

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: archo.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 közlésre.

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, fémagot 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. 3 2011 februárjában microPIXE mérést végeztünk az ATOMKI debreceni laborjában, 6 tárgy elemtérképeit vettük fel, egy tárgyat SEM-EDX-szel (páztázó 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

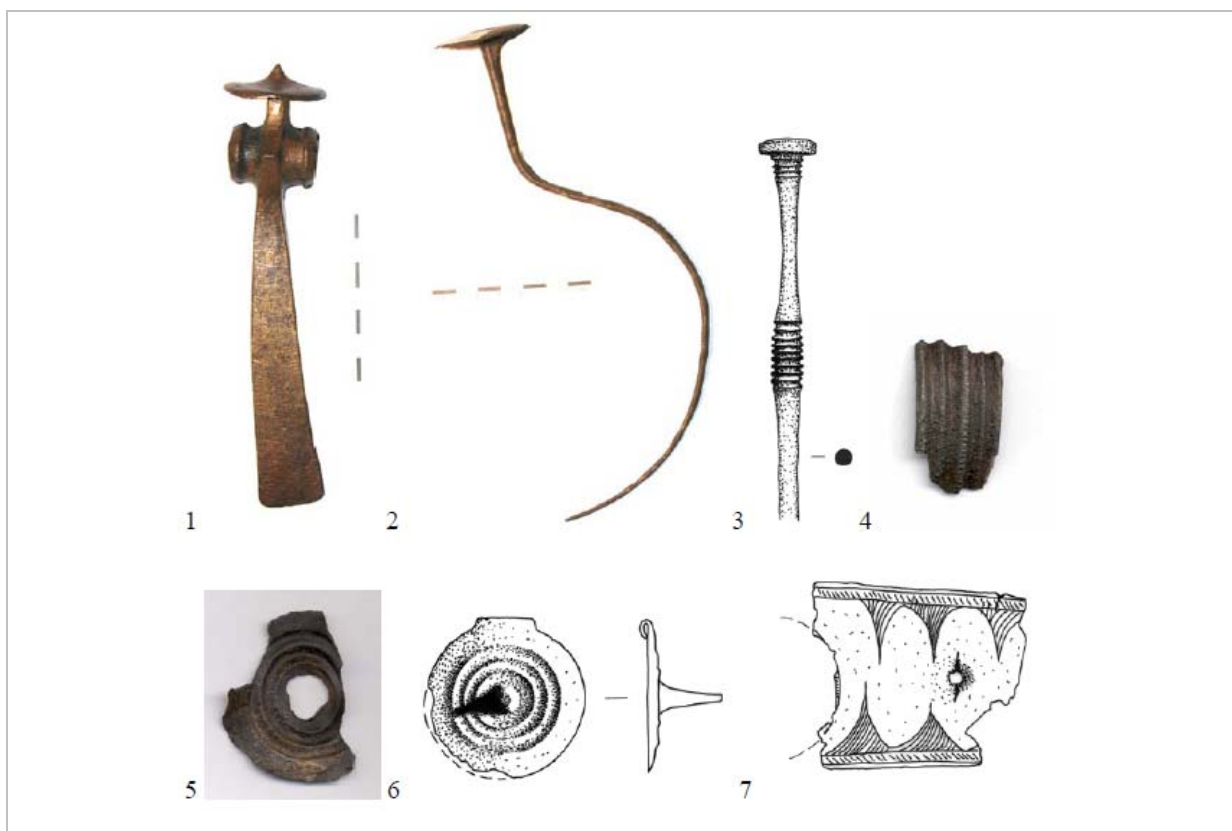
A leletek Csongrád megyében, elsősorban Szeged környékén előkerült, a Halomsíros- és Vátya-kultúrák temetőinek mellékletei, egy részük közöletlen (1. táblázat, Tömörkény 1902, 1903, Foltiny 1957, Trogmayer 1975, Sánta 2004a-b).

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, Vátya-kultúrához 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-szentégláégetői 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).

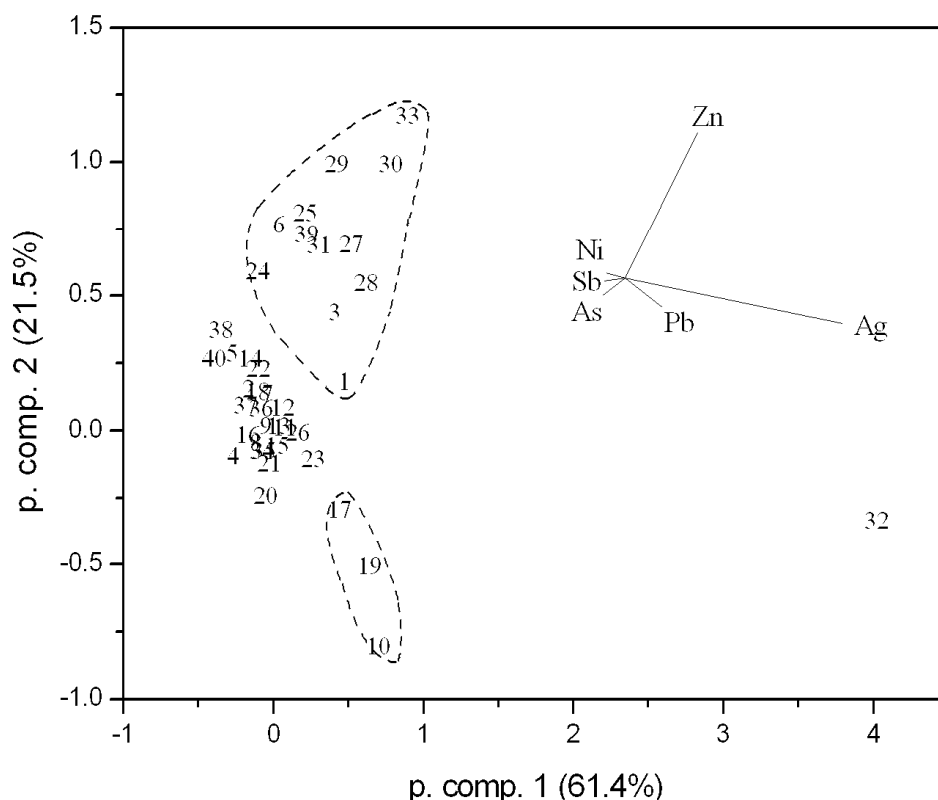


1. ábra: Válogatás a 2010-2011-ben vizsgált tárgyak közül.

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 lemezkarpercec töredéke, Röske-Sárosvölgy, 128/1885/18/3. 5. Tüskés-körbordás tutulus, Szeged-Bogárzó, 15. sir, 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, Bogárzó-B, Ásotthalom-Bilisics) az egyes leletei tartoznak ide, melyek már a korszideri 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 (korszideri korú, korai Halomsíros) szakaszban más lehetett a fémek beszerzési területe.

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

származók (ltsz. 65.1.409, 65.1.578), valamint egy zánkányszéki felszíni szórvány (zakany-04). A vizsgált időkereteken belül csak a középső Halomsíros-kultúra leletei közt található, ritka bronztípus. A késő bronzkor későbbi szakaszaiban az ólommal 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-Bogárczó 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-Bogárczó B, Grave 15	dasni
53.25.9	pendant fragment	Szeged-Bogárczó 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-dűlő	AsNi
53.61.2	bracelet	Kiskundorozsma-Átokháza-dűlő	AsNi
53.61.3	bronze belt fragm.	Kiskundorozsma-Átokháza-dűlő	ASN
53.61.4	bracelet	Kiskundorozsma-Átokháza-dűlő	ASN
53.61.6	bracelet fragment	Kiskundorozsma-Átokháza-dűlő	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 ásatthalmi 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/Ostalpin Kupfer csoportba sorolták. A stuttgarti törzsfán (Jungmans 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.

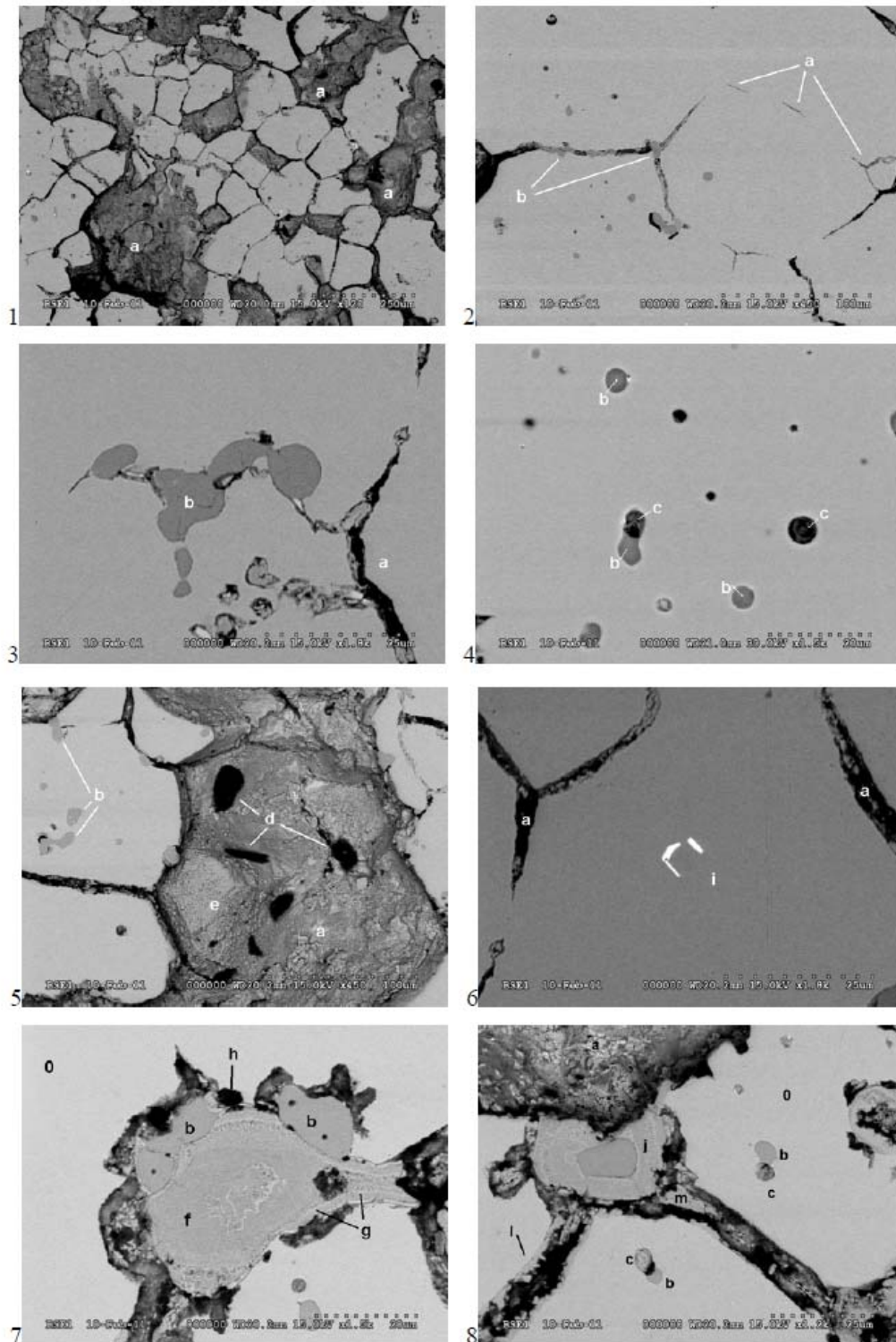
Elektronmikroszkópos vizsgálatok

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 elvágtuk és SEM-EDX módszerrel,

elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. A tárgy egy ötbordás 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).

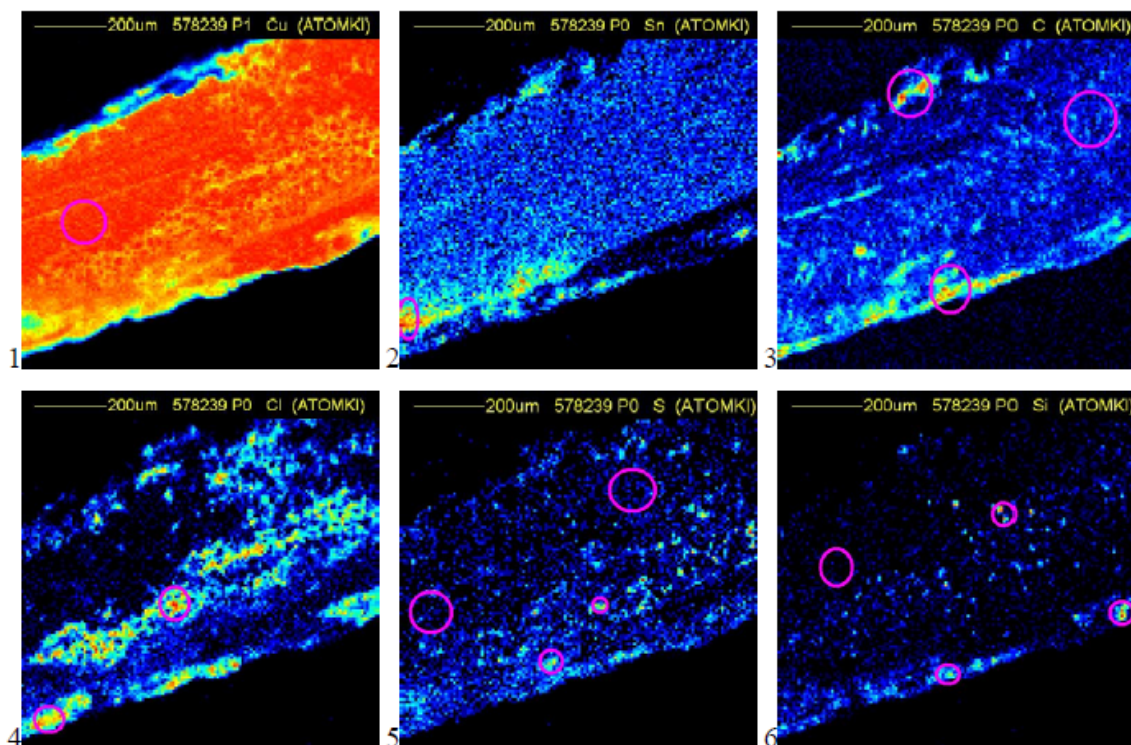
Az elektronmikroszkópos vizsgálatokat Dr. Daróczy Lajos végezte az ATOMKI elektronmikroszkóplaborjában. A 3 mm-es szemcsét, mely egy nagyobb karperec-töredék széléről tört le, elektromos szikravágóval kettévágta és a beágyazott darabokat polírozta. Az elektronmikroszkópos felvételeket a 3. ábrán láthatjuk. 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 amorf 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). Néhál 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 ruhadisz 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 fém tárgyak archeometallurgiai vizsgálatára a SEM-EDX bizonyult a leghasznosabbnak, ez adta a legtöbb adatot a készítés technológiájáról.

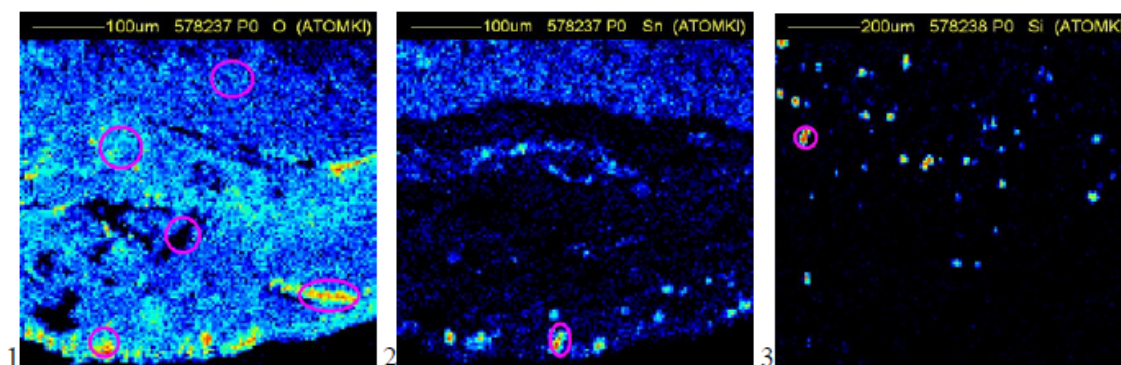
MicroPIXE vizsgálatok

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 maggal 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 minta-előkészítéssel (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: Röske-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 Röske-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.

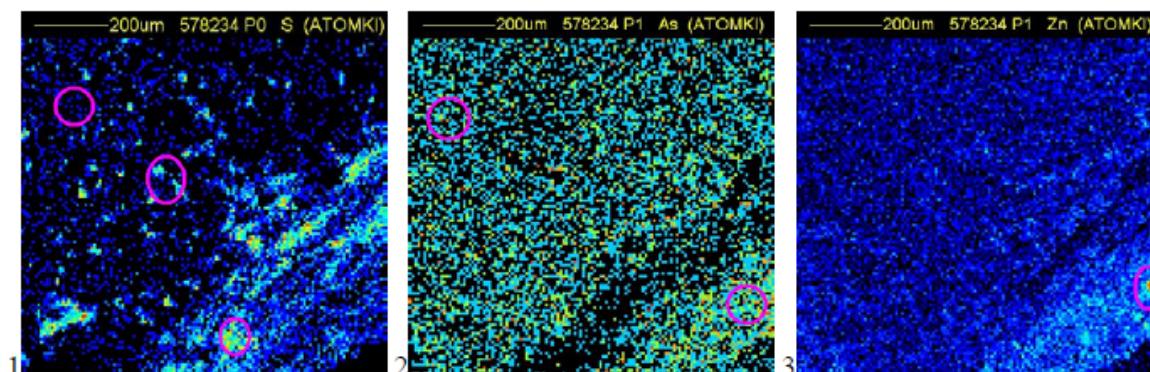
A tárgyak pereme mentén egy esetben As és Zn dúsulást mértünk, mely azonban nem volt jelentős, ez a dúsulás egy nagyságrendet nem haladott meg (**6. ábra 2-3**).

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 bányaként 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 rézérceket, 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 érceket használtak.



6. ábra: Röske-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 Röske-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, metasztatikus-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 rézérce, és más (rézércekhez 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 metasztatikus 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 fém 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 kozideri 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 (Trampuș-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 önhoz hasonlóan viselkedő, ötvöző anyagok használatára is.

A Maros menti út fontosságára utalnak bizonyos leletek, így a marosvásárhelyi sírlelet és a mezőszámsondi (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 rézércről. 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 bányásztól nem sokban különbözhetett. Megfelelő szerszámokkal, így 3 féle tömegű kőalapácsokkal (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, őrlték, 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 faszénen 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 fajoként 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, fakóérceket, 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 ötvöztetés is. Ötvöztetőanyag – 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 Montană, 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 (Stadtschlaining, A) és környékén bányásztak nagyobb tömegben (Gimesi 1994, 9-10). Ezeknek az ásványait a rézércektől eltérő színük, keménységük, kristályformájuk, hasadásuk és különféle színű oxidációs bekérgezéseik alapján különítették el:

A szürke galenit (ólm-szulfid), kocka alakban kristályosodik, ilyen a hasadása is (hasonló színű a fakóérc, de az nem hasad), az antimonit (antimon-szulfid) színében a galenithez hasonlít, de tűsoszlopos, hosszában hasadó kristályokat alkot, a kassziterit (ón-dioxid) kemény, nagy faj súlyú és sötét színű, ezt torlatokból mosták (Plinius 2001, Nat. Hist. XXXIV. 157.). Ezek – nem mellékesen – a bronzkori bányászok és féművesek 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 fakóércnek 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, feketeréz) 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 Érchegegyéből szerezhettek be távolsági kereskedelem útján. Ez a távolsági kereskedelmi rendszer, tehát maga az ón nagy szerepet játszott mind a korszaki időszak egységesen jellegzetes féművességének 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 (Szőreg-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, tűk 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 épp 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 tárgyakról a leveles, zöld színű réteget a restauráláskor 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 szénhidrogénés átitatás (paraffin) hatásának tulajdonítható.

4. A tárgyak felszínén csak egy esetben, foltszerűen és vékony (néhány 10 mikron vastag) rétegben tudtunk 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 mikrofúrásos 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 fémelemzések 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 nikkel együttes jelenléte, melyekre új magyarázatként a gersdorffittal 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/Ostalpines 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 rézoldvasztási és ötvözési 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 ljubljanai 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 repertórium* I. Őskor. – *Thesaurus Antiquitatum Transsilvanicarum* Tom. I. Praehistorica. Kolozsvár 1-368.

SÁNTA, G. (2004a): Sánta G.: A halomsíros kultúra leletei Zákányszék határában. *MFME-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 Bergbauggebiet 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 különbsége – 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.