

A HORDOZHATÓ XRF ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI RÓMAI EZÜSTTÁLAK ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATÁBAN

POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF THE USE OF HANDHELD XRF IN THE ARCHAEOMETRIC STUDY OF ROMAN SILVER PLATTERS*

MOZGAI, Viktória^{1*}; BAJNÓCZI, Bernadett¹; MAY, Zoltán² & MRÁV, Zsolt³

¹Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

²Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, 1117 Budapest, Magyar Tudósok körútja 2.

³Magyar Nemzeti Múzeum, 1088 Budapest, Múzeum körút 14–16.

E-mail: mozgai.viktoria@csfk.mta.hu

Abstract

Handheld X-ray fluorescence spectrometry is a widely used analytical method for the determination of the chemical composition of archaeological metal objects. Beside its several advantages (fast, cheap, portable, non-destructive, non-invasive, no sampling or special sample preparation is needed, etc.), the method has some limitations as well (surface method, geometric limitations, inhomogeneity within the objects, calibration, standardisation, etc.), which are needed to take into consideration during data evaluation and interpretation. In this present study, the possibilities of the handheld XRF are demonstrated on the example of 3rd–4th century AD Roman silver platters from the collection of the Hungarian National Museum (platters and the basin from the Seuso Treasure, three platters from the Sava river, two bowls from Esztergom and one plate from Nagyberki-Szalacska). The vessels were manufactured from high-quality silver (94.3–98.9 wt%), typical for the late Roman period, intentionally alloyed with copper (0.3–4.0 wt%). The rather low and constant gold and lead contents (0.4–1.1 wt% Au; 0–0.6 wt% Pb) indicate that primary cupelled silver, and not secondary remelted/reused gilded scrap silver was used for manufacture. The platters can be categorised based on their Bi/Pb and Au/Ag ratio. The different groups indicate the use of different silver ingots. Based on the presence of mercury, Seuso and Geometric Platters were decorated with fire gilding.

Kivonat

A hordozható (kézi) röntgenfluoreszcens spektrométer széles körben alkalmazott vizsgálati eszköz, melyet gyakran használnak régészeti korú fémtárgyak kémiai összetételének meghatározására. Számos előnye mellett (gyors, olcsó, hordozható, roncsolásmentes, nem igényel mintavételt vagy különösebb mintaelőkészítést, stb.), korlátai is vannak (felületi módszer, geometriai korlátok, tárgyakban lévő inhomogenitások, kalibráció, sztenderdizálás, stb.), melyeket fontos figyelembe venni a kapott adatok megfelelő kiértékeléséhez és értelmezéséhez. Tanulmányunkban a hordozható XRF alkalmazási lehetőségeit mutatjuk be a Magyar Nemzeti Múzeumban őrzött római kori ezüsttálak példáján, amelyek a következők: a Seuso-kincs táljai, a Száva folyó medréből előkerült három tál és az Esztergom közelében talált két tál a 4. századból, valamint a nagyberki-szalacscai tányér a 3. századból. Az edények a késő császárkorra jellemző nagy tisztaságú ezüsből (94,3–98,9 tömeg%) készültek, amit tudatosan rézzel ötvöztek (0,3–4,0 tömeg%). A viszonylag kicsi és konstans arany- és ólomtartalom (0,4–1,1 tömeg% Au; 0–0,6 tömeg% Pb) arra utal, hogy a készítés során elsődleges, kupellált ezüstöt használtak, nem pedig másodlagos, korábbi aranyozott ezüsttárgyak újraolvasztásával készült ezüstöt. A tálak csoportosíthatók Bi/Pb és Au/Ag arányuk alapján. A különböző csoportok eltérő ezüstöntecsek (ingotok) felhasználására utalnak. A Seuso- és a Geometrikus tálakat a higany jelenléte alapján tűzi aranyozással díszítették.

KEYWORDS: PORTABLE XRF, HANDHELD XRF, SILVER PLATTERS, LATE ROMAN, GILDING, SEUSO TREASURE

KULCSSZAVAK: HORDOZHATÓ XRF, KÉZI XRF, EZÜSTTÁLAK, KÉSŐ RÓMAI, ARANYOZÁS, SEUSO-KINCIS

* How to cite this paper: MOZGAI, V.; BAJNÓCZI, B.; MAY, Z. & MRÁV, Zs., (2020): A hordozható XRF alkalmazási lehetőségei és korlátai római ezüsttálak archeometriai vizsgálatában / Possibilities and limitations of the use of handheld XRF in the archaeometric study of Roman silver platters (In Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XVII/3 253–270.

Bevezetés

Napjainkban a régészeti leletek és kulturális örökségünk kutatása során az egyik leggyakrabban és legszélesebb körben alkalmazott elemanalitikai módszer a hordozható (kézi) röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) (Shackley 2012; Frahm & Doonan 2013; Zlateva 2017). A módszert gyakran alkalmazzák régészeti és történeti fém tárgyak, különösen nemesfém tárgyak kémiai összetételének roncsolásmentes meghatározásához (pl. Karydas et al. 2004; Cesareo et al. 2008; Melcher et al. 2009; Parreira et al. 2009; Asderaki-Tzoumerkioti & Karydas 2011; Pardini et al. 2012; Mass & Matsen 2013; Zori & Tropper 2013; Lehmann et al. 2014; Živković et al. 2014).

A hordozható (kézi) XRF gyors, olcsó, szimultán, sokelemes módszer, amellyel a legtöbb elem ($Z=12-92$; magnéziumtól uránig) mennyisége meghatározható szinte a teljes koncentrációtartományban (fő-, mellék- és nyomelemek), azonban a könnyűelemek mérése problémás lehet. A hordozható műszerrel a tárgyak a múzeumban vagy az ásatáson, terepi körülmények között, saját kontextusukban elemezhetők. A legtöbb esetben nem igényel mintavételt és csak minimális mintaelőkészítés (pl. polírozás) szükséges az elemzéshez, így a módszer roncsolásmentesnek tekinthető. Az utóbbi évtizedekben a hordozható (kézi) XRF fontos szerepet játszott a hazai régészeti és történeti nemesfém tárgyak archeometriai kutatásában is (pl. Mozgai et al. 2017; Mozgai et al. 2018; Horváth et al. 2019; Szathmári et al. 2019; Szenthe et al. 2019; May 2020; Piros et al. 2020a, b).

Jelen tanulmány célja a készülék alkalmazhatóságának és korlátainak bemutatása a Magyar Nemzeti Múzeumban őrzött római kori, azon belül a 3–4. századra keltezhető ezüsttálak példáján keresztül. Fő cél a tárgyak kémiai összetételének meghatározása, a tárgyak kémiai összetételük alapján történő osztályozása, a tárgyak közötti és az egy tárgyon belüli esetleges inhomogenitások kimutatása, a felhasznált nyersanyag (érc) típusának meghatározása, az esetlegesen használt díszítési technikák (pl. aranyozás) jellemzése. Mivel a római ezüstleletek vizsgálata során leggyakrabban röntgenfluoreszcens spektrometriát alkalmaztak (Hughes & Hall 1979; Lang et al. 1984; Feugère 1988; Hughes et al. 1989; Lang 2002; Cowell & Hook 2010; Hook & Callewaert 2013; Minnitt & Ponting 2013; Sánchez & Lansing Maish 2014; Lang & Hughes 2016; Greiff 2017; Angelini et al. 2019; Arias et al. 2019) így eredményeink – összevetve a korábbi mérések eredményeivel – hozzájárulnak a késő római ezüstművesség árnyaltabb megismeréséhez.

Vizsgált tárgyak

Tanulmányunkban 11 darab, a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményében őrzött késő római ezüst edény, 10 tál és 1 tányér kémiai összetételét határoztuk meg (**1. ábra, 1. táblázat**). A tálak részben a Seuso-kincs részét képezik, valamint Esztergom környéki és Nagyberki-Szalacska lelőhelyről és a Száva folyó medréből származnak (**2. ábra**). A tálak mindegyikét egyetlen öntött ezüstlapból alakították ki. Felmerül a kérdés, hogy a talpgyűrűiket és peremi gyöngydiszítéseiket is egyazon öntvényből alakították-e ki, vagy utólag, forrasztással rögzítették a tálakhoz.

A Seuso-kincs táljai

A Seuso-kincs az egyik legjelentősebb késő római ezüstlelet (Painter 1990; Mango & Bennett 1994; Mráv & Dági 2014; Dági & Mráv 2019). A kincs jelenleg ismert állapotában 14 darab nagyméretű ezüst edényből és az elrejtésükhöz használt rézüstből áll, de további, jelenleg ismeretlen helyen lappangó edények, eszközök és egy további rézüst is tartoztak hozzá. Az edények egy ünnepi lakoma- és tisztálkodó készlet jellegzetes tartozékai. Az edények többsége az i. sz. 4. század során, a legkésőbbi darabok legfeljebb az 5. század elején készülhettek és feltehetőleg egy „barbár” támadás elől menekülve rejtették el őket (Mango & Bennett 1994; Mráv & Dági 2014; Dági & Mráv 2019).

A Seuso-kincs tárgyai közül a négy nagyméretű tálalt (Seuso-tál, Geometrikus tál, Meleagrosz-tál, Akhilleusz-tál) és a mosdótálalt vizsgáltuk. A *Seuso-tál* a kincs névadó darabja, amit ételek felszolgálására, kínálására használhattak. Peremét és központi medallionját vadászatok és egy szabadtéri lakoma jellegzetes epizódjai díszítik. A jeleneteket niellóberakások, vésett kontúrok és aranyozás emelik ki (**1A ábra**). A *Geometrikus tál* átmérőjét tekintve a négy nagy tál közül a legkisebb, és ételek tálalására használhatták. Központi medallionját vésett geometrikus motívumok díszítik, amelyeket niellóval töltöttek ki és aranyozott körgyűrűvel keretkeztek (**1C ábra**). Az *Akhilleusz-tál* a Seuso-kincsnek átmérőjét tekintve a legnagyobb, tömege vonatkozásában pedig a legsúlyosabb darabja. Ételek felszolgálására és díszítésként egyaránt használhatták. Görög mitológiai jelenetek domborműveivel díszítették (**1B ábra**). A *Meleagrosz-tál* főleg a vendégek elkápráztatását szolgáló díszítésként funkcionálhatott, de ételek felszolgálására is alkalmas volt. A tálon görög mitológiai jelenetek domborműveire épülő komplex képprogram jelenik meg, amely vadászhősöket és az érzéki szerelmet dicsőíti (**1D ábra**). A *mosdótálalt* arc-, kéz- és lábmosásra használhatták.



1. ábra: A vizsgált ezüsttálak a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből. 1A: Seuso-tál; 1B: Akhilleusz-tál; 1C: Geometrikus tál; 1D: Meleagrosz-tál; 1E: díszítetlen esztergomi tál; 1F: díszített esztergomi tál; 1G: mosdótál; 1H: szalacscai tál; 1I: szalagdíszes tál; 1J: rozettás tál; 1K: cikkelyes tál (képek: Dabasi A. & Kardos J. (MNM))

Fig. 1.: The analysed silver vessels from the collection of the Hungarian National Museum. 1A: Seuso Platter; 1B: Achilles Platter; 1C: Geometric Platter; 1D: Meleager Platter; 1E: undecorated bowl from Esztergom; 1F: decorated bowl from Esztergom; 1G: Basin; 1H: plate from Szalacska; 1I: Ribbon Platter; 1J: Rosette Platter; 1K: Fluted Platter (photos: A. Dabasi & J. Kardos (HNM))

1. táblázat: A vizsgált ezüsttálak a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből

Table 1.: Analysed silver vessels (7 platters, 1 basin, 2 bowls and 1 plate) from the collection of the Hungarian National Museum (English version of the table is [here](http://www.ace.hu/am/2020_3/AM-2020-3-MV-Tables.pdf) (http://www.ace.hu/am/2020_3/AM-2020-3-MV-Tables.pdf))

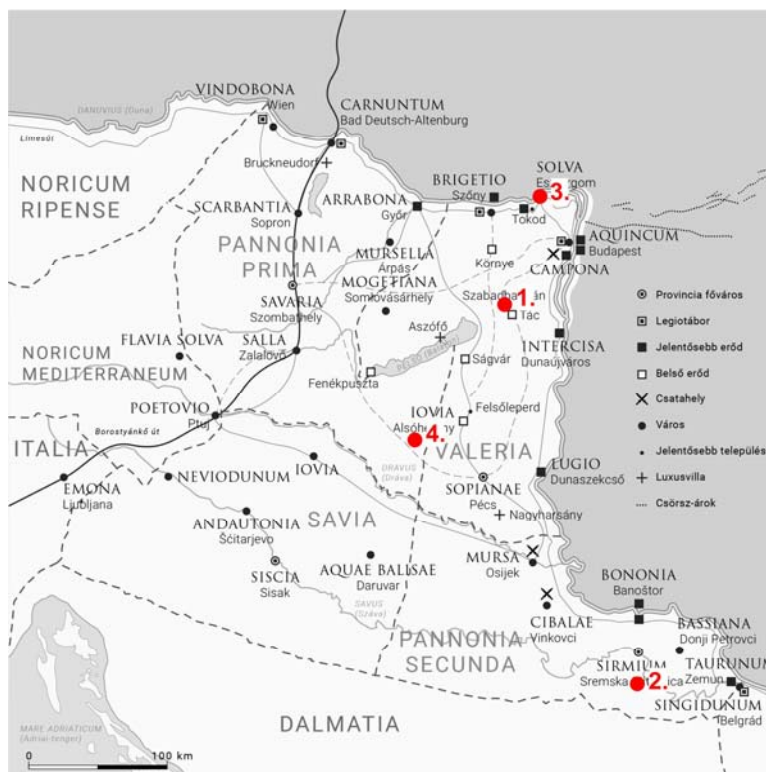
Ezüsttárgy	Átmérő	Tömeg	Díszítések	Készítés ideje (i. sz.)	Elrejtés ideje (i. sz.)
Seuso-tál	70,5 cm	8,9 kg	vésés, poncolás, aranyozás, niello	4. század	4. század utolsó harmada–5. század eleje
Geometrikus tál	64,2 cm	7,2 kg	vésés, poncolás, aranyozás, niello	4. század	4. század utolsó harmada–5. század eleje
Meleagrosz-tál	69,4 cm	8,6 kg	domborítás, poncolás, vésés	4. század utolsó harmada–5. század eleje	4. század utolsó harmada–5. század eleje
Akhilleusz-tál	72 cm	11,8 kg	domborítás, poncolás, vésés	4. század utolsó harmada–5. század eleje	4. század utolsó harmada–5. század eleje
mosdótál	45,2–46,8 cm	2,5 kg	domborítás, poncolás, vésés	4. század	4. század utolsó harmada–5. század eleje
szalagdíszes tál	52 cm	3,485 kg	vésés, poncolás	4. század első fele–közepe	4. század első fele–közepe
rozettás tál	43,5 cm	1,907 kg	vésés, poncolás	4. század első fele–közepe	4. század első fele–közepe
cikkelyes tál	41,5 cm	1,428 kg	vésés, poncolás	4. század első fele–közepe	4. század első fele–közepe
esztergomi tál 1	18,1 cm	0,317 kg	-	317 körül	4. század első harmada
esztergomi tál 2	19,2 cm	0,318 kg	vésés, poncolás	317 körül	4. század első harmada
szalacsikai tányér	24–24,2 cm	0,451 kg	-	3. század	3. század második fele–4. század eleje

Ezüstlemezből domborították, íves vonalú hornyolásokkal díszítették (**1G ábra**). Mintegy 6 liter víz befogadására volt alkalmas. A Geometrikus kancsókkal együtt valószínűleg egy készletet alkot.

A tálak mindegyikét egyetlen öntött ezüstlapból alakították ki különböző fémműves technikák (domborítás, fémnyomás, vésés, cizellálás) együttes alkalmazásával (Mango & Bennett 1994; Dági & Mráv 2019). A korábbi röntgenradiográfiai vizsgálatok arra utalnak, hogy a tálakat kiterjedt, nagymértékű kalapálással készítették (Mango & Bennett 1994). A Meleagrosz-tálnál többlet ezüstrátéteket használtak, hogy jobban kiemeljék a domborított jeleneteket. Az Akhilleusz-tálnál, bár hasonló módon készült, nem mutathatók ki ezüstrátétek a röntgenradiográfiai felvételek alapján.

A Száva medrében talált tálak

A három késő római ezüsttál (**1I–K ábra**) egy kincslet részét képezi, amelyek 1908-ban, vásárlás révén kerültek a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményébe (Lenkei 1955). A tálak a Száva medréből kerültek elő, ott ahol a Vukodraž patak a folyóba torkollik. Arra a kérdésre, hogy a tálak mikor és hogyan kerültek a folyó medrébe, aligha adható egyértelmű válasz. Az ún. *cikkelyes tál*at ezüstlemezből domborították, majd esztergálták. Medallionját vésett, geometrikus keretbe komponált változatos növényi motívumok, indák, palmetták és rozetták díszítik. Az ún. *rozettás tál*at öntötték, majd esztergálással alakították. Közepén vésett rozetta motívumot látunk. Az ún. *szalagdíszes tál*at szintén ezüstlemezből öntötték, majd esztergálták és végül cizellálták.

**2. ábra:**

A vizsgált ezüsttálak lelőhelye.
 1: Polgárdi–Kőszárhegy vidéke;
 2: a Száva medre a Vukodraž patak torkolatánál;
 3: Esztergom–Homokdomb;
 4: Nagyberki–Szalacska
 (térkép: Mráv Zsolt, grafika: Kolozsvári Krisztián)

Fig. 2.:

Findspots of the analysed silver platters.

1: Polgárdi–Kőszárhegy region;
 2: Sava river;
 3: Esztergom–Homokdomb;
 4: Nagyberki–Szalacska
 (map: Zsolt Mráv, graphics: Krisztián Kolozsvári).

Peremét asztragalosz sor kíséri, medallionját vésett geometrikus és növényi motívumokkal (levelekkel, szirmokkal, középen rozettával) töltötték ki.

Az esztergomi Licinius tálak

1901-ben Esztergom (*Solva*) mellett az ún. Homokdombon két gömbszelet alakú, ezüsttál került elő (**1E–F ábra**) (Hampel 1901; Kádár 1960). Mindkét tálát fémnyomással és kalapálással alakították ki, amelyek nyomai a tál felületén ma is felismerhetők. Tömegük megegyezik. Az egyik tál díszítetlen maradt. A másik tál Licinius császár uralkodásának tízéves évfordulójára (*decennalia*) készült, amelyet 317-ben ünnepeltek. Ezzel az ünnepséggel kapcsolatosak a tál belsejében látható, poncolt pontokkal írt feliratok. A medallionba foglalt feliratot radiális állású háromszögmotívumok veszik körbe. A tálak minden bizonnyal császári ajándékként kerülhettek tulajdonosához. Elrejtésüket kiválthatta az I. (Nagy) Constantinus és Licinius császárok között i. sz. 324-ben kitört polgárháború, de más háborús vagy egyéb konfliktushelyzet is.

Tányér Nagyberki-Szalacskáról

Az egyszerű, öntéssel és fémnyomással készült ezüsttányér (**1H ábra**) állítólag a Nagyberki mellett fekvő Szalacska szőlőhegyén találták, majd vásárlás útján került a Magyar Nemzeti Múzeum Római Gyűjteményébe. Hasonló tányérok főleg a

3. századra és a 4. század elejére keltezhető sír- és kincsletekből ismerünk. Általában egy ezüst csészével és egy ezüstkanállal alkotnak egyszemélyes étkezészetet (Niemeyer 2018).

Módszertan

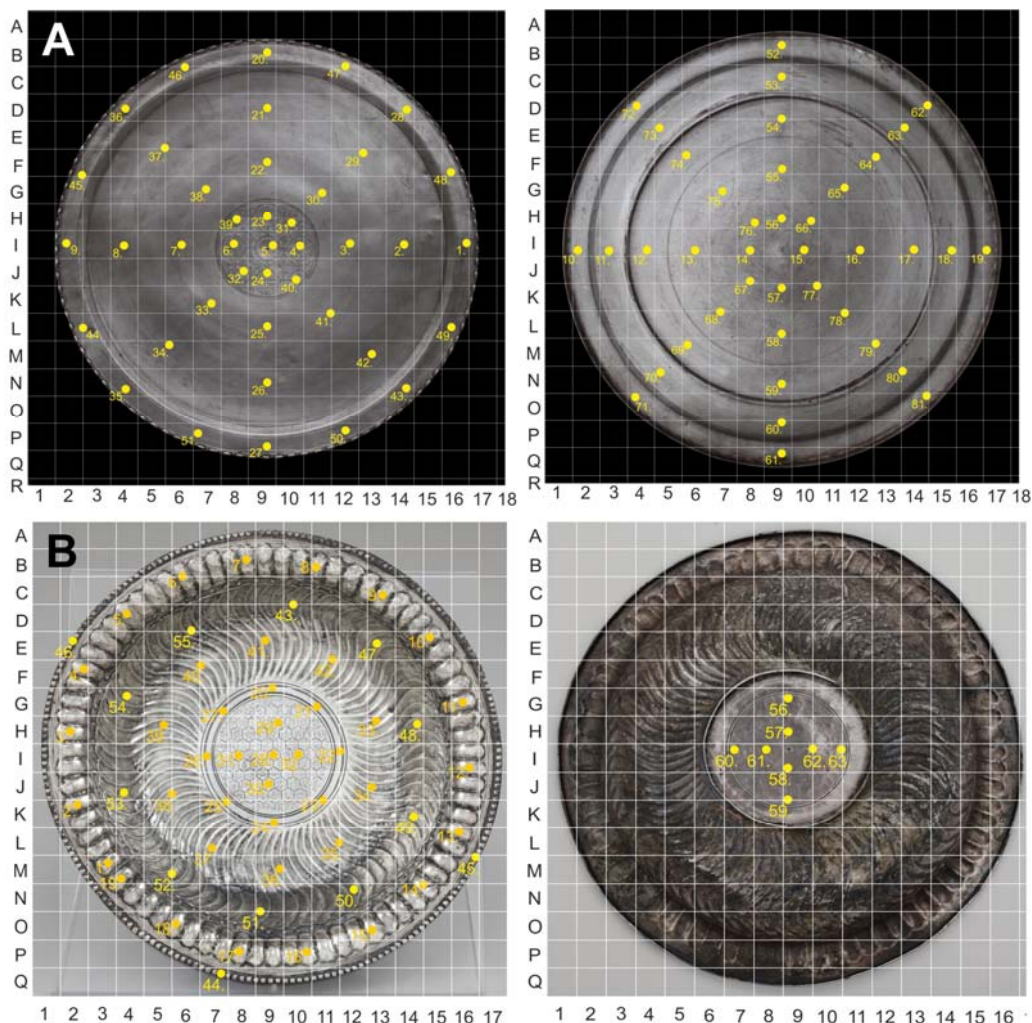
A tálakat szisztematikusan, előre megtervezett hálózat mentén, több pontban (a tál méretétől függően 44–145 mérési pont) elemeztük az esetleges kémiai inhomogenitások kimutatása céljából (**3. ábra**). Ez a megközelítés eltér a más késő római ezüsttárgyakon végzett archeometriai vizsgálatok módszertanától, ahol a tárgyakat csupán néhány pontban elemezték (Lang et al. 1977; Hughes & Hall 1979; Lang et al. 1984; Berthoud et al. 1988; Feugère 1988; Hughes et al. 1989; Lang 2002; Cowell & Hook 2010; Hook & Callewaert 2013; Minnitt & Ponting 2013; Doračić et al. 2015; Lang & Hughes 2016; Greiff 2017; Vulić et al. 2017; Angelini et al. 2019; Arias et al. 2019).

Méréseinkhez Thermo Scientific Niton Xl3t GOLDD+ típusú hordozható (kézi) XRF készüléket alkalmaztunk. Mérési körülmények: energiadiszperzív LDD detektor, 50 kV Ag anód, választhatóan 3 mm és 8 mm átmérőjű mérési terület, 40–50 másodperc mérési idő. Az elemzések során az alábbi fő-, mellék- és nyomelemek mennyiségét határoztuk meg: Ag, Cu, Au, Pb, Bi, Sb, Sn, Zn és Fe (kimutatási határok: ld. **2. táblázat**).

2. táblázat: A vizsgált ezüstitálak elő- és hátlapjának kémiai összetétele, valamint az egyes elemek kimutatási határa. Ag, Cu, Au, Pb elemeket tömeg%-ban, Bi elemet ppm-ben adtuk meg.

Table 2.: Elemental composition of the front and back sides of the analysed silver vessels and the detection limit of each element. Ag, Cu, Au, Pb are given in wt%, Bi is given in ppm. (English version of the table is [here](http://www.ace.hu/am/2020_3/AM-2020-3-MV-Tables.pdf) (http://www.ace.hu/am/2020_3/AM-2020-3-MV-Tables.pdf))

Ezüstitárgyak	Mérési pontok száma	Ag	Cu	Au	Pb	Bi
<i>Kimutatási határok</i>		~400 ppm	~150 ppm	~50 ppm	~150 ppm	~100 ppm
Seuso-tál						
előlap	57	95,6–97,6	1,1–2,9	0,6–0,9	0,2–0,5	790–2470
hátlap	48	95,6–98,2	0,4–3,0	0,6–1,0	0,1–0,6	970–1940
Meleagrosz-tál						
előlap	112	95,5–97,2	1,5–3,4	0,7–0,9	0,3–0,6	650–1190
hátlap	33	96,2–96,8	2,0–2,3	0,7–0,8	0,3–0,5	590–950
Akhilleusz-tál						
előlap	88	94,9–96,2	2,6–3,8	0,6–0,9	0,3–0,4	620–920
hátlap	33	94,7–96,0	2,8–3,7	0,7–0,8	0,2–0,4	400–900
Geometrikus tál						
előlap	67	95,8–96,3	2,4–2,8	0,5–0,6	0,4–0,5	0–180
hátlap	42	96,1–97,3	1,8–2,7	0,5–0,6	0,2–0,4	0–140
mosdótál						
előlap	55	94,9–95,9	2,6–3,5	0,8–1,1	0,3–0,4	430–640
hátlap	8	97,1–97,8	1,0–1,7	0,9	0,2–0,3	320–430
szalagdíszes tál						
előlap	51	97,8–98,8	0,3–0,9	0,6–0,7	0,1–0,3	0–120
hátlap	30	98,2–98,9	0,3–0,9	0,6–0,7	0–0,2	0–140
rozettás tál						
előlap	43	96,0–96,5	2,4–2,7	0,6	0,3–0,4	0–190
hátlap	40	96,5–97,9	1,2–2,5	0,6–0,8	0,1–0,3	0–200
cikkelyes tál						
előlap	46	95,2–96,6	2,4–3,1	0,6	0,3–0,4	0–330
hátlap	5	95,9–96,4	2,5–2,9	0,6–0,7	0,3	170–280
esztergomi tál (díszítetlen)						
előlap	12	96,1–98,0	1,2–3,0	0,6	0,1–0,2	350–600
hátlap	34	95,6–97,9	1,3–3,4	0,6	0,2–0,3	390–710
esztergomi tál (díszített)						
előlap	12	95,9–97,7	1,3–2,8	0,4	0,2–0,3	1200–2100
hátlap	32	96,4–97,5	1,8–2,8	0,4	0,2–0,3	1300–1900
szalacscai tál						
előlap	24	94,3–95,2	3,2–4,0	0,6–0,7	0,4	300–900
hátlap	25	94,6–96,4	2,4–3,8	0,7–1,0	0,2–0,4	500–900



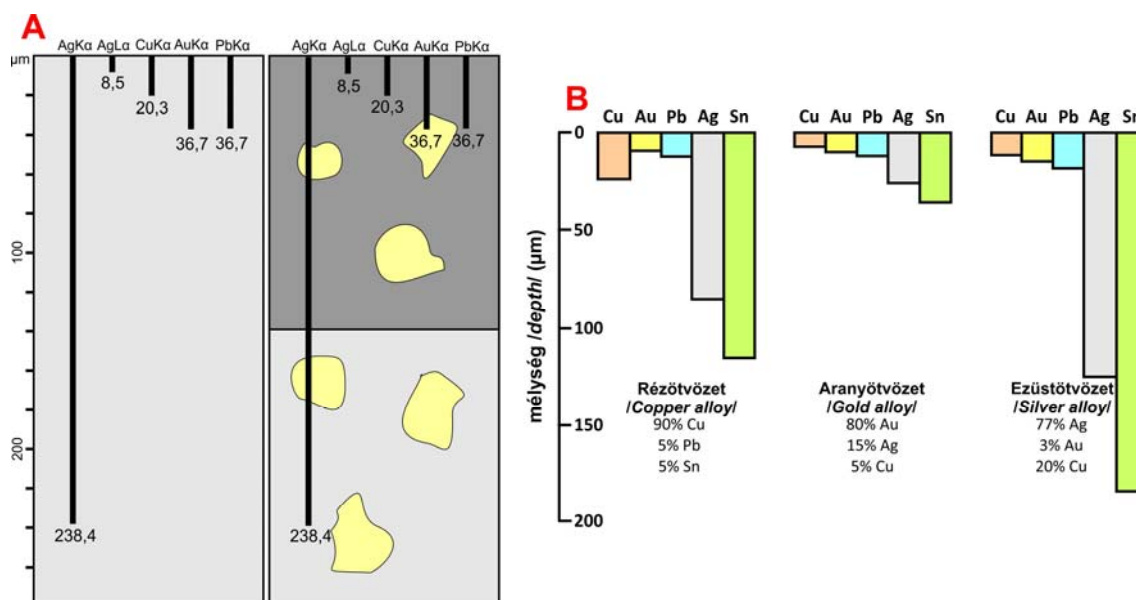
3. ábra: A tárgyakat előre megtervezett hálózat mentén, több pontban elemeztük. A szalagdíszes tál (A) és a mosdótál (B) példáján. A mosdótál hátlapjának erősen korrodált és karbonátos kiválásokkal borított részeit nem elemeztük (képek: Dabasi A. & Kardos J. (MNM)).

Fig. 3.: The objects were analysed along a pre-designed grid at numerous points. Example of the Ribbon Platter (A) and the Basin from the Seuso Treasure (B). The heavily corroded and carbonate-encrusted surfaces of the back of the Basin were not analysed (photo: A. Dabasi & J. Kardos (HNM)).

Mivel az Sb, Sn és Zn kimutatási határ (Sb: ~500 ppm; Sn: ~1500 ppm; Zn: ~150 ppm) alatti mennyiségben van jelen a vizsgált tárgyakban, a Fe pedig talajból származó felületi szennyezésnek tekinthető, ezért ezeket az elemeket a továbbiakban nem tárgyaljuk. Az elemzések során gyárilag beépített kalibrációkat alkalmaztunk. „*Precious Metals*” („*nemesfémek*”) kalibrációt használtunk az ezüstben található főbb elemek (Ag, Cu, Au, Pb, stb.) mennyiségi meghatározásához. Mivel ezzel a kalibrációval nem határozható meg az antimon és bizmut mennyisége, ezért ezen elemek kimutatásához az ún. „*General Metals*” („*általános fémek*”) kalibrációt alkalmaztuk. A mennyiségi kiértékeléshez beépített, Compton normalizálást alkalmazó alapvető paraméterek (*fundamental*

parameters=FP) módszert használtunk. Az eredmények 100%-ra normáltak.

A hordozható XRF módszernek számos korlátja ismert, amiket fontos figyelembe venni az adatok feldolgozása, kiértékelése során. Felületi módszer, így a mért koncentrációk az elemzett tárgy csupán felső, néhány tíz–száz mikrométeres részét reprezentálják. A detektált jel elemtől és mátrixtól (anyagtypustól) függően eltérő mélységből jöhet (**4. ábra**) (Tate 1986; Mass & Matsen 2013). A fém tárgyak nagyon heterogén összetételűek lehetnek, aminek számos oka lehet: készítés során fellépő fázisszegregáció, korróziós folyamatok hatása, készítés után a tárgy felületét ért kezelések (pl. savazás, polírozás, aranyozás), stb. (Mass & Matsen 2013).



4. ábra: A. Számított hXRF emissziós mélység ezüst, réz, arany és ólom elemekre tiszta ezüstmátrixból (Mass & Matsen 2013 alapján). A jobb oldali ábra jelképezi, hogy a fém tárgyak kémiai összetétele a valóságban közel sem homogén a korróziós folyamatok, készítés során fellépő fázisszegregáció, stb. miatt. B. A hXRF elemzések mélységének elem- és mátrixfüggése (mélységek a réz, ezüst és ón K vonalai, valamint az ezüst és ólom L vonalai alapján) (Tate 1986 alapján).

Fig. 4.: Calculated hXRF emission depths for silver, copper, gold and lead from a pure silver matrix (after Mass & Matsen 2013). The figure on the right side represents that metal objects are rarely homogeneous due to corrosion effects, phase segregation during manufacture, etc. B. The element and matrix dependence of the hXRF analysis depth (depths are for the K lines of copper, silver and tin and the L lines of gold and lead) (after Tate 1986).

Nemesfém tárgyak korróziója során nem képződik vastag patina, szemben a rézötvözetekkel. A legtöbb esetben a korrodált réteg jóval vékonyabb, azonban ez is jelentős összetételbeli különbségeket eredményezhet. A korróziós folyamatok során a kevésbé „nemes” fémek (pl. réz, ólom) kioldódnak a felületről, ezáltal az ezüst és az arany a felületen dúsulni fognak (Hall 1961; Lejček et al. 2010). A sík tárgyak alsó részét ritkán polírozzák, ami akár 0,5–5 % különbséget is okozhat az előlap és a hátlap összetétele közt (Mass & Matsen 2013). A tálak viszonylag jó állapotban voltak, így a mérések előtt nem alkalmaztunk felületi tisztítást, azonban pl. a mosdótál hátoldalán azon pontokat, ahol vastag korróziós réteg és karbonátos kiválás volt, nem elemeztük (**3. ábra**).

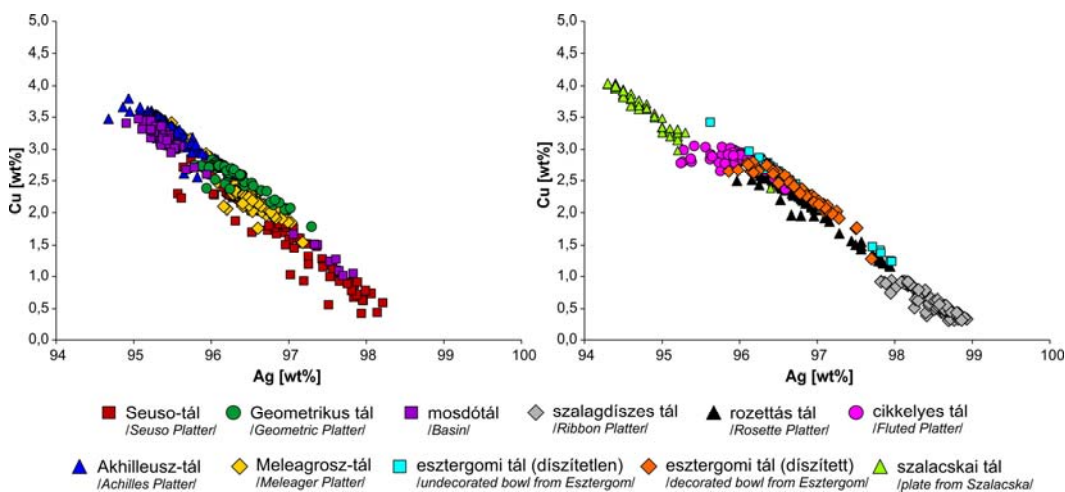
A hordozható XRF ideális és reprodukálható geometriát igényel a mérések során, azaz az elemzéshez a mérőfejjel párhuzamos, sík felület szükséges (adott analitikai távolság, adott szög miatt). A megfelelő és reprodukálható geometria hiánya akár 0,5% hibát is okozhat, ha a felület nem elég sík (Mass & Matsen 2013). A tálak viszonylag sík felülete ideális mérési körülményeket teremtett, ennek ellenére igyekeztünk minél síkabb felületeken elvégezni az elemzéseket, figyelembe véve a domborított díszítések geometriáját is.

A hordozható XRF nem ideális a niellőberakások elemzésére, mivel a könnyűelemek (niellő esetén a kén) mennyiségi elemzése problémás, továbbá a berakások kis mérete miatt (kisebb, mint 3 mm) önállóan nem elemezhetők, ezért a továbbiakban a fém-ezüst összetétele mellett a díszítések közül csak az aranyozás eredményeit tárgyaljuk.

Eredmények

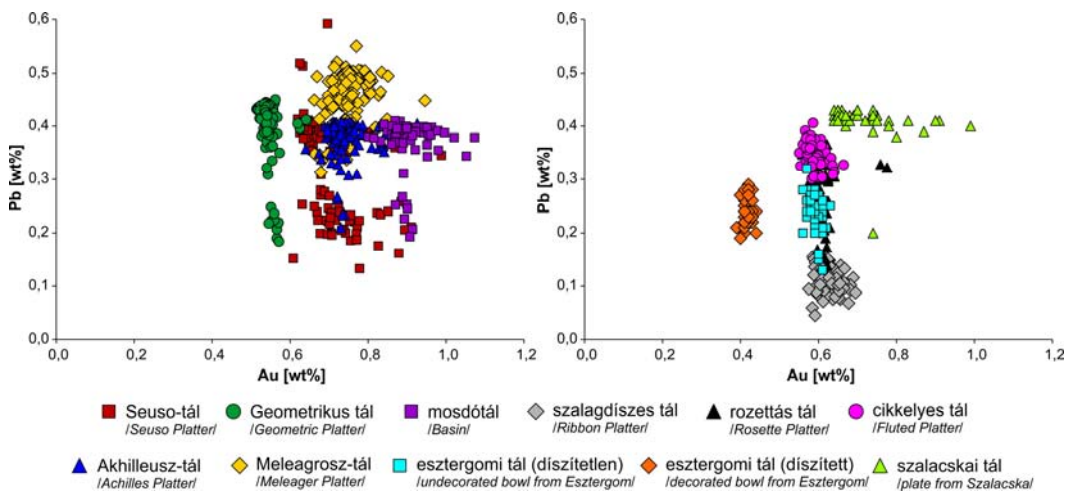
Ezüst és réz

A vizsgált tálak nagy tisztaságú ezüsből készültek (94,3–98,9 tömeg%), amit rézzel ötvöztek (0,3–4,0 tömeg%) (**5. ábra**, **2. táblázat**). A Seuso-kincs táljai közül a Seuso-tál készült a legtisztább ezüsből (95,6–98,2 tömeg%), ezt követi a Geometrikus és a Meleagrosz-tál, amelyeknek hasonló az ezüsttartalma (95,5–97,3 tömeg%). A leggyengébb minőségű ezüsből a hasonló összetételű mosdótál és Akhilleusz-tál készült (94,7–97,8 tömeg%). A három, Száva folyó medrében talált tál ezüsttartalma teljesen eltér egymástól, a legjobb minőségű ezüsből a szalagdíszes (97,8–98,9 tömeg%), míg a leggyengébb minőségű ezüsből a cikkelyes tál készült (95,2–96,6 tömeg%). A Száva folyóból származó tálakkal ellentétben a két esztergomi tál ezüsttartalma megegyezik (95,6–98,0 tömeg%).



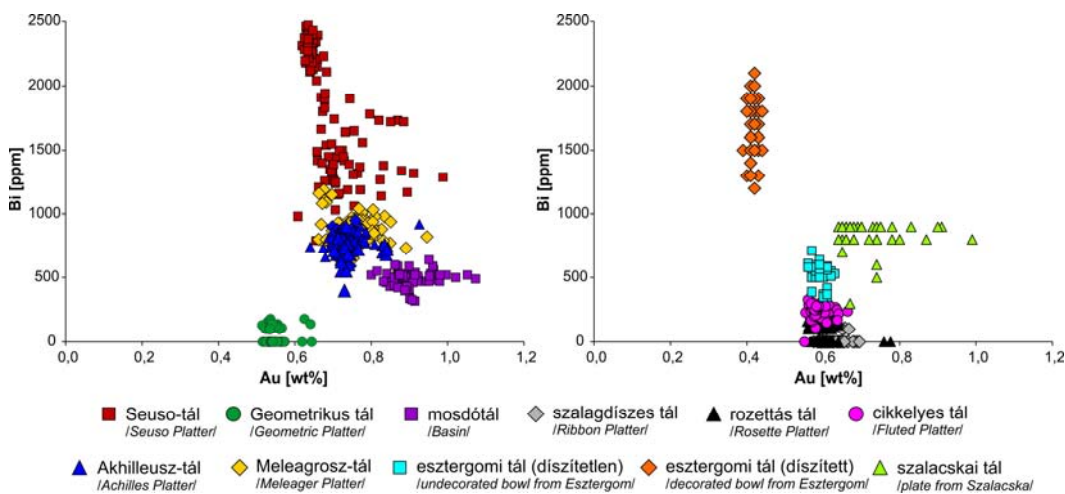
5. ábra: A vizsgált ezüsttálak ezüst- és réztartalma a hordozható XRF elemzések alapján

Fig. 5.: Silver and copper content of the analysed silver platters based on the hXRF measurements



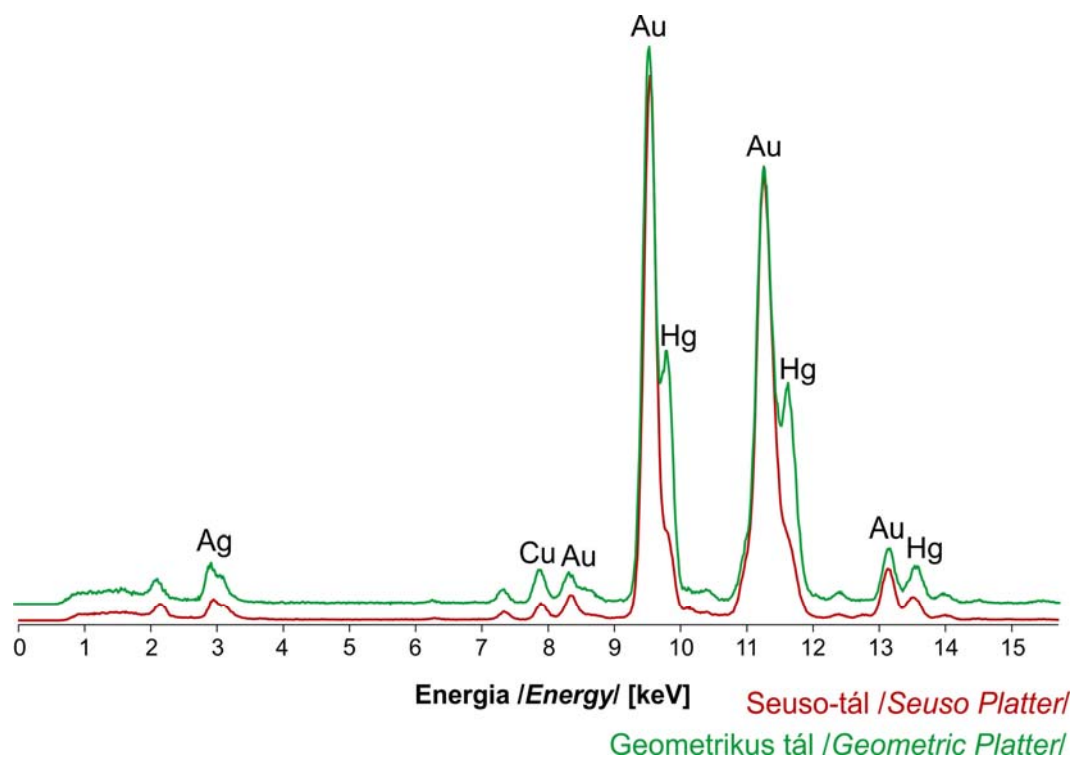
6. ábra: A vizsgált ezüsttálak arany- és ólomtartalma a hordozható XRF elemzések alapján

Fig. 6.: Gold and lead content of the analysed silver platters based on the hXRF measurements



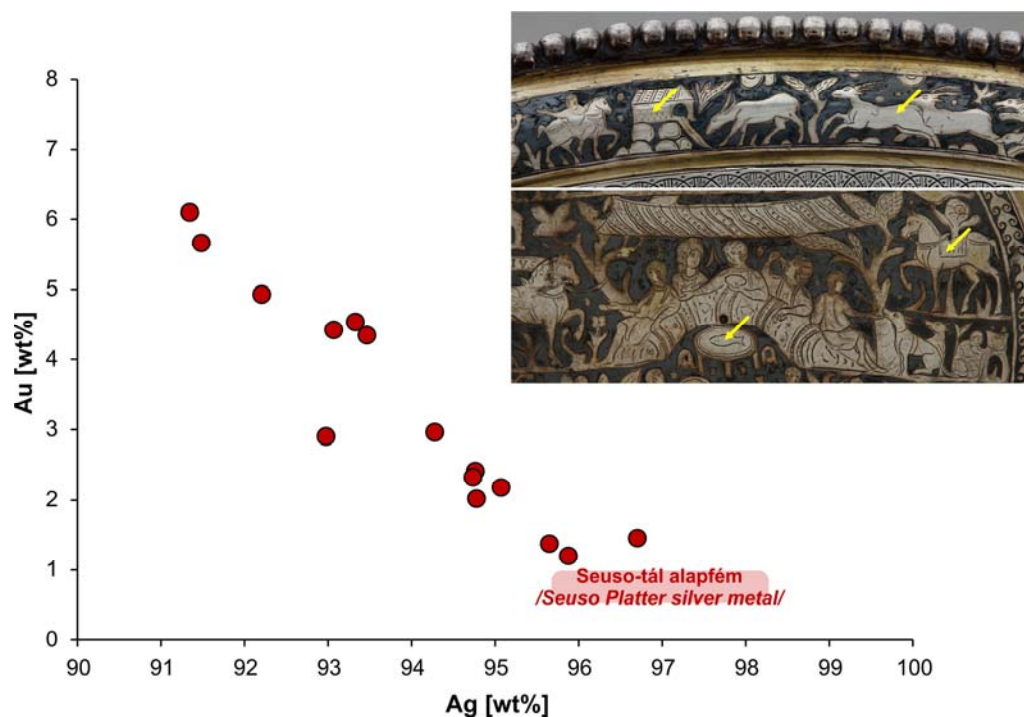
7. ábra: A vizsgált ezüsttálak arany- és bizmuttartalma a hordozható XRF elemzések alapján

Fig. 7.: Gold and bismuth content of the analysed silver platters based on the hXRF measurements



8. ábra: A Seuso- és Geometrikus tálak aranyozásának hXRF spektrumai.

Fig. 8.: hXRF spectra of the gilded areas of the Seuso and Geometric Platters.



9. ábra: A Seuso-tál központi medallionján és peremi díszítésein mért kiugró aranytartalmak az alapfém kémiai összetételével összehasonlítva. Sárga nyilak: egykor aranyozott felületek, ahol ma már szabad szemmel nem látható az aranyozás (képek: Dabasi A. & Kardos J. (MNM)).

Fig. 9.: Elevated gold content measured at the central and outer decoration of the Seuso Platter compared to the composition of the silver metal. Yellow arrows: former gilded areas, where nowadays no gilding is observed by naked eyes (photos: A. Dabasi & J. Kardos (HNM)).

Ez nem meglepő, mert ez utóbbiak azonos méretűk, tömegük és készítéstechnikájuk alapján nyilvánvalóan egy műhelyben és azonos időben készültek. Az összes vizsgált tál közül a szalacscai tányér ezüsttartalma a legkisebb (94,3–96,4 tömeg%).

A mosdótál előlapján és hátlapján mért pontokban az ezüsttartalom jelentős mértékben eltér. A hátlap ezüsttartalma nagyobb (97,1–97,8 tömeg%), mint az előlapé (94,9–95,9 tömeg%). Ez a jelenség a Geometrikus, Seuso- és rozettás tálaknál, valamint a szalacscai tányérnál is megfigyelhető, bár kisebb mértékben (**2. táblázat**).

Arany

A tálak aranytartalma 1 tömeg% alatti (**6–7. ábrák, 2. táblázat**). A Seuso-kincs táljainak aranytartalma viszonylag homogén. A Geometrikus tál aranytartalma a legkisebb (0,5–0,6 tömeg%), míg a mosdótálé a legnagyobb (0,8–1,1 tömeg%). A Seuso-, Meleagrosz- és Akhilleusz-tál aranytartalma megegyezik (0,6–1,0 tömeg%). A többi tál közül a szalacscai tál aranytartalma a legnagyobb (0,6–1,0 tömeg%), míg a díszített esztergomi tálé a legkisebb (0,4 tömeg%). A Száva folyó medréből előkerült három tál és a díszítetlen esztergomi tál aranytartalma azonos (0,6–0,8 tömeg%).

Ólom

A tálak ólomtartalma – az aranytartalomhoz hasonlóan – 1 tömeg% alatti (**6. ábra, 2. táblázat**). A Seuso-kincs táljainak ólomtartalma viszonylag homogén (0,1–0,6 tömeg%), közülük a Meleagrosz-tál mutat kissé nagyobb ólomtartalmat (0,3–0,6 tömeg%). A Száva medréből előkerült három tál ólomtartalma eltér egymástól: a szalagdiszes tál ólomtartalma a legkisebb (0–0,3 tömeg%), míg a cikkelyes tálé a legnagyobb (0,3–0,4 tömeg%). A rozettás tál és az esztergomi tálak ólomtartalma megegyezik (0,1–0,4 tömeg%). A szalacscai tányér ólomtartalma a cikkelyes tállal mutat hasonlóságot (0,2–0,4 tömeg%).

Bizmut

A tálak bizmuttartalma nagyon változatos (**7. ábra, 2. táblázat**). A Seuso-kincs táljai közül a Seuso-tál bizmuttartalma a legnagyobb (790–2470 ppm), míg a Geometrikus tálé a legkisebb (0–180 ppm). A Meleagrosz- és Akhilleusz-tál bizmuttartalma megegyezik (400–1190 ppm), míg a mosdótálé eltér a többi tálétól (320–640 ppm). A Száva folyó medréből előkerült tálak bizmuttartalma közel azonos (0–200 ppm), csupán a cikkelyes tálnál mértünk nagyobb értékeket (0–330 ppm). A díszítetlen esztergomi tál bizmuttartalma a mosdótáléhoz hasonlít (350–710 ppm), míg a díszített esztergomi tál bizmuttartalma a Seuso-táléhoz hasonlóan nagy (1200–2100 ppm). A

szalacscai tál bizmuttartalma a Meleagrosz- és az Akhilleusz-tálakéhoz hasonlít (300–900 ppm).

Aranyozás

Az elemzett tálak közül a Seuso- és Geometrikus tálakat díszíti aranyozás, amelyeknél a mérések során higany jelenlétét mutattuk ki (**8. ábra**). A Seuso-tál egyes mérési pontjaiban (központi medallion és peremi sáv jelenetei), ahol szabad szemmel nem láthatók aranyozás nyomai, szintén kiugró aranytartalmakat mértünk (1,1–6,1 tömeg%, **9. ábra**).

Értelmezés

Főelemek (ötvözők)

A tálak nagy tisztaságú *ezüstből* készültek, ami beleillik abba az ismert képbe, hogy a késő római korban nagy tisztaságú (89–99 tömeg%) ezüstből készítettek tárgyakat, köztük edényeket, tálakat is (**3. táblázat**) (Hughes & Hall 1979; Lang et al. 1984; Lang 2002; Cowell & Hook 2010; Hook & Callewaert 2013; Doračić et al. 2015; Lang & Hughes 2016; Vulić et al. 2017). A tiszta ezüst túl puha használati tárgyak készítéséhez, mert hajlamos arra, hogy könnyen deformálódjon. A késő római korban a leggyakoribb ötvözőelem a réz volt, amit az ezüsthöz tudatosan adagoltak, hogy növeljék a mechanikai behatásokkal szembeni ellenállóképességét (pl. keménység és szilárdság növelése). Az ötvözet keménysége nemcsak a kémiai összetételtől, hanem a megmunkálás és hőkezelés mértékétől is függ. Az ezüstötvözet keménysége gyorsan nő 15% réztartalomig, majd 30 és 80% réztartalom között konstans értéket ér el (Hughes & Hall 1979). Minél több rézet adunk az olvadt ezüsthöz, annál sárgásabb színű lesz az ötvözet. Az ezüst kinyerése során a réztartalmat 0,2–1%-ra is le tudták csökkenteni, ezért az ennél nagyobb réztartalmak szándékos ötvözés eredményei (Hughes & Hall 1979). A késő római ezüsttálak réztartalma 0,3 és 7,7% között változik (**3. táblázat**) (Hughes & Hall 1979; Lang et al. 1984; Lang 2002; Cowell & Hook 2010; Hook & Callewaert 2013; Doračić et al. 2015; Lang & Hughes 2016; Vulić et al. 2017). Az elemzett tálak összetétele (0,3–4%) beleesik ebbe a koncentrációtartományba, és rézzel való tudatos ötvözés eredménye.

Az elő- és hátlap közti összetételbeli különbségek a felület megtisztításából adódnak, azaz a tálak díszített előlapját az eddigi restaurálások során jobban megtisztították a korróziós termékektől. Ezzel szemben a hátlap kevésbé tisztított, gyakran megfigyelhető vékony korróziós réteg, ami megmagyarázhatja a hátlapon mért nagyobb ezüsttartalmat.

3. táblázat: Korabeli ezüstkincsleletek táljainak kémiai összetétele. Az eredményeket tömeg%-ban tüntettük fel.¹Hughes & Hall 1979; Lang et al. 1977; Lang & Hughes 2016; ²Cowell & Hook 2010; ³Lang et al. 1984; ⁴Doračić et al. 2015; Vulić et al. 2017; ⁵Hughes & Hall 1979; ⁶Hook & Callewaert 2013; ⁷Lang 2002; ⁸Hughes & Hall 1979; ⁹Mozgai et al. 2017; jelen tanulmány.

Table 3.: Elemental composition of the contemporaneous silver platters and bowls. The results are given in wt%.¹Hughes & Hall 1979; Lang et al. 1977; Lang & Hughes 2016; ²Cowell & Hook 2010; ³Lang et al. 1984; ⁴Doračić et al. 2015; Vulić et al. 2017; ⁵Hughes & Hall 1979; ⁶Hook & Callewaert 2013; ⁷Lang 2002; ⁸Hughes & Hall 1979; ⁹Mozgai et al. 2017; present study. (English version of the table is [here](#).)

Kincslelet	Módszer	Mért tárgyak száma	Mérési pontok száma	Ag	Cu	Au	Pb	Bi
Mildenhall ¹	XRF	12	83	94,3–97,6	0,3–3,7	0,4–2,5	0,2–1,2	-
Hoxne ²	XRF	5	9	95,0–98,0	0,7–3,2	0,2–0,6	0,7–1,5	0–0,1
Kaiseraugst ³	XRF	3	9	96,4–98,6	1,0–2,1	0,3–0,9	0,1–0,8	-
Vinkovci ⁴	PIXE	22	23	89,1–97,8	1,2–7,7	0,7–2,3	0,3–1,6	0–0,3
Esquiline ⁵	XRF	6	8	94,7–96,5	2,1–3,7	0,6–1,0	0,6–0,8	-
Coleraine ⁶	XRF	13	13	93,8–97,5	1,2–4,6	0,4–1,3	0,3–1,0	-
Carthage ⁷	XRF	7	21	94,3–97,7	1,9–4,5	0,4–0,8	0,2–0,7	-
Water Newton ⁸	XRF	4	4	94,0–95,7	3,3–4,6	0,7–0,8	0,2–0,7	-
Seuso ⁹	XRF	5	543	94,7–98,2	0,4–3,8	0,5–1,1	0,1–0,6	0–0,25
Száva medre ⁹	XRF	3	215	95,2–98,9	0,3–3,1	0,6–0,8	0–0,4	0–0,03
Esztergom ⁹	XRF	2	90	95,6–98,0	1,2–3,4	0,4–0,6	0,1–0,3	0,04–0,21
Szalacska ⁹	XRF	1	49	94,3–96,4	2,4–4,0	0,6–1,0	0,2–0,4	0,03–0,09

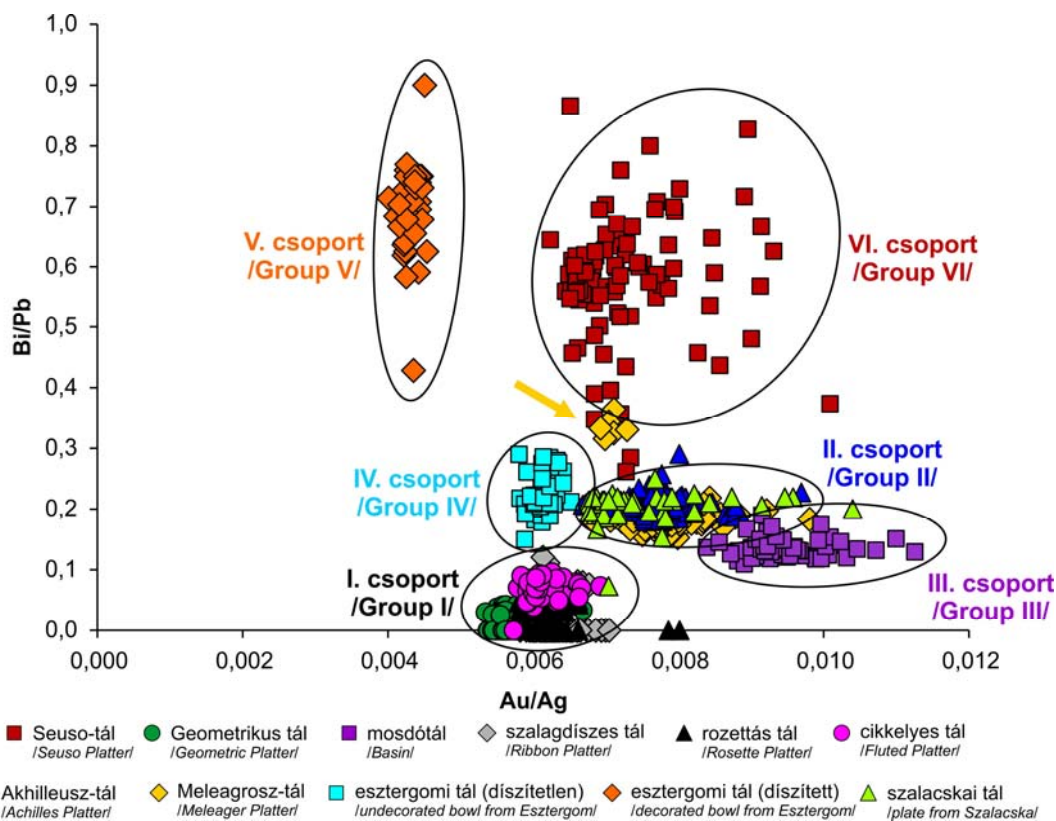
Nem tapasztaltunk eltérést a tálak fő tömegének, talpgyűrűjének és gyöngyös peremeinek kémiai összetétele közt. Geometriai korlátok miatt azonban nem volt lehetőségünk elemezni a talpgyűrűk illeszkedési helyét forrasztás nyomait kutatva, így ezzel a módszerrel nem zárható ki, hogy bár egyazon összetételű ezüsből, de külön készült a tálak talpa. A gyöngyös peremeket geometriai korlátok miatt (erősen görbült felület) szintén korlátozott mértékben tudtuk elemezni. A mért pontok kémiai összetétele megegyezik a tálak összetételével, így feltehetőleg egyazon ezüst-öntvényből készültek. Korábbi röntgenradiográfias vizsgálatok igazolták, hogy a Seuso-kincs táljainak talpgyűrűje és gyöngyös pereme nem külön készült, hanem a tálak szerves része (Mango & Bennett 1994). A szalacska és a Száva folyó medréből előkerült tálaknál további vizsgálatok szükségesek, hogy igazoljuk a talpgyűrűk és gyöngyös peremek készitési módját.

Korábban kimutattuk azt a jelenséget, hogy a Seuso- és Geometrikus tálnál, valamint a rozettás és cikkelyes tálnál az ezüsttartalom a tálak belsejéből a peremek felé sugárirányban csökken, míg a réztartalom növekszik (Mozgai et al. 2017). Ezt a jelenséget a többi vizsgált tálnál nem tapasztaltuk.

Mellék- és nyomelemek (szennyezők)

Az ezüstön és rézen kívül mért elemek (Au, Pb, Bi) természetesen előforduló vagy nem szándékosan hozzáadott szennyező elemek, amik az ezüstérből vagy az ötvözés során hozzáadott rézből származhatnak (Hughes & Hall 1979). Mennyiségük nem haladja meg az 1 %-ot elemenként.

A római időkben az ezüst legfőbb forrásai az ezüsttartalmú ólomérc (galenit – PbS, anglesit – PbSO₄, cerusszit – PbCO₃) voltak (Tylecote 1962; Forbes 1971). Az ércfeldolgozási eljárás során az ezüstércet pörkölték, megolvasztották, majd kupellálták. A kupellálással az ezüstöt nagyon hatékonyan meg tudták tisztítani a különböző szennyező elemektől (főleg az arzéntől, antimontól, óntól, vastól és cinktől, kevésbé hatékonyan a réztől, aranytól és bizmuttól). Az *illóelemek* (antimon, arzén, higany, ón és cink) a kupellálás során eltávoznak az ezüsből (Pernicka 2014; L'Héritier et al. 2015), azonban viszonylag nagy mennyiségben lehetnek jelen a természetesen (akár több %) (Pernicka 2014). Az illóelemek hiánya (kimutatási határ alatti mennyisége) a tálakban arra utal, hogy készítésükhöz kupellált ezüstöt használtak.



10. ábra: A vizsgált ezüsttálak Au/Ag és Bi/Pb arányai a hXRF mérések alapján. Sárga nyíl: a Meleagrosz-tál eltérő összetételű pontjai, amelyek plusz ezüstrátétekre utalnak.

Fig. 10.: Au/Ag and Bi/Pb ratios of the analysed silver platters based on the hXRF measurements. Yellow arrow: analysed points of the Meleager Platter with different chemical composition indicating the use of additional silver pieces during manufacture.

A rómaiak a különböző ércfinyeresi eljárások során nagy tisztaságú ezüstöt tudtak gyártani, amelynek az *ólomtartalma* 0,5–1 %-ra tudták lecsökkenteni (Hughes & Hall 1979). Ha a fém ezüst ezüsttartalmú ólomércekből származik, ólomtartalma 0,001 és 3 % között változhat (Moorey 1985). Az elemzett tálak ólomtartalma ebbe a tartományba esik (0,1–0,6 %). A tálak eltérő ólomtartalmának oka, hogy a kupellálás több lépcsőben történhetett vagy eltérő forrásból származó ércet használhattak fel az ezüst előállításához. A viszonylag kicsi ólomtartalom arra utal, hogy az ércfeldolgozás során nem adtak többlet ólmot az ezüstérchez, így a tálakon folyamatban levő ólomizotópos vizsgálatok ígéretesek lehetnek a felhasznált ezüstérc származásának meghatározására.

A *bizmut* jó geokémiai indikátorelem a tárgyak anyagát képező ezüst származási helyének meghatározására, mivel mennyisége nem változik jelentős mértékben a kupellálás során (Pernicka & Bachman 1983; Pernicka 2014; L'Héritier et al. 2015). Az ún. „száraz érc” (argentit/akantit–Ag₂S, klórgirit – AgCl, pirargirit – Ag₃SbS₃, proustit – Ag₃AsS₃) vagy a természetesen

bizmuttartalma 0,05 % alatti (Craddock 1995), míg az ezüsttartalmú galenit 0,1–1% bizmutot is tartalmazhat (Gale & Stos-Gale 1981). A kísérletek alapján a bizmut csak a kupellálás legutolsó fázisában oxidálódik, ezért az ezüsttárgyak bizmuttartalma összefügg a kupellálás mértékével. A kupellált ezüst végső Bi/Pb aránya az ezüsttartalmú ólomércek kezdeti bizmuttartalmától függ (L'Héritier et al. 2015), így az ezüsttárgyak eltérő Bi/Pb aránya eltérő ezüstöntecsek (ingotok) felhasználására utal.

Az *arany* korlátlanul oldódik az ezüstben. Az ércfeldolgozási folyamatok során az ezüst aranytartalma nem változik meg jelentős mértékben (L'Héritier et al. 2015), így az Au/Ag arány sem változik meg a kupellálás során (Pernicka 2014). Az ezüsttartalmú galenit aranytartalma 0,01 és 1 % között, míg a cerusszit és anglesit aranytartalma 0,1 és 0,5 % között változik (Karydas et al. 2004). A késő római ezüsttálak aranytartalma 0,2 és 2,5 % közötti (**3. táblázat**) (Hughes & Hall 1979; Lang et al. 1984; Lang 2002; Cowell & Hook 2010; Hook & Callewaert 2013; Doračić et al. 2015; Lang & Hughes 2016; Vulić et al. 2017). A nagyobb

aranytartalmaknak számos oka lehet: egykori aranyozás nyomai, aranyozott hulladékezüst újrafelhasználása vagy ezüsttartalmú aranyérmék felhasználása. A mért tálak aranytartalma beleesik ebbe a tartományba (kivéve néhány pontot a Seusotálon, ahol kiugró aranytartalmakat mértünk, ld. később). Az aranytartalomban levő eltérések eltérő ezüstöntecsek (ingotok) felhasználására utalnak.

A tálak Au/Ag és Bi/Pb arányuk alapján hat csoportba sorolhatók (10. ábra). A Geometrikus tál és a Száva folyó medréből előkerült tálak (1. csoport) 0–0,1 körüli Bi/Pb aránnyal jellemezhető és Au/Ag arányuk is hasonló. A szalacskaikányér, valamint a Meleagrosz- és az Akhilleusz-tálak (2. csoport) Bi/Pb és Au/Ag aránya is nagyobb. Az esztergomi tálak és a Seusotál, valamint a mosdótál mind-mind önálló csoportot alkotnak eltérő Bi/Pb és/vagy Au/Ag arányuk alapján (3–6. csoport) (10. ábra). A különböző csoportok eltérő ezüstöntecsek (ingotok) felhasználását jelzik. A Meleagrosz-tál néhány pontjának (medallion bizonyos részei, a peremet díszítő jeleneteket elválasztó maszkok) Bi/Pb aránya eltér a többiétől (10. ábra). Ezek feltehetőleg ezüstrátéteket jelentenek, amit a készítés során használtak, hogy még hangsúlyosabbá, kontrasztosabbá tegyenek egyes reliefeket. Korábbi, röntgenradiográfiás vizsgálatok már felvetették többlet ezüstanyag használatát (Mango & Bennett 1994), amit most kémiai összetételi vizsgálatokkal is igazoltunk.

Aranyozás

A hordozható XRF elemzések alapján a Seuso- és a Geometrikus tálat tűzi aranyozással díszítették, amire a higany jelenléte utal (8. ábra). A tűzi aranyozást feltehetőleg Kínában találták fel az i.e. 4. század során (Lechtman 1971; Lins & Oddy 1975; Oddy 1981; 1988; 1991; 1993; 2000). Az aranyat forró higanyban oldották fel, és az így képződött aranyamalgámot a letisztított fémfelületre dörgölték, ezután a tárgyat néhány percig 250–300 °C-on melegítették (a higany forráspontja (357 °C) alatt), amíg szürkéből aranszínűvé nem vált és egy erősen kötött, de porózus, matt aranyozott réteg nem képződött, amit végül políroztak. Ezt a módszert még ma is alkalmazzák Nepálban (Anheuser 1997; Oddy 2000). A római időkben, id. Plinius még ritka és költséges módszerként említi a tűzi aranyozást az i. sz. 1. században, de az i. sz. 3–4. századra már ez a módszer vált az általános aranyozási technikává, amit egészen a galvánaranyozás 19. század közepi feltalálásáig használtak. A korabeli tárgyakon végzett vizsgálatok is azt igazolják, hogy higany jelenléte gyakran kimutatható i. sz. 3. századi aranyozott római tárgyakon, míg a korábbi római tárgyak aranyozásában ritkán vagy egyáltalán nem (Lechtman 1971; Lins & Oddy 1975; Oddy 1981; 1988; 1991; 1993; 2000; Anheuser 1997). Ennek az

is lehet az oka, hogy a higany sokkal szélesebb körökben vált elérhetővé a 3. század során. A tűzi aranyozás egy másik alkalmazási módja, amikor egy réteg higanyt/higanyvegyületet viszünk fel az aranyozni kívánt fémfelületre, majd egy vékony aranyfóliát teszünk rá. Az aranyfólia feloldódik a higanyban, *in situ* aranyamalgámot hozva létre, ezután a korábbi technikához hasonlóan ugyanúgy melegíteni és végül polírozni kell a tárgyat. Ezt a módszert még napjainkban is alkalmazzák Japánban (Anheuser 1997; Oddy 2000). A kísérletek azt mutatják, hogy tűzi aranyozás során a higany 8–25 %-a visszamarad a felületen, ami különböző analitikai módszerekkel kimutatható (Anheuser 1997). A párhuzamnak tekinthető késő római ezüsttálakon szintén tűzi aranyozás használatát mutatták ki (Lang et al. 1984; Hughes et al. 1989; Cowell & Hook 2010; Hook & Callewaert 2013; Doračić et al. 2015; Lang & Hughes 2016; Vulić et al. 2017).

Kiugró aranytartalmakat mértünk több pontban a Seuso-tál olyan részein, ahol szabad szemmel nem látható aranyozás jelenléte (9. ábra). Ezek egykori aranyozás nyomai lehetnek, ahol az arany bediffundált az ezüstbe, de az aranyozás már túl kopott ahhoz, hogy szabad szemmel is észlelhető legyen. Mindezek alapján megállapítható, hogy a Seuso-tál medalionjában elhelyezett és a peremén körbefutó jelenetek figurális ábrázolásai egykor aranyozottak lehettek.

Összegzés

A hordozható XRF jól használható módszer ezüsttárgyak kémiai összetételének roncsolásmentes meghatározásához, ha statisztikailag megfelelő számú ponton elemezzük a tárgyakat. Azonban fontos a korlátok ismerete és figyelembe vétele is. A vizsgált tálak hátlapja kevésbé letisztított, néhol vastag korróziós és karbonátos réteg borítja, amelyek jelentős mértékben befolyásolhatják az eredeti kémiai összetételt. Geometriai probléma miatt a talpgyűrűk illeszkedési helye és agyöngyös peremek korlátozott mértékben elemezhetőek.

A vizsgált késő római tálak mindegyike nagy tisztaságú ezüsből készült, amit tudatosan rézzel ötvöztek. Kémiai összetételük nagy hasonlóságot mutat más késő római ezüsttálakéhoz. Az 1 tömeg% alatti és egy tárgyon belül konstans aranytartalmak arra utalnak, hogy nem újraolvasztott aranyozott ezüsttárgyakat használtak a készítés során. A viszonylag konstans és kis ólomtartalmak arra utalnak, hogy a tálak kupellált ezüsből készültek. A tálak csoportosíthatók Bi/Pb és Au/Ag arányuk alapján. A különböző csoportok eltérő forrásból származó ezüstöntecsek (ingotok) felhasználásra utalnak. A Seuso- és Geometrikus tálat tűzi aranyozással is díszítették, és XRF módszerrel igazoltuk a Seuso-tál központi és

peremi jelenetein egykori, ma már nem látható aranyozás nyomát.

Köszönetnyilvánítás

A vizsgálatok a Seuso Kutatási Projekt keretében készültek. A szerzők köszönettel tartoznak Lencz Balázsnak, Szabadváry Tamásnak és Szabó Andrásnak (Magyar Nemzeti Múzeum) a mérésekben történő közreműködésükért.

Irodalomjegyzék

ANGELINI, I.; CANOVARO, C.; VENTURINO, M. & ARTIOLI, G. (2019): The silver treasure of Marengo: silver provenancing and insights into late antiquity Roman and Gallo-Roman hoards. *Archaeological and Anthropological Sciences* **11** 4959–4970.

ANHEUSER, K. (1997): The Practice and Characterization of Historic Fire Gilding Techniques. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)* **49** 58–62.

ARIAS, C.; PAGNOTTA, S.; CAMPANELLA, B.; POGGIALINI, F.; LEGNAIOLI, S.; PALLESCI, V. & MUROLO, C. (2019): The Mysteries of the Baratti Amphora. *Open Access Journal of Archaeology and Anthropology* **1/3** 1–4, OAJAA.MS.ID.000512

ASDERAKI-TZOUMERKIOTI, E. & KARYDAS, A. G. (2011): XRF analyses of four silver gilded Hellenistic epaulettes. In: TURBANTI-MEMMI, I. ed., *Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 569–574.

BERTHOUD, T.; HURTEL, L. P. & MENU, M. (1988): Études analytiques d'objets en argent romains: Bilan et perspectives (à propos du trésor Boscoreale). In: BARATTE, F. & DUVAL, N. eds., *Argenterie romaine et byzantine: actes de la table ronde, Paris 11-13 octobre 1983 Archéologie de l'antiquité tardive*. De Boccard, Paris, 35–50.

CESAREO, R.; RIDOLFI, S.; MARABELLI, M.; CASTELLANO, A.; BUCCOLIERI, G.; DONATIVI, M.; GIGANTE, G. E.; BRUNETTI, A. & ROSALES MEDINA, M. A. (2008): Portable systems for energy-dispersive X-ray fluorescence analysis of works of art. In: POTTS, P. J. & WEST, M. eds., *Portable X-ray fluorescence spectrometry: capabilities for in situ analysis*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 206–246.

COWELL, M. & HOOK, D. (2010): The analysis of the metal artefacts. In: JOHNS, C. ed., *The Hoxne Late Roman Silver Treasure: gold jewellery and silver plate*. British Museum Press, London, 175–183.

CRADDOCK, P. T. (1995): *Early Metal Mining and Production*, Edinburgh University Press, Edinburgh, 363 pp.

DÁGI, M. & MRÁV, ZS. (2019): *A Seuso-kincs – Pannonia fénye*. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 175 pp.

DORAČIĆ, D.; LANG, J. & FLETCHER, P. (2015): Late Roman silver hoard from Vinkovci, Croatia – a preliminary technological overview. *Historical Metallurgy* **49/2** 87–95.

FEUGÈRE, M. (1988): Le trésor d'argenterie gallo-romaine de Thil (Haute-Garonne) dit "Trésor de Caubiac". In: BARATTE, F. & DUVAL, N. eds., *Argenterie romaine et byzantine: actes de la table ronde, Paris 11-13 octobre 1983 Archéologie de l'antiquité tardive*. De Boccard, Paris, 63–80.

FORBES, R. J. (1971): *Studies in Ancient Technology. Volume VIII. – Metallurgy in Antiquity Part 1: Early metallurgy; the smith and his tools; gold, silver and lead, zinc and brass*, Brill Ltd., Leiden, 288 pp.

FRAHM, E. & DOONAN, R. C. P. (2013): The technological versus methodological revolution of portable XRF in archaeology. *Journal of Archaeological Science* **40** 1425–1434.

GALE, N. H. & STOS-GALE, Z. A. (1981): Ancient Egyptian Silver. *The Journal of Egyptian Archaeology* **67** 103–115.

GREIFF, S. (2017): Chemisch-analytische Untersuchungen der Trierer Silberkanne. In: KAUFMANN-HEINIMANN, A. & MARTIN, M. eds., *Die Apostelkanne und das Tafelsilber im Hortfund von 1628. Trierer Silberschätze des 5. Jahrhunderts*. Rheinisches Landesmuseum, Trier, 158–170.

HALL, E. T. (1961): Surface enrichment of buried metals. *Archaeometry* **4** 62–66.

HAMPEL, J. (1901): Az esztergomi ezüstcsészék. *Archeológiai Értesítő* **XXI** 323–327.

HOOK, D. & CALLEWAERT, M. (2013): Appendix 2: The scientific examination and analysis of some of the Roman silver artefacts from the Coleraine treasure. In: HUNTER, F. & PAINTER, K. eds., *Late Roman Silver: The Traprain Treasure in Context*. Society of Antiquaries of Scotland, Edinburgh, 184–187.

HORVÁTH, E., MOZGAI, V., BAJNÓCZI, B. (2019): Pure gold with poor workmanship – Some unusual pieces of polychrome metalwork from the 5th-century Carpathian Basin. *Archeometriai Műhely* **16/1** 43–56.

- HUGHES, M. J. & HALL, J. A. (1979): X-ray fluorescence analysis of Late Roman and Sassanian silver plate. *Journal of Archaeological Science* **6** 321–344.
- HUGHES, M.; LANG, J.; La NIECE, S. & ODDY, A. (1989): Technologie de l'argenterie romaine. In: BARATTE, F. & PAINTER, K. eds., *Tresors d'orfèvrerie gallo-romains*. Ministère de la Culture, de la Communication, des Grands Travaux et du Bicentenaire, Éditions de la Réunion des musées nationaux, Paris, 21–53.
- KÁDÁR, Z. (1960): Adatok a dunavidéki késő-antik ezüstedények problematikájához. *Folia Archaeologica* **XII** 133–144.
- KARYDAS, A. G.; KOTZAMANI, D.; BERNARD, R.; BARRANDON, J. N. & ZARKADAS, Ch. (2004): A compositional study of a museum jewellery collection (7th–1st BC) by means of a portable XRF spectrometer. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **226** 15–28.
- LANG, J. (2002): Le Trésor de Carthage. Étude technique, In: BARATTE, F.; LANG, J.; La NIECE, S. & METZGER, C. eds., *Le Trésor de Carthage: contribution à l'étude de l'orfèvrerie de l'antiquité tardive*. CNRS Éditions, Paris, 89–105.
- LANG, J. & HUGHES, M. (2016): The Mildenhall Treasure: Technical Aspects of Construction and Decoration, in: HOBBS, R. ed., *The Mildenhall Treasure: Late Roman Silver Plate from East Anglia*. British Museum Press, London, 240–249.
- LANG, J.; HUGHES, M. J. & ODDY, W. A. (1984): Report on the Scientific Examination of the Sea City Dish 62, the Achilles Dish 63 and some other Items. In: CAHN, H. A. & KAUFMANN-HEINIMANN, A. eds., *Der spätrömische Silberschatz von Kaiseraugst. Basler Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte* **19**, Derendingen, 375–381.
- LANG, J. R. S.; MEEKS, N. D.; WHEATLEY, C. J. & COWELL, M. R. (1977): Appendix A: The Scientific Examination of the Great Dish. In: PAINTER, K. S. ed., *The Mildenhall Treasure. Roman Silver from East Anglia*. Trustees of the British Museum, 35–40.
- LECHTMAN, H. N. (1971): Ancient Methods of Gilding Silver: Examples from the Old and the New Worlds. In: BRILL, R. H. ed., *Science and Archaeology*, Cambridge, 2–30.
- LEHMANN, R.; FELLENGER, D. & VOGT, C. (2014): Modern metal analysis of Bronze Age gold in Lower Saxony by using laser ablation mass spectrometry (ns-LA-ICP-QMS and fs-LA-ICP-MCMS) and portable X-ray fluorescence (pXRF). In: MELLER, H. H.; RISCH, R. & PERNICKA, E. eds., *Metals of power – Early gold and silver – Part 1*. Halle (Saale), 237–246.
- LEJČEK, P.; KOVAČ, J.; VANÍČKOVÁ, J.; DĚD, J.; SAMARDŽIJA, Z. & ZALAR, A. (2010): Copper surface enrichment of Ag-Cu alloys. *Surface and Interface Analysis* **42** 662–665.
- LENKEI, M. (1955): Három későrómai ún. moesiaei ezüsttál a Nemzeti Múzeumban. *Folia Archaeologica* **VII** 97–109.
- L'HÉRITIER, M.; BARON, S.; CASSAYRE, L. & TÉREYGEOL, F. (2015): Bismuth behaviour during ancient processes of silver-lead production. *Journal of Archaeological Science* **57** 56–68.
- LINS, P. A. & ODDY, W. A. (1975): The Origins of Mercury Gilding. *Journal of Archaeological Science* **2** 365–373.
- MANGO, M. M. & BENNETT, A. (1994): *The Seuso Treasure Part 1*, *Journal of Roman Archaeology Supplementary Series Number 12* Ann Arbor, MI, 480 pp.
- MASS, J. & MATSEN, C. (2013): Quantitative non-destructive analysis of historic silver alloys: X-ray fluorescence approaches and challenges. In: SHUGAR, A. N. & MASS, J. L. eds., *Handheld XRF for art and archaeology. Studies in Archaeological Sciences* **3** Leuven University Press, Leuven, 215–247.
- MAY, Z. (2020): Tíz év a hordozható XRF társaságában, azaz egy archeometriai utazás története. *Archeometriai Műhely* **17/3** 229–242.
- MELCHER, M.; SCHREINER, M.; BÜHLER, B.; PÜLZ, A. M. & MUSS, U. (2009): Investigation of ancient gold objects from Artemision at Ephesus using portable μ -XRF. *ArchéoSciences – revue d'archéométrie* **33** 169–175.
- MINNITT, S. & PONTING, M. (2013): The West Bagborough hoard, Somerset. In: HUNTER, F. & PAINTER, K. eds., *Late Roman Silver: The Traprain Treasure in Context*. Society of Antiquaries of Scotland, Edinburgh, 275–289.
- MOOREY, P. R. S. (1985): *Materials and Manufacture in Ancient Mesopotamia. The Evidence of Archaeology and Art*, *BAR International Series* **237** Oxford, 302 pp.
- MOZGAI, V.; BAJNÓCZI, B.; FÓRIZS, I.; MAY, Z.; HATVANI, I. G.; DÁGI, M.; MRÁV, Zs. & TÓTH, M. (2017): Handheld XRF mapping of elemental composition of Roman silver artefacts: preliminary results. In: MONTERO-RUIZ, I. & PEREA, A. eds., *Archaeometallurgy in Europe IV*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, 237–247.
- MOZGAI, V.; SZABÓ, M.; MAY, Z. & BAJNÓCZI, B. (2018): A Dunakeszi-Székesdülön feltárt korai szarmata sír aranyleleteinek kézi röntgenfluoreszcens és elektron-mikroszkopos vizsgálat. In: KOROM, A.; BALOGH, Cs.;

- MAJOR, B. & TÜRK, A. szerk., *Relationes rerum: Régészeti tanulmányok Nagy Margit tiszteletére*. PPKE, Archaeolingua, BTM, Budapest, 209–223.
- MRÁV, Zs. & DÁGI, M. (2014): Az ezüst bűvöletében – A Seuso-kincs. *Magyar Régészet* 2014. nyár: 1–9.
- NIEMEYER, B. (2018): *Römische Silberschätze. 150 Jahre Hildesheimer Silberfund. Archäologie in Deutschland, Sonderheft 13* Theiss, Darmstadt. 112 pp.
- ODDY, A. (1981): Gilding Through the Ages – An Outline History of the Process in the Old World. *Gold Bulletin* 14/2 75–79.
- ODDY, W. A. (1988): The gilding of Roman silver plate. In: BARATTE, F. & DUVAL, N. eds., *Argenterie romaine et byzantine: actes de la table ronde, Paris 11-13 octobre 1983 Archéologie de l'antiquité tardive*. De Boccard, Paris, 9–21.
- ODDY W. A. (1991): Gilding: an outline of the technological history of the plating of gold on to silver or copper in the Old World. *Endeavour, New Series* 15/1 29–33.
- ODDY, A. (1993): Gilding of metals in the Old World. In: La NIECE, S. & CRADDOCK, P. eds., *Metal Plating and Patination – Cultural, Technical and Historical Developments*. Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, 171–181.
- ODDY, A. (2000): A History of Gilding with Particular Reference to Statuary. In: DRAYMAN-WEISSER, T. ed., *Gilded Metals – History, Technology and Conservation*. Archetype Publications, London, 1–19.
- PAINTER, K. (1990): The Seuso Treasure. *Minerva* 1/4 4–11.
- PARDINI, L.; EI HASSAN, A.; FERRETTI, M.; FORESTA, A.; LEGNAIOLI, S.; LORENZETTI, G.; NEBBIA, E.; CATALI F.; HARITH, M. A.; DIAZ PACE, D.; ANABITARTE GARCIA, F.; SCUOTTO, M. & PALLESCHI, V. (2012): X-Ray Fluorescence and Laser-Induced Breakdown Spectroscopy analysis of Roman silver denarii. *Spectrochimica Acta Part B* 74-75 156–161.
- PARREIRA, P. S.; APPOLONI, C. R.; LOBO VIEIRA, R. M.; SCORZELLI, R. B.; Le CORRE, L. & GUERRA, M. F. (2009): Precious metals determination in ancient coins by portable ED-XRF spectroscopy with a ²³⁸Pu source. *ArchéoSciences – Revue d'archéométrie* 33 313–318.
- PERNICKA, E. (2014): Possibilities and limitations of provenance studies of ancient silver and gold. In: MELLER, H. H.; RISCH, R. & PERNICKA, E. eds., *Metals of power – Early gold and silver – Part I*. Halle (Saale), 153–164.
- PERNICKA, E. & BACHMANN, H. G. (1983): Archäometallurgische Untersuchungen zur antiken Silbergewinnung in Laurion – III. Das Verhalten einigen Spurenelemente beim Abtreiben des Bleis. *Erzmetall* 36 592–597.
- PIROS, R. Á.; MOZGAI, V. & BAJNÓCZI, B. (2020a): Hun kori lószerszámos leletgyűttesek roncsolásmentes archeometriai vizsgálatának új eredményei. *HADAK ÚTJÁN – A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXIX. konferenciája, konferenciakötet* (in press).
- PIROS, R. Á.; MOZGAI, V. & BAJNÓCZI, B. (2020b): New investigations made on the 5th-century AD horse harnesses from Untersiebenbrunn (Austria). *Proceedings of the Archeometallurgy in Europe 2019 (Monographies Instrumentum at Editions Mergoil)* (in press).
- SÁNCHEZ, E. P. & LANSING MAISH, S. (2014): The Hidden Lives of Ancient Objects: Conserving the Berthouville Treasure and Four Missoria. In: LAPATIN, K. ed., *The Berthouville Silver Treasure and Roman Luxury*, Getty Publications, Los Angeles CA, 107–125.
- SHACKLEY, M. S. (2012): Portable X-ray Fluorescence Spectrometry (pXRF): The Good, the Bad, and the Ugly. *Archaeology Southwest Magazine* 26/2 1–8.
- SZATHMÁRI, I.; MARÓTI, B.; TARBAY, J. G. & KISS, V. (2019): A Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből származó bronzkori arany hajkarika leletek vizsgálata. 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*. Geolitera, SZTE TTIK Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged, 291–315.
- SZENTHE, G.; MOZGAI, V.; HORVÁTH, E. & BAJNÓCZI, B. (2019): Hun kori áldozati leletgyűttes Telki határából – előzetes jelentés. *Magyar Régészet* 2019 tavasz: 9–19.
- TATE, J. (1986): Some problems in the analysing museum material by non-destructive surface sensitive techniques. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 14 20–23.
- TYLECOTE, R. F. (1962): *Metallurgy in Archaeology*, Edward Arnold Publishers, London, 368 pp.
- VULIĆ, H.; DORAČIĆ, D.; HOBBS, R. & LANG, J. (2017): The Vinkovci treasure of Late Roman silver plate: preliminary report. *Journal of Roman Archaeology* 30 127–150.

ŽIVKOVIĆ, J.; REHREN, T.; RADIVOJEVIĆ, M.; JEVTIĆ, M. & JOVANOVIĆ, D. (2014): XRF characterisation of Celtic silver from the Židovar Treasure (Serbia). In: PERNICKA, E. & SCHWAB, R. eds., *Under the Volcano – Proceedings of the International Symposium on the Metallurgy of the European Iron Age (SMEIA) held in Mannheim, Germany, 20-22 April 2010*. Verlag Marie Leidorf GmbH, Rahden/Westf., 157–173.

ZLATEVA, B. (2017): Comparison of p-XRF Spectrometers for Archaeological Research: A Case Study for Analysis of Tin-Rich Archaeological Bronzes. *Global Journal of Archaeology & Anthropology* 2/4 555–591.

ZORI, C. & TROPPER, P. (2013): Silver lining: evidence for Inka silver refining in northern Chile. *Journal of Archaeological Science* 40 3282–3292.