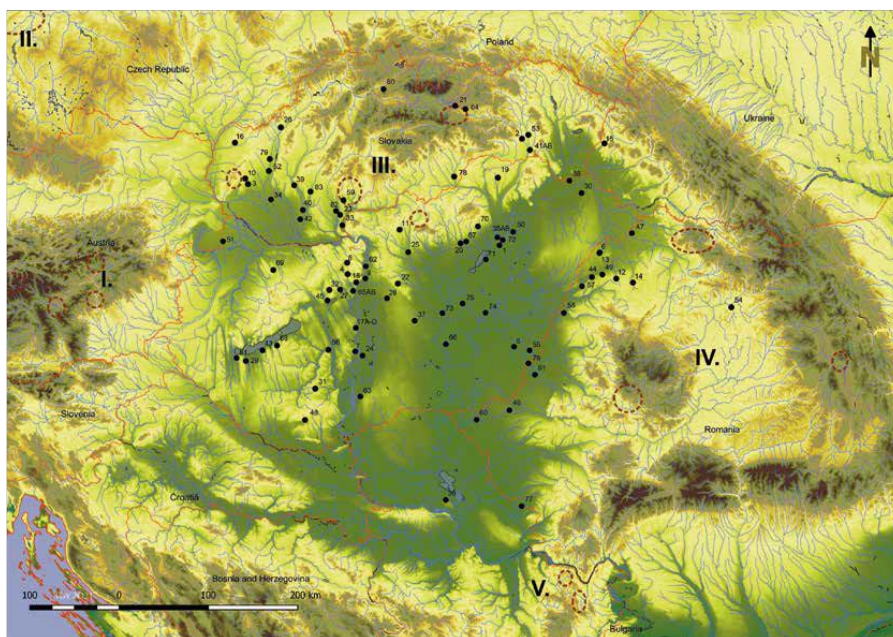


A bronz megjelenése, a bronzművesség kialakulása Európa-szerte alapvetően rendezte át a korszak közösségeinek gazdasági-társadalmi berendezkedését. Az innovatív technológia, tudás és nyersanyagok új hálózatok kialakulásához és fokozódó egyenlőtlenségekhez vezettek (DANI ET AL. 2016). A rézkorban és a bronzkorban felhasznált kő, réz, arany és más (pl. borostyán) nyersanyagok feltérképezése (SZATHMÁRI ET AL. 2019; KISS 2020; ILON 2022; MRENKA 2023; JAEGER ET AL. IN PRINT) a későbbi, írott forrásokból is ismert időszakok adataival (F. ROMHÁNYI 2017; F. ROMHÁNYI–PINKE–LASZLOVSZKY 2020) kiegészítve új bázissal szolgál az erőforrások és cserekereskedelmi hálózatok értelmezése terén (KISS–F. ROMHÁNYI 2023). Mindezek integrálásával az eddiginél részletesebben felderíthetjük, hogyan, milyen folyamatokon keresztül változtatta meg a bronz használata a Kárpát-medence és a környező térség történetét.

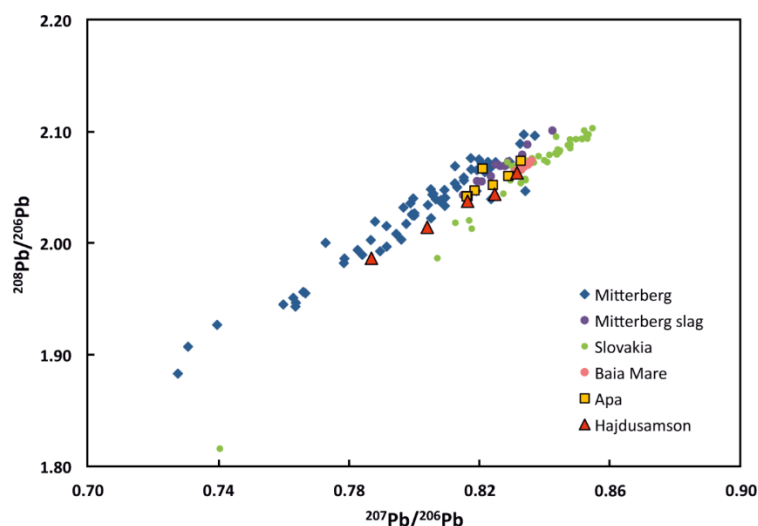
Az Európát átívelő réz és ón nyersanyag-forgalom kérdésköre az utóbbi évek egyik legdinamikusabban fejlődő bronzkori kutatási területe (PERNICKA ET AL. 2016; RADIVOJEVIC ET AL. 2019). A tervezett projekt folytatni kívánja a vizsgált temetkezésekből, valamint településekről előkerült réz és bronz ékszerek, eszközök és fegyverek hagyományos régészeti, elemösszetétel és készítéstechnikai elemzését roncsolásmentes neutronos módszerekkel és roncsolásos archeometallurgiai mintavételekkel az ELKH Energiatudományi Kutatóközponttal, a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Tanszékével, a Debreceni Egyetem Szilárdtestfizikai Tanszékével és számos múzeummal együttműködésben. Több tanulmányban foglaltuk össze a korszak fémvizsgálataihoz kapcsolódó kutatási kérdéseket, az elérhető vizsgálati módszereket és eredményeket (SZABÓ ET AL. 2019; KISS 2020). Számos kora és középső bronzkori lelőhely fémtárgyain végeztünk elemzéseket, pl. a Füzesbony-Öregdomb tell-telepén előkerült, ruhák összekapcsolására használt tűkön, eszközökön és fegyvereken, a dunántúli mészbetétes kerámia kultúrája bonyhádi hamvasztásos sírjaiban talált ékszereken, a mosdósi középső bronzkori kincs és a ráksi késő bronzkor eleji sírlelet korábban lappangó leletein. Az eddigi elemzéseink azt mutatják, hogy Közép-Európa más területeihez hasonlóan a Kárpát-medence középső bronzkorában is a magas antimon-, arzén- és ezüsttartalmú tárgyak volt a leggyakoribbak, míg a középső bronzkor végétől egy ettől eltérő, magas arzén és nikkel összetétellel jellemezhető nyersanyag került előtérbe (SZATHMÁRI 2017; MARÓTI–HARSÁNYI–KASZTOVSZKY 2017; KOVÁCS ET AL. 2019; JANKOVITS 2021; MARÓTI–KÁLI 2021).

Eddigi kutatásainkat bővítve a bronzművességhez köthető további eszközök (pl. öntőformák) készítésére és használatára vonatkozó adatok összegyűjtését is tervezzük a használati nyomok kimutatására alkalmas mikro-XRF vizsgálatokkal az Atomki Örökségtudományi Laboratóriumával együttműködve (MELIS in print).



Középső bronzkori öntőformák elterjedése és a bronzkorban működő bányavidékek (ILON 2022)

A jelenleg legpontosabb provenienciavizsgálatokra az ólomizotóp-elemzések nyújthatnak lehetőséget, melyeket az eddigi együttműködést folytatva, jelentős költséggel a Curt Engelhorn Archeometriai Laboratóriumtól (Mannheim) tudunk megrendelni. Egy másik együttműködést is elkezdtünk 2021-ben, a New York-i Egyetem Föld- és Környezettudományi Tanszéke (Department of Earth and Environmental Science, Brooklyn College) professzora, Wayne Powell vezetésével *Tin Exchange Networks and their Resilience in Eastern and Central European Prehistory* címmel beadott NSF pályázat révén, amely az őskori bronzkereskedelem vizsgálatát célozza ón- és ólomizotópos elemzések révén. A vizsgálatok választ adhatnak arra a kérdésre, hogy a sírokban és településeken előkerülő tárgyak illetve ezek nyersanyaga Közép-Európa ismert őskori rézérc bányái közül az Alpokból, a Cseh-Szász-, a Kelet-Szlovákiai- vagy az Erdélyi-érchegységből érkeztek-e térségünkbe. A bronz összetételében megfigyelt (a technológia vagy a nyersanyagforrás módosulásával összefüggő?) változás (LIVERSAGE 1994; KRAUSE 2003; KISS 2012; P. FISCHL ET AL. 2013) magyarázatához is hozzájárulhatnak a nyersanyag provenienciáját meghatározó ólomizotóp adatok. A kutatócsoportunk által eddig elvégzett ólomizotópos mintavételek eredményei – a közép-európai kutatás adataival összhangban – arra utalnak, hogy eltérő nyersanyaghasználat okozhatja a tárgyak anyagában megfigyelt változást: a középső bronzkorban a szlovákiai Gömör-Szepesi-érchegységben kitermelt nyersanyagforrások helyett a későbbi időszakban a kelet-alpi ércek használata vált meghatározóvá (PERNICKA ET AL. 2016; KISS 2020). Az elvégzett és tervezett elemzések eredményeinek publikálásával párhuzamosan az adatok bekerülnek a *Magyarországi bronzkori (Kr. e. 2500–1500) fémtárgyak archeometallurgiai adatai* című tematikus adatbázisba is.



A felső-tiszavidéki Apa-Hajdúsámszon féműves kör tárgyainak ólomizotóp elemzése a kelet-alpi, szlovákiai és nagybányai ércforrások vizsgálati eredményeivel összevetve (PERNICKA ET AL. 2016, Fig. 20)

Az aranytárgyak nyersanyagvizsgálatát célzó, az elmúlt években az Atomki Örökségtudományi Laboratóriumával, a Magyar Nemzeti Múzeummal és a Déri Múzeummal együttműködésben elkészült kb. 100 roncsolásmentes PIXE elemzési adatnak a közeljövőben való publikálása élénk nemzetközi érdeklődésre tarthat számot, hiszen a későbbi korokban is nagy jelentőségű erdélyi és szlovákiai ércbányák bronzkori használatának kérdése már korábban felmerült a szakirodalomban (KOVÁCS 1999; PERNICKA 2004). A térségünkben talált bronzkori aranytárgyak legjellemzőbb, 20% fölötti ezüsttartalmú változataival kapcsolatban legújabbban több lehetséges forrásból származó nyersanyagcsoportot is körvonalazott a kutatás a nebrai égbolt korong díszítményei eredetének felderítése kapcsán: eszerint az Erdélyi-érchegység ún. „arany négyszögében” előforduló érctelérek mellett az angliai Cornwall vidékéről is ismert a magas ezüsttartalmú arany (BORG ET AL. 2018; SZATHMÁRI ET AL. 2019). E kérdés megválaszolásához rendkívül fontos lenne a minimális beavatkozással járó lézeralblációs ICP-MS vizsgálatok elkezdése az Atomki Örökségtudományi Laboratóriumával és a mannheimi CEZA Laboratóriummal együttműködve.

A státuszjelző aranytárgyak régészeti vizsgálata a társadalmi rétegződés szempontjából is kiemelkedően fontos. Ezen ékszerek korabeli értékét jól megvilágítja az az adat, mely szerint a néhány bronzkori lelőhelyről (pl. Dunavecse, Tápióbicske) ismert arany karpántoknak megfelelő, 300 g tömegű aranyból a korszak elitjének (a társadalom kb. 10%-ának) sírleleteiben előforduló arany hajfonatkarikákból 80–100 darab készülhetett volna el (TARBAY 2022). Az impozáns és súlyos arany karpántok tehát több tucat, a korabeli „felső tízezer” által viselt kisebb ékszernek feleltethetők meg, így igazi fejedelmi hatalmi jelvények lehettek.



A dunavecsei középső bronzkori karpánt PIXE vizsgálata a debreceni ATOMKI Örökségtudományi Laboratóriumában

Módszerek és további kutatási irányok a témacsoporton belül

Kutatásunk során a pályázat tárgyát képező temetkezésekből és településeken előkerült bronz tárgyak (ékszerek, eszközök, fegyverek) és a bronzművességgel összefüggésbe hozható leletek (pl. öntőformák, salak maradványok) vizsgálatát tervezzük, régészeti kísérletekkel kiegészítve.

Elemösszetétel vizsgálat és ólomizotóp-elemzés

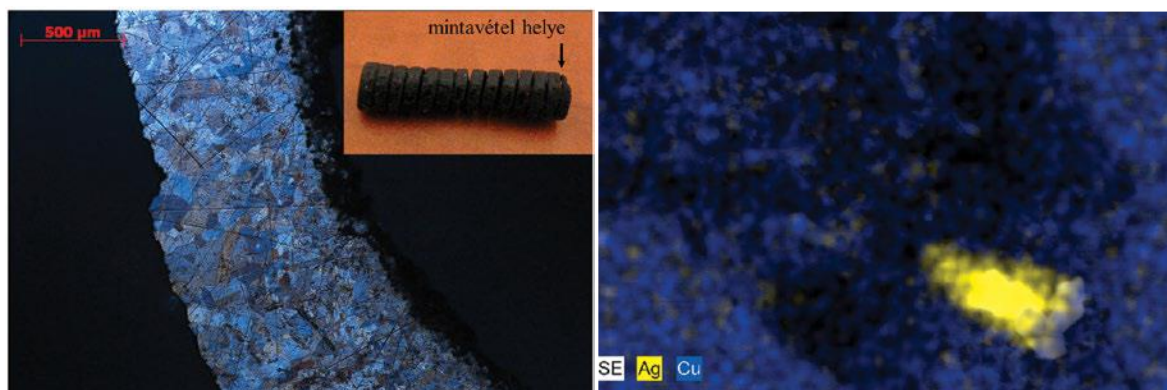
A bronz nyersanyagában kimutatható nyomelemek (ezüst, kobalt, nikkel, arzén, antimon és bizmut) röntgenfluoreszcens elemzése kiindulópontot ad a származási hely meghatározásához, mivel ezek az összetevők a rézérc kohósítását követően a nyers rézben is megtalálhatók. A roncsolásos mintavételek mellett az örökségvédelmi szempontokat figyelembe véve fontos a roncsolásmentes módszerek (PGAA: promptgamma-aktivációs analízis, PIXE: proton indukált röntgen-emissziós analízis) alkalmazása is (KASZTOVSZKY-BELGYA 2006; MÖDLINGER ET AL. 2013; KISS ET AL. 2015) A PGAA által alkalmazott neutronnaláb mélyen behatol a vizsgált tárgy belsejébe, így a tárgy anyagáról egy átlagos összetételt ad. Ezzel szemben a PIXE protonnalábjával csupán a felszín közeli néhány 10 mikrométeres rétegről ad mennyiségi információt. A két módszer érzékenysége eltérő az egyes kémiai elemekre, egymást jól kiegészítik. A PGAA a bronzok fő összetevőinek mérése mellett jól alkalmazható a különböző ércek, kőzetek, kerámia öntőformák elemzésére is.

A több bányahelyen is előforduló érc társulások eredetének pontosabb azonosítására az ólomizotópok ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, és $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) arányának tömegspektrometriai (ICP-MS) vizsgálata nyújt lehetőséget, mivel az izotópok aránya egyedi módon jellemzi az érclelőhelyeket és a rézérc kohósítása nem okoz változást az ólomizotópok arányában (HÖPPNER ET AL. 2005).

Mikroszerkezet vizsgálat

A bronz tárgyak mikroszerkezetének vizsgálata során alapvető megállapításokat tehetünk a készítés technikájával kapcsolatban, hiszen a bronzöntés technológiája (pl. az anyag hűlési sebessége és az öntést követő megmunkálás) egyértelműen látható változást okoz a szemcseszerkezetben (SZABÓ 1999; 2013; BARKÓCZY ET AL. 2011). E vizsgálatok eredményeképpen megtudhatjuk, hogy az egyes tárgyakat megmunkálták-e az öntést követően, és a megmunkálást milyen módon (hideg- vagy melegalakítással) végezték. A

roncsolásos minták vizsgálata mellett itt is fontos a roncsolásmentes diagnosztika (TOF-ND: nagyfelbontású repülési idő neutron diffrakció), amellyel szintén vizsgálható a tárgyak kristályszerkezete, fázisai (KISS-BARKÓCZY-VÍZER 2013; KISS ET AL. 2015; KISS 2020). A hamvasztásos sírokból, valamint kincsleletekből származó bronztárgyak szövetszerkezetének összehasonlításával igazolni tudtuk, hogy a hamvasztásos sírok egyes tárgyai a halottal együtt a máglyára kerülve másodlagos égést szenvedtek, míg más, sírokban és kincsleletekben előforduló fém ékszerek és eszközök nem égtek meg (KOVÁCS ET AL. 2019). A kérdés további módszertani vizsgálata érdekében egy korábbi hamvasztásos kísérlet (FÜLÖP 2018) tárgymásolatainak széleskörű archeometriai vizsgálatát tervezzük.



Bonyhád-Biogáz üzem, 200. sír Q200J4. spirálgöngy (a) megmunkálását mutató szövetszerkezetre utaló optikai mikroszkópos felvétel polarizált megvilágításban (nagyítás: 50x), és (b) a korróziós termékekben ezüst-dúsulást jelző elem térkép (SEM-EDX felvétel, nagyítás 5000x; KOVÁCS ET AL. 2019, 4. ábra)

IRODALOM

BARKÓCZY P., KOVÁCS Á., P. FISCHL K.: Réz és bronz leletek metallográfiai és metallurgiai vizsgálatai (Metallographical and Metallurgical Investigation of Prehistoric Copper and Bronze Finds). *Archeometriai Műhely* 8/4 (2011) 293–304.

BORG, G., PERNICKA, E., EHSER, A., LOCKHOFF, N., CAMM, G.S., SMALE, C.V.: From distant lands – Provenance studies of natural gold in comparison to the gold of the Sky Disc of Nebra. In: Meller, H., Bertemes, F. (eds): *Der Aufbruch zu neuen Horizonten. Neue Sichtweisen zur europäischen Frühbronzezeit. Abschlusstagung der Forschergruppe FOR 500, 26–29. November 2010, Halle (Saale), Germany*. Halle (Saale) 2019, 55–78.

DANI, J., P. FISCHL, K., KULCSÁR, G., SZEVERÉNYI, V., KISS, V.: Visible and invisible inequality in Early and Middle Bronze Age Hungary. In: Meller, H.–Hahn, H.-P.–Jung, R.–Risch, R. (Hrsg.): *Arm und Reich – Zur Ressourcenverteilung in prähistorischen Gesellschaften (Rich and Poor – Competing for resources in prehistoric societies)*. – 8. *Mitteldeutscher Archäologentag vom 22. bis 24. Oktober 2015 in Halle (Saale)*. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle 14. Halle (Saale) 2016, 219–242.

P. FISCHL, K., KISS, V., KULCSÁR, G., SZEVERÉNYI, V.: Social, economic and/or population changes in the Carpathian Basin around 1600 BC. In: Meller, H.–Bertemes, F. –, Bork, H.-R.–Risch, R. (eds): *1600 – Cultural change in the shadow of the Thera-Eruption?* 4th Archaeological Conference of Central Germany October 14–16, 2011 in Halle (Saale). Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle Band 9. Halle 2013, 355–372.

FÜLÖP, K.: Why is it so rare and random to find any pyre sites? Two cremation experiments to understand the characteristics of pyre sites and their investigational possibilities. *Dissertationes Archaeologicae Ser.3.6* (2018) 287–311.

HÖPPNER, B., BARTELHEIM, M., HUIJSMANS, M., KRAUSS, R., MARTINEK, K.-P., PERNICKA, E., SCHWAB, R.: Prehistoric copper production in the Inn Valley (Austria), and the earliest copper in Central Europe. *Archaeometry* 47/2 (2005) 293–315.

ILON, G. Casting moulds in the Bronze Age of the Carpathian Basin: a catalogue of sites and finds. *Antaeus* 38 (2022) 72–90.

JAEGER, M., KULCSÁR, G., MELIS, E., STRÓZYK, M., PISZORA, P., CSÁNYI, M., CSUVÁR-ANDRÁSI, R., GUBA, SZ., PAP, E., PÁSZTOR, E., SZATHMÁRI, I., PATAY, R., KISS, V.: Baltic Amber in Hungarian Bronze Age. New Data and Current Stage of Research. *Sprawozdania Archeologiczne* 75, in print.

JANKOVITS, K.: A bronze hoard from Pusztasárkánytő (Mosdós-Sárkánytő puszta) and a grave assemblage from Ráksi (County Somogy) in the Piarist Museum in Budapest. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 72 (2021) 1–20.

KASZTOVSZKY, ZS., BELGYA T.: Non-Destructive Investigations of Cultural Heritage Objects with Guided Neutrons: The Ancient Charm Collaboration. *Archeometria Műhely* 3/1 (2006) 12–17.

Kiss, V.: *Middle Bronze Age Encrusted Pottery in Western Hungary*. *Varia Archaeologica Hungarica* 27. Budapest 2012.

Kiss, V.: Transformations of Metal Supply during the Bronze Age in the Carpathian Basin. *Hungarian Historical Review* 9 (2020) 315–330.

KISS V., BARKÓCZY P., VÍZER Zs.: A zalaszabari bronzkincs archeometallurgiai vizsgálatának előzetes eredményei. *Gesta* 12 (2013) 72–82.

KISS, V., KASZTOVSZKY, ZS., KÁLI, GY., MARÓTI, B., PUSZTAINÉ FISCHL, K., HORVÁTH, E., SZABÓ, G.: Non-destructive analyses of bronze artefacts from Bronze Age Hungary using neutron-based methods. *Journal of Anatomical Atomic Spectrometry* 30 (2015) 685–693.

KISS, V., F. ROMHÁNYI, B.: 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 (2023) 415–436.

KOVÁCS T.: Bronzkori ékszerek, fegyverek, aranykincsek. In: Kovács T.–Raczky P. (szerk.): *A Magyar Nemzeti Múzeum őskori aranykincsei*. Budapest 1999, 37–61.

KOVÁCS R. L., GYÖNGYÖSI SZ., BARKÓCZY P., JUHÁSZ L., SZABÓ G., KISS V.: Technológiai megfigyelések kora és középső bronzkori fém tárgyakról (Technological observations of Early and Middle Bronze Age metal objects). In: Vicze, M., Kovács, G. (szerk.): *MOMOSZ X, Őskoros Kutatók X. Összejövetelének konferenciakötete, Őskori technikák, őskori technológiák*. Százhalombatta 2019, 187–197.

KRAUSE, R. *Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee*. Rahden/Westfalen 2003.

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

MARÓTI, B., HARSÁNYI, I., KASZTOVSZKY, Zs: Non-destructive analysis of bronze objects from Füzesabony-Öregdomb. *Communicationes Archaeologicae Hungariae* 2017, 81–84.

MARÓTI, B., KÁLI, GY.: Non-destructive characterization of bronze objects from Ráksi and the Pusztasárkánytő depot find. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 72 (2021) 21–25.

MELIS, E: New data on the metallurgists' burials in the Early and Middle Bronze Age of the Carpathian Basin (2500-1500 BC. In: Strózyk, M., Czebreszuk, J. Kiss, V., Norgaard, H., Szmyt, M (eds): *Moulding the World. Evidence of Craftsmen and Craftsmanship in the early Metal Ages (2600-500 BC) between the Baltic and the Carpathians from a (Archaeo)Metallurgical perspective*. Poznań in print.

MÖDLINGER, M., KÁLI, GY., KASZTOVSZKY, Z., KOVÁCS, I., PICCARDO, P., SZILÁGYI, V., SZŐKEFALVI-NAGY, Z. 2013. Archaeometallurgical characterization of the earliest European metal helmets. *Materials Characterization* 79 (2013) 22–36.

MRENKA A.: Előzetes jelentés a röjtökmuzsaji nyakperec depóról. *Archaeologiai Értesítő* 148 (2023) 157–183. <https://doi.org/10.1556/0208.2023.00046>

PERNICKA, E.: Die naturwissenschaftlichen Untersuchungen der Himmelsscheibe. In: MELLER, H. (Hrsg.): *Der geschmiedete Himmel: die weite Welt im Herzen Europas vor 3600 Jahren; Begleitband zur Sonderausstellung, Landesmuseum für Vorgeschichte, Halle (Saale) vom 15. Oktober 2004 bis 24. April 2005*. Stuttgart 2004, 34–37

PERNICKA, E., NESSEL, B., MEHOFER, M.: Lead Isotope Analyses of Metal Objects from the Apa Hoard and Other Early and Middle Bronze Age Items from Romania. *Archaeologia Austriaca* 100 (2016) 57–86.

RADIOJEVIĆ, M., ROBERTS, B.W., PERNICKA, E., STOS-GALE, Z., MARTINÓN-TORRES, M., REHREN, T., BRAY, P., BRANDHERM, D., LING, J., MEI, J., VANDKILDE, H., KRISTIANSEN, K., SHENNAN, S.J., BROODBANK, C.: The Provenance, Use, and Circulation of Metals in the European Bronze Age: The State of Debate. *Journal of Archaeological Research* 27 (2019) 131–85.

F. ROMHÁNYI B.: Changes of the Spatial Organisation of the Carpathian Basin (5th–14th century). *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters* 45 (2017) 1–32.

F. ROMHÁNYI, B., PINKE, Zs., LASZLOVSZKY, J.: Environmental Impacts of Medieval Uses of Natural Resources in the Carpathian Basin. *Hungarian Historical Review* 9 (2020) 241–283.

SZABÓ G.: *A dunántúli urnamezős kultúra fémművessége az archeometallurgiai vizsgálatok tükrében*. Specimina Electronica Antiquitatis – Libri 1. Pécs, PTE BTK Ókortörténeti Tanszék, 2013.

SZABÓ, G., BARKÓCZY, P., GYÖNGYÖSI, SZ., KASZTOVSZKY, Zs., KÁLI GY., KIS, Z., MARÓTI, B., KISS, V.: The possibilities and limitations of modern scientific analysis of Bronze Age artefacts in Hungary – Lehetőségek és korlátok a bronztárgyak modern műszeres vizsgálatában Magyarországon. *Archaeometriai Műhely* 16 (2019) 1–12.

SZATMÁRI, I.: On the metallurgy of the Füzesabony Culture. Bronze finds and casting moulds from the Füzesabony Bronze Age tell settlement. *Communicationes Archaeologicae Hungariae* 2017, 51–79.

SZATHMÁRI, I., MARÓTI, B., TARBAY, J. G., KISS, V.: Bronzkori arany hajkarika leletek vizsgálatáról a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből. In: Bartosiewicz L., T. Biró K., Sümegi P., Törőcsik T. (szerk.): *Mikroszkóppal, feltárásokkal, mintavételezéssel, kutatásokkal az archeometria, a geoarcheológia és a régészet szolgálatában. Tanulmányok Ilon Gábor régész 60 éves születésnapjára*. Szeged 2019, 291–315.

TARBAY, J. G.: The Essence of Power: A Middle Bronze Age Gold Armlet from Tápióbicske (Central Hungary). *Communicationes Archaeologicae Hungariae* 2020 (2022) 19–55.