

# RÉGÉSZETI FÉMTÁRGYAK KUTATÁSÁNAK ÚJ EREDMÉNYEI ÉS KÉRDÉSEI MAGYARORSZÁGON

## RECENT RESULTS AND QUESTIONS OF METAL FINDS FROM ARCHAEOLOGICAL CONTEXT IN HUNGARY

KISS VIKTÓRIA

MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Régészeti Intézet

E-mail: [kiss.viktoria@btk.mta.hu](mailto:kiss.viktoria@btk.mta.hu)

### Abstract

*The research of iron objects and history of smelting in the Carpathian Basin run back over two hundred, while the analysis of copper, gold and bronze artefacts over one hundred years. Here I attempt to give an overview of the results of the recent decade with the help of the archaeometry case studies of metal finds from Hungary published in the Archeometriai Műhely and other journals. These papers reflect recent research trends that investigate the metal finds from two aspects: on the one hand they analyse the raw material composition of the artefacts, and they also study the phases of production technique on the other, with the application of destructive sampling and non-destructive methods as well.*

### Kivonat

*A Kárpát-medencéből előkerült vastárgyak és a kohászat történetének kutatása immár kétszáz, a réz-, arany- és bronzárgyak vizsgálata több mint egy évszázados múltra tekint vissza. Az alábbiakban az utóbbi tíz év eredményeit, az Archeometriai Műhelyben és más folyóiratokban közölt, a hazai régészeti fémtárgyakat érintő újabb archeometriai esettanulmányokat tekintem át röviden. Ezek jól tükrözik a jelenlegi kutatási trendeket, melyek két fő irányból közelítik meg a fémtárgyakat: egyrészt a nyersanyag-összetétel elemzésére, másrészt a készítés-technikai lépések megismerésére irányulnak, roncsolásos mintavételek és roncsolás-mentes módszerek alkalmazásával egyaránt.*

KEYWORDS: ARCHAOMETALLURGY, GOLD, COPPER, BRONZE, IRON, RAW MATERIAL ANALYSIS, PRODUCTION TECHNIQUE

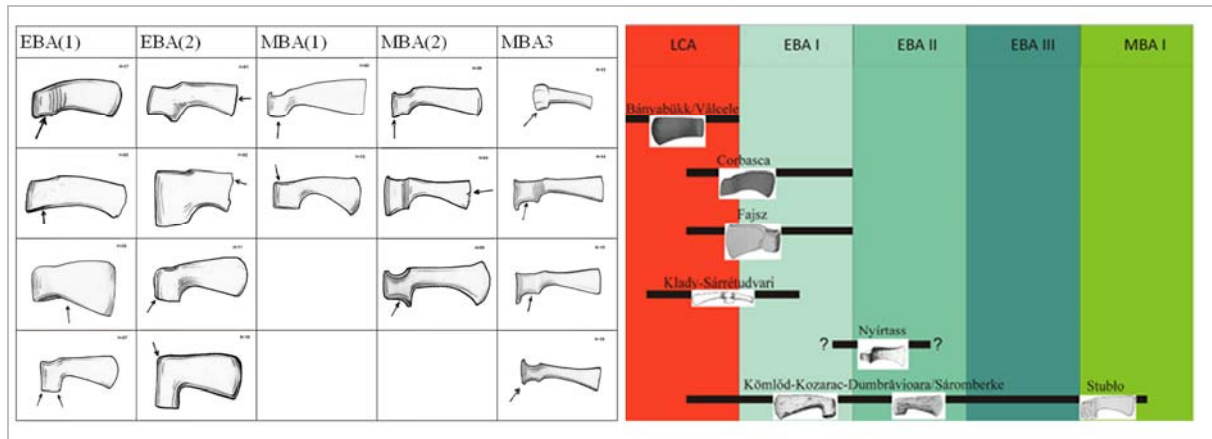
KULCSSZAVAK: ARCHAOMETALLURGIA, ARANY, RÉZ, BRONZ, VAS, NYERSANYAG-VIZSGÁLAT, KÉSZÍTÉS-TECHNIKAI VIZSGÁLAT

### Bevezetés

A Kárpát-medencéből előkerült vastárgyak és a kohászat történetének kutatása immár kétszáz, a réz- és bronzárgyak vizsgálata több mint egy évszázados múltra tekint vissza. A hazai kutatás fejlődéséről az elmúlt másfél évtizedben több összefoglalás született Gömöri János, illetve Czajlik Zoltán és Szabó Géza tollából (Gömöri 2000; Czajlik 2012a; Szabó 2013). Az alábbiakban az utóbbi tíz év új eredményeit és kutatási programjait tekintem át röviden, különös tekintettel a 10 éves fennállását ünneplő Archeometriai Műhelyben megjelent, a réz-, arany-, bronz-, és vastárgyakhoz kapcsolódó esettanulmányokra.

Az Archeometriai Műhely 2004. évi első megjelenésétől 20 tanulmány foglalkozott a fémművességgel (Ilon 2014). Olvashattunk üreges fejű bronztű endoszkópos vizsgálatáról, különböző roncsolásmentes, neutronbefogáson illetve neutronszóráson alapuló technikák (neutrontomográfia, neutronaktivációs analízis, prompt-gamma aktivációs analízis, vagy repülési-idő neutrondiffrakció), és röntgenanalitikai

módszerek (köztük proton-indukált röntgen-emissziós analízis: PIXE, és pásztázó elektronmikroszkóppal kiegészített elektronsugaras mikroanalízis: SEM-EDX) alkalmazásáról. A hazai elemzések a Budapesti Kutatóreaktorban (Budapesti Neutronközpont, BNC), az ATOMKI Ionnyaláb Alkalmazások (Ion Beam Applications: IBA) laboratóriumában, az Eötvös Loránd Tudományegyetemen és a Budapesti Műszaki Egyetemen készültek, néhány esetben külföldi együttműködésben, részben az Európai Unió Ancient Charm és Charisma programjaihoz csatlakozva (Dúzs et al. 2005; Kasztovszky & Belgya 2006; Uzonyi 2007; Kasztovszky 2011). Az Archeometriai Műhelyben és más, hazai és nemzetközi folyóiratokban, valamint tanulmánykötetekben közölt, a Kárpát-medencei régészeti fémtárgyakat érintő újabb esettanulmányok jól tükrözik a jelenlegi kutatási trendeket, melyek két fő irányból közelítik meg a fémtárgyakat: egyrészt a nyersanyag-összetétel elemzésére, másrészt a készítés-technika megismerésére irányulnak.



**1. ábra:** A Kárpát-medencei nyéllyukas balták időrendje: 1. Shalev, Kovács, T. Biró 2012 nyomán (a nyilak a baltákon végzett nyersanyag-elemzések mintavételi helyeit jelzik), 2. Dani 2013 nyomán

**Fig. 1.:** Chronological table of the shaft-hole axes in the Carpathian Basin: 1. after Shalev, Kovács, T. Biró 2012 (arrows indicating sampling points), 2. after Dani 2013

### Nyersanyagok elemzése

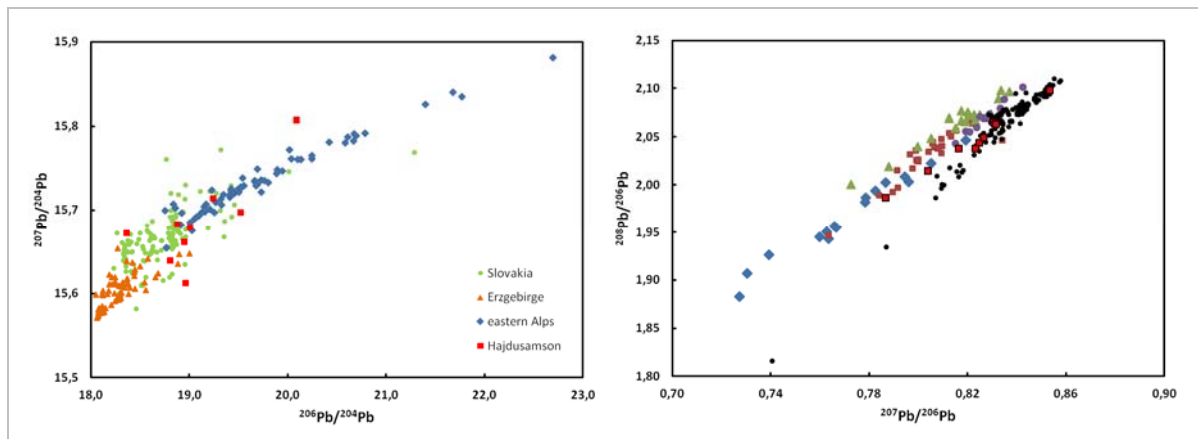
A nyersanyagok felől közelítve Czajlik Zoltán tanulmányára kell felhívunk a figyelmet, aki a Kárpát-medence tágabb térségében a réz és vas nyersanyag őskori kohósításának nyomait foglalta össze. Az ércfeldolgozó műhelyek azonosítása általában az ismert geológiai adottságokból következik. Természetes hasznosítása esetén (pl. Rudna Glaván) a horpák és bányagödrök bizonyítják a kitermelést, és ércpörkölési, kohósítási nyomokra nem számíthatunk. Néhány ismert őskori rézbánya környezetében viszont nagy számban kerülnek elő meddőhányók és salakhányók. Először többnyire a középkori, a népvándorláskori, vagy a római császárkori salaklelőhelyek részletesebb vizsgálata vezethet el az őskori kovácsolási, vagy pörkölési/kohósítási nyomok megismeréséhez. Fontos a kohászati és a kovácssalak egyértelmű elkülönítése, amit középkori vas anyag esetében Molnár Ferenc végzett el (Molnár 2011). A Kárpát-medencében egyelőre csak kevés és főként vaskori kohósításra vonatkozó adatot sikerült összegyűjteni. Az arany és a réz érc feldolgozásáról jórészt közvetett adatok állnak rendelkezésre (Czajlik 2012b).

A legkorábbi, az újkőkor végén megjelent rézgyöngyök vizsgálata a tárgyak nyersanyaga és állagmegóvása szempontjából is fontos adatokkal szolgált. Kasztovszky Zsolt és munkatársai a Polgár-Csószhalmon előkerült 148 db rézgyöngyből álló gyöngysor két gyöngyén roncsolásmentes PGAA, röntgen-pordiffrakciós és neutron-diffrakciós elemzést végeztek. Megállapították, hogy a gyöngyök korróziója folyamatos, és az eredeti termésvázis már nyomokban sem volt

jelen a tárgyakban. Az elemzések az állapotromlás kezeléséhez is segítséget nyújtottak (Kasztovszky et al. 2010).

A hencidai rézkori aranykincsen végzett energiadiszipatív röntgen-fluoreszcens (ED-XRF), pásztázó elektronmikroszkópos, PIXE és más módszereket alkalmazó komplex mérőeszköz az azt bizonyította, hogy a 12 aranycsüngő legkevesebb 3 (vagy 5) csoportba sorolható összetétel alapján. Az elemterképezés a csüngők homogén elemeloszlását mutatta, mely készítésük során öntéstechnika használatára utal (Csedreki et al. 2010; Csedreki & Dani 2011). Fontos adatokkal szolgált az eddig csak néhány esetben vizsgált kora és késő bronzkori aranytárgyak elemösszetételének meghatározására irányuló, az MTA TTK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetben elvégzett elektron-sugaras mikroanalízis (Endrődi 2012; Ilon 2012).

Nemrégiben került közlésre a kora bronzkori fémművesség fejlődését kutató izraeli–magyar projekt adatai, melynek során a MNM-ban őrzött baltákon történt mintavételezés (Shalev, Kovács, & T. Biró 2012). E vizsgálsorozatot kiegészítik azok az újabb megállapítások, amelyek szerint a kora bronzkorba sorolt balták egy részét inkább a rézkor végére keltezhetjük (1. ábra; Hansen 2011; Dani 2013; Szeverényi 2013, további irodalommal). E megfigyelések a nyersanyagokkal összevetve is érdekes tanulságokat hordoznak: a rézkori és kora bronzkor elejére keltezhető balták tiszta rézből készültek, míg a kora bronzkor fejlettebb időszakában gyakoribbá vált az arzéntartalmú nyersanyag, a középső bronzkor hajnalán pedig megjelentek az önbronzok.



**2. ábra:** 1. A hajdúsámsoni kincs vizsgált tárgyai (pirossal jelezve), valamint a Keleti Alpok, a Szlovák Érchegység és a Cseh-Szász Érchegység rézércének ólomizotóp-arányai; 2. a vizsgált tárgyak (pirossal jelezve), valamint Mitterberg, és a Szlovák Érchegység rézérci ólomizotóp-arányainak alternatív bemutatása. Pernicka 2013, Fig. 2, Fig. 5 nyomán

**Fig. 2.:** 1. Lead isotope ratios of the archaeological objects analyzed (red symbols) and of copper ores from the eastern Alps, the Slovak Ore Mountains, and the Saxo-Bohemian Ore Mountains; 2. Alternative presentation of the lead isotope ratios of the archaeological objects analyzed (red symbols) and of copper ores from Mitterberg and the Slovak Ore Mountains, after Pernicka 2013, Fig. 2, Fig. 5

A rézkori, kora és középső bronzkori fémtárgyak vizsgálata során az utóbbi években számos módszer alkalmazására került sor. Barkóczy P., Kovács Á. és P. Fischl K. néhány, az 1960-as években végzett stuttgarti elemzési sorozatban (vö. Junghans, Sangmeister & Schröder 1968, 1974; Krause 2003) is vizsgált réz- és bronzkori tárgyat elemeztek újra a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetének LISA laboratóriumában. A metallográfiai vizsgálatokra a tárgyak már meglévő sérüléseinek helyénél került sor, itt végezve a szövetszerkezeti elemzéshez szükséges roncsolást. A tárgyak elemösszetételére vonatkozó eredmények részben a korábbi, stuttgarti adatoktól eltérő eredményekkel szolgáltak, ami a módszerek finomodásával és a korabeli tárgyak inhomogén anyagszerkezetével magyarázható. Mind a mikroszerkezetet, mind a zárványokat részletesen megvizsgálták pásztázó elektronmikroszkóppal: a borsodgeszti kartekeres esetében például a réz mellett ónt, antimont és nikkelt mutattak ki. A zárványok rézszulfidból, valamint az ón és az antimon kénnel alkotott vegyületeiből állnak; eszerint az alapanyag a réz szulfidos érceiből kohósodott, az ón és az antimon kísérő ásvány formájában volt jelen (Barkóczy, Kovács & Fischl 2011).

A dunántúli középső bronzkorra keltezhető zalaszabari kincs tárgyainak egy részénél roncsolásos mintavétellel járó energiadiszperzív röntgen-fluoreszcens (EDXRF) spektrometria segítségével 14 elem koncentrációját vizsgálták (Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Sn, Sb, Te, Au, Pb, Bi; a módszer leírásáról ld. Lutz & Pernicka 1996) a tübingeni egyetem kisebb mintavétellel járó

vizsgálatsorozatához kapcsolódva. Az *Untersuchungen zur Vermittlung der Zinnbronze nach Mitteleuropa über das Karpatenbecken* projekt során T. Kienlin és E. Pernicka vezetésével közel 400 magyarországi és további több mint 200, a mai Románia nyugati részének múzeumaiban őrzött tárgyból is mintákat vettek; egyelőre csupán néhány tárgy elemösszetétel eredménye került közzésre (Kiss et al. 2013, 74, 3. ábra, 1. táblázat; Kiss et al. 2014, 2. táblázat). A nyersanyag az arzén, az ezüst és az antimon magasabb aránya miatt fakóérces érctelepről származhat, ahol – amint azt az egyik tárgy vastartalma mutatja – kalkopirites ércek is lehettek (vö. Czajlik 2012a, 41). A nyersanyag összetételében megfigyelt különbségek arra utalnak, hogy a tárgyak zöme nem egyszerre készült, ami fontos megállapítás a bronzkincsek tárgytípus-összetételére és a deponálási szokásokra vonatkozóan.

A Szegedi Tudományegyetem, a debreceni ATOMKI és a Ljubljana-i Egyetem együttműködő munkatársai a Charisma program keretében az alföldi halomsíros kultúra fémtárgyainak komplex vizsgálatát végezték el. A legtöbb tárgy jellemző nyomeleme az arzén és a nikkél. E nyersanyagot R. Pittioni kelet-alpi réznek nevezte, D. Liversage részben erdélyi eredetűnek tartotta (Pittioni 1957; Liversage 1994). Sánta G. szerint a Kárpát-medencében csak néhány olyan lelőhely van, melynek szulfidos ércei kohósítás után ilyen összetételt adnak; ezek főleg Dobsina (Dobsina, Szlovákia) környékére, a Szepes-Gömöri Érchegységre jellemzőek, ahol a kontakt metasztatikus vas- és rézérctelep kalkopirit és

fakóércek mellett jelentős mennyiségű gersdorffitot (NiAsS) tartalmaz (Sánta 2011).

Félkész nyersanyagöntvények vizsgálata alapján Czajlik Zoltán több regionális nyersanyagforrás használatát valószínűsíti a késő bronzkor későbbi időszakában is (Czajlik 2006, 2013).

Amint az eddigi eredmények bemutatásából láthattuk, a felhasznált nyersanyagok konkrét forrásának, bányahelyének meghatározására a tárgyak vizsgálata önmagában nem alkalmas (vö. még Kiss 2009; Kiss 2012). A Kárpát-medencei rézbányák őskori kitermelésének kérdését több kutatási program is érintette az elmúlt évtizedben. M. Schreiner a szlovákiai, Garam völgyi őskori bányák, valamint a térség rézkori és bronzkori fémművészete komplex vizsgálatát végezte el: az elemösszetétel és ásványszerkezet elemzéshez röntgen-diffraktometriát és ólomizotóp-elemzést alkalmazva (Schreiner 2007; Schreiner et al. 2012). A délkelet-magyarországi régióban amerikai-magyar együttműködéssel folyó bronzkori településkutatási program és ehhez kapcsolódva a nyugat-romániai régióban fekvő bányahelyek vizsgálata is elkezdődött (*Arizona–Timisoara Early Metallurgy project*). Az elemzés során a településekről származó fém tárgyakon, salakokon és az érc mintákon egyaránt végeztek összetétel elemzést, röntgen-diffrakciós, továbbá optikai és pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokat (Papalas 2008; Duffy 2014). A nyugat-romániai réz- és bronztárgyak kutatásába a bochumi Bergbau-Museum is bekapcsolódott (vö. Hansen 2005). Az említett szlovákiai elemzések mellett eddig csupán a Fertő-tó térségének ausztriai oldaláról rendelkezünk a Kárpát-medence térségét érintő ólomizotóp-adatokkal (Duberow et al. 2009). Emiatt rendkívül fontosak a Dani J. és E. Pernicka együttműködése nyomán elsőként publikálásra került magyarországi ólomizotóp vizsgálatok (2. ábra). A hajdúsámsoni kard és a térség valamivel későbbi leleteinek elemzési eredményei arra utalnak, hogy a Felső-Tisza-vidéki műhelyek a középső bronzkor derekán, virágzásuk kezdetén Közép-Európa nyugatabbi részéből importált nyersanyagból dolgoztak, majd a helyi fémművészet a nyersanyagforrások tekintetében önállóvá vált, minden bizonnyal a mai kelet-szlovákiai nyersanyagforrásokra alapulva (Dani et al. 2013; Pernicka 2013). További új adatokat várhatunk a folyamatban levő, egyelőre közöletlen vizsgálatoktól (ld. az említett tübingeni projektet, illetve Siklósi et al. in prep.).

### **Készítés-technikai megfigyelések**

A LISA laborban végzett metallográfiai vizsgálatoknak a készítés-technikára vonatkozó megállapításai szerint a középső bronzkori zalaszabari bronzkincs tárgyai közül néhány öntéssel készült, míg másoknál az öntést követő

utólagos megmunkálás látható, esetenként az alakításnak megfelelően elnyújtott zárványokkal, de leggyakrabban a megmunkálást követő hőkezelésből adódó újrakristályosodás mutatható ki (Kiss et al. 2013; vö. még P. Fischl et al. 2013). Emellett roncsolás-mentes (neutron radiográfiás, PGAA és repülési-idő neutron-diffrakciós: TOF-ND) vizsgálatok is készültek az MTA BTK Régészeti Intézet és a BNC együttműködésével (Kiss et al. 2014) réz- és bronztárgyakon, többek között a zalaszabari bronzkincs peremes baltáján. Mivel hasonló formájú balták gyakran kerülnek elő a Közép-Európa nyugatabbi részéből ismert rézbányák környezetében megtalált, azonos tárgyak sorozatát tartalmazó kincsletekből, a kutatók egy része arra következtet, hogy ezek formaöntött félkész termékként/standard tömegű nyersanyag-öntvényként („előpénzként”) értelmezhetők. Számos peremes balta metallográfiai elemzése során az él öntés utáni megmunkálására utaló, újrakristályosodott szövetszerkezetet lehetett kimutatni, emiatt T. Kienlin inkább eszközként való használatukat tartja fontosabbnak. A TOF-ND elemzés a zalaszabari peremes baltánál is kimutatta az utólagos megmunkálást. Örökségvédelmi szempontból nagyon fontos tény, hogy az említett vizsgálat a balta élének öntés utáni edzését a tárgy megsértése nélkül igazolta, és a balta korábbi kis roncsolással járó mintavétele nyomán végzett ED-XRF elemzés öntartalom adatával jól korreláló eredménnyel is szolgált (Kiss et al. 2014).

M. Mödlinger szintén a Charisma program keretében vizsgálta a késő bronzkori támadó és védő fegyvereket. A támadó fegyvereket vizsgáló munka 80 késő bronzkori kard röntgen-fluoreszcenciával, elektron mikropróba analízissel és 3D-CT-vel történt vizsgálata során fontos megfigyeléseket tett az öntéstechnika módjáról és hibáiról, a kardok edzéséről, élezéséről és használatáról (Mödlinger 2011). A védő fegyverek kutatása többek között magyarországi sisakok, páncélok és lábvérték készítésének technikájára, valamint a harc közbeni sérülésekkel összefüggő használati nyomokra fókuszál. A BNC roncsolás-mentes módszerei, valamint metallográfiai elemzés alkalmazásával nyert eredményei alátámasztják Szabó Géza korábbi megállapításait, amelyek szerint a bronzsisakokat az alapanyagul szolgáló öntött lemezből kalapálással és hőkezeléssel formálták meg; a tetejükön elhelyezett gomb pedig viaszveszejtési módszerrel készült (Szabó 1994, 2013; Mödlinger et al. 2013, 2014).

Szabó Géza kora vaskori bronzedényeken végzett vizsgálatai a tárgyak műhelykörzetekhez való kapcsolásának lehetőségét mutatták ki; a műhelyek adott esetben a Hallstattól Regölyig nyúló térséget láthatták el sorozatban gyártott készletekkel (Szabó 2012).

A késő vaskori bronz karikaékszerek archeometallurgiai vizsgálata során Molnár Ferenc és munkatársai több nyersanyagtípust és eltérő készítéstechnikával dolgozó műhelykörzeteket különítették el (Molnár et al. 2012).

Áttérve a vastárgyak kutatására az avar- és Árpád-kori vasművesség az iparrégészeti feldolgozásoknak köszönhető jobban ismert adatai (összefoglalóan: Gömöri 2000; Török 2011; Thiele & Török 2011, Thiele et al. 2013) mellett újabban a szkíta és kelta kor vastárgyainak kutatása is megélénkült. A Duna-Tisza közén fekvő Bátmonostor-Szurdok lelőhely megelőző feltárása során talált, feltehetően temetkezéshez köthető, szkíta kori leletgyűtesből hat vasfegyver komplex archeometriai vizsgálatát végezték el a Miskolci Egyetem LISA Laboratóriumában, számítógépvezérelt tárgyasztalos optikai mikroszkóppal, energiadiszipatív röntgen-mikroszondával felszerelt pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM-EDS), illetve mikrokeménység-mérővel. Az ordacsehi-cserefeldi kelta kori tárgyak vizsgálatsorozatának fő célja a salakminták és a fémtárgyak kémiai, ásványtani és anyagszerkezeti jellemzőinek feltárása volt. Az elemzett vaskori tárgyak általában relatíve lágy, inhomogén szövetszerkezetű, ferrites, ferrit-perlites vasból készültek (Török et al. 2013a, 2013b).

Czajlik Zoltán és Molnár Ferenc a sajópetri kelta településen a vasművesség munkafázisaihoz kapcsolódó emlékműanyagot dolgozták fel, és egy kohók nélküli technológia lehetőségét vetették fel (Czajlik & Molnár 2007; Czajlik 2012b, 1. ábra).

A közelmúltban Budaörsön feltárt római kori kocsisírokból előkerült vasalkatrészének archeometriai vizsgálatát (metallográfiai, mikrokeménység-mérését és elektronsugaras mikroanalízisét) Thiele Á. és munkatársai végezték el a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék laboratóriumában. Megállapításaik szerint a kocsisíalkatrészek ötvözetlen szénacélból készültek, s többségüknél a gyártástechnológia tekintetében a korszak kovácsai az igénybevételekkel szemben általában megfelelő anyagot, de nem mindig megfelelő technológiát (megmunkálást és hőkezelést) választottak (Thiele et al. 2011).

Egy pusztataskonyi 6. századi germán sírból előkerült kard archeometallurgiai vizsgálatát is elvégezték a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetében. Az ötvözetlen acél kard ferrit-perlites szövetszerkezete arra utal, hogy egyazon bucavasból készült. Török B. és Kovács Á. munkája fontosságát kiemeli, hogy a tanulmányt megelőzően az alföldi gepidák vaselőállításának technikájáról nem álltak rendelkezésre ismeretek (Török & Kovács 2011).

Thiele Á. és munkatársai a díszítő kovácshegesztés kísérleti régészeti módszerrel és metallográfiai

vizsgálatokkal való tanulmányozása során maratási kísérleteket is végzett különféle sav fajtákkal. Az eredmények szerint a korabeli kardkészítők minden bizonnyal a természetben könnyebben elérhető, relatíve gyenge savakat használták rendszeresebben, mint például az ecetsavat, a megsavanyodott sört, a vizelet savtartalmát, a borkősavat, illetve a csersavat, amely az igen hatásos, kék-fekete színű sávokat eredményezi és egyfajta rozsdásodás-gátlásként is szolgált Thiele et al. (2014).

A vasművesség későbbi történetének új eredményei között kell megemlíteni a szigetvári csatatéren előkerült 16. századi öntött acél ágyú technikatörténeti szempontból fontos vizsgálatát, hiszen a korábbi ismeretek szerint Európában a 19. század második feléig nem készültek ilyen fegyverek (Szabó et al. 2013).

### Összefoglalás

A bemutatott esettanulmányok arra hívják fel a figyelmet, hogy többféle módszer kombinációjával lehet a nyersanyag és a készítés-technika körvonalazásához közelebb jutni. A tudományterületek specializáltsága, ugyanakkor a régészeti tárgyak vizsgálata során felvetődő komplex kérdések megoldása csak munkacsoportok, különböző tudományágak együttműködő szakemberei számára lehetséges. A vizsgálat helye és a mintavétel kijelölésében a régészeti kérdésfelvetés és a műtárgyvédelmi szempontok összehangolása, valamint a mintavételi helyek dokumentálása és publikálása révén egyre gyarapodó archeometriai adatbázisok jöhetnek létre. Ennek segítségével az úttörő tematikai és módszertani munkákból a jövőben tendenciák rajzolhatók ki, újabb kérdések megválaszolására sarkallva a kutatókat.

### Irodalom

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

CZAJLIK Z. (2006): La distribution du cuivre des origines à la fin de l'âge du Bronze en France. Essai de comparaison des demi-produits provenant de France orientale et de l'Europe centrale. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 57 47–65.

CZAJLIK Z. (2012a): *A Kárpát-medence fémnyersanyag-forgalma a későbronzkorban és a vaskorban*. Talantum könyvek. Eötvös Loránd Univ., Budapest, 1–172.

CZAJLIK Z. (2012b): A fémnyersanyagok őskori kohósításának nyomai a Kárpát-medencében -

Traces of prehistoric smelting workshops in the Carpathian Basin. *Archeometriai Műhely* **9** 97–104.

CZAJLIK, Z. (2013): Lokaler, regionaler oder Fernhandel? Probleme der spätbronzezeitlichen Metallversorgung am Velem–St. Veit Berg (Westungarn). In: Rezi, B., Németh, R., E., & Berecki, S. (eds): *Bronze Age Crafts and Craftsmen. Proceedings of the International Colloquium from Târgu Mureş 5–7 October 2012. Bibliotheca Musei Marisiensis* **6** Târgu Mureş, 167–180.

CZAJLIK Z. & MOLNÁR, F. (2007): Sidérurgie. In: Szabó, M. (dir.) & Czajlik, Z. (ass.): *L'habitat de l'époque de La Tène à Sajópetri-Hosszú-dűlő. L'Harmattan, Budapest*, 263–270.

CSEDREKI L. & DANI J. (2011): A hencidai rézkori aranykincsen végzett pixe vizsgálatok tanulságai – Experiences of the pixe analyses performed on the copper age gold treasure of Hencida. *Archeometriai Műhely* **8** 285–192.

CSEDREKI L., DANI J., KIS-VARGA M., DARÓCZI L., & SÁNDORNÉ KOVÁCS J. (2011): A hencidai aranykincs interdiszciplináris vizsgálatai (új szempontok, új eredmények). *A Debreceni Déri Múzeum Évkönyve 2010-ről*, 35–52.

DANI, J. (2013): The Significance of Metallurgy at the Beginning of the Third Millennium BC in the Carpathian Basin. In: Heyd, V., Kulcsár, G., & Szeverényi, V. (eds): *Transitions to the Bronze Age. Interregional Interaction and Socio-Cultural Change in the Third Millennium BC Carpathian Basin and Neighbouring regions*. Archaeolingua, Budapest, 203–231.

DANI, J., TÖRÖK ZS., CSEDREKI L., KERTÉSZ ZS., & SZIKSZAI Z. (2013): A hajdúsámsoni kincs PIXE vizsgálatának tanulságai. *Gesta* **12** 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. L. & ROBERTS, B. W. (eds.): *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 169. Bonn, 336–349.

DUFFY, P. (2014): *Complexity and Autonomy in Bronze Age Europe: Assessing Cultural Developments in Eastern Hungary (Prehistoric Research in the Körös Region)*. Archaeolingua, Budapest, 1–402.

DÚZS, SZATHMÁRI, & T. BIRÓ (2005): Régészeti tárgyak endoszkópos vizsgálata – Investigation of archaeological objects by industrial endoscope. *Archeometriai Műhely* **2** 62–66.

ENDRŐDI, A. (2012): Early Bronze Age headdress. Markers of the social status in the Bell

Beaker–Csepel group. *Archaeológiai Értesítő* **137** 7–26.

GÖMÖRI J. (2000): Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában (*Magyarország iparrégészeti lelőhelykatasztere I. Vasművesség. – The archaeometallurgical sites in Pannonia in the Avar (7th–9th c. A.D.)- and early Árpád period (10–12. c. A.D.)*). Soproni Múzeum és MTA VEAB Iparrégészeti és Archeometriai Munkabizottság, Sopron, 1–373.

HANSEN, S. (2005): Neue Forschungen zur Metallurgie der Bronzezeit in Südosteuropa. In: Ü. Yalçın (Hrsg.), *Anatolian Metal 3. Der Anschnitt*, Beiheft 18. Bochum, 89–104.

HANSEN, S. (2011): Metal in South-Eastern and Central Europe between 4500 and 2900 BCE. In: Yalçın, Ü., Wirth, Ch. (eds): *Anatolian Metal 5. Der Anschnitt*, Beiheft **24** Bochum, 137–150.

ILON G. (2014): 10 éves az Archeometriai Műhely (AM) – Ten years of Archaeometry Workshop. *Archeometriai Műhely* **11** 77–80.

JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E. & SCHRÖDER M. (1968): *Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Die Materialgruppen beim Stand von 12000 Analysen*. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 2. 1-3. Mann, Berlin, 1–174.

JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E. & SCHRÖDER M. (1974): *Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas*. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 2. 4. Mann, Berlin, 1–406.

KASZTOVSZKY ZS. (2011): A Budapesti Neutronközpont szerepe az európai kulturális örökség kutatásában – Charisma. *Magyar Tudomány* **10** 1238–1246.

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

KASZTOVSZKY ZS., SZILÁGYI V., & SAJÓ I. (2010): [Neolitikus rézgyöngyök vizsgálata Polgár-Csőszhalom lelőhelyről – előzetes eredmények / Scientific investigation of Neolithic copper beads from Polgár-Csőszhalom – Preliminary result](#). *Archeometriai Műhely* **7** 137–140.

KISS V. (2009): A fém nyersanyag-felhasználás kérdései a Dunántúl kora és középső bronzkorában – Questions of the use of metal as raw material in the Early and Middle Bronze Age of Transdanubia. In: Ilon G. (Szerk.) *ΜΩΜΟΣ VI. Őskoros Kutatók VI. Összejövedele. Nyersanyagok és kereskedelem*. Szombathely, 197–212.

KISS V. (2012): Arany, réz és bronztárgyak kutatása a középső bronzkorig. Az

archeometallurgia aktuális kérdései – The study of gold, copper and bronze artefacts until the Middle Bronze Age. Current questions of archaeometallurgy. *Archeometriai Műhely* **9** 61–74.

KISS V., BARKÓCZY P., & VÍZER ZS. (2013): A zalaszabari bronzkincs archeometallurgiai vizsgálatának előzetes eredményei. *Gesta* **13** 3–13.

KISS, V., FISCHL, K.P., HORVÁTH, E., KÁLI, GY., KASZTOVSZKY, ZS., KIS, Z., MARÓTI, B., & SZABÓ, G. (2014): Bronzkori fém tárgyak roncsolásmentes neutron analitikai vizsgálatának eredményei. *Gesta* **14** in press.

KRAUSE, R. (2003): *Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee*. Vorgeschichtliche Forschungen 24. Rahden/Westfalen, 1–203.

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 analysis of ancient copper alloys: empirical values for precision and accuracy. *Archaeometry* **38** 313–323.

MOLNÁR F. (2011): Salakok és fémek archeometriai vizsgálata. In: Müller R. (szerk.): *Régészeti kézikönyv*. Magyar Régész Szövetség, Budapest, 510–524.

MOLNÁR, F., CZAJLIK, Z. & MASSE, A. (2012): Analyse archéométrique des bracelets et anneaux de cheville celtiques en bronze mis a jour à Ludas. In: Szabó, M. (dir.), Tankó, K. et Czajlik, Z. (ass.) : *La nécropole celtique à Ludas–Varjú-dűlő*, L'Harmattan, Budapest, 249–265.

MÖDLINGER, M. (2011): Ritual object or powerful weapon – the usage of Central Europe Bronze Age swords. In: Uckelmann, M., Mödinger, M. (eds): *Bronze Age Warfare: Manufacture and Use of Weaponry*. BAR IS **2255**. Oxford, 153–166.

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

MÖDLINGER, M., KASZTOVSZKY, Z., KIS, Z., MARÓTI, B., KOVÁCS, I., SZÓKEFALVI-NAGY, Z., KÁLI, Gy., HORVÁTH E., SÁNTA, Zs., & EL MORR, Z. (2014): Non-invasive PGAA, PIXE and ToF-ND analyses on Hungarian Bronze Age defensive armour. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (in press). DOI: 10.1007/s10967-014-3064-7

P. FISCHL K., KISS V., & KULCSÁR G. (2013): "Ahány ház, annyi szokás"? Specializált

háztartások a Kárpát-medencei kora és középső bronzkorában. In: ΜΩΜΟΣ VII. Óskoros Kutatók VII. Összejövedele. 2011. március 16–18. Százhalombatta, Matrica Múzeum. *Ősrégészeti Levelek / Prehistoric Newsletter* **13** 255–269.

PAPALAS, CH. (2008): *Bronze Age Metallurgy of the Eastern Carpathian Basin: a holistic exploration*. Unpublished Ph.D Thesis, Arizona State University, Tucson, 1–286.

PERNICKA, E. (2013): Analyses of Early Bronze Age metal objects from the Museum Debrecen, Hungary. *Gesta* **12** 48–55.

PITTIONI, R. (1957): Urzeitlicher Bergbau auf Kupfererz und Spurenanalyse. Beiträge zur Relation Lagestätte–Fertigobjekt. *Archaeologica Austriaca* Beiheft 1. Wien, 1–76.

SÁNTA G. (2011): Koszideri és halomsíros bronz tárgyak komplex vizsgálata – összetétel, fázisok és korróziós felületek – Complex study of bronze objects from Koszider and tumulus period – composition, phases and corrosion. *Archeometriai Műhely* **8** 305–320.

SCHREINER, M. (2007): *Erzlagertstätten im Hronal, Slowakei: Genese und prähistorische Nutzung*. Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft, 3, Rahden/Westfalen, 1–292.

SCHREINER, M., HEYD, V. & PERNICKA, E. (2012): Kupferzeitliches Metall in der Westslowakei. In: Kujovský, R. & Mítáš, V. (eds): *Václav Furmáněk a doba bronzová. Zborník k sedemdesiatym narodeninám*. Archaeologica Slovaca Monographiae – Communicationes 13. Nitra, 355–366.

SHALEV, S., KOVÁCS, T., & T. BIRÓ, K. (2012): Investigation of early copper-based alloys from the collection of the Hungarian National Museum – Korai rézötvözetek vizsgálata a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből. *Archeometriai Műhely* **9** 105–116.

SIKLÓSI, ZS., PRANGE, M., KALICZ, N., ANDERS, A. & RACZKY, P. (in prep.): New data for the provenience of early copper finds from the Great Hungarian Plain. In: Anders, A., Hansen, S. & Raczky, P. (eds.): *Chronologies, Lithics and Metals. Late Neolithic and Copper Age in the Eastern Part of the Carpathian Basin and in the Balkans. Proceedings of the international workshop organised by the Institute of Archaeological Sciences, Eötvös Loránd University, the Eurasien-Abteilung des Deutschen Archäologischen Instituts, and the Römisch-Germanische Kommission des Deutschen Archäologischen Instituts, Budapest, 30th March 1st April, 2012*. Berlin–Budapest in prep.

- SZABÓ G. (1994): A Kárpát-medencei későbronzkori sisakok készítésének problémái egy újabb lelet alapján (Probleme der Herstellung Spätbronzezeitlichen Helme im Karpatenbecken). In: Lőrinczy G. (szerk.): *A kőkortól a középkorig*. Csongrád Megyei Múzeumok Igazgatósága, Szeged, 219–227.
- SZABÓ G. (2010): Az archaeometallurgiai kutatások gyakorlati és etikai kérdései – Practical and ethical issues of archaeometallurgical research. *Archeometriai Műhely* **7** 111–122.
- SZABÓ G. (2012): A Kárpát-medencei archaeometallurgiai kutatások eredményei, aktuális kérdései a 21. század elején, különös tekintettel a bronz- és vasgyártás társadalmi hátterének változásaira / Recent advances and new questions of archaeometallurgical research in the Carpathian Basin at the beginning of the 21st century, with special emphasis on the change in the social background of bronze and iron artefacts. *Archeometriai Műhely* **9** 75–96.
- SZABÓ G. (2013): *A dunántúli urnamezős kultúra fémművessége az archaeometallurgiai vizsgálatok tükrében – The metallurgy of the Transdanubian Urnfield Culture in the light of a Archaeometallurgical Investigations*. Specimina Electronica Antiquitatis – Libri 1. PTE-BTK-TTI, Ókortörténeti Tanszék, Pécs, 1–134.
- SZABÓ G., KOVÁCS Á. & BARKÓCZI P. (2013): A Szülejmán kori harcászat és haditechnika a szigetvári ágyú és lövedékek archaeometallurgiai vizsgálatának tükrében. *Gesta* **13** 83–115.
- SZEVERÉNYI, V. (2013): The Earliest Copper Shaft-Hole Axes in the Carpathian Basin: Interaction, Chronology and Transformation of Meaning. In: Anders, A., Kulcsár, G., Kalla, G., Kiss, V., Szabó, G. (eds): *Moments in Time: Papers Presented to Pál Raczky on His 60th Birthday, Prehistoric Studies I*. Budapest, 661–669.
- THIELE Á., LENGYEL B. & MRÁV ZS. (2011): [Római kocsi vasalkatrészeinek archeometriai vizsgálata – Archaeometrical Analyses of Iron Parts of a Roman-Age Carriage](#). *Archeometriai Műhely* **8** 321–328.
- THIELE Á. & TÖRÖK B. (2011): Vastermelés, vaskihozatal és a kohósított gyepvasércek minimálisan szükséges vastartalma az avar és Árpád-kori vasbucakohászatban – Iron production, iron yield and the minimal iron content of bog iron ores regarding avar and Árpád-age bloomery iron smelt. *Archeometriai Műhely* **8** 345–450.
- THIELE Á., TÖRÖK B., HARAMZA M., & JUHÁSZ G. M. (2014): [A díszítő kovácshegesztés \(pattern-welding\) szerepe 2-10. századi kard- és késpengékben–korhűen rekonstruált vasanyagok maratási vizsgálata – The role of pattern-welding in 2-10th century knife and sword blades–etching tests on reconstructed materials](#). *Archeometriai Műhely* **11** 126–136.
- THIELE Á., TÖRÖK B., & KÖLTŐ L. (2013): A foszfor szerepe a vas somogyi archaeometallurgiájában – avar és Árpád-kori vaskohászatból származó somogyi salakok SEM-EDS vizsgálata – The role of phosphorus in the archaeometallurgy of iron: SEM-EDS analysis on slag samples from Avar and Árpád-age bloomery workshops of Somogy County. *Archeometriai Műhely* **10** 13–22.
- TÖRÖK B. (2011): Vasérc, vasbuca, vastárgy. *Bányászattörténeti Közlemények* **12** 3–29.
- TÖRÖK B. & KOVÁCS Á. (2011): Kora középkori gepida kard archaeometallurgiai vizsgálata – Archaeometallurgical investigations of an Early Medieval Gepidic sword. *Archeometriai Műhely* **8** 337–344.
- TÖRÖK B., BARKÓCZY P., KOVÁCS Á., GYUCHA A., & GULYÁS GY. (2013): Szkíta kori vasfegyverek mikroszerkezete és készítési jellemzői. *Gesta* **12** 56–66.
- TÖRÖK B., KOVÁCS Á., BARKÓCZY P., & KRISTÁLY F. (2013): [Ordacsehi-Csereföld kelta településéről származó vassalak és vastárgyak anyagvizsgálata és készítés-technológiai vonatkozásai – Materials testing and production technology investigation of iron tools and slag from a Celtic settlement of Ordacsehi-Csereföld](#). *Archeometriai Műhely* **10** 23–32.
- UZONYI I. (2007): Ionnyaláb és röntgenanalitikai módszerek alkalmazása műtárgyak és régészeti leletek vizsgálatára – Application of Ion Beam and X-Ray Analytical Techniques for the investigation of Art and Archaeological objects. *Archeometriai Műhely* **4** 11–18.