öntésre.



7. ábra: A sárospataki lángkemence rekonstrukciós modellje (Rácz Miklós)

Fig. 7.: The reconstructional model of the furnace of Sárospatak. (Miklós Rácz)

A korabeli szakírók több ilyen szempontot is említettek: egyes vélemények szerint a fenyőből készült lefelőlöző rudaknak úgy kell úszkálniuk a fémfürdő tetején, hogy ne okozzanak bugyborékolást az olvadátkban, a rudakról leváló faszéndaraboknak fel kell jönniük a fémfürdő felszínére és nem volt szabad, hogy bronz tapadjon hozzájuk. A fém felszínének olyannak kell látszania, mintha egy elágazó repedésekkel tarkított takaró borítaná, vagy egy filmrétegnek kell képződnie, mely a hamarosan bekövetkező oxidációra utal. Mások szerint a fémfürdő felett zöldes fehér gőznek kell jelentkeznie.

Akárhogyan is volt, valószínűleg az egyik műhelytitok talán éppen abban rejlett, hogy az öntőmester képes volt megítélni a helyes pillanatot az öntésre úgy, hogy egyszerűen belepillantott a kemencébe.

A lángkemence működési elvének áttekintése után foglaljuk össze röviden, hogy a sárospataki ágyúöntő műhely kutatása során milyen azonosítható és értelmezhető részletei láttak napvilágot az olvasztó-kemencének.

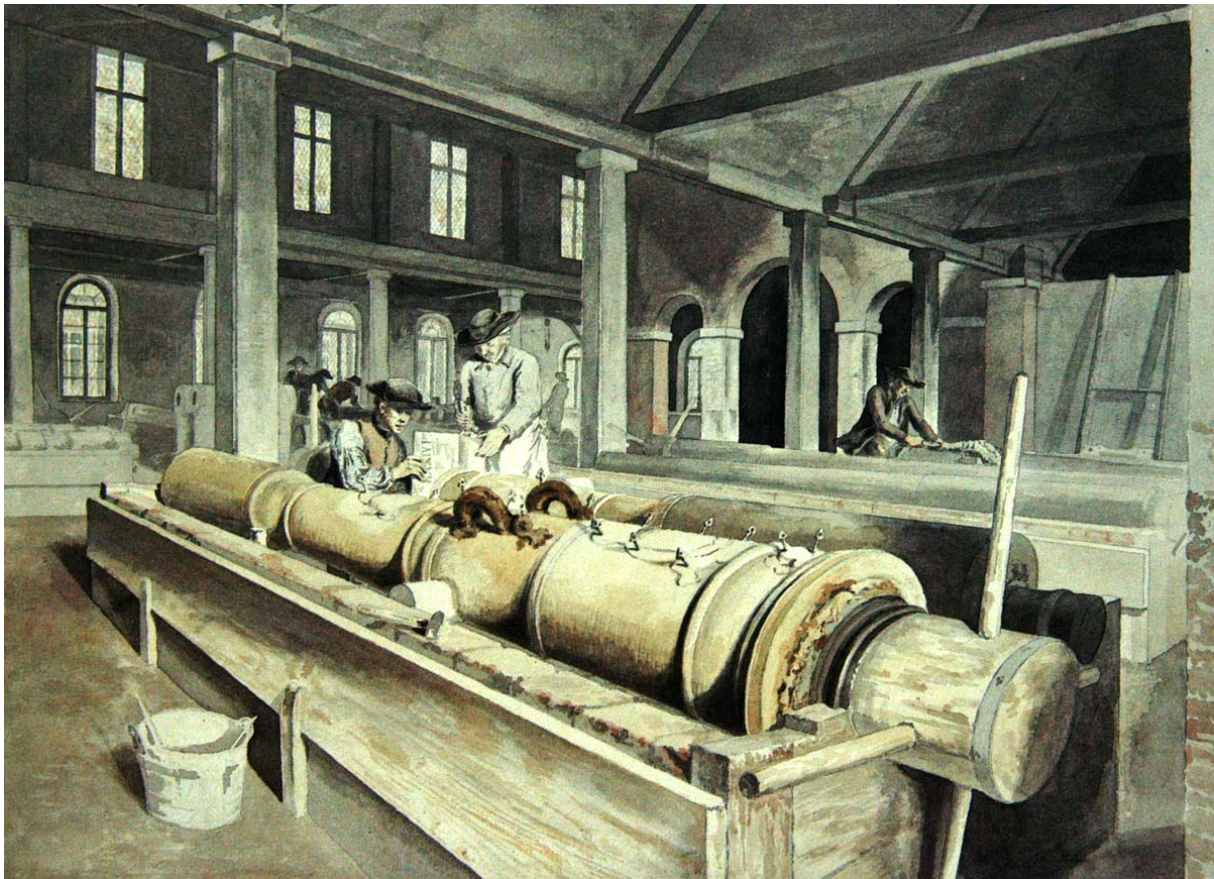
A feltárás napvilágra hozott egy összesen 11 db, 110 cm széles téglalépcső fokból álló lejáratot, amely egy 400 cm hosszú, 350 cm belmagasságú folyosóban folytatódik (**6. ábra**). A folyosó utolsó szakaszán annak téglaboltozata is épen megmaradt. A folyosó végén, közvetlenül a boltozat alatt egy kisebb, ovális nyílást bontottunk ki, ez esetleg kémlelőnyílásként szolgálhatott a tüztérben zajló égési folyamat kontrollálása végett. A lépcsős lejáró és a tüzelőtér folyosójának köpenyfala zömmel ugyancsak téglából készült. A tüzelőtér folyosójának boltozott szakasza felett, azzal alaprajzilag egy vonalban egy másik téglalépcső indítás került elő. Az itt lévő néhány lépcsőfok vezethetett fel a tüzelőtér fe-

lett kialakított nyíláshoz, ahonnan a kemence begyújtása után a tűz folyamatos, ölfákkal történő táplálása megoldható volt, mint ahogyan az a Saint-Remy-féle illusztráción is megfigyelhető. A tüzelőtérbe vezető lépcsős lejárát és a folyosó mellett, ezek északi oldalán egy 5x5 m-es, 25 m² alapterületű, törtkövekből épített tömb látott napvilágot, délnyugati és délkeleti sarkain téglából rakott, íves felépítmény, az olvasztótér maradványával. Ez utóbbi erősen sérült északi oldalán pedig, a nagyjából 300x350 cm-es, téglalap alakú kifalazott, s az olvasztótér szintjétől számítva 400 cm mély öntőakna került napvilágra. A felsorolt elemek alaprajzilag összefüggő, együttes megléte alapján azonosítható a korban bronzolvasztásra általánosan elterjedt kemencetípus, a lángkemence. A sárospataki lángkemence rekonstrukciós modelljén vörösbarna színnel láthatóak azok a részletek, melyeket a régészeti feltárás napvilágra hozott, sárga színnel pedig azok a kiegészítések, amelyek a jól alkalmazható rajzi analógiák és fentebb összegzett technológiai leírások, továbbá az olvasztó berendezés típusajátosságaiából fakadóan nagy biztonsággal meghatározhatóak voltak (7. ábra).

A bronzolvasztást meg kellett előznie egy nem kevésbé bonyolult és fáradságos munkának: a mintázásnak és a formázásnak. Ezek folyamatainak tanulmányozásánál a bőség zavarával küzdünk. A témában leggyakrabban idézett szerző Vanoccio Biringuccio, aki *Pirotechnia* című munkájában összefoglalja kora fémtani és fémmegmunkálási ismereteit. Könyve 1540-ben jelent meg nyomtatásban, s rendkívül világosan, már-már kézikönyvszerűen tárgyalja több más mellett a bronzágyúöntését, nagy figyelmet szentelve az öntőforma elkészítésének. Fontos hangsúlyozni, hogy míg az öntéstechnika a kora újkor időszakában a lángkemencék megjelenésével jelentősen módosult, addig a formakészítés változatlan maradt. Így tehát az ágyúöntő forma készítésének egyik legkorábbi, 1500 körüli ábrázolása, mely Leonardo da Vinci Codex Atlanticus-ából való, tökéletesen összecseng a már említett, 17-18. századi traktátusokban fellelhető illusztrációkkal, vagy a közismert, Francia Enciklopédia ágyúöntéssel foglalkozó fejezetében szereplő ábrákkal. (Az ágyúöntéssel foglalkozó fejezet reprint kiadása: *Fabrication des Canons*. Bibliothèque de L'Image. 2002.) A formakészítés Biringuccio által leírt lépései legszemléletesebben egy olyan, összesen 50 darabból álló színes akvarell-sorozaton követhetőek nyomon, melyek a London melletti Woolwichban lévő, III. György-kori angol királyi ágyúöntő műhelyben zajló munkát örökíti meg. A magángyűjteményben fennmaradó akvarellsorozat készítője ráadásul nem volt más, mint az egyik ott dolgozó öntőmester, a németalföldi Jan

Verbruggen. (Jackson-Beer 1973. valamint Beer 1991.)

A fentiek alapján tekintsük át röviden a minta és a formakészítés legfontosabb mozzanatait. Az öntőaknába helyezett negatív öntőforma előkészítésének első lépése egy – a majdan öntvényként viszontlátni kívánt ágyúval minden tekintetben megegyező – öntőminta elkészítése volt. Ennek elkészítése során, első mozzanatként összecsavart rozsszalmából készült kötélből armatúrát helyeztek el egy elkeskenyedő végű fatengelyre, melyet előtte szappannal, vagy zsírral kentek be azért, hogy amikor arra sor került, könnyebben el tudják távolítani a későbbi formából. A tengely, melyet belőltetett kereszt rudakkal forgattak, egy esztergakereten nyugodott. A keretet egy téglából rakott tűztér felé helyezték, mely később a kötélből készült armatúrára felrakott agyagrétegek szárítására szolgált. A mintázáshoz használt agyagot gondosan elő kellett készíteni. Ahhoz, hogy megfelelő szilárdságú keveréket állítsanak elő, mely képes megtartani a köréje épített öntőformát, ugyanakkor elég könnyen morzsolódik is, hogy szárítás után gond nélkül eltávolítható legyen az öntőformából, csomómentes, homogén, apró kavicsoktól és egyéb szennyeződésektől mentes agyagra volt szükség. A megfelelő sűrűségű állag elnyeréséhez a jól átmosott agyagot lótrágyával elegyített vízbe áztatták. Előfordult, hogy időnként a korábban használt öntőformák finomra őrölt darabjait is hozzáadták a keverékhez. Az agyag súlya nagyjából ugyanannyi volt, mint az egyéb adalékoké. Az adalékanyagok egy speciális típusát jelöli meg Biringuccio: „...az agyagot munkapadra tegyék, és nedvesítés által masszát készítsenek. Majd, mint a fazekas mesterek, egy vasrúddal jól dolgozzák meg, s az egész mennyiségnek kétharmadával egyenlő gyapjúnyesedéket is keverjenek belé...” Miután az armatúrára az agyagrétegek végleges alakot megközelítő formában már felkerültek, elvégezték a felesleg eltávolítását és elkészítették az ágyúcső végleges alakját. Ez a test folyamatos forgatása mellett, formázósablon segítségével történt. A cső formája készült el így, de még nem kapta meg díszítéseit, fogantyúit, címerét, feliratait. Ez a fázis azzal fejeződött be, hogy a formát egy réteg megolvastott és még folyékony viasszal vonták be. Kihülése közben a viasz formálhatóvá vált, melyet a sablon segítségével alakítottak, simítottak. Ezt addig folytatták, míg minden domborulat és borda jól láthatóvá nem vált. A viasz nemcsak szép, sima felületet biztosított, hanem megakadályozta azt is, hogy az öntőminta beleragadjon az öntőformába. A beviaszozott öntőminta tehát készen állt arra, hogy felkerüljenek rá a különböző feliratok, díszítések. Ezeket a jól ismert viaszveszejtési eljárással készítették.



8. ábra: Ágyúöntőforma készítése (Carel de Beer: The Art of Gunfounding)

Fig. 8.: Making of a gun-founding mould. (Carel de Beer: The Art of Gunfounding)



9. ábra: Öntőformák leengedése az aknába (Musly, David Emmenule: Traité d' Artillerie.

Fig. 9.: The letting down of moulds into the shaft. (Musly, David Emmenule: Traité d'Artillerie.)

Ennek során a díszítő elemek viasz öntőmintája úgy készült, hogy egy jól kiszírozott öntőformába forró viaszt öntöttek. Miután a viasz egy rétege megszilárdult, a fennmaradó folyékony viaszmaradékot kiöntötték a formából. Ezt a két lépést addig ismételték, amíg megfelelő mennyiségű szilárd viasz rakódott le. A két részből álló öntőformát ekkor felnyitották, a viaszmintát kivették és az öntőforma darabjaival együtt hideg vízbe mártva lehűtötték. A viaszmintákat az ágyúcső öntőformájára vaspálcákkal rögzítették, melyeket beszúrtak a fatengelybe. Nagy műgondot igényelt a csőcsapok mintáinak pontos elhelyezése. A csőcsapok tengelyeinek egy vonalban kellett lenniük, különben lehetetlen lett volna az ágyúcsövet felemelni és úgy fordítani, hogy az elérje az irányzáshoz kívánt magasságot. Másodszor, a csőcsap-tengelynek és a furat tengelyének egymásra merőlegesnek kellett lenniük, különben a csőemelkedéssel járó változás oldalirányú félrehordást eredményezett volna. A csőcsapok alaposan befagyózott, vagy beviaszozott öntőmintájának rögzítésével az ágyúcső öntőmintájának készítése befejeződött, s a darab készen állt, hogy megkezdjék az öntőforma készítését (8. ábra).

Az öntőforma első rétegének felhelyezése igen fontos művelet volt. A felhordott réteg bármely tökéletlensége meglátszott a kész ágyú felszínén, különösen akkor, ha a díszítés anyagának állaga törékeny, porhanyós lett. Következésképpen az első rétegnek elég lágynak kellett lennie ahhoz, hogy a forma legapróbb vájatait is meg tudja tölteni. Ezért ecsettel felvihető állagú, hígított márgát, finomra őrölt, porított hóálló agyag és homok vízzel elegyített keverékét használták. Előfordult, hogy gyapjúnyesedéket, vagy kártolt tehénszőrt is adtak a keverékhez, más szerzők viszont egyáltalán nem kívántak szerves anyagot keverni az öntőforma agyagjához. Az első réteget nagy gonddal, ecsettel vitték fel és megvárták, amíg teljesen megszárad, mielőtt a következő réteget felvitték volna. Az első rétegek szárítása pusztán a levegő által történt, hiszen a tűz melege megolvastotta volna a minta viaszozását. Addig haladtak így, míg az öntőforma elérte végső vastagságának mintegy harmadát. Az első rétegek felhordása után bizonyos mesterek átgerenezett kendert tekertek az öntőformára annak megerősítése céljából. A kenderrel való körbetekerés végzetével már öt-hat – közönséges mintázó agyagból készült – réteg is felkerült a mintára, s ezt faszén tűz fölött szárították ki. Ezt követően a rögzítő tuskékat óvatosan eltávolították a fogantyúkból és díszítésekből. Miután az utolsó agyagréteget is megszári-

tották a tűzön, az öntőformát meg kellett erősíteni, hogy kibírja az öntőminta eltávolítását és az öntéshez szükséges előkészítő munkálatokat. Emellett el kellett viselnie a megolvadt fém által kifejtett nagy nyomást, mely az öntéskor nehezedett rá. Mindezek miatt az öntőformát vaspántokkal, abroncsokkal erősítették meg. A vasalás végétével az öntőforma készen állt arra, hogy az esztergakeretről levegyék, a mintát pedig kivegyék belőle. Az öntőmintának a formából való eltávolítása ugyanabban a sorrendben történt, mint ahogyan felépítették. Vagyis először a tengelyt, majd a kötétekercekből készült armatúrát, végül az agyagrétegeket távolították el. A fogantyúk és egyéb díszítmények viaszmintáit kiolvasztották, az öntőformán ott maradt a negatív lenyomatuk. A minta kiszedése után az öntőforma belseje itt-ott bizonyos apróbb hibákat viselt magán, melyet javítani kellett. Az öntőminta darabjaitól teljesen megtisztított öntőformában gyakran tüzet raktak. Ennek kettős célja volt: egyrészt a forma belseje a hő hatására egészen megkeményedett, a fogantyúk és díszítések viaszmintái teljesen kiolvadtak. Az égetést addig kellett folytatni, amíg az öntőforma belseje halványpirosas, csaknem fehér színben kezdett játszani. Az agyag ezen a ponton majdnem üveggé válik, ezt az állapotot azonban mindenképpen kerülni kellett. Az öntőforma elkészítésének egyik utolsó mozzanataként a forma belsejét vékony szénréteggel vonták be, s ezzel mintegy szigetelték a porózus felületet azért, hogy a megolvadt fém ne ragadjon az öntőforma falához. Ezt követően a forma közepére az ágyúcső ürméretének megfelelő átmérőjű vasat, ún. bélvasat helyeztek. Miután a formázás befejeződött, elérkezett a munkafolyamat kritikus fontosságú része, a formák öntőaknába való leengedése. Biringuccio így ír erről: „Ha ágyú öntőformájáról van szó, melyről már sokszor elmondatott, hogy sok oka van miért álló pozícióba helyezve kell önteni, akkor az öntőgödrot, vagy kutat, hívhatják tetszés szerint, az olvasztó kemence elé kell ásni. Legyen olyan mély, mint amilyen hosszú az öntőforma, sőt még annyi mélyebb, hogy mikor az öntőforma pontosan a helyére kerül, akkor a kemence csapoló nyílásától egy kis lejtőnek is legyen helye, hogy a bronz könnyen folyhasson.”

Az aknába leengedett öntőformák környezetét, hogy azok ne tudjanak elmozdulni, földdel feltöltötték. A földrétegeket bizonyos időközönként nehéz bronz vagy vas súlyokkal döngölték, hogy elérjék a megfelelő keménységet.



10. ábra: A feltárás során előkerült öntőformák töredékei (fotó: Váradi László, rajz: Magyar Virág)

Fig. 10.: The fractions of moulds found at the excavation of the cannon foundry (photo: László Váradi, drawing: Virág Magyar)

Amint a fémfürdő készen állt az öntésre, a csapoló nyílás vasdugóját beütötték, az olvadt bronz massa a formák fölött kialakított vályogcsatornákon át az öntőformákba áramlott. A bronzágyúk készítése során az öntés volt a legkritikusabb, egyben a leglátványosabb mozzanat is. Évszázadok tapasztalata, évekig tartó tanulás, többhónapnyi tervezés, hetek kemény munkája sűrűsödött bele az előkészületekbe. Az öntőformák percekben belül megteltek, s az öntvények minősége megváltoztathatatlanul eldőlt. Az öntvényeket általában 24 óráig hűlni hagyták, majd megkezdődött azok kiásása. A kiemelt öntvényt kibontották formájából, torkolatáról lefűrészték a túlfolyóban összegyűlt bronzot, majd felületéről az egyenetlenségeket letisztogatták és eltávolították belőle a bélvasat. Az egyik legnehezebb munka, amennyire a sárospataki ágyúöntésekről fennmaradt levelekből megítélhetjük, a gyújtólyuk és a cső járatának pontos ürméretre való kifűrésze volt. A tisztítás és a fűrés után próbának vetették alá az új ágyúkat, ez egyben előfeltétele is volt annak, hogy az öntömesternek kifizessék a járandóságát. A sikeres próbálövés után már csak az ágyú felszerelése volt hátra, amit már nem az ágyúöntő mester, hanem ácsok, kovácsok és kerékgyártók végeztek. Ágyat, lafettát készítettek az ágyúnak, ezt vasalókkal megerősítették, majd kerekre helyezték.

Mivel a sárospataki ágyúöntő műhely jellegéből fakadóan a nagyobb sorozatok, szériák gyártására

rendezkedett be, feltárása régészeti szempontból egy igen intenzív ipari környezetet jelentett. Munkánk során a fentebb felvázolt ágyúöntési technológiai sorozat valamennyi mozzanatának tárgyiasult emlékei napvilágra kerültek. A műhelyépület csaknem teljesen feltárt keleti külső oldalánál került elő számottevő mennyiségű ipari hulladék, mely főképpen öntőminták és –formák különböző méretű töredékeit, s az azok egyik jellegzetes alapanyagául szolgáló, fehér színű, zsíros tapintású, magas kaolintartalmú nyers agyagtömbjeit is tartalmazta. A formatöredékek némelyikén az öntvényen lévő feliratokra, díszítésekre vonatkozóan is információkat nyerhetünk (10. ábra). Előkerültek továbbá – zömmel az öntőaknát és a kemence tűzterébe vezető lépcsős lejárót kitöltő omladékban – az olvasztótérhez köthető, helyenként üvegesen átégett, megfolyt téglák töredékei. Ugyanígy olvasztásra szánt réz, ón és ólomtömbök, a kemence fenekén visszamaradt, alakjában a téglák közeit felvevő bronzmaradványok, a fémfürdő felszínéről eltávolított, utóbb kidobott salakok, különböző előötvözetek, de néhány töredék formájában maguk a műhelyben készült – vélhetően hibás öntvénynek számító – ágyúcsövek maradványai is! Az előkerült fa és faszéminták között kimutathatóak a fémfürdő kavargatására szolgáló fenyő rudak bronzszemcsékkel tarkított töredékei, s a tüzelőanyagként használt bükkfa szenült maradványai.



11. ábra: Válogatás a műhely szerszámleleteiből (fotó: Váradi László)

Fig. 11.: Selection from the tool-founds of the foundry. (photo: László Váradi)

A fent felsorolt leletcsoportok természet-tudományos vizsgálata, az eredmények archeometriai értelmezése hozzásegíthet bennünket a korabeli öntési technológia helyi vonatkozásainak megismeréséhez, továbbá az alkalmazott nyersanyagok eredetének meghatározásához. A feltárás során előkerült fém leleteknek egy markáns csoportja minden kétséget kizáróan köthető az egykoron ott zajló tevékenységhez. A műhely felszerelését alkotó szerszámkészlet egyes darabjai (balta, csákány, kétágú, lapát, stb.) mellett napvilágra kerültek az öntőformák összefogására szolgáló vas-pántok, arbronsok is (**11. ábra**). A régészeti leletek tanúsága szerint a sárospataki várban nemcsak ágyúöntés zajlott, hanem komoly szertüzerési eszközgyártás is. A nagy mennyiségben előkerülő, sok esetben megtöltött állapotban lévő aprópuskák, a tüzes labda-vázak, különböző lövedékek, valamint az ágyúk lafettáinak vasalásai minden bizonnyal az öntőműhely szomszédságában lévő, forrásokból ugyancsak ismert, ám jelenleg még feltáratlan kovácsműhelyben készültek.

A fenti összefoglalásból látható, hogy komoly ismerettel rendelkezünk az ágyúöntő műhelyekben folyó munkákról. Az említett nagy számban előkerült technológiai lelet azonban lehetőséget ad arra is, hogy a sárospataki műhelyben folyó munkát pontosan megismerhessük technológiai oldalról, és nagy pontossággal rekonstruálhassuk az ott folyó metallurgiai és öntészeti munkát. Ennek a tevékenységünknek első lépésében a metallurgiai folyamatokhoz köthető fémes leletekből végeztünk mintavételes vizsgálatot, hogy lássuk, milyen információk nyerhetők a fent bemutatottakon felül. A

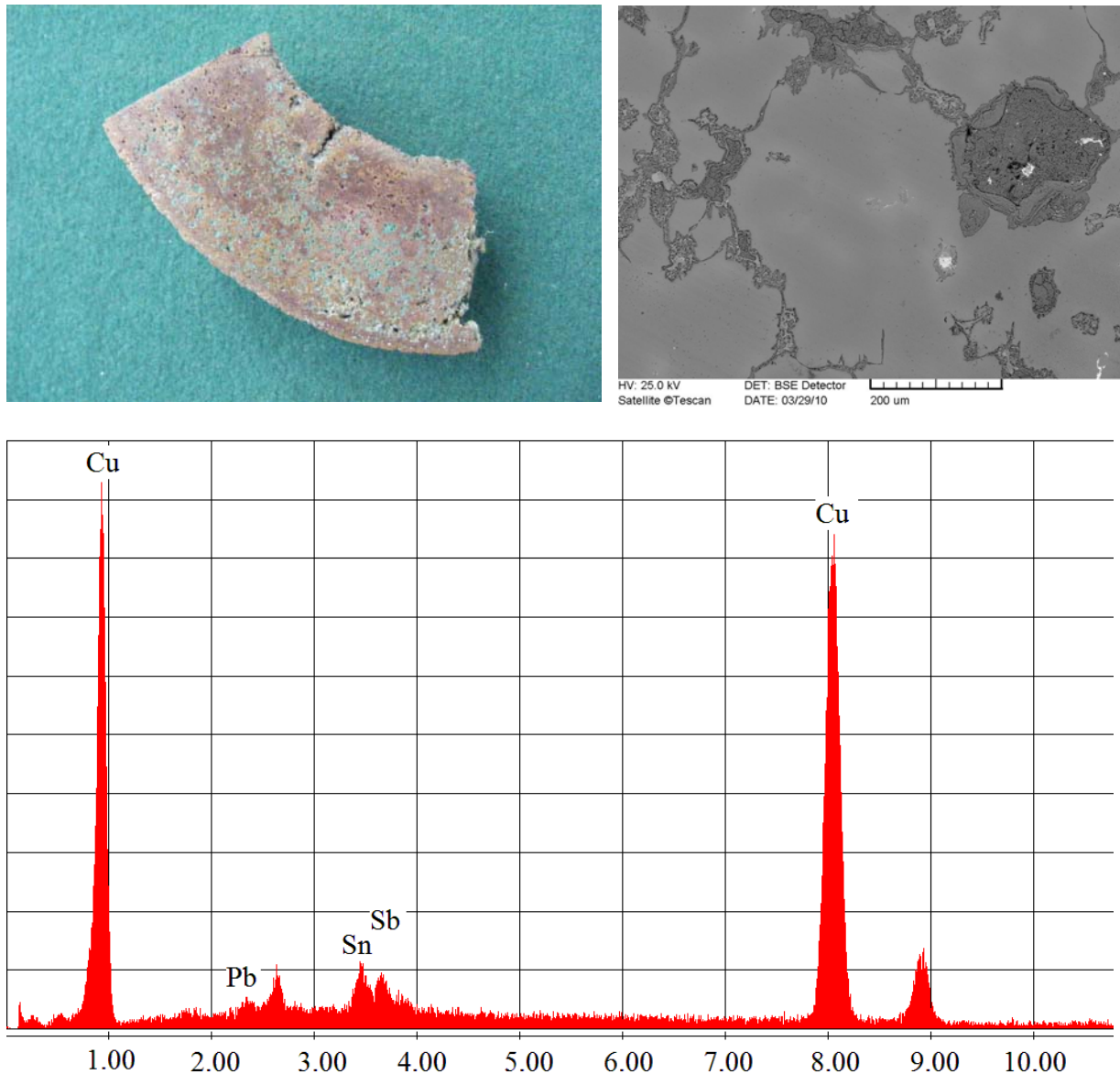
következőkben a kiválasztott leletek vizsgálati eredményeit mutatjuk be.

Vizsgált anyagok és vizsgálati módszerek

A sárospataki vár területén feltárt ágyúöntő műhely ágyúöntési technológiával kapcsolatos leleteit vizsgáltuk. Elemeztük a leletek átlagos összetételét, fázis összetételét, mikroszerkezetét. Fémes leletek közül ágyútöredékekkel, fémolvadék maradványokkal, nem fémes leletek közül salakmaradványokkal, tűzálló falazat elemekkel és öntőtégely maradványokkal foglalkoztunk. A mikroszerkezet vizsgálatokhoz a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetének LISA laboratóriumában található Zeiss AxioImager és Zeiss AxioVert 40 optikai mikroszkópokat használtunk. A nagyobb nagyítású felvételek készítéséhez és az összetétel elemzésekhez energia diszperzív mikroszkóppal felszerelt Amray 1840 pásztázó elektronmikroszkópot alkalmaztunk. A készülékeket a gyártó által előírt eszközökkel és módszerrel kalibráltuk.

Ágyútöredékek vizsgálata

Cikkünkben a válogatott minták vizsgálatával kapcsolatos eredményeket mutatjuk be. A vizsgálatok során két ágyúcső maradvány mikroszerkezetét tanulmányoztuk. Az egyikről azt az előzetes hipotézist ismertük, hogy az ágyúcső felrobbant, a másik leletről ilyen információnk nem volt. Az első ágyúcső minta felvételét és mikroszerkezetét a **12. ábra** mutatja. Az elemzések kimutatták, hogy a minta tömegszázalék egységekben 4.75% önt, 2.42% antimont és 0.74% ólmot tartalmaz. A jelentős antimont tartalom vélhetően az önthetőség miatt szerepel az ágyú alapanyagában.



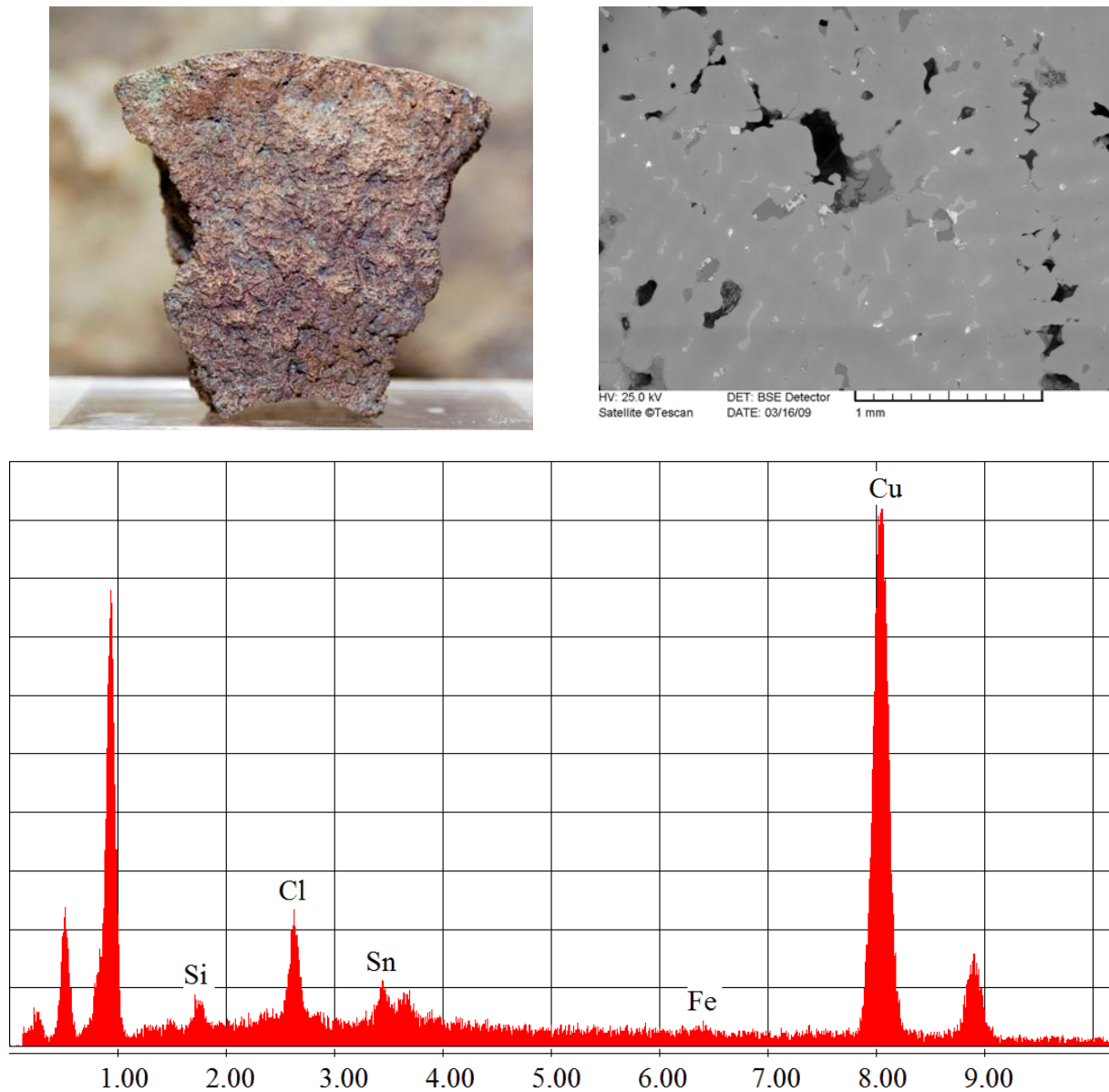
12. ábra. A vizsgált, valószínűleg felrobbant ágyú töredéke (a), mikroszkópi felvétel (b), az átlagos összetétel elemzés energia spektruma (c)

Fig. 12.: The examined part of the probably exploded cannon (a), a micrograph (b) and the energy spectrum of the EDX analysis (c)

A jelentős mennyiségű ólom azonban figyelmet érdemel. Kísérő ásványból a kohósításnál számottevő ólom nem került az ötvözetbe, valószínűleg az ötvözet készítés során adagolták az ágyú anyagába. Az ólom nem elegyedik a rézzel, különálló alacsony olvadáspontú fázist alkotva jelenik meg az ötvözet mikroszerkezetében (12b ábra világos foltok). Az ágyú elsütésekor ezek a fázisok megolvadnak, így gyengítve az ágyú mechanikai szerkezetét, szélső esetben az ágyú felrobbanásához vezetve. Korabeli gazdasági viszonyokat rekonstruálva is-

meretes, hogy az ón ára emelkedett az ágyúöntő műhely működése során, valószínűleg költségesökentés végett került az ólom az ágyúba, ami az ágyú tönkremeneteléhez vezetett.

A másik ágyúcső töredék (13. ábra) egy az előzőtől különböző ágyú maradványa, hiszen az összetétele eléggé eltér az előző maradvány összetételétől ahhoz, hogy ne származhasson egy öntési – ötvözesi adagból (közel 1% az eltérés az ón és az antimon tartalomban).



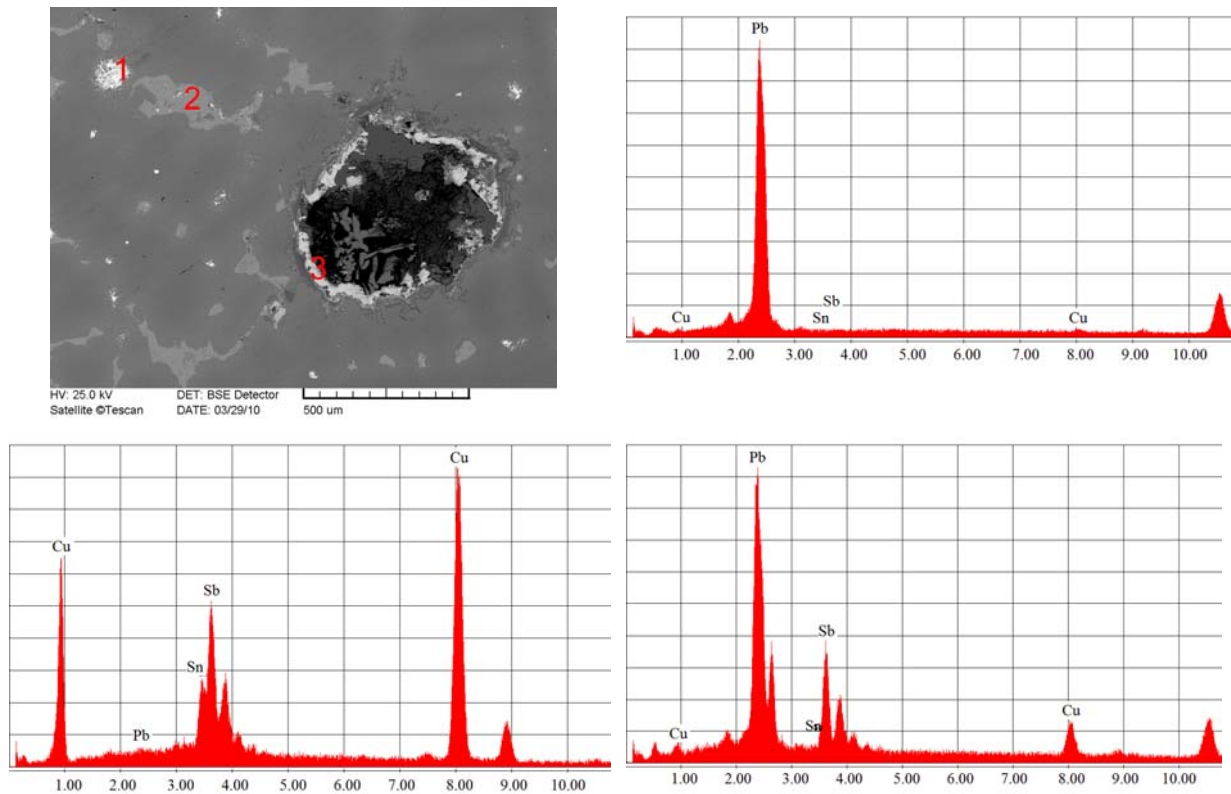
13. ábra. A második ágyú töredék fotója (a), a töredék mikroszerkezete (b), az átlagos összetétel elemzésének energia spektruma (c)

Fig. 13.: The part of the second examined cannon (a), the microstructure of this part (b) and the energy spectrum of the EDX analysis (c)

Ennek az ágyúnak az alapanyaga ugyancsak tömegszázalékos egységekben 5.73% ónt és 3.97% antimont tartalmaz a réz mellett. Összevetve a két ágyúcső összetételét megállapíthatjuk, hogy ha külön adagból származnak, akkor nincs nagy eltérés a két lelet összetétele között, főleg úgy, ha összeadjuk az előző lelet ón és ólom tartalmát. Ebből arra következtethetünk, hogy vagy helyben történt az ötvözetgyártás, vagy egy gyártótól vásárolták folyamatosan az alapanyagot. Az ötvözet gyártás ne-

hézségeit tekintve, a korabeli mérési lehetőségeket figyelembe véve nagyon fejlett ötvözet készítményt, metallurgiai szaktudást feltételez.

Az ágyú mikroszerkezetét tekintve (**13b ábra**) jól kivehető az öntött szerkezet, ahol ón- és antimon-dúsulás miatt kialakuló fázisok (világos területek) láthatóak a dendritágak között. Ez a jelenség a viszonylag nagy (jelenlegi technológiai adatoknak megfelelő) lehűlési sebességnek tudható be.



14. ábra. A 13. ábrán bemutatott ágyúcső maradvány nagyobb nagyítású felvétele (a) és lokális összetétel elemzések energiaspektrumai (b-d).

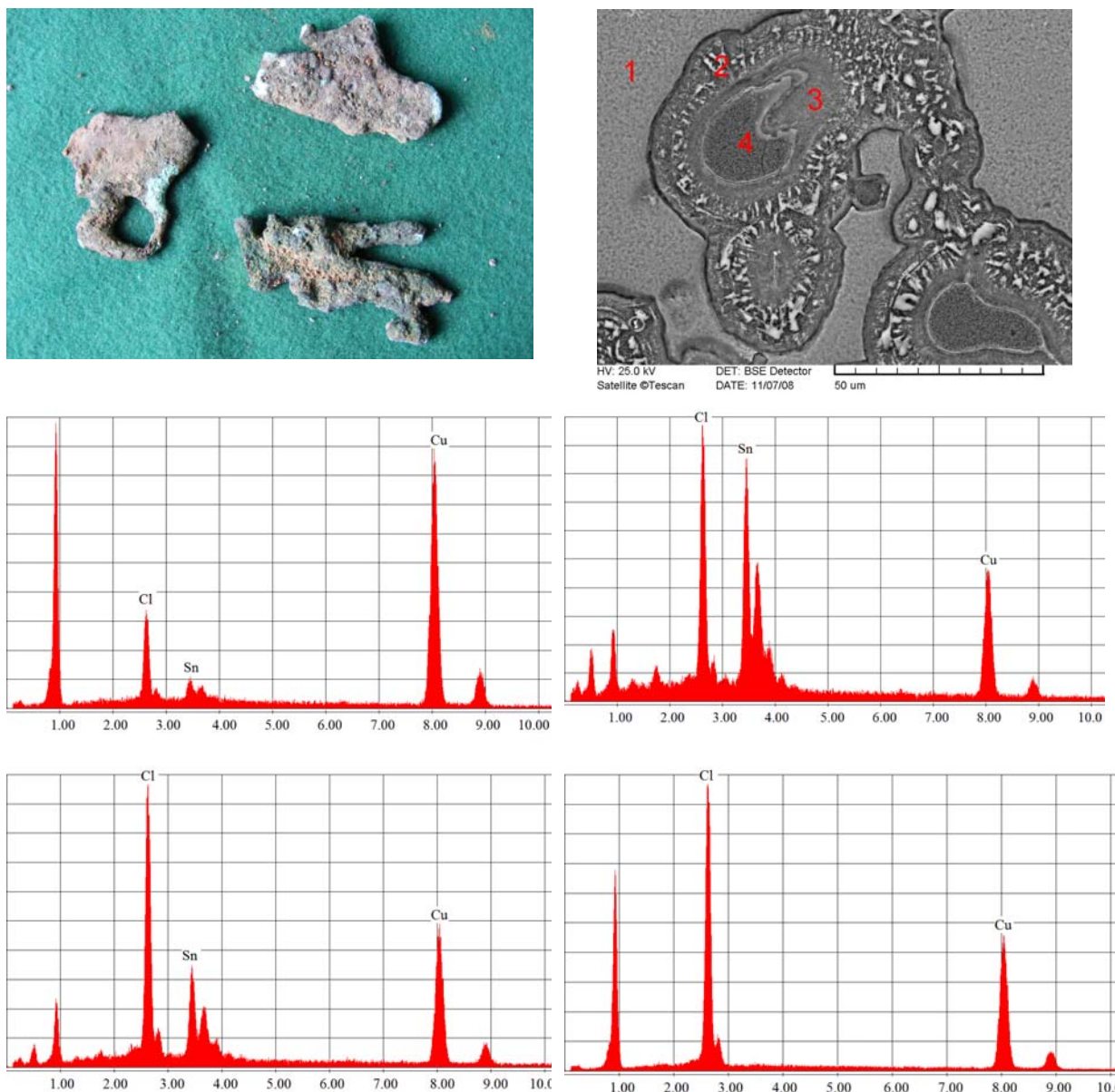
Fig.14. The microstructure of the cannon part introduced in Fig. 13. in higher magnification (a) and the energy spectrums of the local EDX analysis (b-d)

Erősebb nagyításban vizsgálva az ágyútöredéket (14. ábra) jobban láthatjuk, hogy a dendritágak között valóban az ón és az antimon dúsul. Ötvözetek gyors hűlésekor a kialakuló koncentrációk akár jelentős mértékben is eltérhetnek az egyensúlyi viszonyoktól (Verő-Káldor 1996). Ennek oka, hogy a diffúzió véges sebességgel megy végbe, és a gyors hűlés miatt nincs idő, hogy kiegyenlítse a szilárd fázisban a koncentráció különbségeket (Verhoeven 1975). Emiatt a dendritágak között található, a kristályosodás végén megszilárduló olvadék ötvözőben feldúsul, akár olyan mértékben, hogy vegyületfázisok jelennek meg (ASM International 2004). (14c ábra). Bár az átlagos összetétel elemzés nem mutatta ki, de ebben az ágyúcső anyagában is megtalálható az ólom (14b ábra.) ugyanolyan kis gömbszerű fázisban. A mennyisége azonban olyan alacsony, hogy az átlagos elemzésnél a kimutatható mennyiség határa alatt van. Ennek köszönhetően nem okozhatott zavart az ólom jelenléte ennek az ágyúnak a működése során. A 14a ábrán látható egy pórus, aminek a szélén ugyancsak feldúsult az

ólom (14d ábra). A pórus felületén megolvadó ólom nem gyengíti az ágyút, így az ezen a módon feldúsult ólom nem okoz problémát az ágyú működése közben.

Fémolvadék és salakmaradványok

Az öntési technológia során természetes, hogy fémolvadék cseppek képződnek, amikor a nagy hőmérsékletű olvadékot az olvasztótégelyből a formába öntjük. A korabeli technika nem teszi lehetővé a fémolvadék oxigéntől való tartós vagy teljes elzárását, ezért az oxidáció mindenképpen salakot képez, amit öntés előtt legalább megtörnek, de inkább eltávolítanak az olvadék felszínéről. (ASM International 1990, Casting gyűjteménye.) Az olvadék folyamatosan hűl az öntés közben, ami tapadványokat hoz létre az öntőtégely falán, alján. Ezek a leletek a történeti rekonstrukció számára nem olyan jelentősek, mint az ágyúmaradványok, de az ágyúöntés technológiájának leírásában nagyon sok értékes információt hordoznak.



15. ábra. Fémolvadék csepp és fröccsenés maradványok (a), ezek tipikus mikroszerkezete (b), a jelölt pontok lokális elemzéseinek energiaspektrumai (c-f).

Fig. 15.: Metal drop and splotch remains (a), a typical microstructure of the remains (b), and the energy spectrums of the local EDX analysis (c-f)

A vizsgálatuk így legalább akkora figyelmet kap műszaki szempontból, mint az ágyú töredékek vizsgálata. A korabeli metallurgiai eljárások, ötvöztetési műveletek és öntéstechnológiai eljárások árulkodó jeleit lelhetjük fel ezeknek a leleteknek a részletes vizsgálatából. Természetesen a vizsgálati eredményeket ki kell egészítse egy elméleti metallurgiai elemzés és rekonstrukciós munka, hogy teljes egészében kirajzolódjon előttünk a korabeli metallurgiai tevékenység. Az alábbiakban a

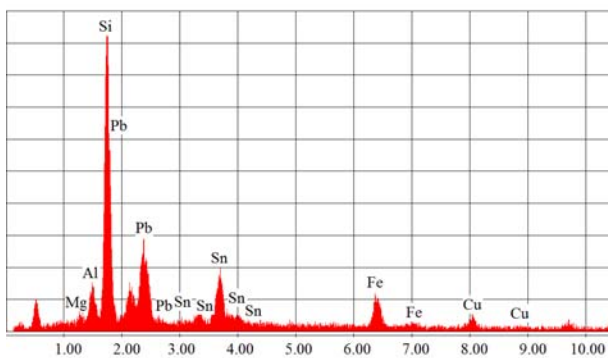
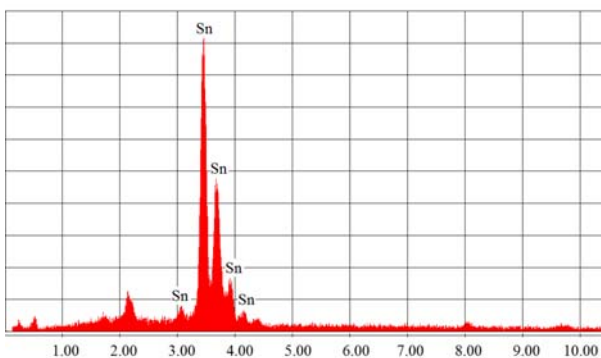
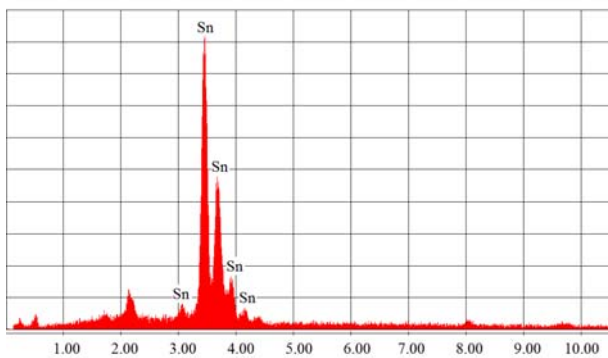
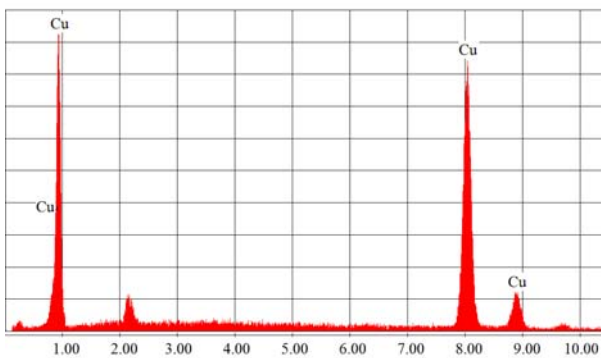
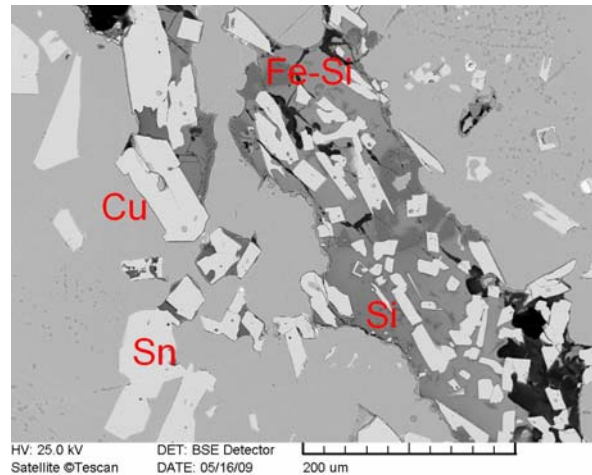
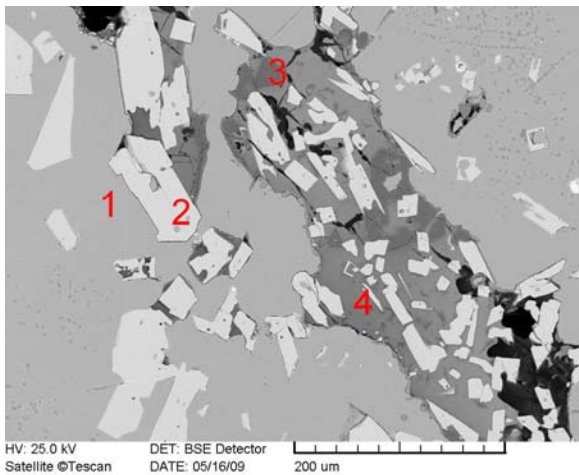
leletek eddigi vizsgálatának eredményeibe adunk bepillantást a következő ábrákon keresztül.

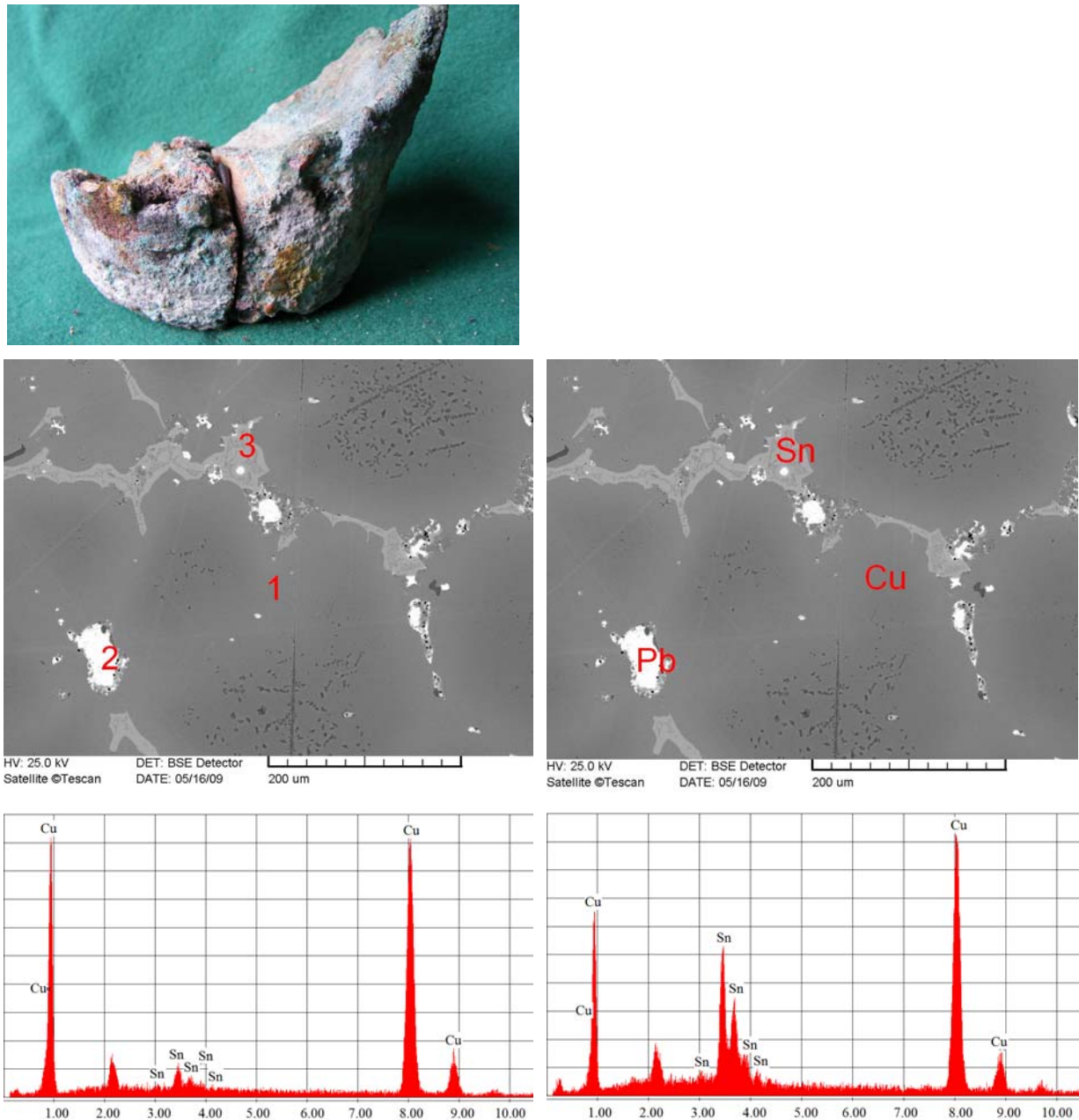
A fémolvadék maradványok cseppek és fröccsenések formájában maradtak meg a lelőhelyen. Az átlagos összetételüket tekintve az ágyúk anyagával egyező ötvözetet találunk. Jelenlegi elemzéseinkből látjuk, hogy részletes nagyszámú vizsgálatuk alapján a metallurgiai folyamatok fejlettségéről adnak majd tájékoztatást.



16. ábra. Salakos fémolvadék maradvány (a), A mikroszerkezetéről készült felvételek (b,c) és a lokális elemzéseinek energiaspektrumai (d-g).

Fig. 16.: A metal drop remain with slag (a), the micro-structure of the drop (b,c), and the energy spectrums of the local EDX analysis (d-g)





17. ábra. Az öntőtégelyben maradt fémcsepp (a) mikroszerkezete (b, c) és a 2 illetve 3 számmal jelölt pontok lokális elemzésének energia spektrumai (d, e)

Fig. 17.: Metal remains in the casting jar (a), the microstructure of this metal (b,c), the energy spectrums of the local EDX analysis of the points signed 2 (c) and 3 (d)

A mikroszerkezetben látható érdekes szöveti elemekről bebizonyosodott, hogy kloridos só kiválásával állunk szembe, nem az ötvözet szerkezetével. Ebből látható, hogy a felület elemzése téves eredményeket adhat, mindenképpen szükséges a leletek mintavételezéses belső részeinek elemzése.

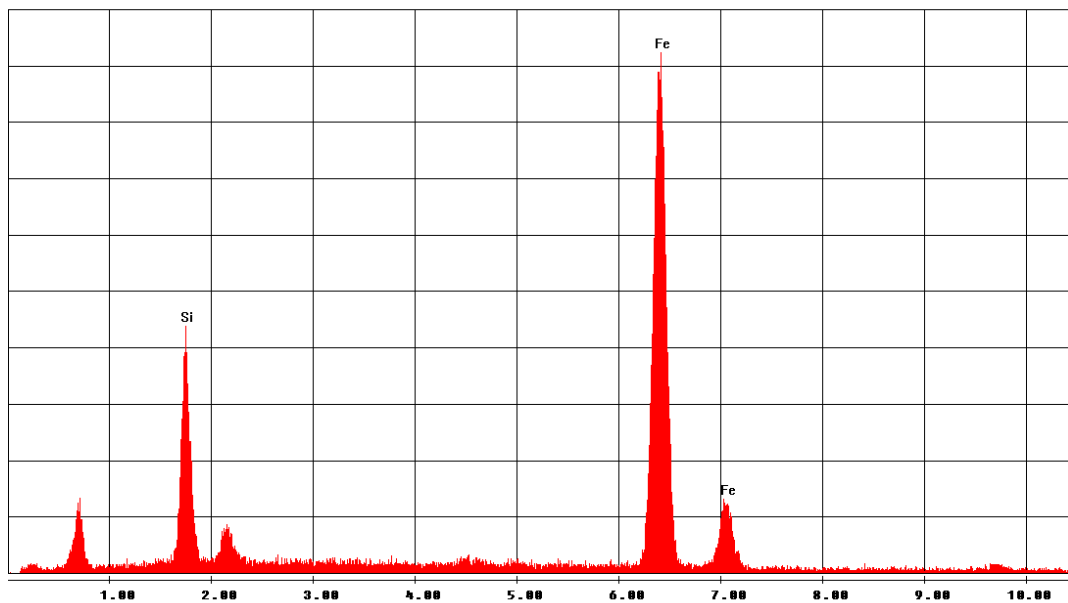
A **16. ábrán** látható mintát salakmaradványnak véltük a leletek kategorizálása során. A mikroszerkezet vizsgálatakor a jelentős vas és szilícium tartalmú

(**16c ábra**) területeken valószínűleg a falazat vagy az olvasztótégely anyagának maradványait láthatjuk. Érdekes eredmény, hogy az alapanyag réz alig tartalmaz ötvöző elemet és az ón külön fázisban foglal helyet. A réz nagy mennyiségű önt képes oldani. (ASM International 1990 Alloy Phase Diagrams gyűjteményben látható az ón – réz egyensúlyi fázisdiagram (769. o). A szerzők 520°C-on 15,8 tömeg% oldott önt jelölnek meg az ötvözetrendszerben).



D:\2009\RINGER\1\200905\1\GSZELV\1\G5-1.spc

Label A: G szelvény 5s minta szurke fem



18. ábra. Vas-szilícium ötvözet darab (a) mikroszerkezete (b) és átlagos összetételének elemzése (c).

Fig. 18.: Iron-silicon alloy piece (a), the microstructure (b) and the EDX spectrum of the average composition (c) of this piece.

Az ón olvadáspontja jóval kisebb, mint a réz olvadáspontja, így a bronz készítésénél a réz gyorsan magába oldja a hozzáadagolt ónt. Ezt a két hatást figyelembe véve magában az ötvözetben ilyen szerkezetet nem láthatunk, így az ötvözetkészítés jelére bukkantunk ebben az érdekes szerkezetben.

A leletek között találtunk egy öntőtégely maradványt, amiben megszilárdult olvadék maradt. A vizsgálat során elsősorban a megszilárdult olvadék vizsgálatára koncentráltunk (17. ábra). Mind az összetétel, mind a mikroszerkezet vizsgálatok hasonló eredményeket kaptunk, mint a felrobban ágyú töredékének vizsgálatok (12. ábra). Megtaláljuk

az ón dúsulását a dendritágak határán, és apró gömbszerű fázisban találjuk az ólmot. Jól megfigyelhető, hogy leginkább az ón dúsulás környezetében helyezkedik el az ólom. Ennek két oka van. Az egyik: alacsony olvadáspontja miatt az utoljára megszilárduló szövetelemben foglal helyet. Az ólom egyáltalán nem oldódik a rézben, amíg az ón és az ólom jelentékeny mennyiséget képes oldani egymásból szilárd állapotban is.

A 18. ábrán bemutatott lelet első csoportosítás során az ötvöző – előötvözet csoportba került, de az összetétel elemzés kimutatta, hogy vas-szilícium ötvözet. Az alakján is látható, hogy részlegesen

vagy egészében megolvasztották, majd megszilárdulva nyerte a végleges formáját. Összetételét tekintve szokatlan egy bronz feldolgozással foglalkozó műhelyben. A szilícium jelentősen csökkenti a vas olvadáspontját, és ekkora szilícium tartalmú ötvözetet akár fel is tudtak dolgozni a bronz olvasztására alkalmazott technikával. Ebből következtethetünk arra, hogy az ágyúöntés során felhasznált vas alapú segédanyagokat a műhelyben állíthatták elő. Ennek a hipotézisnek az igazolására további vizsgálatokat tervezünk elvégezni.

Összegzés

A Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma 2006 nyarán ásatást kezdett a sárospataki külső vár délnyugati sarkában, hogy felszínre hozza és dokumentálja az itt lévő ágyúöntő műhely maradványait. A leletek és a korabeli dokumentumok alapján rekonstruálni lehet a műhelyben végzett technológiai lépéseket. A feltárás során nagyszámú lelet került napvilágra, amelynek műszeres vizsgálata alapján pontosabb képet kaphatunk a műhelyben végzett metallurgiai, ötvözetkészítési technológiáról. Első lépésben a fémes leletek közül választottunk ki néhányat, hogy megismerjük a nyerhető ismeretanyagot. Vizsgáltunk ágyú maradványokat, megszilárdult olvadékcseppeket és fröccsenéseket, salakmaradványokat. Vizsgáltuk a leletek átlagos és lokális összetételét és mikroszerkezetét. Megállapítottuk, hogy elegendő ismeretanyag szerezhető az ötvözetekről, a metallurgiai folyamatokról és az ötvözetek megszilárdulásáról, hogy pontosabban rekonstruálni tudjuk az ágyúöntő műhelyben végzett munkát.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a feltárás konzulenseinek, Jósvainé Dankó Katalinnak és Benkő Eleknek a feltárás során tett észrevételeikért és tanácsaikért.

Köszönettel tartozom Belényesy Károlynak, hogy részletes feldolgozás alatt álló kutatási eredményeit megosztotta velem, s hasznos tanácsokkal segít munkám során.

Tanulmányunk a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010 projekt keretében készült.

Felhasznált irodalom

ASM International (1990): *Metals Handbook* **3**, Alloy Phase Diagrams, ASM International 724–775.

ASM International (1990): *Metals Handbook* **15**, Casting, ASM International 3–304.

ASM International (2004): *Metals Handbook* **9**, Metallography and Microstructures, ASM International 1831–1872.

BELÉNYESY K. (2008): A 15-16. század fordulóján Budán működött királyi ágyúöntő műhely régé-

szeti hagyatéka. In: *Hunyadi Mátyás, a király. Hagyomány és megújulás a királyi udvarban 1458-1490. Kiállítási katalógus*, Budapest. 348–350.

DAVENPORT et al. (2002): Davenport, W.G., King, M., Schlessinger, M., Biswas, A.K., *Extractive Metallurgy of Copper*. Pergamon Press, Kidlington, Oxford 57–71.

De BEER, C. (1991): The Art of Gunfounding. The Casting of Bronze Canon in Late 18th Century. In: Boudriot, J., Publications in Rotherfield, East Sussex, England

DÉTSZHY M. (1971): A sárospataki ágyúöntőház története. *Technikatörténeti Szemle 1968-1970 V/1-2* 69–115.

DÉTSZHY M. (2002): Sárospatak vára. *A Sárospataki Rákóczi Múzeum füzetek* **43**. Sárospatak,

DOLLECZEK A. (1884): *Geschichte der Österreichischen Artillerie*. Wien, 1884.

HURSÁN L. (2006): Jelentés a sárospataki várkertben végzett geofizikai mérésekről. 2006. *Kézirat*. MNM Rákóczi Múzeumának Adattára, Sárospatak.

JACKSON, M.H. & de BEER, C. (1973): *Eighteenth Century Gunfounding. The Verbruggens at the Royal Brass Foundry, a Chapter in the History of Technology*. Washington, Smithsonian Institution Press.

KÉKESI et al. (1990): Kékési T., Pásztor G., Szepessy A, *Színesfémek metallurgiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 80–170.

KOVÁCS A. (2007): „Farkas az én nevem...” A gyulafehérvári fejedelmi fegyvertár és ágyúöntés kezdeteinek történetéhez. In: *Dolgozatok az Erdélyi Múzeum Érem- és Régiségtárából*. Új sorozat II. (XII. kötet) 157–172.

MAKKAI L. (1954): I. Rákóczi György tüzérségének történetéhez. *Hadtörténelmi Közlemények* **2** 110–135.

MIETHEN, M. (1683): *Artillerie Recentior Praxis Oder Neuere Geschützbeschreibung Worinnen Von allen vornehmsten Hauptpuncten der Artillerie Gründlich und ausführlich behandelt, solches auch mit vielen Kupfferstücken erklaret wird*. Frankfurt und Leipzig.

SAINT-REMY (1707): *Saint-Remy Mémoires d'Artillerie ou il est traité des Mortiers, Petards, Arquebuses a Croc, Mousquets, Fusils etc*. Par le St. Surivey de Saint Remy.

SMITH, C.S., & GNUDI, M. T. (ford.) (1959): *The Pirotechnia of Vannoccio Biringuccio*. Cambridge, Mass, 1959.

SZENDREI J. (1891): A sárospataki és gyulafehérvári ágyúöntőházak a XVII. Században I. Rákóczi

György idejében. *Hadtörténelmi Közlemények* **4** 116–127.

SZILÁGYI S. (1888): Adalékok két tüzérszertár történetéhez I. Rákóczi György idejében. *Hadtörténelmi Közlemények* **I.** (1888). 177–185.

VERHOEVEN J. (1975): *Fundamentals of Physical Metallurgy*, Wiley & Sons, New York 137–168.

VERŐ J. & KÁLDOR M. (1996): *Fémtan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 213–284.

KÖZLEMÉNYEK



5. Petroarcheológiai Szeminárium

2011. november 24, Brno

A brnoi Masaryk Egyetem, közelebről, Antonin Prichystal szervezésében megrendezésre került a nagy múltú Petroarcheológiai Szeminárium ötödik konferenciája.

A rendezvénysorozat Brno-ból indult útjára, J. Stelcl és J. Malina munkásságának folyományaként 1975-ben. A következő találkozókra eleinte gyakrabban, majd ritkábban került sor (1980: Wrocław, 1984: Plovdiv, 1994: Potsdam), amelyek közül az első 3 anyaga meg is jelent. A magyar kutatás a sorozatba a plovdivi találkozón kapcsolódott be, ahol megismerhettük a jelenlegi konferencia szervezőjét is.

A jelenlegi rendezvény alapvetően az ő oktatói, szakemberi munkásságának eredménye. Irigylésre méltóan sok fiatal szakember magas színvonalú tudományos produktumainak lehettünk tanúi, ami alapvetően a Masaryk Egyetem földtani tanszékének oktatói és kutatói tevékenységéhez kötődik. A nemzetközi részvétel elsősorban Közép-Európára terjedt ki (német, osztrák, szlovák, magyar és román kollégák vettek részt az eseményen); földrajzilag azonban az érintett témák

jóval túlmutattak ezen a körön is. A vizsgált minták, lelőhelyek köre kiterjedt a közel-kelet (Szíria, Törökország), Dél-Amerika, Afrika (Szudán) archeometriai / petroarcheológiai problémáira. A középpontban azonban, természetesen, a számunkra különösen fontos Közép-európai területek, kérdések álltak.

Módszertanilag, a legtöbb tanulmány közettani-geokémiai alapon álló inter- és multidiszciplináris tanulmány. Ebben szerencsés módon közrejátszott a Masaryk Egyetem műszeres vizsgálati lehetőségeinek fejlesztése, például a közelmúltban beüzemelt LA-ICP-MS laboratórium.

Kritikai észrevételként lehet megfogalmazni, hogy a konferencián nagyon kevés régészt/történészt láttam a hazai közönség soraiban – egyikük éppen a régészek értetlenségén kesergett. Az együttműködés nem könnyű műfaj, a közös gondolkodás alapjait meg kell teremteni, a kommunikáció megkönnyítésével, a szaknyelv, szakismeret megosztásával. A műszeres vizsgálatok eredményeit csak így lehet a társadalomtudományok „vérkeringésébe” bekapcsolni.

Remélhetőleg a konferencia előadásait hamarosan nyomtatásban is viszontláthatjuk.

Irodalom

KANCHEV, K. ed. (1984): Proceedings of the 3rd International Seminar in Petroarchaeology Plovdiv 31-44.

MAJEROWICZ, A. (2003): Petroarcheological studies of selected sets of stony artefacts in the department of mineralogy and petrology (University of Wrocław) in the period 1954-2002. Polskie Towarzystwo Mineralogiczne – Prace Specjalne Mineralogical Society of Poland – Special papers 22 155-158.

T. Biró Katalin

Magyar Nemzeti Múzeum

Az Archeometriai Műhely 2011 VIII. évfolyam 1-4 számainak lektorai voltak:

*

Antoni Judit, MNM Nemzeti Örökségvédelmi
Központ

Bánffy Eszter, MTA Régészeti Intézete

Bárány Annamária, Magyar Nemzeti Múzeum

Bartosiewicz László, MTA-ELTE Interdiszciplináris
Régészettudományi Kutatócsoport

Belényesy Károly, régész, örökségvédelmi szakértő

Csiky Gergely, MTA Régészeti Intézete

Dévényi László, Budapesti Műszaki Egyetem

Dobosi Viola, Magyar Nemzeti Múzeum

Domokos Tamás, Békéscsaba

Dúzs Krisztina, Magyar Nemzeti Múzeum

Feld István, ELTE BTK Régészettudományi Intézet

Fűkőh Levente, Mátra Múzeum

Gatter István, ELTE Ásványtani Tanszék

Gácsi Zoltán, Miskolci Egyetem

Gherdán Katalin, MTA-ELTE Interdiszciplináris
Régészettudományi Kutatócsoport, ELTE Közettan-
Geokémiai Tanszék

Gömöri János, Soproni Múzeum

Gulyás Sándor, Szegedi Tudományegyetem

Hajnal Zsuzsa, Magyar Nemzeti Múzeum

Havancsák Izabella, MTA Geokémiai Kutatóintézete

Horváth Tünde, MTA Régészeti Intézete

Ilon Gábor, MNM Nemzeti Örökségvédelmi Központ

Józsa Sándor, ELTE Közettan-Geokémiai Tanszék

Kasztovszky Zsolt, MTA Izotópkutató Intézete

Kiss Viktória, MTA Régészeti Intézete

Költő László, Somogy Megyei Múzeumok
Igazgatósága

Kreiter Attila, MNM Nemzeti Örökségvédelmi
Központ

Kristály Ferenc, Miskolci Egyetem

Lencz Balázs, Magyar Nemzeti Múzeum

Lengyel György, Miskolci Egyetem

Medzihradzky Zsófia, Magyar Természettudományi
Múzeum

Molnár Dávid, Szegedi Tudományegyetem

P. Fischl Klára, Miskolci Egyetem

Péterdi Bálint, Magyar Állami Földtani Intézet

Redő Ferenc, MTA Régészeti Intézete

Ringer Árpád, Miskolci Egyetem

Sajó István, MTA Kémiai Kutatóintézete

Sümegei Pál, Szegedi Tudományegyetem

Szakáll Sándor, Miskolci Egyetem

Szakmány György, ELTE Közettan-Geokémiai Tanszék

Szathmári Ildikó, Magyar Nemzeti Múzeum

Tankó Károly, MTA-ELTE Interdiszciplináris
Régészettudományi Kutatócsoport

Tomka Gábor, Magyar Nemzeti Múzeum

Tóth Endre, Magyar Nemzeti Múzeum

Tóth Erzsébet, ELTE Ásványtani Tanszék

Tóth Mária, MTA Geokémiai Kutatóintézete

Török Béla, Miskolci Egyetem

Újvári Gábor, MTA Geodéziai és Geofizikai
Kutatóintézete

Vaday Andrea, MTA Régészeti Intézete