

DÉL-ALFÖLDI KOSZIDERI ÉS HALOMSÍROS BRONZTÁRGYAK ELEMZÉSI ADATAINAK ÚJRAÉRTÉKELÉSE

RE-EVALUATION OF METAL ANALYSES OF KOSZIDER PERIOD AND TUMULUS CULTURE BRONZE OBJECTS FROM THE SOUTHERN GREAT PLAIN (SE HUNGARY)*

SÁNTA, Gábor¹ & ŠMIT, Žiga² 

¹régész, Göd

²Faculty of Mathematics and Physics, University of Ljubljana, and Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Szlovénia

E-mail: saga21enator@gmail.com

Abstract

In 2010–2011, an archaeometallurgical project took place in the University of Szeged, cooperation with the Jožef Stefan Institute (Ljubljana, Slovenia) and the Institute for Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences (MTA ATOMKI, Debrecen, Hungary), with the support of the CHARISMA/SPIRIT grant of the European Union. The results of measurements carried out at the Jožef Stefan Institute in Ljubljana and ATOMKI, as well as their interpretation, were published in Hungarian and English (Sánta 2011, Sánta 2013, Šmit 2015). Since then, there has been significant methodological progress and an expansion of source material on the topic, so the reinterpretation of the results has become important.

The copper raw materials of the 39 examined Bronze Age objects (Figs. 1–2.) are containing As, Sb, Ni, and Ag (Appendix 1). This set was divided into groups using primary component analysis. We were able to separate three groups among them: a group with an average composition (Group 1–1a), a group rich in zinc (Group 2), and a group rich in lead (Group 3, Fig. 3.). The tin content of the objects varies between 4–20 wt%, with an average of 10 wt% (Fig. 4.).

Trace element (As, Sb, Ag, Ni) ratios of the examined objects were calculated, and projected onto diagrams of recent literature with the same logarithmic scaling. On the key Ag/Ni diagram, the objects are clearly separated from objects of Mitterberg origin and overlap with the Ag/Ni ratios of ore samples, copper and bronze objects known from the Hron Valley in Slovakia and Trento region in northern Italy (Figs. 6. and 11.).

We compared our results with other metal analysis data of the Hajdúsámson–Apa-type finds and Koszider period metals. Among the researchers of the topic, a consensus is beginning to emerge on the intensive Carpathian Basin Early and Middle Bronze Age (until the end of Reinecke Br. A and the beginning of B) mining of the Hron Valley ore deposits, from which most of the metal material of the Northern Bronze Age comes. This presupposes a wide-ranging system of relationships in which some communities of the Carpathian Basin could play a mediating role. Around 1600 BC mining and using of the Mitterberg ores, from which purer and better-quality copper can be smelted, became more important and started to dominate the metal supply of Central Europe until the end of Reinecke Br. D. Our data show that the Tumulus Culture of the Southern Great Plain in Hungary used copper raw material from the Hron Valley and possibly from northern Italy (Trentino) within the investigated period, or possibly some mixture of copper of various origin was used.

An early Tumulus culture (B/B1–2) metalwork tradition producing zinc-rich bronzes can also be interpreted as evidence the use of zinc-rich ores and advanced metalworking.

Kivonat

2010–2011-ben zajlott archeometallurgiai projektünk a Szegedi Tudományegyetem, a Jožef Stefan Institute (Ljubljana, Szlovénia) és az MTA Atommagkutató Intézet (MTA ATOMKI, Debrecen) együttműködésében, az Európai Unió CHARISMA/SPIRIT pályázatának támogatásával. A Jožef Stefan Institute-ban (Ljubljana, Szlovénia) és az ATOMKI-ban (Debrecen) végzett mérési eredményeket, valamint interpretációjukat magyar és

* How to cite this paper: SÁNTA, G. & ŠMIT, Ž., (2024): Dél-alföldi koszideri és halomsíros bronztárgyak elemzési adatainak újraértékelése / Re-evaluation of metal analyses of Koszider period and Tumulus culture bronze objects from the Southern Great Plain (SE Hungary) [in Hungarian with English abstract], *Archeometriai Műhely* XXI/4 395–422.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2024-031](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-031)

angol nyelven publikáltuk (Sánta 2011, Sánta 2013, Šmit 2015). Időközben a jelentős módszertani előrehaladás és forrásanyag-bővülés miatt időszerré vált az eredmények újraértelmezése.

A 39 db vizsgált bronzkori tárgy alapanyaga As, Sb, Ni, Ag-tartalmú réz (**1. melléklet**). Ezt a halmazt főkomponens-analízissel csoportokra bontottuk. Három csoportot és egy alcsoportot tudunk elkülöníteni köztük: egy átlagos összetételű (1-1a.), egy cinkben (2.), és egy ólomban dús (3.) csoportot (**3. ábra**). A tárgyak óntartalma kb. 4-20 t% között változik, átlagosan 10 t% (**4. ábra**).

A vizsgált tárgyak bizonyos nyomelemeiből (As, Sb, Ag, Ni) képzett aránypárokat a friss szakirodalomban fellelhető azonos skálázású logaritmikus diagramokra vetítettük. A tárgyak a kulcsfontosságú Ag/Ni diagramon egyértelműen elkülönülnek a mitterbergi eredetű tárgytól, és átfedésben vannak a szlovákiai Garam-völgyből és az észak-itáliai Trento környékéről ismert ércminták, réz- és bronztárgyak Ag/Ni arányaival (**6. ábra**, **11. ábra**).

Eredményeinket a Hajdúsámson-Apa kör, és a koszideri időszak más fémlemezési adataival hasonlítottuk össze. A téma kutatói körében konszenzus kezd kialakulni a Garam-völgyi értelepek intenzív kora és középső bronzkori műveléséről, ahonnan az északi bronzkor fémanyaga is javarészt származik. A Trento környéki bányászat egyik fő periódusa a vizsgált korszakban indul és az egész késő bronzkorban jelentős, a nyersanyag a Közép-Balkánon, egészen Észak-Bácskáig jelen van. Ez széles körű kapcsolatrendszert tételez fel, amelyben a Kárpát-medencei közösségek közvetítő szerepet játszhattak. Kr. e. 1600 körül fontosabbá, ill. csaknem kizárólagossá válik a mitterbergi érc bányászata, amelyből tisztább, jobb minőségű réz kohósítható. Adataink alapján a Dél-Alföld Halomsíros kultúrája a vizsgált időszakon belül inkább Garam-völgyi, illetve talán észak-itáliai, vagy esetleg többféle réz nyersanyag keverékét használta.

A cinktartalmú ércekből, cinkben dús bronzokat készítő korai halomsíros (Reinecke Br. B1-2) műhelykör a fejlett fémművesség bizonyítékaként értelmezhető.

KEYWORDS: TRACE ELEMENTS, BRONZE, COPPER PROVENANCE, TUMULUS CULTURE, SE HUNGARY

KULCSSZAVAK: NYOMELEMEK, BRONZ, RÉZ SZÁRMAZÁSI TERÜLETE, HALOMSÍROS-KULTÚRA, DK-MAGYARORSZÁG

Bevezetés

2010-2011-ben zajlott archeometallurgiai projektünk a Szegedi Tudományegyetem, a Jožef Stefan Institute (Ljubljana, Szlovénia) és az MTA Atommagkutató Intézet (MTA ATOMKI, Debrecen) együttműködésében, az Európai Unió CHARISMA/SPIRIT pályázatának támogatásával. A ljubljanoi és az ATOMKI-ban végzett mérési eredményeket és interpretációjukat magyar és angol nyelven publikálta Sánta Gábor (Sánta 2011, Sánta 2013). A módszerekről és előzetes eredményekről Žiga Šmit írt (Šmit 2015). Ezekben a cikkekben a kutatás 2010-es állapota szerint, leginkább a 20. sz. második felében végzett stuttgarti mérések és azok különféle interpretációi (Liversage 1994, Krause 2003: Stuttgarter Datenbank) alapján csoportosítottuk a fémtárgyakat, és a nyomelemek koncentrációi alapján próbáltunk választ találni a fém nyersanyag származásának kérdésére. A tárgyak mikro-szerkezetének vizsgálata alapján a készítés technikára és a földbe kerülés óta történt elváltozások (oxidáció, restaurálás) természetére igyekeztem következtetni. A réz(érc) forrásterületét akkor nem sikerült megadni (Sánta 2011, 2013).

Azt követően a réz- és bronztárgyak archeometallurgiai elemzése továbbra is a régészeti kutatás fókuszában maradt, sőt, számos kutatási

projektből születtek áttörést jelentő publikációk (pl. Pernicka 2014, Radivojevic et al., 2018, Berger et al. 2022, Ling et al. 2023).

Ebben a cikkben részletesen bemutatjuk a vizsgálati módszereket, majd a nyomelem-tartalom alapján meghatározzuk a fémtípusokat és jellegzetességeiket. Választ keresünk a fémtípusok közti eltérésre, különösen a nagy cink- és ólomtartalomra. Összevetjük az egyazon sírból előkerült tárgyak összetételét, illetve hibahatáron belül azonos összetételű tárgyakat keresünk.

A cikk legfontosabb fejezete a forrásterület meghatározása, amelyet a nyomelemek arányainak dupla logaritmikus skálán való ábrázolásával, és ezeknek a publikált adatokkal való összehasonlításával végzünk, majd vázoljuk a további kutatási lehetőségeket.

Módszerek

A PIXE méréseket a Jožef Stefan Intézet Tandetron gyorsítóján végeztük, levegőben haladó 1 mm átmérőjű protonsugarat használva. A nyaláb nagyobb mérete jobb eredményt ad a tárgy átlagos összetételéről, mint egy igen szűk nyaláb, mivel a bronztárgyak nyersanyaga mikroszkopikus skálán inhomogén, benne ön- és ólomdús foltok (pl. térkitöltő fázisok) figyelhetők meg (Molnár 2008,

108, 7. ábra, Molnár et al. 2021, 63, 1-2. kép). Ezt a jelenséget mi is ki tudtuk mutatni, a réz, az ón eloszlása inhomogén volt, az ólom pedig apró, néhány mikrométeres foltokban jelentkezett (**5/a-c ábra**, Sánta 2011, 3-4. ábra).

A névleges protonenergia 3 MeV volt; azonban egy 8 μm -es kilépő alumínium ablakon és egy 1,2 cm-es légrésen való áthaladás után a tényleges energia 2,7 MeV volt. A röntgensugarakat 160 eV-os Si(Li) detektorral vizsgáltuk 5,89 eV-nál. A protonnyaláb és a detektor felé irányuló irány közötti szög 135° volt, de a mért objektumok mindkét irány között félúton voltak, így a protonbecsapódás és a röntgensugár kiindulási szöge $22,5^\circ$ volt a vízszintes tárgyfelülethez képest.

Az eltérő oxidáltságú tárgyak felületét néhány négyzetmilliméteres területen enyhén políroztuk a mérés előtt, hogy láthatóvá váljon az eredeti fémmag. Az 1 mm átmérőjű ionsugár erre a területre történő pontos irányításához lézermutatót és markeres kamerát használtunk. Az összes tárgynál a mért pontokon három mérést végeztünk egymás után: az egyik 5,7 cm-es légrés volt csak abszorber, egy másik 0,3 mm vastag alumínium fólia abszorberrel, a harmadik egy 15 μm -es kobaltfóliával, amely a rézből eredő röntgensugárzás szelektív abszorberként szolgált.

A mérési idő 400–800 s, a protonáram pedig néhány száz és néhány tized nA között változott. A 0,3 mm-es Al-fóliával végzett mérés jó érzékenységet biztosított a legtöbb réznél nehezebb elemnél, de nem tette lehetővé 0,5 t%-alatti vas kimutatását, mivel a K vonalai egybeesnek a réz vonalaival. A réznél könnyebb elemekre való érzékenységet ezután megnöveltük, levegőt használtunk egyedüli abszorberként és csökkentettük a protonáramot. Ezeknek az adatai nem voltak túl jók (főleg a nikkelnél), ezért a 15 μm -es kobaltfóliát szelektív abszorberként használtuk, amely a réz $K\alpha$ vonalának intenzitását 100-as faktossal csökkentette. Ennek a módszernek a hátránya, hogy a kobalt erős fluoreszcens vonala rakódik rá a mérési adatokra. A három spektrum intenzitásait ezután egyesítettük a bemeneti paraméterek egyetlen halmazává, amelyben a réz $K\alpha$ vonalait használtuk a normalizálásra: a réznél nehezebb elemeknél az alumínium abszorberen keresztül kapott értékeket használtuk, a réznél könnyebbek esetében a kobalt abszorberrel kapott adatokra támaszkodtunk. A kobalt, mint a rézben lévő nyomelem mennyiségét a levegőn át mért spektrumból számoltuk; ezek a spektrumok ellenőrzésül is szolgáltak a kobalt abszorberrel végzett mérésekhez. A röntgensugárzás intenzitását az AXIL program segítségével, a független paraméterek módszerével számoltuk át koncentrációkra (Šmit et al. 2005). A normalizáláshoz az összes elem összegét egésze-

sítettük; az eljárás során a másodlagos fluoreszcencia-hatásokat is figyelembe vettük. A proton dózist így nem mértük közvetlenül, ugyanakkor etalon-teszten végzett mérések segítettek az abszorber vastagságának pontos meghatározásában. A kobaltfólia vastagságának kísérleti meghatározására volt szükség, mivel 5% bizonytalanság a csillapítási tényezőben, 25%-os bizonytalansághoz vezet az átviteli funkcióban. Ehhez a kalibrációhoz a NIST 1107 sárgaréz szabványt használtuk, amely 0,098 t% Ni-t és 1,04 t% Sn-t tartalmaz. Az így kapott kobalt-vastagság jelentősen változott (17,5 μm -tól a cink vonalak, 25 μm -ig a nikkelt vonalak esetében), így két modern érmét is mértünk megadott, 75 t% Cu és 25 t% Ni összetétellel. A kobalt vastagsága ebben az esetben 17 μm volt, közelebb a réz és a cink értékekhez a 1107-esben. Ezután a 17,3 μm -es átlagértékre támaszkodtunk az 1107-esben szereplő Cu, Zn és Sn értékekből, valamint az érmékben szereplő Cu és Ni értékekből származtattunk. Azonban, ez a választás azt jelentette, hogy az 1107-esből levezetett Ni koncentráció 0,17 t% volt, ami 70%-kal nagyobb a megadott értéknél. Ennek a különbségnek a magyarázatát nem találtuk meg; lehetséges oka illesztési hiba alacsony nikkelt intenzitás esetén. A fő elemekre vonatkozó elemzésünk pontossága $\pm 5\%$ volt. A kis mennyiségben jelenlévő könnyű elemek esetében nő a bizonytalanság: a nikkelt esetében 0,3 t% alatti koncentrációknál. Az ezüst és az ón környéki közép-Z elemek pontosságát a számolási statisztikák korlátozzák; a kimutatási határ ebben a régióban körülbelül 0,05 t% az Ag és Cd, valamint körülbelül 0,1 t% az Sn és Sb esetében. (A módszerekkel kapcsolatosan lásd még Šmit et al 2005, Šmit 2015).

A bronztárgyak összetételének általános jellemzői, csoportosításuk

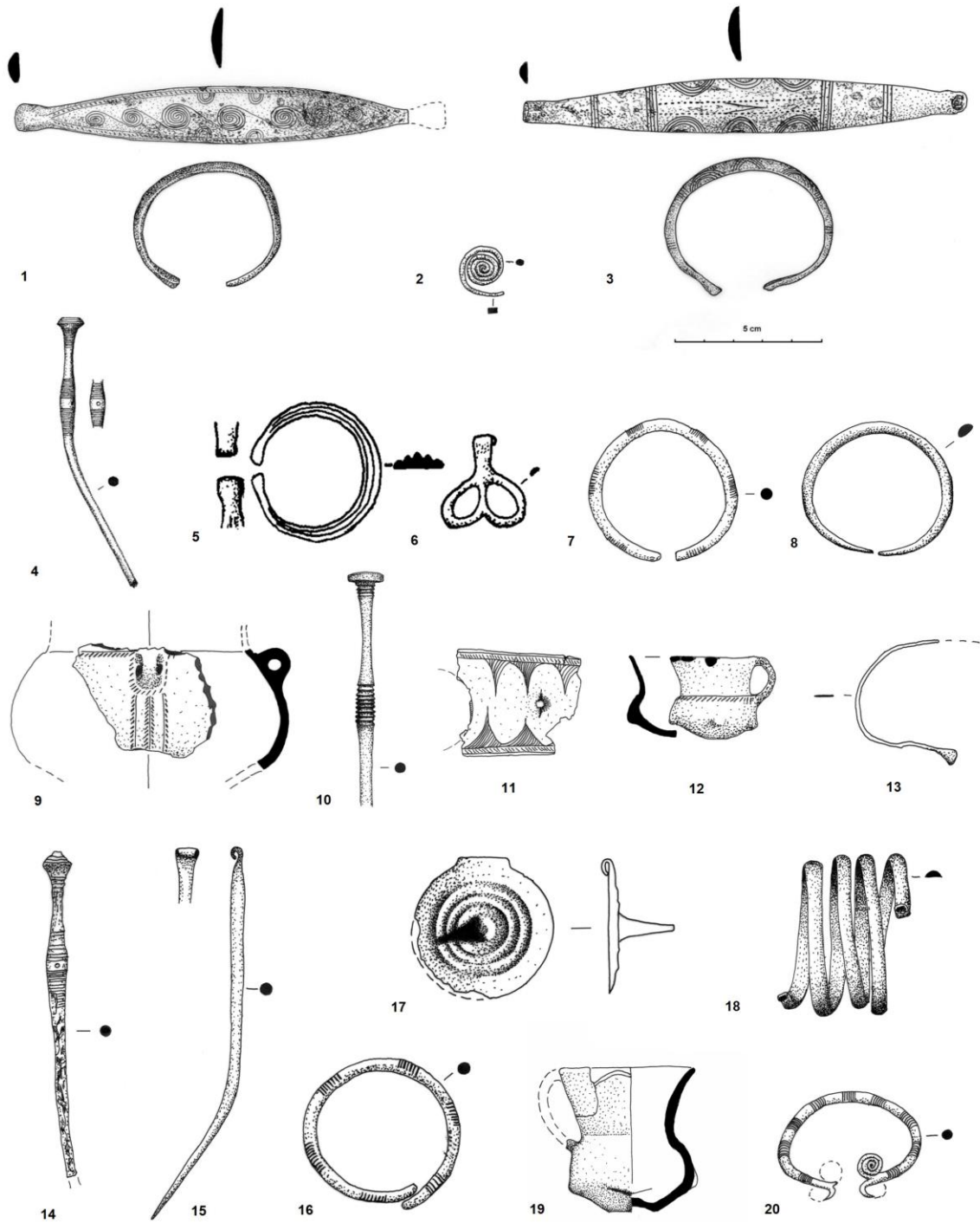
A vizsgálatokra kiválasztott 50 db fémtárgy (**1-2. ábra**) közül 40-et ítéltünk olyan állapotúnak, hogy alkalmasak legyenek a mérésekre, a többi nagyon oxidált volt. Utóbbiak a tápéi temetőből valók, ahonnan egyébként is nagyobb mintaszám állt rendelkezésre, így az oxidáltabb tárgyak figyelmen kívül hagyása az eredményeket érdemben nem befolyásolta. A tárgyak döntő többsége a Halomsíros kultúra régészeti emlékanyagának a része, egy esetben (Csengele-Mételyes, **1/18 ábra 2/17 ábra**) a Vátya-kultúra Koszider-korú temetőjéből származó csüngőt vizsgáltunk. Kronológiai helyzetük a Reinecke B1-től C-ig terjed (Holste B-C2, Hänsel MD I-III, Kárpát-medencei középső bronzkor 3 – késő bronzkor 1, abszolút értékben Kr. e. 1600/1550 – 1400/1350, vö. Kiss et al. 2019, Csányi 2019, O'Shea et al. 2019).



1. ábra: A mérésre kiválasztott tárgyak fotói

Fig. 1.: Photos of the objects selected for measurement

1/1. Tömörkény-Újmaj, 4/1894, 1/2. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.1, 1/3. Ásotthalom-Bilisics, 10/1905/b, 1/4. Kiskunmajsa, 53.50.8, 1/5. Bogázzó B, 1. sír, 53.25.3, 1/6. Bogázzó B, 6. sír, 53.25.9, 1/7. Bogázzó B, 15. sír, 53.25.19, 1/8. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.6, 1/9. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.3, 1/10. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.2, 1/11. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.4, 1/12. Rőszke-Sárosvölgy 128/1885/14, 1/13. Nagyszéksós-Oltványi tanya, 53.60.1, 1/14. Nagyszéksós-Oltványi tanya, 53.60.2, 1/15. Ásotthalom-Királyhalom, 1/1906, 1/16. Ásotthalom-Királyhalom, 2/1906, 1/17. Ásotthalom-Királyhalom, 53.137.1, 1/18. Csengele-Mételyes, 80.35.2 1/19. Rőszke-Sárosvölgy 128/1885/18/2, 1/20. Rőszke-Sárosvölgy, 128/1885/18/3, 1/21. Rőszke-Sárosvölgy, 128-134/1885/19, 1/22. Ópusztaszer-Kápolnai erdő, 2001.3.3, 1/23. Szeged-Rókusi téglagyár, 53.135.1, 1/24. Szeged-Alsótanya-Kancsalszél 1/1904, 1/25. Zákányszék-Zákány dűlő, 2011.2.1, 1/26. Ópusztaszer-Kápolnai erdő, 2001.3.2, 1/27. Tápe-Széntégláigetű 25. sír, 65.1.47, 1/28. Tápe-Széntégláigetű 326. sír, 65.1.409, 1/29. Tápe-Széntégláigetű 444. sír, 65.1.578, 1/30. Tápe-Széntégláigetű 462. sír, 65.1.597, 1/31. Tápe-Széntégláigetű 25. sír, 65.1.46, 1/32. Zákányszék-Zákány dűlő, 2011.2.4, 1/33.) Tápe-Széntégláigetű 518. sír, 65.1.693, 1/34. Tápe-Széntégláigetű 452. sír, 65.1.918, 1/35. Tápe-Széntégláigetű 526. sír, 65.1.707, 1/36. Tápe-Széntégláigetű 534. sír, 65.1.717, 1/37. Tápe-Széntégláigetű 526. sír, 65.1.705, 1/38. Tápe-Széntégláigetű 559. sír, 65.1.738, 1/39. Tápe-Széntégláigetű 444. sír, 65.1.573, 1/40. Tápe-Széntégláigetű 444. sír, 65.1.575, 1/41. Tápe-Széntégláigetű 48. sír, 65.1.78, 1/42. Tápe-Széntégláigetű 518. sír, 65.1.691, 1/43. Tápe-Széntégláigetű 463. sír, 65.1.603, 1/44. Tápe-Széntégláigetű 324. sír, 65.1.396.



2. ábra: A mérésre kiválasztott tárgyak egy részének rajzai

Fig. 2.: Drawings of some of the objects selected for measurement

2/1. Ásotthalom-Királyhalom, 1/1906, 2/2. Ásotthalom-Királyhalom, 53.137.1, 2/3. Ásotthalom-Királyhalom, 2/1906, 2/4. Zákányszék-Zákány dűlő, 2011.2.2, 2/5. Zákányszék-Zákány dűlő, 2011.2.3, 2/6. Zákányszék-Zákány dűlő, 2011.2.4, 2/7. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.2, 2/8. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.4, 2/9. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61. 5, 2/10. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.1, 2/11. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.3, 2/12. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.8, 2/13. Kiskundorozsma-Átokháza dűlő, 53.61.6, 2/14. Szeged-Rókusi téglagyár, 53.135.1, 2/15. Ópusztaszer, Kápolnai erdő, 2000.3.3, 2/16. Ópusztaszer, Kápolnai erdő, 2000.3.2, 2/17. Csengele-Mételyes, 80.35.2, 2/18. Nagyszéksós-Oltványi tanya, 53.60.1, 2/19. Nagyszéksós-Oltványi tanya, 53.17.1, 2/20. Nagyszéksós-Oltványi tanya, 53.60.2

A tárgytipusok zöme ékszer: tűk, karperecek és csüngők (valamint ezek töredékei), lemezöv töredék. Használati tárgyak, így egy kés, valamint két szőrőcsipesz (pinzetta) is található közöttük. A válogatás fegyverleletei egy tüskés-korongos végű csákány (1/1904, **1/24 ábra**) Alsótanya-Kancsalszélről, és egy négytűszeges markolat-lapos tör Tápé-Széntégláégetőről (**1/36 ábra**), de utóbbiról nem készültek mérések a lelet oxidáltsága miatt.

Fontos módszertani kérdés, hogy a csiszolt felületű teljes minták hogyan vehetőek össze a furatokból vett mintákkal. E. Duberow és munkatársai mindkét módszert alkalmazták egyazon mintaanyagon, eredményeik alapján a töredékek (teljes minták) As- és Sn-tartalma az átlagnál nagyobb, de az Ag- és Ni-tartalom jól korrelál a furatok adataival (Duberow et al. 2009, Fig. 5-7.). Értékelésünk során ezért nagyobb hangsúlyt helyezünk az Ag- és Ni-tartalomra.

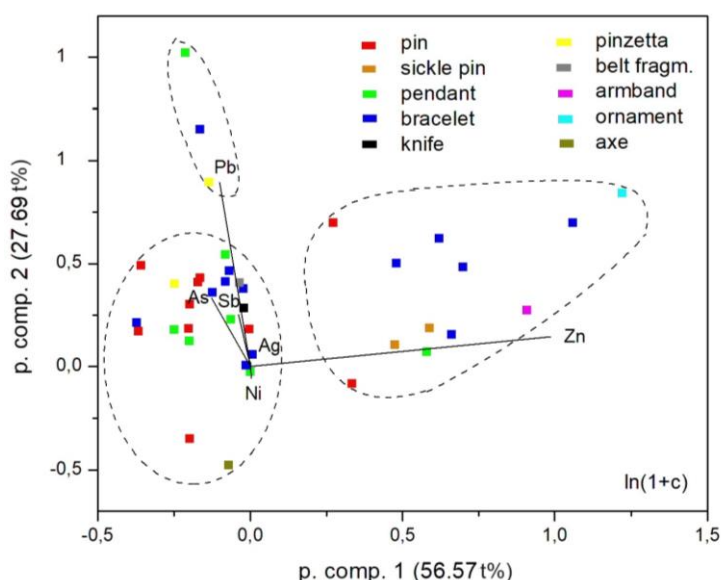
A 40 db vizsgálatra alkalmas tárgy közül egy lunulacsüngő ezüst-réz ötvözet anyagúnak, és tipológiailag szarmata korinak bizonyult (32. sorszám, 53.219.1), ennek a további elemzésétől itt eltekintünk, és a táblákon sem szerepeltetjük.

A 39 tárgy mérési eredményeit bemutató táblázatot már közöltük (Sánta 2011, 1. táblázat, 2013), de szükségesnek látjuk újraközölni. Kiegészítettük a tárgyak eredeti publikációira, abszolút és relatív datálásukra, és a cikk képtábláira történő hivatkozásokkal, emellett néhány helyesírási hibát

is kijavítottunk (**1. melléklet**). A tárgyak rövid leírásait szintén a mellékletben tesszük közzé, a rájuk vonatkozó irodalommal együtt (**2. melléklet**). A táblákon minden kiválasztott tárgy szerepel attól függetlenül, hogy végül történt-e rajta mérés. A közöletlen tárgyak részletes publikálása folyamatban van.

Az elemzések során a tárgyak fő- és nyomelem-tartalmát határoztuk meg. Bizonyos elemek különösen alkalmasak a proveniencia-vizsgálatra, ezek az Au, Ag, Sb, As, Ni és Bi. Más elemek inkább a fémfeldolgozás folyamatáról adnak információkat, pl. Zn, Fe, Cr, Sn, Pb, egyes esetekben azonban ezeket is használják a forrásterület meghatározására (Pernicka, 1999, Table 1., Pernicka, 2014, Table 11.1). A bronzkori féművesség kutatásában általánosan vizsgált összes nyomelem koncentrációját mértük az arany és a bizmut kivételével. A tárgyak mérési eredményeit főkomponens-analízissel csoportosítottuk, amelyben a fő elkülönítő tényező a cink-, ólom- és ezüsttartalom volt (**3. ábra**; Sánta 2011, 2. ábra, Sánta 2013, 2. ábra, Šmit 2015, Fig. 1. 256-257.).

Korábbi cikkünkben (Sánta, 2011, 307) a tárgyak között négy csoportot különítettünk el a nyomelem-tartalom alapján. Az egyik csoport egyetlen, nagy ezüsttartalmú tárgyat tartalmaz, ez a szarmata kori csüngő, amelyet kizártunk a további vizsgálatból. Így a bronzkori tárgyak között 3 csoportot, valamint jelen újraértékelés során az Ag/Ni arány alapján egy alcsoportot (1a) lehet elkülöníteni.



3. ábra: A vizsgált tárgyak csoportosítása főkomponens-analízissel (PCA, nemlineáris khi-négyzet redukciót követve, a koncentrációk logaritmikus transzformációjával), hat elem (Ni, As, Sb, Pb, Zn, Ag) koncentrációja (t%) szerint, a nagy ezüsttartalmú 39. tárgy elhagyásával (újraértékelte ábra, vö. Šmit 2015, 1. ábra). Feliratok: pin - tű, sickle pin - sarlós tű, pendant - csüngő, bracelet - karperec, knife - kés, pinzetta - pinzetta/ szőrőcsipesz, belt fragm. - lemezöv töredék, armband - kartekercs, ornament - bronzdís, axe - csákány

Fig. 3.: Clustering of the measured objects by primary component analysis (PCA, followed by a non-linear procedure for chi-squared reduction and the concentration were subject to logarithmic transform), according to the concentration (wt%) of six trace elements (Ni, As, Sb, Pb, Zn, Ag). The high Ag sample was omitted from the analysis (re-evaluated figure, compare to Šmit 2015, Fig. 1.)

1. Ónbronztárgyak változó, de kb. 0,5 t% As, Sb, Ni-tartalommal, 0,1 t% körüli Ag-tartalommal, egy esetben Sb nélkül (többnyire Ni/As>Sb>Ag). 23 db tárgy. Igen hasonló az Elka Duberow és munkatársai által a hainburgi és mannersdorfi temetőekben (közép-európai korai, és középső bronzkor, Reinecke A1b-B1) elkülönített 2-es csoporthoz (Duberow et al. 2009, Tab. 2.). A majsai tű (53.50.8, **1/4 ábra**) esetében nem mértünk antimon tartalmat, miközben a többi nyomelem mértéke átlagos volt, ezért nem került külön csoportba. Ez a fém utólagos újraolvasztásával függhet össze. Fakóérccek kohósítási és a kinyert réz újraolvasztási kísérleteinél azt találták, hogy az újraolvasztáskor az arzén és az ezüst mennyisége lényegében nem változik, de az antimoné kb. a tizedére csökken (Pernicka 1999, Fig. 3. jobbra).

1a. Alacsony szennyezőanyag-tartalmú nyersanyag (0,37 t% Ni>Sb>As>Ag 0,05 t%) egyetlen tárgyban (bronzcsákány, Szeged-Alsótanya-Kancsalszél, 1/1904, **1/24 ábra**).

2. Cink-dús csoport, 12 tárgy. Jellemzően As, Ni, Sb és Ag-tartalmú nyersanyag gyakorlatilag azonos az 1. csoport anyagával, de kiugró cinktartalommal (0,5–3,2 t%).

3. Ólom-dús csoport, 3 tárgy. Jellemzően As, Ni, Sb és Ag-tartalmú nyersanyag gyakorlatilag azonos az 1. csoport anyagával, de kiugró ólomtartalommal (1,26–2,34 t%).

Tehát a tárgyak alapját képező réz mindenhol azonos, a cink- és ólomdúsulás ezekre rakódik rá.

Az összes tárgy As, Sb, Ni, Ag-tartalmú rézből készült. A nikkel mennyisége 0,185–0,857 (átlag 0,46) t%, az arzéné 0,144–1,491 (átlag 0,525) t%, az antimoné 0,12–0,93 (átlag 0,47) t%, az ezüsté 0,05–0,27 (átlag 0,12) t%. A vastartalom nagyon alacsony, 0,02–0,56 (átlag 0,21) t%, ez kiváló tisztítási folyamatra utal. A nyomelemek mennyiségének 1 nagyságrendnyi szórása megfelel az érctelepek természetes változatosságának. A 24 tagú főcsoportban (1. csop.) az egyetlen csákányon kívül nem találunk elkülönülő alcsoportokat, a tárgyak szórása természetes eloszlásúnak látszik. Ha csak az As, Sb, Ni, Ag mennyiségét tekintjük, úgy a teljes mintasorozat egységes, 1 nagyságrendnyi nyomelem-eloszlással, a Zn- és Pb-tartalmon túl nem mutatható ki más elkülönülő csoport.

Korábban különböző szerzők ezt (az általunk vizsgált mintasoron belül tovább nem osztható) fém típust több más csoportba osztották, illetve nevezték meg: SAM FA/B (Schubert & Schubert 1967), FB1/2 (Sangmeister 1973), Singen réz (Krause 2003, Cl. 34/8), nikkeltartalmú fakóérces vagy Ostalpines Kupfer (Krause 2003, Abb. 39., Duberow et al. 2009, Tab. 2. Cluster 2, 342., Szabó

et al. 2019, Fig. 2.), illetve ASN/AsNi/dasni fém (Liversage 1994).

Fel kell hívni a figyelmet, hogy ezek a klaszteranalízissel létrehozott csoportok, és azok elnevezései nem feltétlen jelentenek egyértelmű bányászati területet vagy kizárólagos kiindulási érctet. Így például a kelet-alpi réz kifejezés mögött álló összetétel önmagában nem jelent mást, mint egy fakóérces rezes nikkeltartalommal, amely több, hasonló geológiájú érctelőről is származhat. A fakóérces vagy kalkopirités réz kifejezés sem jelenti azt, hogy az érckőzet csak ezeket az ásványokat tartalmazta, hiszen az legtöbb érctelepben többféle ércásvány van jelen (polimetallikus érctelepek), amelyek makroszkopikus és mikroszkopikus szinten is keverten fordulnak elő (Stöllner, 2018, 88, Fig. 1., Fig. 2/2., Fig. 4/6., Fig. 8., stb.).

A mért nyomelemek polimetallikus telepre utalnak. Ezekben az érckőzetek szükségszerűen többféle ércásvány keverékéből fog állni. Az, hogy a fakóérccek, a kalkopirit vagy más rézérc dominálja a keveréket, ill. egyik, vagy másik esetlegesen hiányzik, valamint, hogy milyen kísérő (másodlagos) ércásványok dúsulnak épp a kifejtett érctdarabban, meghatározza a kinyert réz nyomelem-eloszlását. A makroszintű inhomogenitások (a telepben lévő szalagszerű, tömzsős, foltos, stb. dúsulások) azt eredményezik, hogy egyazon bányában, azonos telér/érces zóna esetében, akár cm-dm-es skálán változhat az érc összetétele, ha épp egy kalkopiritben, fakóércben, vagy más ásványban dúsabb szakaszt fejtenek ki. Az érc őrlése és összekeverése ezek egy részét elfedi, de a telep fejtése során (főképp horizontálisan) több tíz méteres skálán változó ércösszetételt (vö. Stöllner, 2018, Fig. 1, Fig. 7.) már nem feltétlenül. A nyomelemek érctelepeken belüli varianciája így a kinyert fémekben is megjelenik, diagramokon ábrázolva az adatokat, az egyes lelőhelyek között sokszor átfedések alakulnak ki. Ezért lényeges az ólomizotóp-vizsgálat is, bár az adatok közti átfedések bizonyos esetekben ott is jelentősek. A jelenlegi kutatás a nagyfokú variancia és a korábbi klaszterek nem egyértelmű geológiai jelentése miatt inkább a réz nyomelem-összetételére utaló kifejezéseket kezd előnyben részesíteni (pl. pure copper, low- and high-impurities copper, fahlore copper, chalcopirite copper, stb.). Ezek az elnevezések többnyire nem utalnak egyértelműen a kiindulási ércre, legfeljebb annak egy fontos összetevőjére (vö. Pernicka, 2014, Radivojević et al. 2018, stb.).

A nyomelemek alapján a kiindulási érckőzet egy jelentős komponense arzén- és antimon tartalmú fakóérc (tetraedrit-tennantit csoport, főképp tetraedrit: $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ és tennantit: $(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) lehetett. A természetben legtöbbször ezek változó arányú keverékei (szilárd oldatok) jelennek meg, a kristályokban beépült más szennyező elemekkel,

leginkább vassal, ezüsttel és cinkkel együtt. Az arzéntartalom miatt nem zárható ki a szintén gyakori rézérc enargit és luzonit sem (rombos, valamint tetragonális kristályrendszerű Cu_3AsS_4). A kalkopirit (CuFeS_2) jelenléte a vastartalom miatt szintén feltételezhető, de csak kisebb mértékben. A kiindulási érc nem egyetlen ásvány, hanem egy réztartalmú ásványkeverék lehetett, főképp fakóércekkel és kalkopirittal.

A nikkel és a 10 mintában jelen lévő kobalt (0,053–0,131 t%) a járulékos ásványokból származtatható, amelyek a rézércekkel keveredve fordulhatnak elő. (Részletesebben l. a forrásterület elemzésénél.)

Nyomelemek viselkedése a kohósítás és újraolvasztás során

Fontos kérdés, hogy miként viszonyul a kohósítás/tisztítás során nyert nyersrész a kiindulási ércekhez. Kísérleti ércolvasztási és újraolvasztási eredmények alapján tudjuk, hogy redukáló atmoszféra esetén az érc típusra nagyon jellemző nyomelemek (As, Sb, Ni, Ag) aránya a kohósítás és az újraolvasztás/tisztítás során nem változik jelentősen (Tylecote et al. 1977, Pernicka 1999, 165, Fig. 4., Pernicka 2014, 254, Fig. 11.7.). A réz még a tisztítás után is megőrzi az eredeti rézércre jellemző nyomelem-arányokat (Radivojevic et al. 2018, 139). Oxidáló körülmények között az illékony elemek, pl. arzén, antimon, szelén, jelentős mértékben eltávoznak a rendszerből (Tylecote et al. 1977, fakóércek kísérleti kohósításáról: Haubner & Strobl 2022). Az arzén azonban a rézzel jól ötvöződik (Cu_3As), így a veszteség, elsősorban redukáló körülmények között, messze nem teljes (Mödlinger et al. 2019, 139, Haubner & Strobl 2022, 5-6.). Az antimon mennyisége jelentősen lecsökkenhet, miközben az arzén aránya többé-kevésbé változatlan marad (Pernicka 1999, Fig. 3. jobbra).

A réz forrásterületének meghatározására legalkalmasabb az ezüst és a nikkel, mivel ezek aránya a kohósítás és a fémfeldolgozási folyamat során nem vagy alig változik, a kiindulási ércre jellemző marad (Pernicka 2013, 51.).

Ón és újrahaznosítás

A tárgyak óntartalma 4,2–20,5 t% között változik, átlaga 10 t%, ami az ideális 9:1 ötvözési arálynak felel meg. Jól megfigyelhetőek a felszíni dúsulásra utaló kiugró értékek is, de az adatok többsége 6–12 t% közötti tartományban található (**4. ábra**).

Az ón érc a kassziterit (SnO_2), amely magas hőmérsékleten, mélységi magmás utókritályosodás során keletkezik, a hidrotermás folyamatok révén keletkező színesfém-ércekkel nagyon ritkán fordul elő. Kémiai és mechanikailag ellenálló, kemény, nagy fajsúlyú érc, amely az elsődleges lelőhely lepusztulása után a vízfolyások torlataiban

lerakódik, másodlagosan dúsul (ónkő-torlatok). Legjelentősebb európai lelőhelyei a Cseh-Szász Érchegeység és Cornwall, emellett néhány kisebb telepe is van. A bronzkorban kizárólag a torlatok ércét bányázhatták, de ezeknek nem vagy alig maradt fenn régészeti nyoma (Czajlik 2012, 49-50., feltételezett bronzkori bányászati nyomok: Tolksdorf et al. 2019).

Korábbi cikkeinkben vizsgáltuk az ón kérdéskörét is, azt a Cseh-Szász Érchegeységből származtattuk (Sánta 2011, 317, Sánta 2013, 81). Az ónizotóp-meghatározáson alapuló proveniencia-vizsgálat egy új és izgalmas kutatási téma, amelyet az utóbbi időszakban megjelent publikációk jeleznek (a teljesség igénye nélkül: Haustein et al. 2010, Balliana et al. 2013, Brüggmann et al. 2017, Nessel et al. 2018, Powell et al. 2018, Powell et al. 2019, Mason et al. 2020).

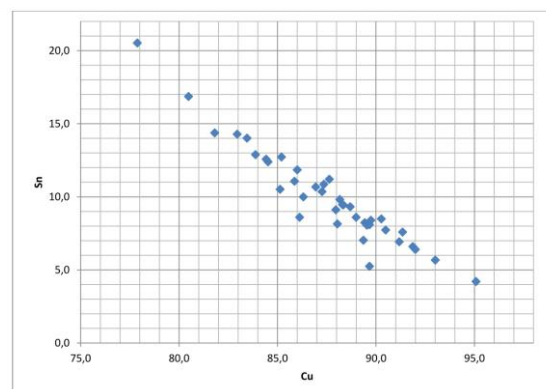
Az Andrea Mason és Wayne Powell vezette kutatócsoport ónizotóp-módszerrel vizsgálta a Balkán és Közép-Európa középső és késő bronzkori (főként Reinecke B – Ha A korú) bronztárgyaiban lévő ón eredetét. A több száz elemzett tárgy között néhány magyarországi is szerepel, ám döntő többségük szerbiai és bulgáriai lelőhelyű. A kutatók több csoportot tudtak elkülöníteni az izotóparányok alapján (Quartiles 1-4). Az 1-es csoport lelőhelyei a Dunától északra csoportosulnak, az izotóparányok alapján ennek az ónnak a forrása a Cseh-Szász Érchegeység (Erzgebirge). A 4-es (nehéz) csoportot, amelynek lelőhelyei főképp Szerbiában, a Dunától délre összpontosulnak, egy kisebb helyi ónlelőhellyel (Mt. Cer és Mt. Bukulja környéke) tudták összekapcsolni, ahol a folyók mentén ónkő-torlatokat fedeztek fel a geológusok (Huska et al. 2014, további irodalommal). Ennek a bányászata és kereskedelme a középső és késő bronzkorban lokális jelentőségű volt. A Duna mentén egyes ónizotóp-arányú (2-3-as csoport) bronztárgyak fordulnak elő, amelyek helyi és érchegeységi ónt egyaránt tartalmazhatnak. A 3 magyarországi minta a könnyű és a vegyes csoportban szerepel, így az ón eredete inkább az Erzgebirge (Powell et al. 2018, 146-147., Mason et al. 2020, 11-12.). Csehországi minták elemzésekor azt is kimutatták, hogy a középső bronzkorban (Reinecke A2-B1, 1900-1500 BC) az érchegeységi Központi pluton ónércét, míg a késő bronzkorban (Reinecke B2-Ha A, 1500-1100 BC) a Nyugati plutonét bányázták (Powell et al. 2019, 61., Fig. 4.). A Dunától északra lévő szerbiai, erdélyi és közép-európai lelőhelyek ónforrása a késő bronzkorban szintén a Nyugati pluton lehetett, a Központi és Keleti pluton nem valószínű forrás. Bulgária területén is hasonló izotóparányok jellemzőek, de a távolsági kereskedelem a Vaskapu jelentette természeti akadály miatt nem valószínű, és a régió kapcsolatrendszere sem irányul az Érchegeység felé. Valószínűleg számolni kell még felderítetlen, kisebb óntorlatokkal Erdélyben, és a

DK-Balkánon is, ahol egy határozott, könnyű ónizotóp-csoport különül el (Mason et al. 2020, 11-12.).

A Szepes-Gömöri (Szlovák-) Érchegység kis kiterjedésű ónlelőhelyeit (Berger et al. 2019, Fig. 1./32.) is számításba vehetjük, de ezeket eddig még senki sem vizsgálta alaposan. A Kassától nyugatra lévő Hnilec-Medvedí potok/Nyilas-Medve-patak környékén végzett geokémiai kutatások Sn-dúsulást mutattak ki az 1960-70-es években, amit a felszínen, kis területen jelentkező pegmatitos és kvarcos-turmalinos telérekben 1–4 mm-es szemcsékben megjelenő kassziterit (SnO_2) okoz (Baran et al. 1970). A későbbi geológiai kutatások tisztázták, hogy ez az anomália egy mélyebben fekvő, idős ónércesedés felszíni kisugárzása (Broska et al. 2002, Kubiš & Broska 2005, Kohút & Stein 2005).

A kutatás többször is felhívta a figyelmet a bronztárgyak felületi óndúsulására, amely a készítés technika vagy a korrózió eredménye is lehet (Duberow et al. 2009, 341, Szabó 2010, 1-3. ábra, Kiss 2012, 67., Dani et al. 2013, 42). A mért 20,5 t%-os legnagyobb, és hasonló óntartalmak ennek a jelenségnek tudhatóak be. Így az óntartalmat csak az egyazon sírból előkerült tárgyak értékelésekor vettük figyelembe, amelyeknél feltehető, hogy földbe kerülésük után nagyon hasonló oxidációs folyamaton mentek keresztül, így legalább a mért értékek aránya jellemző lehet.

A tárgyak újrafelhasználása, feldolgozása, újraolvasztása, keverése (recycling, remelting, mixing) folyamatosan visszatérő probléma. Az egyik fő kérdés, hogy a tárgyak újraolvasztása során milyen mértékű a fémvesztés, másrészt az, hogy milyen gyakran fordul elő a recycling. E. Pernicka érvelése alapján az újraolvasztáskor fellépő fémvesztés kb. 5%, amely kizárja, hogy egy tárgyat generációkon keresztül többször is újrafelhasználjanak. Másrészt, ha a bronztárgyak újrafelhasználása általánosan elterjedt gyakorlat lett volna a bronzkorban, akkor a kutatók nem találnának jelentős összetételbeli eltéréseket sem térben, sem időben az őskor eme szakaszának réz- és bronztárgyai között, mivel az állandó újrafelhasználás és keverés (mixing) szükségszerűen a fémállomány összetételének homogenizációjához, a szélsőséges összetételű tárgyak eltűnéséhez vezetett volna (Liversage 1994, 77, Pernicka 2014, 257-259, Radivojevic et al. 2018, 156, Fig. 9.). Tárgyaink összetételében nem látjuk egyértelmű nyomát ilyen homogenizációnak, hiszen jól körülhatárolható csoportokat ismertünk fel, illetve a réz alapanyagban is a nyomelemek egy nagyságrendnyi szóródását látjuk, amely megfelel az érctelepek természetes variációjának. Az ón mennyisége egy nagyságrendnél jóval kisebb skálán változik, ráadásul ennek egy része oxidációs okokra vezethető vissza.



4. ábra. A dél-alföldi bronztárgyak óntartalma a réz függvényében (t%)

Fig. 4. The tin and copper content (wt%) of the bronze objects from the Southern Great Plain

Az újrafelhasználás során szóba jöhető fémtárgyak egy jelentős része sírmellékletként a földbe került, így már nem képezte részét a fém nyersanyag körforgásának, azt újonnan beszerzett fémekkel kellett pótolni. (Pernicka 2014, 259). Ugyanakkor Berger et al. (2022) a különböző forrásterületű réz, ón és bronz nyersanyagok alkalmankénti keverését feltételezi, ez a kutatási irány azonban még kezdeti fázisában van. Vagyis az újrafeldolgozás és keverés problémaköre messze nem tekinthető még lezártnak, sőt, új eredmények is várhatóak. A vizsgált mintaanyagokon belül – a kutatás jelen állása alapján – nem számolunk tartós, komoly mértékű és kizárólagos újrafelhasználással és/vagy keveréssel, ez inkább esetleges vagy kismértékű lehetett (pl. régi fémdarabok hozzáadása a friss fémhez).

Cink- és ólomdúsulás

A cink kb. 0,5–2 t% közötti dúsulása nagyon jelentős kérdés. Az ebben a csoportban lévő tárgyak (1, 3, 6, 24, 25, 27-33, 39. sz.) tipológiai alapon inkább a korai halomsíros (R BB1-2) időszakra keltezhetőek, illetve lelőhelyeik egy részét a jelen kutatás erre az időszakra keltezi (Bogárzó B, Bilisics, Tömörkény, Röske). Ide tartozik a bilisicsi és tömörkényi sarlós tű, a bogárzói tuskés tutulus, és a röske-sárosvölgyi temető legtöbb vizsgált tárgya.

Megállapítható, hogy a két sarlós tű – Ásotthalom-Bilisics (39., 10/1905b, **1/3 ábra**) és Tömörkény-Újmajor (31., 4/1894, **1/1 ábra**) – összetétele gyakorlatilag teljes mértékben megegyezik (pl. azonos, 0,98 t%-os cinktartalom mutatható ki mindkettőben). Feltételezhetjük, hogy a két sarlós tűt azonos félkész termékéből, egyszerre készítette egyazon mester.

Két teljes sírlelet is van ebben a csoportban: a Kiskundorozsma-átokházi és a Nagyszéksós-Oltványi tanyai sír vizsgált fémtárgyai egy kivétellel cinkdúsulást mutatnak. A Kiskundorozsma-átokházi lelet bronzöv-töredékét (**1/9 ábra**,

2/11 ábra) a közeli Nagyszéksóson talált övvel rokoníthatjuk, amelyet további analógiák alapján a Reinecke B2-re kelteztek (Trogmayer 1960, 55). A Nagyszéksós-Oltványi tanyán előkerült lelet kartekeercse (**1/13 ábra**, **2/18 ábra**) általánosabban használt forma. Azonban a kömpöci sírletben való előfordulása (Trogmayer 1969, 5. kép, 92-93.); a koszideri kincsekben való gyakorisága (Mozsolics 1967, Hänsel 1968), a mellette talált spirálisokban végződő karperec (**2/20 ábra**) és a korai típusú tölcséres nyakú, nyomott gömbös hasú bögre (**2/19 ábra**) miatt ez is inkább a korai halomsíros időszakba sorolható (Reinecke B1-2).

Az Ásotthalom-királyhalmi lelet 3 t% feletti cinktartalmu bronzspiráljának (**1/17 ábra**, **2/2 ábra**) keltezése nem ilyen pontos, bár a sírlet két karperecének díszítése kapcsolatba hozható a nagyszéksósi bronzövvvel, így inkább a B2 szakaszba sorolható.

Körvonalaazható tehát egy csoport, amelyben korai, ill. korai-klasszikus halomsíros (Reinecke B1-2) tárgyak, erre a korszakra datált temetők és sírletek találhatóak, méghozzá a Szegedről nyugatra elhelyezkedő Dorozsma-Majsai Homokhátság területén. Ez a kör, térben, és részben időben is elkülönül a tápéi temetőből vizsgált fémtárgyaktól, amelyek közt egyetlen cinkben dús tárgy sem fordult elő.

A cink a kiindulási érc összetételére és a kohászati technológiára vonatkozó információkat adhat.

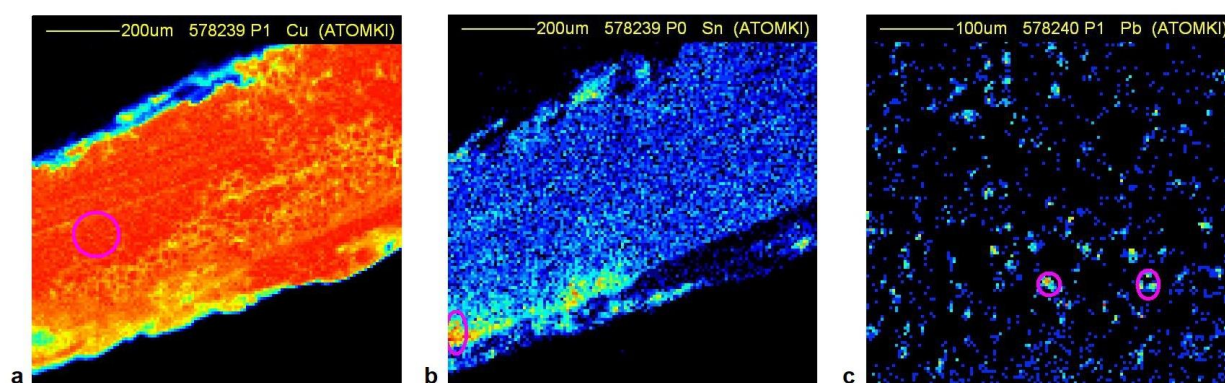
A szulfidos ércok kohósításának kulcsmozzanata a redukció, amikor a pörkölés során kapott oxidokból gázemű CO hozzáadásával színfém keletkezik, miközben az oxigén eltávozik a rendszerből. Ez a fázis sokkal hatékonyabb, ha az anyag folyékony, olvadt állapotban van. A fém redukciója annál jobb, minél inkább redukáló a kohó atmoszférája. Ilyen,

oxigénben szegény atmoszférában az oxidációra hajlamos fémekből több marad a rézben. Ezek közé tartozik a cink is (Pernicka, 1999, 165-166.).

A rézércok legtöbbször tartalmaznak cinket, mivel a cinkérc (szfalerit, ZnS és oxidációs termékei) az egyik leginkább elterjedt ércásvány, és szinte minden érctelepben jelen van, többnyire nagyobb mennyiségben. A fakóércok is sokszor cinktartalmúak. Magát a cinket nagyon nehéz kohósítani, mivel igen illékony: nagy része már a pörkölés során, cink-oxid gáz formájában eltávozik. A cink jól ötvöződik a rézzel, ezért a rézércben lévő kis mennyiségű szennyezés, megfelelően redukáló atmoszféra esetén benne maradhat a rézben.

A nagyobb cinktartalmat így egy cinktartalmú rézérc kohósítása vagy a belőle nyert cinktartalmú fém újraolvasztás során alkalmazott erősen redukáló atmoszférával, jól kontrollált kohászati folyamattal lehet magyarázni. A magasabb fokú kontroll magasabb szintű fémművességi ismereteket és gyakorlatot is jelenthet. Egy összehasonlító kutatásban azt találták, hogy a réz- és bronztárgyak vas-, cink- és ólomtartalma a rézkor/korai bronzkor és a vaskor között legalább egy nagyságrenddel nőtt, és az elemek varianciája a késztermékben töredékére csökkent. Vagyis a vaskorban egy sokkal egységesebb, jobban kontrollált, magasabb szintű kohászati technika volt jelen (Pernicka 1999, 165-166, Fig. 5.)

A cinktartalmat tehát legjobban egy jellegzetes Zn-tartalmú érc típus és egy korai halomsíros műhelykör, mester-tradíció kombinációja magyarázza. Ez a korai halomsíros periódusra, és a Dorozsma-Majsai Homokhátság egy részére biztosan jellemző, és valószínűleg nincs jelen a későbbi időszakban, a Tisza mentén, a tápéi temető bronzműves-tradíciójában.



5. ábra: A 10. sz. tárgy (2011.3.2.) peremi metszetéről készült microPIXE elem térképek.

a) A réz eloszlása (a karika homogén alapanyagot jelöl), **b)** az ón eloszlása (a karika óndús foltot jelöl), **c)** az ólom eloszlása (a karikák ólomdús foltokat jelölnek).

Fig. 5.: MicroPIXE element maps about the edge cross section of object No. 10. (2011.3.2.)

a) distribution of copper (circle marks homogenous bronze material), **b)** distribution of tin (the circle marks Sn-enrichment in a spot), **c)** distribution of lead (the circles mark Pb-enrichment in spots).

Nagyon fontos eredmény a két sarlós tű összekapcsolása, ezeket ugyanis szinte biztosan ugyanaz a mester készítette ugyanabból a nyersanyagdarabból.

Prigglitz-Gasteil késő bronzkori (1350–800 BC) fémműves-telepén öt nagy (1–6,5 t%) cinktartalmú tárgyat azonosítottak. Néhány esetben talán tudatosan használták a cinket ötvöző anyagként az ón helyettesítésére. A direkt cinkgyártás nem volt lehetséges a korban, de a Zn- és Cu-ércek együttes kohósításakor sárgaréz (brass, Zn-Cu ötvözet) keletkezhetett. A cinktartalmú fém a stájerországi Arzberg és Liezen környékéről származhat, ahol a telepek oxidációs övezetében elterjedt ásvány a smithsonit (ZnCO_3). Utóbbi helyszínen késő bronzkori féművesség nyomait, köztük nagy cinktartalmú salakokat tártak fel. A smithsonitot véletlenül vagy tudatosan összekeverhették a rézércekkel, így természetes Zn-tartalmú ötvözetet kaphattak. Ennek a fémnek a hulladékát újra-felhasználva különféle Zn-tartalmú bronzokat állíthattak elő (Mödlinger et al. 2021, 22, 28–29.). Ezt az érc- és fémforrást mindenképp figyelemre méltónak és további kutatásra érdemesnek találjuk.

Az ólom-dús tárgyak mind klasszikus-késői (R BB2-C) darabok, főleg a tápéi temetőből. 5 t% feletti ólomtartalom biztosan tudatos ötvözésre utal, 1 t% alatt biztosan csak nyomelem ez a fém, a kettő közt esetenként kell vizsgálni (Pernicka, 2014, 256). Számos általunk vizsgált tárgyban van 0,3–0,4 t%-nyi ólom. Úgy véljük, ez a két-három kissé nagyobb ólomtartalmú ékszer nem tudatos ötvözés eredménye, hanem az eltérő összetételű ércekre vezethető vissza, illetve a tisztítás során a salakképzés gondossága is befolyásolja.

A mért kiugró értékek ólomdúsabb foltokkal is magyarázhatóak.

Összetétel és tárgytípusok

A vizsgált tárgyak többségében ékszerek. Összetételükben nincsen specifikus eltérés, az általánosságban elkülönített 3 csoport ismerhető fel köztük.

A használati tárgyak közé 2 pinzetta és egy bronzkés tartozik (17., 21. és 7. tárgy, sorrendben **1/30 ábra**, **1/33 ábra**, **1/25 ábra**). Összetételükben nincs nagy eltérés az alapfémhez képest. A Zákányszék-Zákány dűlői bronzkés (7. tárgy, **1/25 ábra**) nyomelem-összetétele alacsony vastartalmat, és alacsony-közepes óntartalmat mutat.

Két fegyver szerepel a mintasorban, az egyik egy négytízszeges markolatlapos tör Tápé-Széntéglá-égetőről (65.1.717, **1/36 ábra**), amit erős korrodáltsága miatt nem elemeztünk. A másik egy tuskés-korongos fejű csákány Szeged-Alsótanya-Kancsalszérlől (38. tárgy, **1/24 ábra**). Ennek van a legtisztább anyaga az összes vizsgált fémtárgy között, rendkívül alacsony nyomelem-tartalommal.

A vas szinte teljesen hiányzik, arzén, antimon is 0,1 t% körüli (a többi mintában átlagosan 0,5 t% körüli értékek jellemzőek). A cink és az ólom teljesen hiányzik. Ez a nagy tisztaság részben a kohászati folyamat: a nagyon gondos tisztítás, salakképzés eredménye, de a kiindulási érc is szerepet játszik benne. A szennyezőanyagok, pl. az ólom negatívan befolyásolják a vékony bronz-tárgyak, így például a kard- és csákányélek mechanikai tulajdonságait (Pernicka et al. 2016b, 68.). Az ezüsttartalom az összes minta közül ebben a legalacsonyabb, 0,05 t%. A fém összetétele a szlovákiai és a mitterbergi réz összetételének (Ag/Ni diagramon tanulmányozható) szűk érintkezési zónájában található.

Valószínűleg több más korabeli (Reinecke B, Koszider/kora halomsíros) fegyverhez hasonlóan ez is alacsony szennyezőanyag-tartalmú mitterbergi rézből, vagy mitterbergi és Garam-völgyi réz keverékéből készült (Berger et al. 2022 nyomán), és a fém tisztítási folyamata is gondos lehetett.

Egyazon sírból előkerült tárgyak összehasonlítása

Ahol egy sírból több tárgy is szerepelt a minták közt, megnéztük, mennyire hasonló a fém összetétele.

1. Ásotthalom-Királyhalom, sírlet. Két vésett díszű karperec (1/1906, 11. tárgy, **1/15 ábra**, **2/1 ábra**, 2/1906, 12. tárgy, **1/16 ábra**, **2/3 ábra**) és egy spirálsüngő (53.137.1, 33. tárgy, **1/17 ábra**, **2/2 ábra**). A karperecek nyersanyaga, óntartalmuk és nyomelemeik mennyisége olyan mértékben egyezik, hogy egészen biztosan ugyanabból a félkész termékből, valószínűleg egyszerre készültek, de eltérő díszítéssel. Eltérés a vastartalomnál látható, ami utalhat az egyik tárgy anyagának utólagos tisztítására, de ez nem feltétlen szükségszerű. A spirális dísz is hasonló összetételű anyagból készült, de eltérőek az arányok, nagy a cinktartalom (3,2 t%), így nem ugyanaz a közvetlen kiindulási termék.

2. Kiskundorozsma-Átokháza-dűlő, sírlet (53.61.1-4, 53.61.6, 24-28. tárgy). A tárgyak összetétele nagy eltéréseket mutat, de az öt tárgy közül négy esetben kimutatható a cink jelenléte, a három karperec esetében ez 1 t% körüli. Két karperecet (53.61.4, 27. tárgy, **1/11 ábra**, **2/8 ábra**, és 53.61.6, 28. tárgy, **1/8 ábra**, **2/13 ábra**) valószínűleg azonos nyersanyagból, egyszerre készítették, és a harmadik (53.61.2, 25. tárgy, **1/10 ábra**, **2/7 ábra**) esetében is nagyon hasonló a nyersanyag. A bronzöv és a tű kicsit eltérő összetétele miatt nem azonos anyagból és/vagy nem ugyanakkor készült.

3. Nagyszéksós-Oltványi tanya, sírlet. A kartekecs (53.60.1, 29. tárgy, **1/13 ábra**, **2/18 ábra**) és a karperec (53.60.2, 30. tárgy, **1/14 ábra**,

2/20 ábra) anyaga nagy cinktartalmat (1,8 t% és 2,5 t%) mutat, nagy és kis vastartalom mellett. Az ón mennyisége egyező, 10%-os. Feltételezhetően a két tárgy kiindulási nyersanyaga nem volt azonos, de az egyező óntartalom egyszerre történő ötvöztetésre is utalhat. Az egyaránt nagy cinktartalom a fentebb részletezettek alapján egyazon ércforrás és mester-tradíció körébe sorolja őket.

4. Ópusztaszer-Kápolnai erdő, 5. sír. A hitelesen feltárt sír két vizsgált fémtárgya, egy karperec (2000.3.2, 34. tárgy, **1/26 ábra**, **2/16 ábra**), és egy tű (2000.3.3, 35. tárgy, **1/22 ábra**, **2/15 ábra**) minden fő- és nyomelemében gyakorlatilag egyező összetételű. Azonos forrásterületről, ugyanabból a kohósítási eseményből származó nyersanyagukat, azonos mennyiségű ónnal a nyersanyag útjának egy pontján egyszerre ötvözték, majd ebből a nyersanyagból egyszerre készült a két tárgy.

4. Tápé 25. sír. Egy tűt (65.1.46, 13. tárgy, **1/31 ábra**) és egy karperecet (65.1.47/1. 14. tárgy, **1/27 ábra**) elemeztünk innen, mindkettő hasonló összetételű rézből készült, de az óntartalom, és a nyomelemek mennyisége eléggé eltér. Hasonló forrásterületről származó, de nem azonos félkész termék volt a kiindulási nyersanyag, és/vagy nem azonos időpontban, technológiával készültek.

3. Tápé 444. sír. Egy tűt (65.1.575, 18. tárgy, **1/40 ábra**) és egy karperecet (65.1.578, 19. tárgy, **1/29 ábra**) vizsgáltunk, mindkettő nyersanyaga hasonló, de a karperec kiugróan nagy, 1,8 t% ólom-tartalmú. A vas- és az óntartalom is eléggé eltérő, a nyomelemek mennyisége is változó. Nem valószínű, hogy azonos lenne a nyersanyag, de a forrásterületük lehet azonos.

4. Tápé 526. sír: A vizsgált ékszerek (tű/karperec töredék: 65.1.705, 22. tárgy, **1/37 ábra**, és csüngő: 65.1.707, 23. tárgy, **1/35 ábra**) hasonló összetételű rezet tartalmaznak, vastartalmuk alacsony, nikkel- és óntartalmuk nagyjából egyezik, arzén- és antimontartalmuk változó. A nyersanyag azonos forrásterületről ered, gondos salaktalanításon esett át, és a csaknem azonos óntartalom talán egyszerre történő ötvöztetésre utal, mialatt a két tárgy nyersanyaga nem teljesen azonos.

Összefoglalva, az ugyanazon sírokból előkerült tárgyak között többnyire kimutatható valamiféle kapcsolat. Az ásothalom-királyhalmi karperecpár, és a kiskundorozsma-átokháza-dűlői karperecek közül kettő, bizonyosan azonos nyersanyagból, egyszerre készült. Ez a két adat talán arra is utalhat, hogy a karperecek, mint személyes tárgyak gyártása

és a tulajdonoshoz való kerülése párban történhetett. Más ékszerek, különösen a tűk és csüngők között nem mindig mutatható ki ilyen szoros kapcsolat, de az ópusztaszer-kápolnai erdei lelet tűje és karperece bizonyosan azonos nyersanyagból, egyszerre készült. Néhány esetben az egyező óntartalmak arra utalnak, hogy a fém nyersanyag technológiai útjának egy bizonyos pontján egyszerre történt az ónnal való ötvöztetés, ez azonban nem biztos, hogy egybeesik a végtermék készítési időpontjával.

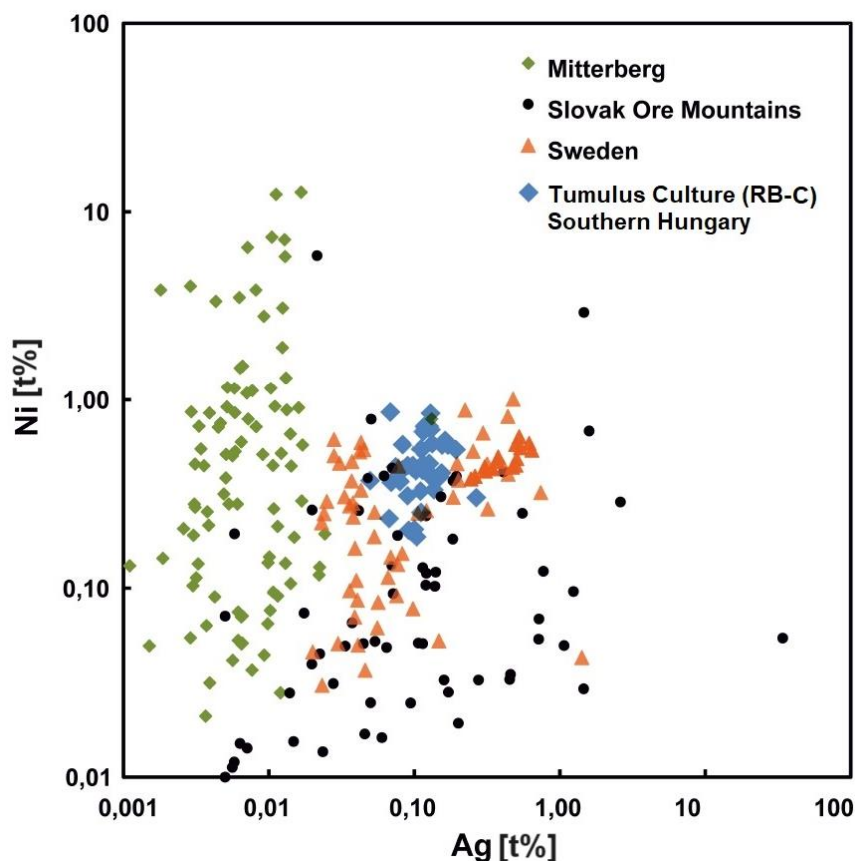
Nyomelemek arányai és forrásterület

A régészeti fémtárgyak kutatásában az egyik legfontosabb kérdés a fém (ez esetben elsősorban a réz) forrásterületének a meghatározása. Miljana Radivojevic és munkatársai, különösképpen Ernst Pernicka, a forrásterület meghatározására egy kétlépcsős folyamatot javasolnak. Egyrészt bizonyos nyomelemek (leginkább az As, Sb, Ni, Ag, Bi) a legalkalmasabbak a proveniencia-analízisre (Pernicka 1999, 170, Table 1., 2013, 48–50, 2014, 247–253, Table 11.1.).

Ezek egymással képzett arányait dupla logaritmikus skálán ábrázoltuk, és összehasonlítottuk a szóba jöhető forrásterületekről származó ércminták elemzési adataival. A különböző forrásterületek érceiben ezeknek az arányai eltérőek, így jó esetben, több nyomelem arányainak megállapításával, az érces terület viszonylag jól körülhatárolható (a módszerrel részletesen pl. Duberow et al. 2009, 340.).

A forrásterület precíz és megbízható azonosításához legtöbbször elengedhetetlen az ólomizotóp-arányok meghatározása (Pernicka 1999, 163, Radivojevic et al. 2018, 137–140.). Egyes ércelepek esetében a nyomelemek eloszlása azonban jellemzőbb lehet, mint az ólomizotóp-eloszlás. Néhány ilyen ércecsedés nyomelem-mintázata homogén, míg az ólomizotóp-arányok varianciája magas (Pernicka 2013, 49., Pernicka et al. 2016b, 67.). További probléma, hogy egyes eltérő ércecsedések ólomizotóp-mintázata egymással átfedésben van, ekkor a nyomelem-eloszlás alapján lehet esély az elválasztásukra (Pernicka 2013, 50.).

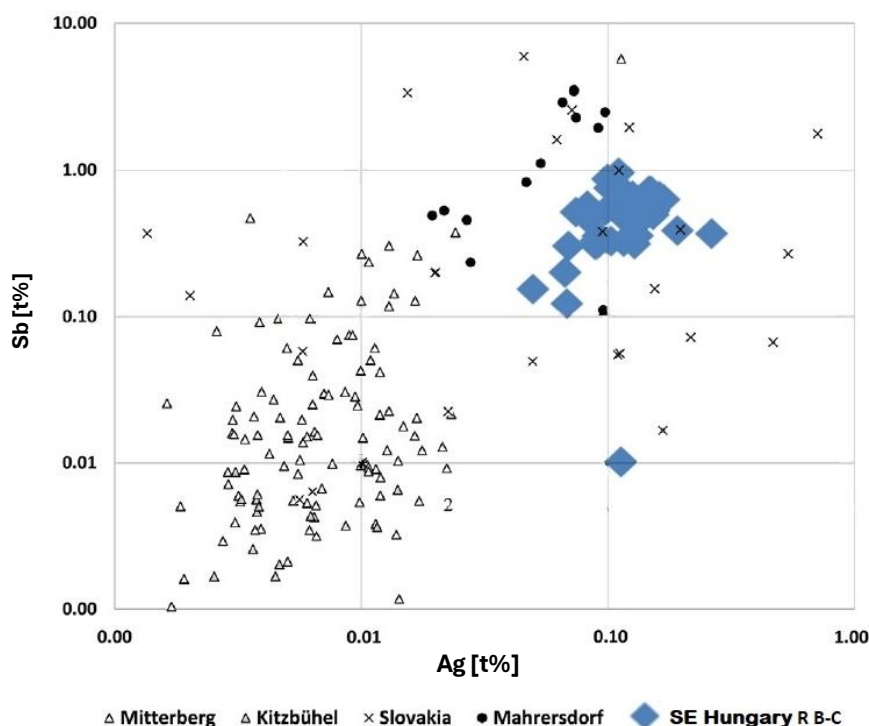
Elkészítettük az általunk vizsgált dél-alföldi fémleletek (39 db) elemzéseinek nyomelem-arányait mutató diagramokat, majd ezeket az utóbbi időszak egyes releváns publikációiban (Pernicka et al. 2016a, Radivojevic et al. 2018, Mödlinger & Trebsche 2020, Mehofer et al. 2021) megjelent azonos diagramokra vetítettük (**6–11. ábra**).

**6. ábra:**

A mért Ag/Ni (t%) arány logaritmikus skálán az általunk vizsgált, DK-Magyarországról származó koszi-deri és Halomsíros tárgyakban (alapdiagram: Pernicka et al. 2016a, Fig. 23.) Feliratok: Slovak Ore Mountains - Szlovák Érc-hegység, Sweden – Svédország, Tumulus Culture (RB-C) Southern Hungary - halomsíros kultúra (Reinecke B-C) DK-Magyarország

Fig. 6.:

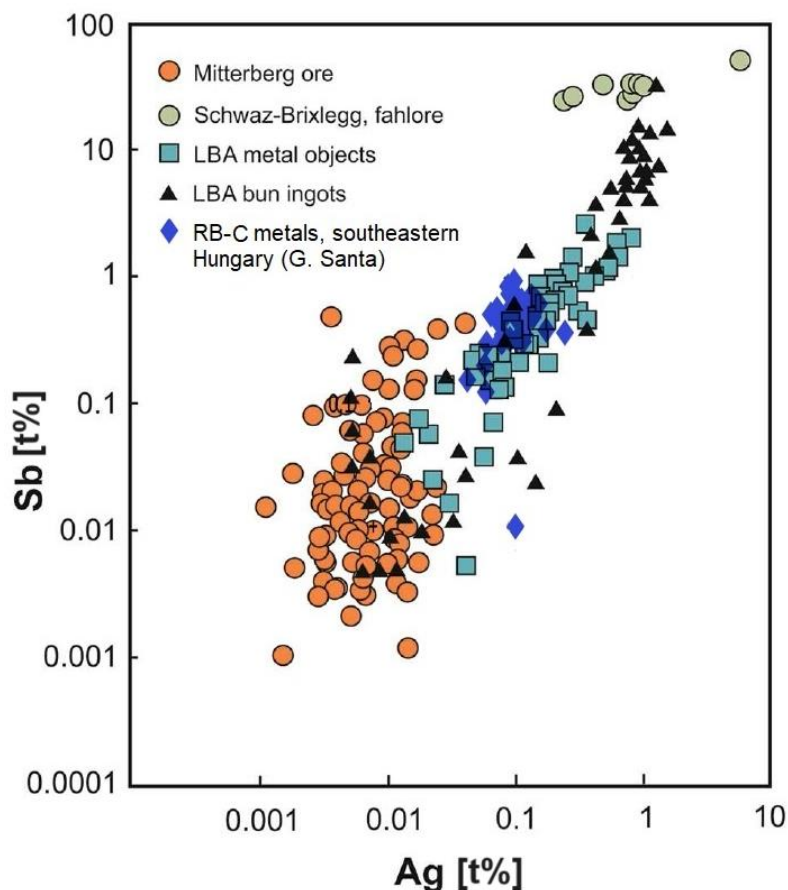
The measured Ag/Ni ratio (values in wt%) on a logarithmic scale in the measured Tumulus and Koszider period objects from SE Hungary (basic diagram: Pernicka et al. 2016a, Fig. 23.)

**7. ábra:**

A mért Ag/Sb (t%) arány logaritmikus skálán az általunk vizsgált, DK-Magyarországról származó koszi-deri és Halomsíros tárgyakban (alapdiagram: Mödler & Trebsche 2020, Fig. 7c.). Feliratok: Slovakia - Szlovákia, SE Hungary R B-C - DK-Magyarország, Reinecke B-C

Fig. 7.:

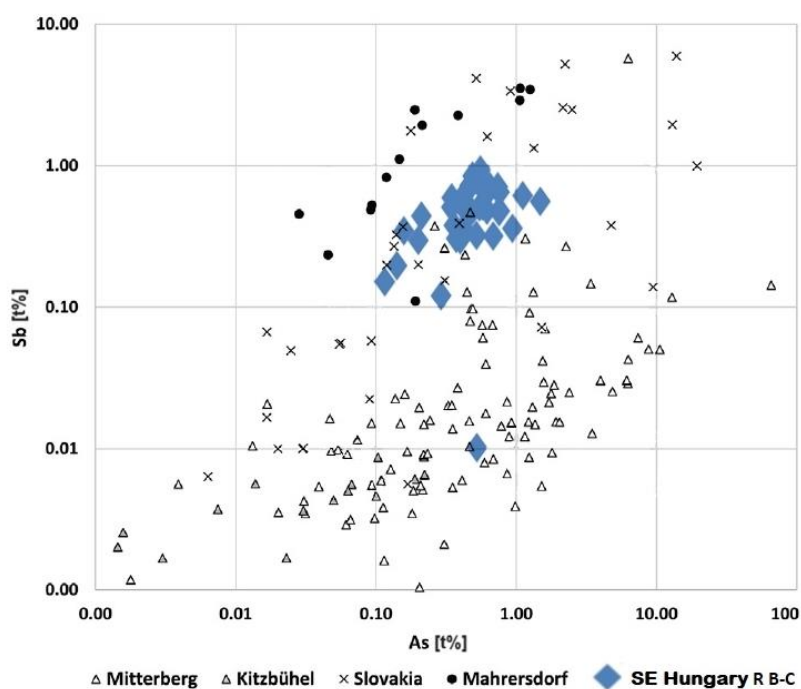
The measured Ag/Sb ratio (values in wt%) on a logarithmic scale in the measured Tumulus and Koszider period objects from SE Hungary (basic diagram: Mödler & Trebsche 2020, Fig. 7c.)

**8. ábra:**

A mért Ag/Sb (t%) arány logaritmusos skálán az általunk vizsgált, DK-Magyarországról származó korszaki és Halomsíros tárgyakban (alapdiagram: Pernicka et al. 2016a, 2016b, Fig. 14.A, Radivojevic et al. 2018, Fig. 11. nyomán). Feliratok: ore - érc, fahlore - fakóérc, LBA metal objects - késő bronzkori fémtárgyak, LBA bun ingots - késő bronzkori öntőlepletyek, RB-C metals, south eastern Hungary (G. Sánta) - Reinecke B-C fémtárgyak, DK-Magyarország (Sánta G.)

Fig. 8.:

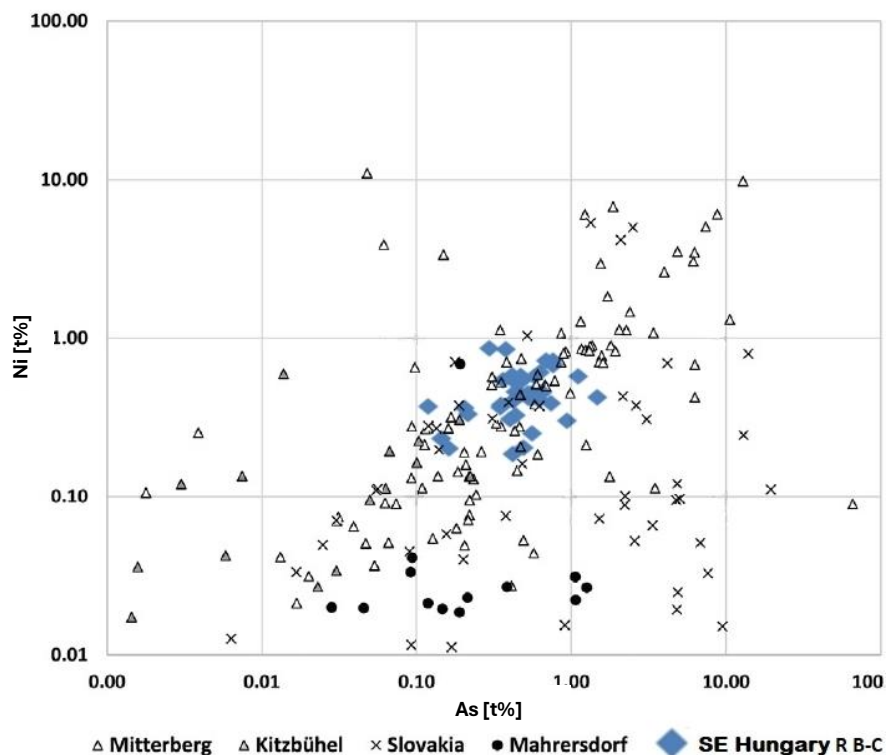
The measured Ag/Sb ratio (values in wt%) on a logarithmic scale in the measured Tumulus and Koszider period objects from SE Hungary (basic diagram: Pernicka et al. 2016a, 2016b, Fig. 14.A, Radivojevic et al. 2018, Fig. 11.)

**9. ábra**

A mért As/Sb (t%) arány logaritmusos skálán az általunk vizsgált, DK-Magyarországról származó korszaki és Halomsíros tárgyakban (alapdiagram: Mödlinger & Trebsche 2020, Fig. 7b.). Feliratok: Slovakia - Szlovákia, SE Hungary R B-C - DK-Magyarország, Reinecke B-C

Fig. 9.:

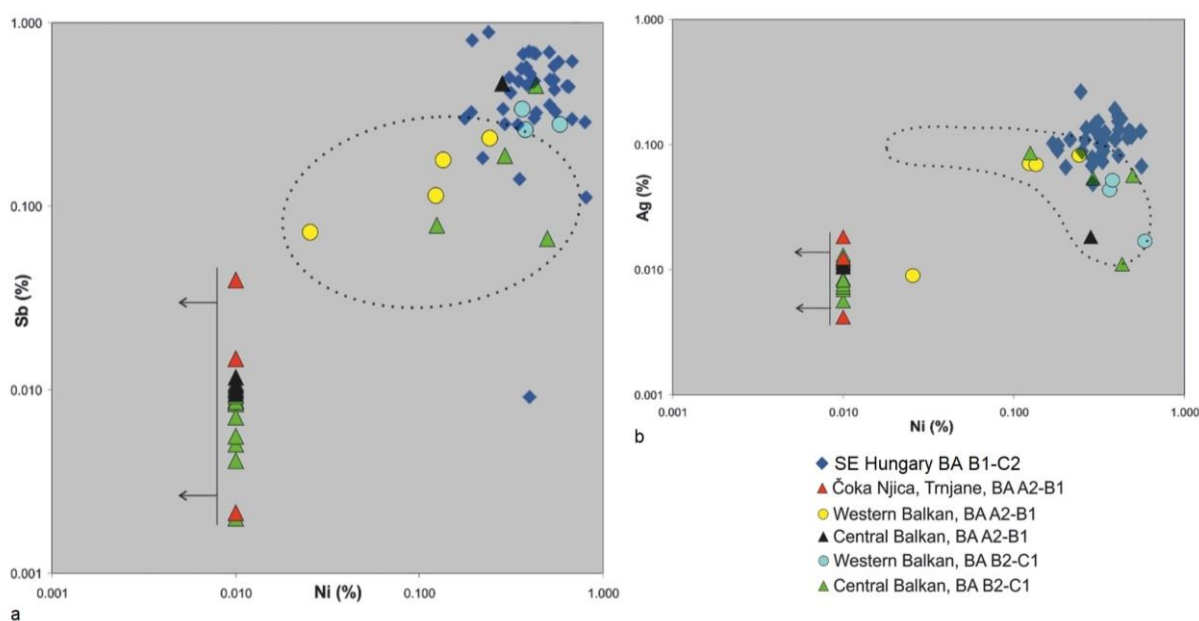
The measured As/Sb ratio (values in wt%) on a logarithmic scale in the measured Tumulus and Koszider period objects from SE Hungary (basic diagram: Mödlinger & Trebsche 2020, Fig. 7b.)

**10. ábra:**

A mért As/Ni (t%) arány logaritmikus skálán az általunk vizsgált, DK-Magyarországról származó koszideri és Halomsíros tárgyakban (alapdiagram: Mödlinger & Trebsche 2020, Fig. 7a.). Feliratok: Slovakia - Szlovákia, SE Hungary R B-C - DK-Magyarország, Reinecke B-C

Fig. 10.:

The measured As/Ni ratio (values in wt%) on a logarithmic scale in the measured Tumulus and Koszider period objects from SE Hungary (basic diagram: Mödlinger & Trebsche 2020, Fig. 7a.)



11. ábra: A mért Ni/Sb és Ni/Ag (t%) arány logaritmikus skálán az általunk vizsgált, DK-Magyarországról származó koszideri és Halomsíros tárgyakban, a Balkán hasonló korú tárgyaival összehasonlítva (alapdiagram: Mehofer et al. 2021, Fig. 13.). Adataink (a nagyobb ezüsttartalmat leszámítva) közel vannak a Közép- és Nyugat-Balkán Reinecke B2-C korú tárgyainak adataihoz, amelyeket észak-italiai érclőhelyekkel kapcsolnak össze, és elkülönülnek a helyi, bori ércek adataitól. Feliratok: SE Hungary - DK-Magyarország, BA - Bronzkor, Western Balkan - Nyugat-Balkán, Central Balkan - Közép-Balkán.

Fig. 11.: The measured Ni/Sb and Ni/Ag ratio (values in wt%) on a logarithmic scale in the measured Tumulus and Koszider period objects from SE Hungary (basic diagram: Mehofer et al. 2021, Fig. 13.). Our data (except for the higher silver content) are close to those of BA B2-C objects from the Central and Western Balkans, which are associated with ore deposits in northern Italy, and are separate from the local Bor ores

A forrásterület szempontjából legfontosabb az Ag/Ni, illetve az Ag/Sb arányt ábrázoló diagram (**6. ábra**, **7. ábra**, **11. ábra**). Előbbi Ernst Pernicka és munkatársai publikációjából származik, amely számos pontos érc- és fémlemezési értéket ad meg (Pernicka et al. 2016a, Fig. 23.). Jól látható, hogy az általunk mért adatok nincsenek fedésben a mitterbergi adatokkal, de jól illeszkednek a szlovákiai Garam-völgyben mért érclemezési adatokhoz (forrásuk: Schreiner 2007, 1. még Schreiner et al. 2012). A minták ezüsttartalma szisztematikusan, egy nagyságrenddel nagyobb a Mitterbergben mért értékeknél, (vö. Pernicka 2013, Fig. 3., Pernicka 2017, Abb. 6.), Ag/Ni arányuk közeli a Svédországból ismert bronztárgyakéhoz (Ling et al. 2023, Fig. 12.). Szintén jó az egyezés a Balkánról mért tárgyak nyomelem-mintázatával is, amelyeket az ólomizotóp-mérések alapján az észak-itáliai Trento környékéről származó rézből készíthettek (Mehofer et al. 2021, Fig. 13-14.).

Az Ag/Sb arány alapján hasonló tendencia rajzolódik ki, az adataink nincsenek átfedésben sem a mitterbergi rendkívül kis ezüsttartalmú, kalkopirit (**7. ábra**), sem a schwaz-brixleggi nagy ezüsttartalmú fakóérces ércsedések adataival (**8. ábra**). A mitterberginél magasabb, de a schwaz-brixlegginél kisebb antimon- és ezüsttartalom a Garam-völgy ércsedéseire jellemző (Mödlinger & Trebsche 2020, Fig. 7c., Ling et al. 2023, Fig 12., Radivojevic et al 2018, Fig. 11.).

A tárgyak alapját képező réz nyomelem-eloszlása jól illeszkedik a szlovákiai Garam-völgy és az észak-itáliai Trento környékének ércsedéseire. A kelet-alpi Mitterberg ércsedése, eltérő nyomelem-arányai, elsősorban az ezüst/nikkel arány alapján nem valószínű származási hely. Bár a mitterbergi és a szlovákiai ércsedések között van némi átfedés (Pernicka 2013, Fig. 3., 51., Pernicka 2016a, Fig. 23.), az adatainkban jól elkülönül a két régió.

Az As/Sb arány szerint is leginkább a Garam-völgyi értékeknek felelnek meg a mért adataink, de itt részben átfedés tapasztalható a mitterbergi adatokkal (**9. ábra**, Mödlinger & Trebsche 2020, Fig. 7b.). Az As/Ni aránynál a mitterbergi és szlovákiai értékek nagyrészt átfedésben vannak (**10. ábra**, Mödlinger & Trebsche 2020, Fig. 7a.).

A Közép-Balkánról publikált friss eredmények (Mehofer et al. 2021) azt sugallják, hogy Kr. e. 1600 után elterjedt az észak-itáliai, Trentinóból származó réz használata, amelynek nyomelem tartalma nagyobb a mitterberginél, hasonló a Garam-völgyihez, de ezüsttartalma kissé kisebb. Bár ezek az adatok nincsenek teljes összhangban a méréseinkkel (**11. ábra**), ezt a fontos nyersanyag-forrást mindenképp számításba kell vennünk. Az idézett cikkben szerepelnek a Sombor, Apatinski puti leletből származó tűk, amelyeket a cikkben valamivel 1600 BC után kelteznek, vagyis a mi

leleteinkkel nagyjából egykorúak lehetnek. Ezek a nagyobb nyomelem tartalmú bronzok az ólomizotóp-adataik szerint egyértelműen az észak-itáliai régióból származnak (Mehofer et al. 2021, 9, Table 1, 10_Som, 11_Som, 12_Som).

A kérdés végleges lezárásához szükséges lenne később ólomizotóp-méréseket végezni a cikkünkben elemzett tárgyakon.

A forrásterület kérdésének diszkussziója

Adataink azt sugallják, hogy a Halomsíros-kultúra és a koszideri időszak elemzett tárgyainak réz nyersanyaga a szlovákiai Garam-völgy vagy az észak-itáliai Trento környékének ércsedéseiből származik. A kivételes összetételű majsai tű (53.50.8., 40. tárgy, **1/4 ábra**) és alsótanyai csákány (1/1904, 38. tárgy, **1/24 ábra**) alacsony szennyezőanyag-tartalmát rendre a fém nyersanyag feldolgozása, újraolvasztása, tisztítása során bekövetkező változásokkal; illetve mitterbergi eredetű fémme, vagy azzal való keveréssel (Berger et al. 2022) magyarázhatjuk.

Az eredmények geológiai kontextusba illesztéséhez szükségesnek látjuk a szakirodalom alapján a szóba jöhető ércsedések (Garam-völgy/Údolie rieky Hron, Trentino, Mitterberg, Nagybánya/Baia Mare környéke, Erdélyi-érchegység/Apuseni/Metaliferi Mts., Bánság/Banat, Bor) főbb jellemzőit áttekinteni.

Marcus Schreiner (Schreiner 2007, Schreiner et al. 2012) elemzési adatai alapján a Szlovák-Érchegység Garam-völgyi ércsedéseinek (Besztercebánya/Banská Bystrica környékén Úrvölgy/Špania Dolina, Libetbánya/L'ubietová és Pónik/Poniky, Körmöcbánya/Kremnica környéke, Selmecbánya/Banská Stiavnica környéke) fakóérces-kalkopirités rézérc szisztematikusan nagyobb antimon-, arzén- ezüsttartalmat mutat, mint a mitterbergi ércsedéseké, ahol csak az arzén és a nikkel a jellemző nyomelem (Pernicka et al. 2016b, Berger et al. 2022, 59.). Nyomelem-eloszlásaik jellegzetesebbek, mint az ólomizotóp-arányaik eloszlása, utóbbiak komoly átfedést mutatnak a mitterbergi adatokkal (Schreiner 2007, Schreiner et al. 2012, Pernicka et al. 2016b, 69., Berger et al. 2022, 59.).

A kvarcos telérek szulfidos ércsedést tartalmaznak, ezeket egészen a modern időkig bányászták. Úrvölgy/Špania Dolina és Libetbánya/L'ubietová rézércsedése döntően fakóérces (ezüsttartalmú tetraedrit és tennantit) és kalkopirités (változó arányban), de megjelenik bennük bornit, arzenopirit, galenit, szfalerit, pirit, kobaltit, gersdorffit (Czajlik 2012a, 45., Borčinová-Radková et al. 2017, 1092., Luptáková et al. 2016, 180-181.). Libetbánya-Podlipán (L'ubietová-Podlipa) a fakóérc 0,1 t% körüli ezüsttartalmú, ami jól korrelál a fémtárgyainkban mért adatokkal is

(Luptáková et al. 2016, Tab. 2.). Úrvölgy-Homokhegyen (Špania Dolina-Piesky) a tetraedrit szemcsék, foltok vagy akár 10 cm széles tömött erek formájában, kalkopiritrel keverve fordul elő. A régi, középkori meddőhányókról vett érces mintákban a tetraedrit ezüsttartalma 0,15 t% körüli (0,05–0,26 t%, Borčinová-Radková et al. 2017, 1092.), emellett jelentős az arzén (jellemzően 4–9 t% között), a vas (4 t% körül) és a cink (1–2,5 t% között) jelenléte is (Sejkora et al. 2013, 89, Tabulka 1-4.).

A bronztárgyak nikkell- és kobalttartalmát a rézércekkel együtt megjelenő járulékos ásványoknak lehet tulajdonítani. Az ún. Cu-Ni-Co-Bi-Ag típusú érctelepek jellemzője, hogy ritka geokémiai összetételük miatt az ezekből származó réz nyomelem-eloszlása bizonyos korlátokkal alkalmas az eredet meghatározására. Ilyenek pl. az Úrvölgy/Špania Dolina környéki, bischofshofeni, mitterbergi és schladmingi érctelepek (Czajlik 2012a, 41, 89.). Jellegetes nikkell-arzén ásvány a gersdorffit (NiAsS), amely a mitterbergi érces területről is ismert (Pernicka 1999, 164, Pernicka 2014, 250). Ez az ásvány a Szepes-Gömöri érchegeységben Dobsinán (Dobšiná) nagy mennyiségben van jelen, erről a területről azonban egyelőre nincsenek átfogó ércelemzési adatok (Sánta, 2011, 315, 2013, 80., Kiefer et al. 2020, Ozdín & Kúsik 2018, 74.). A nikkelskutterudit ((Ni,Co,Fe)As₃) és a kobaltit (CoAsS) is, kis mennyiségben elterjedt járulékos ásvány Libetbányán (L'ubietová, Luptáková et al. 2016), a kobaltit pedig Úrvölgy-Homokhegyen is (Špania Dolina-Piesky, Borčinová-Radková et al. 2017, 1092.).

A nikkelskutterudit Dobsinán (Dobšiná) igen elterjedt, a 19. században itt kerültek elő a világ legnagyobb, 3–4 cm-es kristályai (Ozdín & Kúsik 2018, 76).

Úrvölgy-Homokhegy (Špania Dolina-Piesky) környékén régóta ismertek az őskori rézbányászat régészeti nyomai, elsősorban kőkalapácsok, illetve a lelőhelyen feltárt rézkori és bronzkori kerámia, valamint a zólyomi (Zvolen) lausitzi kincslelet (Točík-Žebrák 1989, Žebrák 1995). A környékről ismert bronzkori ingotok összetétele közeli kapcsolatot mutat az úrvölgyi fakőércekkel (Modarressi-Tehrani et al. 2016, 121.).

A bányászat a leletek és a fémelemzések alapján is a Kr. e. 4. évezredre, a középső rézkorig nyúlik vissza (Modarressi-Tehrani et al. 2016, 110, Slovenské Pravno: a Ludanice kultúra településén talált ércpörkölt, régi horpák, Czajlik 2012a, 45.). Ezt a magyaregresi középső rézkori kincslelet friss elemzési adatai is igazolják (Siklósi et al. 2022, 33–34.). A bochumi Deutsches Bergbau-Museum újabb kutatásai Libetbányán (L'ubietová-Vysoká) fémleletekkel keltezett bányászati területet, Úrvölgy-

Homokhegyen (Špania Dolina-Piesky) valószínűleg őskori bányagödröket tártak fel azon a szűkebb területen, ahol A. Točík és munkatársai ásátásán kőkalapácsok kerültek elő (Modarressi-Tehrani et al. 2015, Garner et al. 2021).

Észak-Itáliában, Trentino tartományban, az Adige folyó mentén (Trento környéke), annak hegyvidéki zónájában jelentős szulfidércesedések vannak, amelyekre a kalkopirités rézérc mellett Zn-Pb-szulfidok jellemzőek. A polimetallikus ércesedés ezüsttartalma is említésre méltó. A rézkortól művelt ércesedést a késő bronzkorban az Adige keleti mellékvölgyei mentén aknázták ki (Czajlik 2012a, 44.). A legfrissebb kutatások a bányászat két fő periódusát a Kr. e. 3. évezred közepére és a késő bronzkorra helyezik, a középkori bányászat a korábbi nyomok jelentős részét felülírta. A Kelet-Alpok más ércelelőhelyeihez képest rosszul kutatott területről nemrégiben széles körű ólomizotóp-adatbázist közöltek (Artioli et al. 2016).

A feltárt ércolvasztó helyek radiokarbon dátumai Kr. e. 1450/1400–900 között szórnak, többségük 1400–1200 közé tehető (Silvestri et al. 2019, Fig. 10.).

Alig vannak ércelemzési adatok a Keleti-Kárpátok, Máramaros és az Erdélyi-érchegeység (Muntii Metaliferi) területéről. A Vihorlát-Gutin-Lápos vonulat gazdag polimetallikus ércesedéseket tartalmaz, amelyek jelentősége a kiterjedése, kiaknázhatósága miatt Mitterberghez hasonlítható (Czajlik 2012a, 46., Pernicka et al. 2016b, 69.). Középső bronzkor végi, késő bronzkor eleji kiaknázását David Liversage is felvetette (Liversage 1994). A kutatás hiányossága miatt az őskori hasznosítására kevés, főképp indirekt bizonyíték utal: egy meghatározatlan korú salaklelőhely Dragomérfalván (Dragomirești), ércolvasztó-helyek (Erzsébetbánya/Băiut, Dragomérfalva/Dragomirești), ismeretlen korú bányák (Erzsébetbánya/Băiut), a bányaterületeken előkerült rézcsákány (Nagybánya-Kereszthegey/Baia Mare-Dealul Crucii) és tokos balta (Avasújváros/Orașu Nou, Czajlik 2012a, 46., Czajlik 2012b, 99.).

A térségre jellemző ércesedés tipikus példája a felsőbányai (Baia Sprie, RO) Fő-telér szerkezete. Ez a felszín közelében elsősorban arany- és ezüsttartalmú, bár arzén és antimon is gazdagon megjelenik benne. A telér a mélyebb szinteken ólom-cink-ércesedést tartalmaz. Rézércesedés csak a telér legmélyebb szintjén, több száz méter mélyen jelentkezik (Pernicka et al. 2016b, 69.). A témával Sánta G. is foglalkozott, bemutatva a régió főbb ércesedéseinek geológiai és ásványtani jellegét (Szabó et al. 2022, 26–35., Sánta 2023, 21–29.). A rézércek nagy mélysége kétségesé teszi a felsőbányai telérek bronzkori rézbányászatát. A nagybányai (Baia Mare) érces régió ólomizotópadatai részben átfedésben vannak a szlovákiai és

mitterbergi adatokkal, de elkülönülnek a Cseh-Szász Érchegeység (Erzgebirge) adataitól (Pernicka et al. 2016b, Fig. 15.).

Az Erdélyi-érchegeység (Muntii Metaliferi, pl. Bucsony/Bucium, Verespatak környéke, Veresmező/Poiana Rosie) rézércesedése porfiro típusú, azaz a kőzetben szétszórtan, alacsony koncentrációban van jelen a rézérc, ennek őskori kiaknázása az érc nagy mélysége és nagyon alacsony fémtartalma miatt igen valószínűtlen, csak a modern bányászati technológiával lehetséges (Pernicka et al. 2016b, 69.). Az erről a területről rendelkezésre álló ólomizotóp-arányok eltérnek a fentebbiektől ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: 18,63–19,07, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: 15,594–15,690, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: 38,25–38,81, Macroux et al. 2002, Table 2.). Az aranybányászatot túl Aranyosbányáról ismeretlen korú rézbánya és 32 db olvasztókemence is ismert (Czajlik 2012a, 47.). A romániai Bánság középső részén, Vaskő (Ocna de Fier), Dognácska (Dognecea) környékén jelentős polimetallikus ércesedések vannak. Itt a jura-alsó kréta korú mészkőbe benyomult granodiorit kontaktmetamorf ércesedést hozott létre, amelynek fő ásványai a magnetit és a hematit (vasérc), de a járulékosan keletkezett réz- és színesércnek mennyisége is jelentős (Ciobanu & Cook 2001, 2004). A felszíni kibúvással is rendelkező ércetek kiaknázása a 18. században kezdődött, korábbi művelésük nem ismert. A délebbre lévő Újmoldova (Moldova Noua) rézércesedése is ebbe a kontaktmetamorf övbe illeszkedik, amelynek oxidos érceit már a rézkorban fejthették, erre Corneánál kisebb horpák utalnak (Czajlik 2012a, 47.).

A Közép-Balkán és egyben Európa egyik legfontosabb, vizsgált területünkhöz közeli rézércesedései Rudna Glava, Bor, Majdanpek környékén találhatók. Bor ércesedését a Timok-masszívum felső-kréta korú kőzetben enargit-luzonit (Cu_3AsS_4) tömzsek és telérek felszíni kibúvásai alkotják, amelyek jelentős oxidációs övvel rendelkeznek, fő ásványai a fentiekén kívül a bornit (Cu_5FeS_4) és a kalkozin (Cu_2S). Majdanpek hidrotermás ércesedésének fő ásványai a pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2) és a bornit (Czajlik 2012a, 47). Ezek őskori kiaknázása régóta ismert, a késő neolitikum és rézkor időszakától, egészen a Kr.e. 3. évezred közepéig az oxidációs övben lévő, felszín közeli, könnyen kitermelhető és kohósítható oxidos érceket termelték. A mélyebben lévő, át nem alakult szulfidos ércek kitermelése, kohósítása nehezebb. Kelet-Szerbia területén az első kézzelfogható nyomok a bronzkori fémfeldolgozásra a Bor környéki Trnjane, Ružana és Čoka Njica lelőhelyekről származnak (salakok, érc- és rézdarabok, kohó). A lelőhelyeken talált ércdarabokban kovellin (CuS), enargit (CuAsS_2) és pirit található kvarcos mátrixban, ezek jól illeszkednek a helyi ércesedés ásványi összetételéhez. A

salakokban megmaradt ércszemcsék SEM-EDS vizsgálata kalkopiritos kiinduló ércre enged következtetni, amely ásvány szintén jelen van a bori ércesedésben (Mehofer et al. 2021, 1-4).

A Kr. e. 1700–1500 közötti időszak fémnyersanyagai

A vizsgált tárgyak összetételét a térben és időben hozzájuk legközelebb álló leletekkel hasonlítjuk össze. A korai halomsíros időszak az Alföldön már a Kr. e. 16. században, valószínűleg 1600/1550 körül megkezdődhetett (l. Kiss et al. 2019), így a Hajdúsámson köré egy periódussal korábbi, az apai kincs és a koszideri korszak leletei pedig kissé korábbiak vagy egyidősek a vizsgált tárgyaik egy részével. A Halomsíros-kultúra Reinecke B-C periódusban használt jánoshidai temetőjéből kapott friss C-14 adatok a temető használatát a Kr. e. 15. századra teszik (Csányi 2019, 56, 4. grafikon). A Dél-Alföldön az általunk is vizsgált Tápé-Szentéglácut halomsíros temetője Kr. e. 1450–1350 közé keltezhető (O'Shea et al. 2019, Fig. 5., 8.). Szerencsés véletlen, hogy a vizsgálatunkba bevont sírok közül négyből is rendelkezésre állnak radiokarbon dátumok (Tápé 462. sír: 1450 BC, a temető korai időszaka, Tápé 25. és 518. sír: 1400 BC, a temető használatának közepe, Tápé 324. sír: 1350 BC, a temető használatának késői időszaka, l. **1. melléklet**, O'Shea et al. 2019, Fig. 5.).

A késő bronzkori fémművesség során feltűnő jellegzetességek, pl. különleges ötvöző anyagok használata a vizsgált anyagban nem jellemző, anyagunk egyértelműen a vele egyidős és korábbi fémtárgyak összetételével mutat rokonságot, azokkal hasonlítható össze.

A vizsgált területünkről már a stuttgarti nagy őskori fémvizsgálati projekt során is elemeztek tárgyakat. Ezek alapján a bogárzói temetőből elemzett fémek 6–7 t% ónt, 0,5–0,7 t% arzént, 0,1–1 t% antimont, 0,2–0,4 t% nikkelt tartalmaztak, bizmut és ezüst jelenléte nem igazolható. A bilisicsi temetőben talált tárgyak és a Tisza-mederben Szegednél talált lelet 6–10 t% ónt; 3 esetben (bilisicsi karperecek) 0,3 t% körüli ólmot, 0,2–1,65 t% arzént 0,15–1,85 t% antimont 0,37–0,84 t% nikkelt tartalmaztak minimális ezüst (0,05 t% vagy az alatt) jelenléte mellett (Krause 2003, CD-melléklet, Sánta 2011, 311.). Az adatok hasonlóak a most kapott eredményekhez, egyedül az ezüstöt mértük átlagban kicsit nagyobbban. A jellemzett tárgyakat az Einheitskupfer/Ostalpines Kupfer csoportba sorolták. A stuttgarti törzsfán ezek az FB1-2 csoportba tartoznak (Junghans et al. 1968).

A hajdúsámsoni (Reinecke A2/ Mozsolics BIIIa), téglási (Reinecke B1/Mozsolics BIIIb, Koszider) és apai kincsekről a legutóbbi időben számos fémosztétel-, és ólomizotóp-elemzés készült

(Pernicka 2013, Dani et al. 2013, Pernicka et al. 2016b). A téglási kard pengéjének és a csákánynak az összetétele, a nyomelemek (As, Sb, Ag, Ni) terén hasonló a vizsgált mintáink összetételéhez. A hajdúsámsoni és vámospércsi leletek As- és Ni-tartalma hasonló, de az Sb- és Ag-tartalom sokkal alacsonyabb (Pernicka 2013, Table 1-2.). A hajdúsámsoni lelet tárgyainál, és a téglási kard markolatánál arra jutottak, hogy ezek alacsony szennyezőanyag-tartalmú rezének forrása egyértelműen Mitterberg. Ezzel ellentétben a közel egyidősként kezelt téglási kard pengéje és egy vámospércsi csákány reze inkább a Garam-völgyből származik, de nem zárható ki teljesen Mitterberg sem (Pernicka 2013, 54.). Ez utóbbi eredményt erősítette meg a Dani János vezette kutatócsoport is, de felhívta a figyelmet a téglási lelet későbbi datálására, amit a nyomelem-arányok eltérései is alátámasztottak. A tárgyakat hosszabb időszakon keresztül gyűjtötték össze (Dani et al. 2013, 44-45.). A szendrőládi nyakkorongos csákány (A1-es típusú, korai hajdúsámsoni kincs-horizont) éléből vett minta nagy ezüst-, arzén és nikkeltartalma (Barkóczy et al. 2011, 295, 1. táblázat) is inkább utal egy fakóérces, talán szlovákiai forrásra, mintsem mitterbergi eredetre.

Az apai lelet (MDI, Reinecke B1/Koszider) nyomelem-mintázata szintén az általunk vizsgálttól eltérő, nagy As- és Ni, de kis Sb- és Ag-tartalmat mutat. Nyomelemeik és ólomizotóp-arányaik arra utalnak, hogy a tárgyak mitterbergi rézből készültek. A térben közeli Nagybánya (Baia Mare, RO) ércesedése az ólomizotóp-arányok tanúsága alapján kizárható (Pernicka et al. 2016b, 69, Fig. 17., 20-21.). A hasonló korú Tărian-i korongos végű csákány és számos más középső és késő bronzkori tárgy (Ösenring-ek, csákányok, török, sarló, Pernicka et al. 2016b, Tab. 4.) vizsgálata során azonban egy nagy ezüst- és változó nikkeltartalmú rézanyagot találtak, amelynek forrásterületét a Garam-völgyben feltételezik (Pernicka et al. 2016b, 78.). Ernst Pernicka és munkatársai arra a következtetésre jutottak, hogy az apai, hajdúsámsoni, téglási kincsek, és más hasonló korú fémtárgyak rézanyaga többféle forrásból származik. A hajdúsámsoni és apai leletek kardjai és csákányai a mitterbergi főtélér (ahogy korábban láttuk, alacsony szennyezőanyag-tartalmú) rezéből készültek, míg más leletek nyersanyaga leginkább a szlovákiai Garam-völgy felé mutat. Felteszik, hogy a technikailag kihívást jelentő tárgyak (kardok, spirális kartekercsek) előállításához jó minőségű nyersanyagot igyekeztek használni, ezért választották a mitterbergi rezet (vö. Nessel & Pernicka 2020, 364.). E. Pernicka és kutatócsoportja azt állítja, nincsen közvetlen kapcsolat a fém kiválasztása és a kész tárgy társadalmi-szimbolikus jelentése között, ahogy azt a tăriani csákány nyersanyaga bizonyítja. A fém nyersanyag beszerzése több forrásból történhetett,

így Mitterbergből, amelynek kiterjedt kereskedelmi hálózata jött létre a közép-európai korai bronzkor végén (Reinecke A2), továbbá a szlovákiai Garam-völgy ércesedéseiből is. Azt is felvetik, hogy néhány tárgyhöz a Nagybánya (Baia Mare) környéki telepek rézét használhatták, amit az ólomizotóp-arányok talán megengednek (Pernicka et al. 2016b, 82.). Az egyes depók tárgyait egyszerre készítették, nagyon hasonló nyersanyagból, és nem gyűjtötték hosszabb időn át (Pernicka et al. 2016b, 78.).

Ez ellentétben áll Dani J. és kutatócsoportja eredményeivel, akik a tárgyak hosszabb idejű összegyűjtésével számolnak, és igazolják, hogy a hajdúsámsoni kardot sohasem használták (Dani et al. 2013, 44-45.).

A délnémet, kelet-alpi bronztárgy-elemzések alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a régióban a helyi kora bronzkor végéig (Reinecke A2, Kr. e. 1600 k.) a „fakóérces réz” (fahlore copper) használata dominál, ekkor azonban megjelenik a sokkal tisztább mitterbergi „kalkopirites” réz (chalcopyrite copper), amely a középső bronzkorban (Reinecke B-C) kizárólagossá válik. A középső bronzkor végén (Reinecke D), késő bronzkorban ismét megjelenik a „fakóérces” fém-típus (Pernicka et al. 2016a, Fig. 20., Radivojevic et al. 2018, Fig. 10., Kiss 2020, 317-318., Fig. 3.). A mitterbergi főtélér legintenzívebb használata 1500–1300 BC közé tehető (Pernicka et al. 2016a, Fig. 4-6.).

Bianka Nessel és Ernst Pernicka szintén hangsúlyozzák a mitterbergi eredetű nyersanyag elterjedését a közép-európai korai bronzkor végén. Véleményük szerint ez az alacsony szennyezőanyag-tartalmú („kalkopirites”) réztípus jobb minőségű tárgyak előállítását tette lehetővé, így a kelet-alpi közösségek magasabb fokú specializációját mozdította elő. A korszak elején (1800 BC körül) inkább ingotok, a végén (1600 BC körül) inkább ötvözött kész tárgyak formájában történt a fém kereskedelme. Kr. e. 1650 BC előtt a szlovákiai Garam-völgy fakóérces jellegű, és a mitterbergi kalkopirites réz együttes használata jellemző, később a mitterbergi fém dominánssá válik. Ez a fém már ekkor (a korai Hajdúsámson-Apa kardok időszakában) kész, kidolgozott, de esetleg díszítetlen tárgyak (pl. csákányok), vagy ezek részei (kardpengék, markolatok, szegecsesek, stb.) formájában vándorolhatott, amelyeket a végső felhasználás helyén alakítottak végleges formájúra, vagy díszítettek a helyi szokások szerint. A késői típusú Hajdúsámson-Apa kardok már egybeöntött formában készültek, amely magasabb szintű mesterségbeli tudást feltételez. A cikkírók szerint a magas minőségű kardok kiváló nyersanyagot, magasan képzett szakembereket és hatékony munkafolyamatokat igényeltek (Nessel & Pernicka 2020, 364.). A téglási fegyverek származási helye és az ekkor megjelenő, Kárpát-medencére jellemző Zungen-

barrenek jelenléte azonban arra utal, hogy a fentebb vázolt kép csak részben lehet igaz (utóbbi téma részletes kifejtését l. lentebb).

A Hajdúsámson-Apa kör Pb-, Sn- és Cu-izotóp-arányainak részletekbe menő elemzésével Daniel Berger és munkatársai egy hipotézist állítottak fel, amelynek a lényege a különböző forrásból származó fémek keverése, ill. ezek azonosítási lehetőségei. A Hajdúsámson-Apa körnél a mitterbergi és a szlovákiai Garam-völgyből származó réz nyersanyag használatát, ill. különböző arányú keverését állítják (Berger et al. 2022, 62-70.). Néhány esetben (pl. az alsótanyai csákánynál és a majsai tűnél) mi is elképzelhetőnek tartjuk a fém típusok keverését.

Érdekes kép bontakozik ki az északi bronzkor és a Kárpát-medence kapcsolatáról Johan Ling és munkatársai kutatása nyomán. A széles körű fém elemzések alapján egyértelmű, hogy a Kárpát-medencei középső bronzkor II. periódusának végétől intenzív kapcsolat alakult ki a Kárpát-medence és a mai Észak-Németország, Dánia között. Régóta ismert, hogy az ottani kora bronzkor I-III-ba sorolható kardok (pl. Valsømagle, Stensgård, Dystrup, stb., Bunnefeld 2016a, 2016b) tipológiailag nagyon erős kapcsolatot mutatnak a Hajdúsámson-Apa körrel. Az elemzési adatok azt mutatják, hogy ezek a tárgyak döntő részben szlovákiai, Garam-völgyből származó réz nyersanyagból készültek, de szintén megjelenik köztük a mitterbergi fém, illetve cornwalli és észak-olasz kelet-alpi nyersanyag is. A százhalombattai tellen talált fém tárgyak között dominálnak a mitterbergi vagy kevert mitterbergi/Garam-völgyi nyersanyagból álló tárgyak, de egy tiszta réz ingot és a fémfeldolgozásra utaló hulladék összetétele tisztán szlovákiai eredetet tükröz. A szerzők azt állítják, hogy az északi bronzkorral való erős tipológiai és nyersanyagbeli kapcsolat arra utal, hogy a Kárpát-medence és a dél-skandináv régió osztozott a fém nyersanyagforrásokon, a fém beszerzése közös területről történt, azonos kapcsolatrendszerben, amelyben a Kárpát-medencei tellek (különösen Százhalombatta) fontos, esetleg elosztó szerepet tölthettek be (Ling et al. 2023, 21-23.).

Marianne Mödler, Peter Trebsche és munkatársaik a Prigglitz-Gasteil-i késő bronzkori (1350–800 BC) bányász- és fémművestelepelt kutatták, ahol rézércdarabok, öntőlepenyek, kész-termékek és törött bronztárgyak kerültek elő. A kisebb volumenű helyi bányászat tárgyát a döntően kalkopirit, kiugróan alacsony ólomtartalmú helyi érc képezte, de a fémfeldolgozás során használtak máshonnan származó, legfőképpen szlovákiai, Garam-völgyi rezezt is. Ezt a helyi és a környék más kelet-alpi bányáiból származó rézzel, valamint régi, újra felhasznált, törött bronztárgyakkal keverték. A szerzők által felvázolt kép szerint az itteni későbronzkori fémfeldolgozó közösség széles körből szerezte be a réz nyersanyagot, az ellátásban

pedig fő szerepet játszhatott a Garam-völgy (Mödler et al. 2021, 26-29.).

A Kárpát-medencei rézbányászat és nyersanyag kereskedelem legújabb, diakrón áttekintésében Kiss V. és Romhányi B. is arra a megállapításra jut, hogy a fakóérces jellegű rézérc használat a korai bronzkor végéig döntő jelentőségű Közép-Európa fémellátásában, Kr. e. 1600 után viszont a kalkopirit érc szinte kizárólagos használata figyelhető meg egészen 1400 környékéig. A késő bronzkorban, különösen annak második felében a fakóérces jellegű rezezt ismételt térnyerése figyelhető meg. Utóbbiak legfontosabb forrása a Garam-völgy ércesedése lehetett. A régióban, bizonytalan ideig tartó hiátus után a középkor végén, a 15. században lendül fel ismét a rézérc-termelés, amelynek nagy ezüsttartalma komoly hasznót hozott a bányákat az 1500-as években üzemeltető Thurzó-Fugger-vállalkozásnak (Kiss & Romhányi 2023, 12-15.).

A Balkán hasonló korú (Kr. e. 2000–1500) leleteit Mathias Mehofer és Mario Gavranović kutatócsoportja vizsgálta. Bor érclelőhelyéhez közel három bronzkori településen (Trnjane, Ružana, Čoka Njica) találtak fémfeldolgozásra utaló közvetlen bizonyítékokat: nagy mennyiségű salakot, rézcseppeket és kemencét. A salakokban lévő ércmaradékok és *matte* (rézkohászati köztes termék) elemzése helyi érc feldolgozására utal. A településeket nagyjából Kr. e. 1900–1700 között használták, és nincs jele Kr. e. 1600 utáni aktivitásnak (Mehofer et al. 2021, 2-7.).

A Közép- és Nyugat-Balkán bronztárgyainak elemzésekor alapvetően két nyersanyag típust tudtak elkülöníteni: egy kis szennyezőanyag-tartalmú, egyedül arzénban gazdagabb típust, és egy nagyobb nyomelem tartalmú fém, amiben nikkel, antimon és ezüst is megjelenik. A kis szennyezőanyag-tartalmú réz összetétele hasonló a Bor környéki Kr. e. 1900–1700 közötti telepeken talált *matte* nyomelem arányaihoz, ólomizotóp-mintázatuk a bori és a szintén helyi, lipai ércesedés ólomizotóp-arányaihoz hasonló, ez helyi forrásra utal (Mehofer et al. 2021, 8-10, Fig. 12-14.). A korábbi, Br. A2-B1 szakaszok közé keltezhető tárgyak mind ebbe az első csoportba tartoznak. Kr. e. 1600 előtt tehát döntően helyi, a bori és a geokémiai kevéssé kutatott lipai ércesedésből származik a réz.

Kr. e. 1600 körül jelenik meg a nagyobb nyomelem tartalmú nyersanyag, amely az ólomizotóp-arányok alapján észak-itáliai eredetű, Trentino környékéről származik (Mehofer et al. 2021, 9-11, Fig. 14.). Ezzel párhuzamosan a Juhor típusú karperecek (a Közép-Balkán jellegzetes tárgy típusa a B2-C időszakban) nyersanyaga még gyakran bori eredetű tisztább fém, ez a helyi fém forgalmának és/vagy termelésének továbbélését mutatja (Mehofer et al. 2021, 9.). Tehát a vizsgált

területünkhöz közel, a B2-C időszakban a helyi, bori réz háttérbe szorulása és az Észak-Itáliából származó nyersanyag növekvő aránya figyelhető meg. Ennek a fémnek a nyomelem-mintázata nagyon hasonlít a mi leleteinkben megfigyelthez (**11. ábra**, Mehofer et al. 2021, Fig. 12-13., Table 1., pl. 311., 313., 326., 327., 346., 420., 10_Som, 11_Som, 12_Som kódjelű tárgyak)).

Valamivel korábbi (Kr. e. 2600–1900) dél-lengyelországi réztárgyak vizsgálata arra vezetett, hogy a fém szlovákiai, Garam-völgyi eredetű, azon belül Úrvölgy/Špania Dolina, Libetbánya/ L'ubietová és Pónik/Poniky a legvalószínűbb forrásterület (Bugaj et al. 2019, 316.).

A félkész termékek és öntőformák kérdéskörével itt nem foglalkozunk részletesen, ezért csak néhány meglévő információt vetünk össze.

A koszideri időszak jellegzetes félkész termékei a Zungenbarrenek (nyelv alakú öntecsek), amelyek használata kizárólag a Kárpát-medencére és csak a koszideri időszakra jellemző. Ezeket ötvöztött vagy ötvözetlen formában is készítették, többféle, vélhetően regionális nyersanyagból (Czajlik 2012b, 73, 92, Schubert & Schubert 1967, 189).

Öt, régebben elemzett Zungenbarren közül négy már ötvöztött volt, egy nyersrész (Art. Nr. 382. Somogy megye). Kettő nagyobb ezüsttartalmú (0,17 és 0,28 t%), antimon, arzén és nikkeltartalommal (Art. Nr. 6399, Kölesd, Art. Nr. 314, Törökszentmiklós). Ezeket talán a Garam-völgyből származtathatjuk.

Kettő kis ezüsttartalmú, arzénnel és nikkellel, de antimon nélkül (Art. Nr. 382. Somogy megye, Art. Nr. 58. Dunaföldvár). Véleményünk szerint ezek a tárgyak mitterbergi eredetű rézből készültek, különösen a Somogy megyei ötvözetlen Zungenbarren.

Az ötödik kis ezüsttartalom mellett nagyobb nyomelem arányokat mutat (Art. Nr. 200., Sárbogárd). Utóbbi talán többféle réz keveréke vagy forrásterülete eltérő. (Schubert & Schubert 1967, 192-202., elemzési adatok táblázata.)

A fémművesség nyomai gyakoriak a Halomsíros településeken. A leggyakoribb leletek az öntőformák, ezek legutóbb Visegrád-Diósról, Kozármisleny 97. lelőhelyről, Siklós, 2. sz. Téglagyárról, valamint Paks-Gyapa – Rostipusztáról kerültek elő (Mali, 2020, 290-291.). A Halomsíros fémfeldolgozás egyik legfontosabb bizonyítéka a 41 darabos soltvadkerti öntőformadépő (Gazdapusztai 1959, Ilon 2021, Fig. 3/73., Ilon 2022, Fig. 3/82.). Az említetteken kívül még nagyjából egy tucat helyről ismertek a kultúra öntőformái (pl. Hegyeshalom, Keszthely, Siklós, Vát, Gelsesziget, Budapest XI, XIV, Balatonmagyaród, stb., Ilon 2022, Table 2-3.). Félkész és rontott darabokra bukkantak több dunántúli

lelőhelyen (Kozármisleny 97. lh., Hosszúhetény-Ormánd, Mali 2020, 290.), és a Dél-Alföldön is (bronzdarab és olvadék, Üllés, Petőfi-dűlő, kiskunmajsai határ II., Varga 2012, 105-106.). A Siklós 2. sz. Téglagyáron előkerült földbe ástott V/VIIa ház (gazdasági épület) a benne talált szárnyas balta öntőforma és a két nagyméretű kemence miatt esetleg fémműves műhely is lehetett, amit a kerámialeletek alapján a kései halomsíros időszakban használhattak (Mali 2020, 287, 291, 79b. ábra).

Összegzés és továbblépés

Ebben a cikkben a korábbi, 2010-2011-es projektünk (Sánta 2011, Sánta 2013, Šmit 2015) eredményeit értékeltük újra. A 39 tárgy alapanyaga As, Sb, Ni, Ag-nyomelem tartalmú réz. Három csoportot tudtunk elkülöníteni köztük: 1-1a. egy átlagos összetételű, 2. egy kiugró cink-, és 3. egy kiugró ólomtartalmú csoportot. Az alapfém nyomelemeinek 1 nagyságrendnyi varianciája megfelel az érctelepeknél tapasztalható természetes változatosságnak. Valószínűleg nem számolhatunk a fémtárgyak széles körű újrafelhasználásával, de esetlegesen előfordulhatott a fémek keverése.

A tárgyak egy csoportja 0,5–2 t% átlagos cinktartalmat mutat. Ezek a Dorozsma-Majsai Homokhátságról, a halomsíros kultúra korai időszakába datált temetőkből (Bogárzó, Röske) származó, illetve tipológiai szempontból is korai típusú tárgyak. Egyfajta kohászati tudás (mester-tradíció?), és/vagy érc/fémtípus jellemző a korai halomsíros periódusra (Reinecke B1-2), és a Dorozsma-Majsai Homokhátság egy részére, és az adatok alapján nincs jelen a tápéi temető bronzműves-tradíciójában. A vizsgált két sarlós tűt (Bilisics, Tömörkény) szinte biztosan ugyanabból a nyersanyagdarabból, ugyanaz a mester készítette.

A Szeged-Alsótanya-kancsalszéli tuskés-korongos csákány anyaga nagy tisztaságú, kis nyomelem-tartalmú réz (1a csoport). Ezt a nagy tisztaságú rezet tudatosan, fejlett kohászati technikával, gondos tisztítással, salaktalanítással, mitterbergi vagy észak-itáliai rézből, vagy azzal való keveréssel hozták létre annak érdekében, hogy a fegyverként használt csákány a legkiválóbb minőségű legyen.

Az ugyanazon sírokból előkerült tárgyak többségénél kimutatható valamiféle kapcsolat a tárgyak között. Az Ásotthalom-királyhalmai, valamint a Kiskundorozsma-Átokháza-dűlői karperecek közül kettő bizonyosan azonos nyersanyagból, egyszerre készült.

A vizsgált tárgyak bizonyos nyomelemeiből képzett aránypárokat releváns publikációkból vett, azonos skálázású diagramokra vetítettük. Ezek a leletek egy zárt csoportot alkotnak, ami a kulcsfontosságú Ag/Ni diagramon egyértelműen elkülönül a

mitterbergi eredetű tárgytól, és átfedésben van a szlovákiai Garam-völgyből ismert ércminták, réz- és bronztárgyak Ag/Ni arányaival (**6. ábra**). A nyomelemek alapján a fém észak-itáliai (Trentino) eredete is komolyan számításba vehető (**11. ábra**, Mehofer et al. 2021, Fig. 12-14., Table 1.). A kérdés megnyugtató eldöntéséhez ólomizotóp-vizsgálatokra lenne szükség.

Eredményeinket a Hajdúsámson-Apa kör és a koszideri időszak más fémvizsgálataival hasonlítottuk össze. A téma kutatói körében konszenzus van a Garam-völgyi érctelepek intenzív kora és középső bronzkori műveléséről, ahonnan az északi bronzkor fémnyaga is javarészt származik (Schreiner 2007; Duberow et al. 2009; Nessel & Pernicka 2020; Siklósi et al. 2022). Ez széles körű kapcsolatrendszer feltételez, amelyben a Kárpát-medencei közösségek közvetítő szerepet játszhattak. Kr. e. 1600 körül fontosabbá, illetve csaknem kizárólagossá válik a mitterbergi kalkopirités érc bányászata, amelyből tisztább, jobb minőségű réz kohósítható. Vannak arra utaló adatok, hogy a különböző forrásokból származó réz nyersanyagokat keverhették.

Az itt tárgyalt adataink azt mutatják, hogy a Dél-Alföld Halomsíros-kultúrája a vizsgált időszakon belül (Kr. e. 1600/1550–1400/1350) feltehetőleg Garam-völgyi vagy észak-itáliai (Trentino), egy esetben talán mitterbergi, illetve esetleg több forrásból származó kevert réz nyersanyagot használt.

A fém nyersanyag forgalmáról csak sejtéseink lehetnek, a koszideri időszakban a Zungenbarrenek használata volt jellemző, de Halomsíros temetőkből és telepekről nem ismerünk ilyet. A Halomsíros-kultúra fémfeldolgozásának igen fontos bizonyítéka a 41 darabos soltvadkerti öntőforma-depó (Gazdapusztai 1959, Ilon 2021, Fig. 3/73., Ilon 2022, Fig. 3/82.).

A Szepes-Gömöri-érchegység (Dobsina, Rozsnyó környéke), érctelepeiről kevés adattal rendelkezünk, így egyelőre fehér folt a fémnyersanyagok eredetének régészeti kutatásában (Czajlik 2012a, 45., Kiefer et al. 2020, Ozdín & Kúsik 2018, de pl. Schreiner 2007 kutatási területe már nem terjed ki rá). A geológiai szakirodalom feldolgozása, nagy volumenű érc- és fémvizelmzések elvégzése, a régészeti anyag és az érclélhelyek összevetése, és komoly terepi munka lenne szükséges az előrelépéshez.

A munka közvetlen folytatásaként fontos lenne a megvizsgált tárgyak (vagy egy részük) ólomizotóp-vizsgálata, amely alkalmas lehet a feltételezett forrásterület pontosítására.

Tovább lépést jelenthet a nagy Halomsíros temetőben (Tiszafüred, Jánoshida, Mezőcsát, Jobbágyi, stb.) előkerült fémtárgyak korszerű vizs-

gálata, és az egyes sírok fémtárgyainak mikroszintű, összehasonlító elemzése. A fémvizelmzések segítséget nyújthatnak a temetők szociális szerkezetének feltárásában is, ha sikerül azonos nyersanyagú tárgyakat, tárgycsoportokat kimutatni. A félkész vagy standardizált termékek, öntőformák, fémművességre utaló más bizonyítékok részleteiből vizsgálata is várat magára. Izgalmas lenne végigkövetni a nyersanyag útját az Ipoly és Duna menti lelőhelyek: Komáromszentpéter/Svátý (Dolný) Peter, Ipolyszalka/Salka, Letkés, Üröm, Szécsény, Budapest, Százhalombatta és Sükösd fémleleteinek elemzésén keresztül.

Köszönetnyilvánítás

Munkánkat az Európai Közöség SPIRIT (Ionnyaláb-technológiával végzett közösségi és ipari kutatások támogatása) projektje, 227012. szerződésszám alatt támogatja.

A szerzők tudományos közreműködése

Sánta Gábor Kutatástervezés, Módszertan, Kísérletvezetés, Adatkezelés, Vizualizáció, Ellenőrzés, Adminisztráció, Pályázás, Eredeti kézirat, Javított kézirat. **Žiga Šmit** Módszertan, Programozás, Validálás, Kísérletvezetés, Formai elemzés, Adatkezelés, Vizualizáció, Pályázás, Javított kézirat.

Irodalomjegyzék

- ARTIOLI, G., ANGELINI, I., NIMIS, P. & VILLA, I. M. (2016): A lead-isotope database of copper ores from the Southeastern Alps: A tool for the investigation of prehistoric copper metallurgy. *Journal of Archaeological Science* 7 (Nov 2016) 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.09.005>
- BALLIANA, E., ARAMENDÍA, M., RESANO, M., BARBANTE, C. & VANHAECHE, F. (2013): Copper and tin isotopic analysis of ancient bronzes for archaeometrical investigation: development and validation of a suitable analytical methodology. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 405/9 2973–2986. <http://dx.doi.org/10.1007/s00216-012-6542-1>
- BARAN, J., DRNŽÍKOVÁ, L. & MANDÁKOVÁ, K. (1970): Sn-W zrudnenie viazané na hnilecké granity. *Mineralia Slovaca* II/6 159–165.
- BARKÓCZY P., KOVÁCS Á. & P. FISCHL K. (2011): Óskori réz és bronz leletek metallográfiai és metallurgiai vizsgálata. *Archeometriai Műhely* VIII/4 293–303.
- BERGER, D., SOLES, J. S., GIUMLIA-MAIR, A., BRÜGMANN, G., GALILI, E., LOCKHOFF, N. & PERNICKA, E. (2019): Isotope systematics and chemical composition of tin ingots from Mochlos (Crete) and other Late Bronze Age sites in the eastern Mediterranean Sea: An ultimate key to tin provenance? *PLoS ONE* 14/6 e0218326:1–46.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218326>

BERGER, D., BRÜGMANN, G., BUNNEFELD, J.-H. & PERNICKA, E. (2022): Identifying mixtures of metals by multi-isotope analysis: Disentangling the relationships of the Early Bronze Age swords of the Apa-Hajdúsámson type and associated objects. *Archaeometry* **64**/1 44–74.

<https://doi.org/10.1111/arc.12714>

BORČINOVÁ-RADKOVÁ, A., JAMIESON, H., LALINSKÁ-VOLEKOVÁ, B., MAJZLAN, J., ŠTEVKO, M. & CHOVAN, M. (2017): Mineralogical controls on antimony and arsenic mobility during tetrahedrite-tennantite weathering at historic mine sites Špania Dolina-Piesky and L'ubietová-Svätodusná, Slovakia. *American Mineralogist* **102** 1091–1100.

<https://doi.org/10.2138/am-2017-5616>

BROSKA, I., KUBIŠ, M., WILLIAMS, T. & KONEČNÝ, P. (2002): The compositions of rock-forming and accessory minerals from the Gemeric granites (Hnilec area, Gemeric Superunit, Western Carpathians). *Bulletin of the Czech Geological Survey* **77**/2 147–155.

BRÜGMANN, G., BERGER, D. & PERNICKA, E. (2017): Determination of the Tin Stable Isotopic Composition in Tin-bearing Metals and Minerals by MC-ICP-MS. *Geostandards and Geoanalytical Research* **41**/3 437–448.

<http://dx.doi.org/10.1111/ggr.12166>

BUGAJ, U., NEJBERT, K., ILNICZKI, S., WIECIŃSKI, P., ONYSZCZUK, T., GARBACZ, H. & WŁODARCZAK, P. (2019): Copper sulphosalts in early metallurgy (2600-1900 BC) - chemical-mineralogical investigation of artefacts from southern Poland. *Geological Quarterly* **63**/2 302–318.

<http://dx.doi.org/10.7306/gq.1473>

BUNNEFELD, J.-H. (2016a): Crafting Swords. The emergence and production of full-hilted swords in the Early Nordic Bronze Age. *Praehistorische Zeitschrift* **91**/2 379–430.

<https://doi.org/10.1515/pz-2016-0023>

BUNNEFELD, J.-H. (2016b): *Älterbronzezeitliche Vollgriffschwerter in Dänemark und Schleswig-Holstein*. Wachholtz Murmann Publishers, Kiel, 366 pp.

CIOBANU, C.L. & COOK, N.J. (2001): Paragenesis of Cu-Fe ores from Ocna de Fier-Dognecea (Romania), typifying fluid plume mineralization in a proximal skarn setting. *Mineralogical Magazine* **65** 351–372.

CIOBANU, C.L. & COOK, N.J. (2004): Skarn textures and a case study: the Ocna de Fier-Dognecea orefield, Banat, Romania. *Ore Geology Reviews* **24** 315–370.

CSÁNYI M. (2019): Kik voltak ők és honnan jöttek? Abszolút időrendi adatokból leszűrhető következtetések a jánoshidai késő bronzkori temetőben. *Tisicum XXVII* 47–64.

CZAJLIK Z. (2012a): *A Kárpát-medence fémnyersanyag-forgalma a későbronzkorban és a vaskorban*. ELTE Bölcsészettudományi Kar kiadványa, Budapest, 171 pp.

CZAJLIK Z. (2012b): A fémnyersanyagok őskori kohósításának nyomai a Kárpát-medencében. *Archeometriai Műhely IX*/2 97–104.

DANI J., TÖRÖK Zs., CSEDREKI L., KERTÉSZ Zs. & SZIKSZAI Z. (2013): A hajdúsámsoni kincs PIXE vizsgálatának tanulságai. *Gesta XII* 30–47.

DUBEROW, E., PERNICKA, E. & KRENN-LEEB, A. (2009): Eastern Alps or Western Carpathians: Early Bronze Age Metal within the Wieselburg Culture. In: KIENLIN, T.K. & ROBERTS, B. W.: *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* **169** Bonn 336–349.

FOLTINY I. (1957): *A Halomsíros és lausitzi kultúrák nyomai Szeged környékén – Spuren der Hügelgräber und der Lausitzer Kultur in der Umgebung von Szeged*. *Régészeti Füzetek* **4** Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 74 pp.

GAZDAPUSZTAL, Gy. (1959): Der Gussformfund von Soltvadkert. *Acta Archaeologica Hungarica* **9** 265–288.

GARNER, J., MODARRESSI-TEHRANI, D. & BÁTORA, J. (2017): Bergauf – Bergab – Die Suche nach dem bronzezeitlichen Bergbau. – Do kopce – z kopce – Hledání dolů doby bronzové. *Acta rerum naturalium* **21** 203–224.

GARNER, J., CHEBEN, M., DEMANT, D., MODARRESSI-TEHRANI, D. & ZEILER, M. (2021): Die Montanarchäologischen Untersuchungen im Grantal und Umgebung. In: GARNER, J. & STÖLLNER, T. Hrsg., *Das Grantal und sein Umfeld (Slowakisches Erzgebirge). Nutzungsstrategien eines sekundären Wirtschaftsraums während der Bronzezeit*. Verlag Marie Leidorf GmbH, Bochum, 9–133.

HAUBNER, R. & STROBL, S. (2022): Considerations on Copper Smelting from Fahlores and the Metallurgy of Cu-As Bronzes. *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, April **2022** 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00501-022-01230-6>

HAUSTEIN, M., GILLIS, C. & PERNICKA, E. (2010): Tin Isotopy—A New Method for Solving Old Questions. *Archaeometry* **52**/5 816–832. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2010.00515.x>

HÄNSEL, B. (1968): *Beiträge zur Chronologie der mittleren Bronzezeit im Karpatenbecken. Teil I.-II.* Bonn, Rudolf Habelt Verlag GMBH. 279 pp.

HORVÁTH, F. (1974-75): Szer plébániatemploma és a település középkori története. *A Móra Ferenc Múzeum Évkönyve* 1974-75/1 343–374.

HÖPPNER, B., BARTELHEIM, M., HUIJSMANNS, M., KRAUSS, R., MARTINEK, K.-P., PERNICKA, E. & SCHWAB, R. (2005): Prehistoric copper production in the Inn Valley (Austria), and the earliest copper in central Europe. *Archaeometry* 47/2 293–315.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-4754.2010.00515.x>

HUSKA, A., POWELL, W., MITROVIĆ, S., BANKHOFF, H. A., BULATOVIĆ, A., FILIPOVIĆ, V. & BOGER, R. (2014): Placer Tin Ores from Mt. Cer, West Serbia, and Their Potential Exploitation during the Bronze Age. *Geoarchaeology* 29 477–493.
<https://doi.org/10.1002/gea.21488>

ILON, G. (2021): Kérdések, hipotézisek és feladatok a Kárpát-medence bronzkori öntőformáinak kapcsán. – Questions, hypotheses and tasks concerning Bronze Age casting moulds from the Carpathian Basin. In: CSEH, F., KISS, V. & SZULOVSKY, J.: *A nemes- és színesfémek régészete, története és néprajza a Kárpát-medencében: Készítéstechnikai, archeometriai és társadalomtörténeti megközelítések / The Archaeology, History and Ethnography of the Precious and Non-Ferrous Metals in the Carpathian Basin.* Eötvös Loránd Kutatási Hálózat, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest 35–42.

ILON, G. (2022): Casting Moulds in the Bronze Age of the Carpathian Basin. A Catalogue of Sites and Finds. *Antaeus* 38 143–186.

KIEFER, S., ŠTEVKO, M., VOJTKO, R., OZDÍN, D., GERDES, A., CREASER, R., SZCZERBA, M. & MAJZLAN, J. (2020): Geochronological constraints on the carbonate-sulfarsenide veins in Dobšá, Slovakia: U/Pb ages of hydrothermal carbonates, Re/Os age of gersdorffite, and K/Ar ages of fuchsite. *Journal of Geosciences* 65 229–247. <http://dx.doi.org/10.3190/jgeosci.314>

KISS, V. (2012): Arany, réz és bronztárgyak kutatása a középső bronzkorig – az archeometallurgia aktuális kérdései. *Archeometriai Műhely* IX/2 61–73.

KISS V. (2014): Régészeti fém tárgyak kutatásának új eredményei és kérdései Magyarországon. – Recent Results and Questions of Metal Finds from Archaeological Context in Hungary. *Archeometriai Műhely* XI/3 169–176.

KISS, V. (2020): Transformations of Metal Supply during the Bronze Age in the Carpathian Basin. *Hungarian Historical Review* 9/2 315–330.
<https://doi.org/10.38145/2020.2.315>

KISS, V. & ROMHÁNYI, B. (2023): Raw material trade and/or itinerant artisans? Data for a diachronic study of the trade in copper raw materials and finished products in the Carpathian Basin. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 74 415–436.
<https://doi.org/10.1556/072.2023.00023>

KISS V., BARKÓCZY P. & VÍZER Zs. (2013): A zalaszabari kincs archeometriai vizsgálatának előzetes eredményei. *Gesta* XIII 72–82.

KISS, V., CSÁNYI, M., DANI, J., P. FISCHL, K., KULCSÁR, G. & SZATHMÁRI, I. (2019): Chronology of the Early and Middle Bronze Age in Hungary. New results. *Studia Hercynia* XXIII/2 173–197.

KOHÚT, M. & STEIN, H. (2005): Re–Os molybdenite dating of granite-related Sn–W–Mo mineralisation at Hnilec, Gemeric Superunit, Slovakia. *Mineralogy and Petrology* 85 117–129.
<https://doi.org/10.1007/s00710-005-0082-8>

KOVÁCS S.T. (1996): Régészeti emlékek. In: PÉTER L. (szerk.): *Röszke földje és népe.* Röszke Község Önkormányzata, Szeged, 25–77.

KRAUSE, R. (2003): *Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee.* Vorgeschichtliche Forschungen 24. Verlag Marie Leidorf GmbH, Rahden/Westf., 203 pp.

KUBIŠ, M. & BROSKA, I. (2005): The role of boron and fluorine in evolved granitic rock systems (on the example of the Hnilec area, Western Carpathians). *Geologica Carpathica* 56/3 193–204.

LING, J., GRANDIN, L., HJÄRTNER-HOLDAR, E., MELHEIM, L., STOS-GALE, Z., VICZE, M. & TARBAY, J.G. (2023): Moving metals V: The question of shared copper sources between Scandinavia and Hungary 1700–1500 BC. *Journal of Archaeological Science: Reports* 51 104198.
<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104198>

LIVERSAGE, D. (1994): Interpreting composition patterns in ancient bronze: the Carpathian Basin. *Acta Archaeologica (København)* 65 57–134.

LUTZ, J. & PERNICKA, E. (1996): Energy dispersive X-ray fluorescence analysis of ancient copper alloys: Empirical values for precision and accuracy. *Archaeometry* 38/2 313–323.
<https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1996.tb00779.x>

MACROUX, E., GRANCEA, L., LUPULESCU, M. & MILÉSI, J.-P. (2002): Lead isotope signatures of epithermal and porphyry-type ore

deposits from the Romanian Carpathian Mountains. *Mineralium Deposita* **37** 173–184.

<https://doi.org/10.1007/s00126-001-0223-x>

MALI P. (2020): A halomsíros időszak a Kelet-Dunántúlon. *Doktori disszertáció kézírata*, Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar, Budapest, 523 pp.

https://www.academia.edu/73990826/A_haloms%C3%ADros_id%C5%91szak_a_Kelet_Dun%C3%A1nt%C3%BAlon

MASON, A., POWELL, W., BANKHOFF, H. A., MATHUR, R., PRICE, M., BULATOVIĆ, A. & FILIPOVIĆ, V. (2020): Provenance of tin in the Late Bronze Age Balkans based on probabilistic and spatial analysis of Sn isotopes. *Journal of Archaeological Science* **122** 105181 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2020.105181>

MEHOFNER, M., GAVRANOVIĆ, M., KAPURAN, A., MITROVIĆ, J. & PUTICA, A. (2021): Copper production and supra-regional exchange networks – Cu-matte smelting in the Balkans between 2000 and 1500 BC. *Journal of Archaeological Science* **129** 105378 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105378>

MODARRESSI-TEHRANI, D. & GARNER, J. (2015): New Approaches on Mining Activities in the Slovakian Ore Mountains. *Argenti fodina 2014. Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie Argenti fodina 2014 v Banskej Štiavnici*. Slovenské banské múzeum, Banská Štiavnica, 45–57.

MODARRESSI-TEHRANI, D., GARNER, J. & KVIETOK, M. (2016): Copper Production in the Slovak Ore Mountains – New Approaches. In: KÖRLIN, G., PRANGE, M., STÖLLNER, T. & YALCIN, Ü. eds., *From Bright Ores to Shiny Metals. Festschrift Andreas Hauptmann. Der Anschnitt, Beiheft 29*, Bochum 109–123.

MOLNÁR F. (2008). Ércék, salakok, fémek. *A Miskolci Egyetem Közleményei I. sorozat, Bányászat* **74** 91–111.

MOLNÁR F., CZAJLIK Z. & MASSE A. (2021): Bronzművesség a vaskorban. A magyarországi késő vaskori láb- és karperecek archeometriai vizsgálatának tanulságai. In: CSEH F., KISS V. & SZÜLOVSZKY J. szerk., *A nemes- és színesfémek régészete, története és néprajza a Kárpát-medencében*. Eötvös Loránd Kutatási Hálózat, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest, 61–75.

MOZSOLICS, A. (1967): *Depotfundhorizonte von Hajdúsámson und Kosziderpadlás. Bronzefunde des Karpatenbeckens*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 290 pp.

MÖDLINGER, M. & TREBSCHKE, P. (2020): Archaeometallurgical investigations of a Late Bronze Age hoard from Mahrsdorf in Lower

Austria. *Journal of Archaeological Science: Reports* **33/4** (102476) 1–15.

<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102476>

MÖDLINGER, M., DE ORO CALDERON, R. & HAUBNER, R. (2019): Arsenic loss during metallurgical processing of arsenic bronze. *Archaeological and Antropological Science* **11** 133–140.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12520-017-0534-1>

MÖDLINGER, M., TREBSCHKE, P. & SABATINI, B. (2021): Melting, smelting, and recycling: A regional study around the Late Bronze Age mining site of Prigglitz-Gasteil, Lower Austria. *PLoS ONE* **16/7** e0254096.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254096>

NESSSEL, B. & PERNICKA, E. (2020): Aspects of the Metal Supply between Central Europa and the Carpathian Basin in the Early and Middle Bronze Age. In: MARAN, J., BĂJENARU, R., AILINCĂI, S.-C., POPESCU, A.-D. & HANSEN, S. eds., *Objects, Ideas and Travelers. Contacts between the Balkans, the Aegean and Western Anatolia during the Bronze and Early Iron Age. Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie* **350** Bonn 357–367.

NESSSEL, B., BRÜGMANN, G., BERGER, D., FRANK, C., MARAHRENS, J. & PERNICKA, E. (2018): Bronze production and tin provenance – new thoughts about the spread of metallurgical knowledge. In: ARMADA, X.-L., MURILLO-BARROSO, M. & CHARLTON, M. eds., *Metals, minds and mobility. Integrating scientific data with archaeological theory*. Oxbow Books, Oxford, 67–84. <https://doi.org/10.2307/j.ctv13nb91x.8>

O'SHEA, J.M., PARDITKA, Gy., NICODEMUS, A., KRISTIANSEN, K., SJÖGREN, K.-G., PAJA, L., PÁLFI, Gy. & MILAŠINOVIĆ, L. (2019): Social formation and collapse in the Tisza-Maros region: dating the Maros Group and its Late Bronze Age successors. *Antiquity* **93/369** 604–623.

<https://doi.org/10.15184/aqy.2019.40>

OZDÍN, D. & KÚŠIK, D. (2018): Mineralogical Heritage of Slovakia – A Significant Contribution to Knowledge of Minerals in the World. *Slovak Geological Magazine* **18/1** 69–82.

PERNICKA, E. (1999): Trace Element Fingerprinting of Ancient Copper: A Guide to Technology or Provenance? In: YOUNG, S.M.M., POLLARD, A.M., BUDD, P. & IXER, R.A. eds., *Metals in Antiquity. BAR International Series* **792** Oxford 163–171.

PERNICKA, E. (2010): Archäometallurgische Untersuchungen am und zum Hortfund von Nebra. *Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle Band* **5** 719–734.

PERNICKA, E. (2013): Analyses of Early Bronze Age Metal Objects from the Museum Debrecen, Hungary. *Gesta* **XII** 48–55.

PERNICKA, E. (2014): Provenance Determination of Archaeological Metal Objects. In: ROBERTS, B.W. & THORNTON, C.P. eds., *Archaeo-metallurgy in Global Perspective*. Chapter 11 239–267.
https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9017-3_11,

PERNICKA, E., LUTZ, J. & STÖLLNER, T. (2016a): Bronze Age Copper Produced at Mitterberg, Austria, and its Distribution. *Archaeologia Austriaca* **100** 19–55.
<https://doi.org/10.1553/archaeologia100s19>

PERNICKA, E., NESSEL, B., MEHOFER, M. & SAFTA, E. (2016b): Lead Isotope Analyses of Metal Objects from the Apa Hoard and other Early and Middle Bronze Age Items from Romania. *Archaeologia Austriaca* **100** 57–86.
<https://doi.org/10.1553/archaeologia100s57>

POWELL, W., BANKHOFF, H. A., MASON, A., MATHUR, R., BULATOVIĆ, A. & FILIPOVIĆ, V. (2018): Tin Sources and Regional Trade in the Bronze Age of Southeast Europe: Evidence from Tin Isotopes. In: ALEXANDROV, S., DIMITROVA, Y., POPOV, H., HOREJS, B. & CHUKALEV, K. eds., *Gold and Bronze: Metals, Technologies and Interregional Contacts in the Eastern Balkans during the Bronze Age*. National Archaeological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 141–149.

POWELL, W., MATHUR, R., JOHN, J., PRICE, M., BANKHOFF, H. A., TISUCKÁ, M. & GODFREY, L. (2019): Unearthing Europe's Bronze Age Mining Heritage with Tin Isotopes: A Case Study from Central Europe. *European Geologist* **48** 58–62.

RADIOJEVIĆ, M., ROBERTS, B.W., PERNICKA, E., STOS-GALE, Z., MARTÍN-TORRES, M., REHREN, T., BRAY, P., BRANDHERM, D., LING, J., MEI, J., VANDKILDE, H., KRISTIANSEN, K., SHENNAN, S. J. & BROODBANK, C. (2018): The Provenance, Use, and Circulation of Metals in the European Bronze Age: The State of Debate. *Journal of Archaeological Research* **27** 131–185. Published online 02 July 2018,
<https://doi.org/10.1007/s10814-018-9123-9>

REIZNER J. (1892): A Szeged-röszkei sírleletek. *Archaeologiai Értesítő* **XII** 161–168.

REIZNER J. (1898): A Tömörkényi (Csongrád m.) bronzleletről *Archaeologiai Értesítő* **XVIII** 265–267.

SANGMEISTER, E. (1973): Die Bronzen des Hortfundhorizontes von Ópályi. Ergebnisse der Spektralanalystischen Untersuchungen, In:

MOZSOLICS, A. Hrg., *Depotfundhorizonte von Forró und Ópályi. Bronze- und Goldfunde des Karpatenbeckens*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 215–249.

SÁNTA G. (2004a): A halomsíros kultúra leletei Zákányszék határában. *A Móra Ferenc Múzeum Évkönyve - Studia Archaeologica* **X** 53–80.

SÁNTA G. (2004b): Bronzkori sír Zákányszék határában. *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.

SÁNTA G. (2011): Koszideri és Halomsíros bronztárgyak komplex vizsgálata – Összetétel, fázisok és korróziós felületek. *Archeometriai Műhely* **VIII/4** 05–320.

SÁNTA, G. (2013): Metal Analysis of Koszider and Tumulus Culture Bronzes: Contents, Similarities and the Question of Source Area. In: REZI, B., NÉMETH, E.R., & BERECHZI, S. eds., *Bronze Age Crafts and Craftsmen in the Carpathian Basin*. Proceedings of the International Colloquium from Târgu Mures. 5-7 October 2012 77–90.

SÁNTA G. (2015): A halomsíros kultúra gazdag temetkezése Ásotthalom határából. *Ősrégészeti Levelek* **14** 69–83.

SÁNTA G. (2023): A Kárpátok antimonitjai. *Geoda* **XXXIII/2** 11–30.

SCHUBERT, F. & SCHUBERT, E. (1967): Spektralanalytische Untersuchungen von Hort- und Einzelfunden der Periode B-III. In: MOZSOLICS, A. (1967): *Depotfundhorizonte von Hajdúsámon und Kosziderpadlás. Bronzefunde des Karpatenbeckens*. Akadémiai kiadó, Budapest: 185–203.

SCHREINER, M. (2007): *Erzlagerstätten im Hronal, Slowakei. Genese und prähistorische Nutzung*. Verlag Marie Leidorf, Rahden, 274 pp.

SCHREINER, M., HEYD, V. & PERNICKA, E. (2012): Kupferzeitliches Metall in der Westslowakei. In: KUJOVSKÝ, R. & MITÁŠ, V. eds., *Václav Furmánek a doba bronzová. Zborník k sedemdesiatym narodeninám. Archaeologica Slovaca Monographiae – Communicationes* **13** (Nitra: Archeologický ústav Slovenskej akadémie vied) 355–366.

SEJKORA, J., ŠTEVKO, M. & MACEK, I. (2013): Příspěvek k chemickému složení tetraedritu z Cu ložiska Piesky, rudní revír Špania Dolina, střední Slovensko. *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze* **21/1** 89–103.

SILVESTRI, E., BELLINTANI, P. & HAUPTMANN, A. (2019): Bronze Age copper ore mining and smelting in Trentino (Italy). *Der Anschnitt* **42** 261–278.

ŠMIT, Ž. (2015): Metal analysis with ion-beam methods. *Archeometriai Műhely* **XII/4** 255–262.

ŠMIT, Ž., PELICON, P., SIMČIČ, J. & ISTENIČ, J. (2005): Metal analysis with PIXE: the case of Roman military equipment, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **239** 27–34.

STÖLLNER, T. (2018): What is an Ore Deposit? Approaches from Geoscience and Archaeology in Understanding the Usage of Deposits. *Metalla* **24/2** 87–110.

<http://dx.doi.org/10.46586/metalla.v24.2018.i2.87-110>

SZABÓ G. (2010): Az archaeometallurgiai kutatások gyakorlati és etikai kérdései *Archeometriai Műhely* **7/2** 111–122.

SZABÓ, G., BARKÓCZY, P., GYÖNGYÖSI, Sz., KASZTOVSZKY, Zs., KÁLI, Gy., KISS, Z., MARÓTI, B. & KISS, V. (2019): The possibilities and limitations of modern scientific analysis of Bronze Age artefacts in Hungary. *Archeometriai Műhely* **XVI/1** 1–11.

SZABÓ D., SÁNTA G. & NAGY L. (2022): Az Ásványok Háza állandó kiállítása. *Geoda* **XXXII/2** 7–37.

TYLECOTE, R. F., GHAZNAVI, H. A., & BOYDELL, P. J. (1977). Partitioning of trace elements between the ores, fluxes, slags and metal during the smelting of copper. *Journal of Archaeological Science* **4** 305–333.

TOLKSDORF, J. F., SCHRÖDER, F., PETR, L., HERBIG, C., KAISER, K., KOCAR, P., FULLING, A., HEINRICH, S., HÖNIG, H., HEMKER, C. (2020): Evidence for Bronze Age and Medieval tin placer mining in the Erzgebirge mountains, Saxony (Germany). *Geoarchaeology* **35/2** 198–216.

<https://doi.org/10.1002/gea.21763>

TROGMAYER, O. (1960): A szeged-nagyszéksői bronzöv. – Der Bronzegürtel von Szeged-Nagyszéksős. *A Móra Ferenc Múzeum Évkönyve* **1960** 53–58.

TROGMAYER, O. (1969): Középbronzkori leletek Kömpöcről. – Mittelbronzezeitliche Funde von Kömpöc. *A Móra Ferenc Múzeum Évkönyve* **1969/1** 87–96.

TROGMAYER, O. (1975): *Das bronzezeitliche Gräberfeld von Tápe. Fontes Archaeologici Hungariae*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 164 pp.

TOČIK, A. & ŽEBRÁK, P. (1989): Ausgrabungen in Špania Dolina-Piesky. Zum Problem des

urzeitlichen Kupfererzbergbaues in der Slowakei. In: HAUPTMANN, A., PERNICKA, E. & WAGNER, G. A. Hrsg., *Archäometallurgie in der Alten Welt*. Symposium Heidelberg, Der Anschnitt, Beiheft 7., Deutsches Bergbau-Museum, Bochum, 71–78.

TÖMÖRKÉNY I. (1902): Leletek a szegedi határban. *Archaeologiai Értesítő Új folyam* **XXII** 372–376.

TÖMÖRKÉNY I. (1903): A bilisitsi ásatásokról (Szeged-Alsótanya). *Archaeologiai Értesítő Új folyam* **XXIII** 50–54.

UZONYI I. (2007): Ionnyaláb és röntgenanalitikai módszerek alkalmazása műtárgyak és régészeti leletek vizsgálatára. *Archeometriai Műhely* **IV/3** 11–18.

VARGA S. (2012): Üllés határa. Petőfi-dűlő, kiskunmajsai határ II. (KÖH 38398). In: KVASSAY J. & KREITER A. szerk., *Régészeti kutatások Magyarországon 2012 – Archaeological Investigations in Hungary 2012*. Budapest, 2019: 105–106.

ŽEBRÁK, P. (1995): The traces of the primary mining of non-ferrous metals in Slovakia. In: PETROVIĆ, P. & ĐURĐEKANOVIĆ, S. eds., *Ancient mining and metallurgy in southeast Europe*. Bor: Museum of Mining and Metallurgy, 13–19.

