

A réz és ötvözetek jellemzői és főbb készítőtechnikai módszereinek bemutatása egy Árpád-kori ötvösműhely leletanyagának vizsgálatán keresztül

POLÓNYI EMESE

1. Rézbányászat a Kárpát-medencében az Árpád-korban

A rézbányászatot illetően az Árpád-kor tekintetében kevés forrásadattal rendelkezik a kutatás, ezek leginkább a rézlelőhelyekre vonatkozó kiváltságjogok mellett a vámot érintő szabályzatok.¹ A réz bányászatáról a 10–11. századból is ismertek adatok, jelentősebb fellendülés azonban a 13. század közepétől következett be, amelyben szerepet játszottak a német területekről érkező hospesek által meghonosított innovatív technológiai eljárások.² Jelentős rézbányászati központok voltak a Gömör-Szepesi érchegységben, elsősorban a Sajó forrásvidékén, Iglón (Szepes vármegye) és Jászón

¹ Ezek között említhető meg III. András kiváltságlevele a jászói prépostság számára, amelyben arról rendelkezik, hogy a prépostság a területén újonnan előkerülő réz-, ólom-, és ónbányákat (az arany- és ezüstbányák nem tartoztak ebbe a kategóriába) illetően szabadon rendelkezhet [*omne genus metallorum, praeter aurum et argentum, cupri scilicet, ferri, plumbi stanni*] (WEISZ 2008, 145). A vámszabályzatot illetően II. András idejéből, 1284-ből, illetve 1288-ból is ismert a rézre vonatkozó adat (1284: 1 mázsa vagy 100 réz után 2 friesach-i dénár) (WEISZ 2013, 142-143; 454).

² Emellett helyi rézkitermelésre lehet következtetni III. Béla idejében, amikor a rézpénzek forgalmával egyidőben a réz importjára nem ismert írott forrás (VILEZ 2014, 62).

(Abaúj vármegye), valamint az erdélyi és a szerb területek ércbányáiban, de ezekről főként a 14. századtól szólnak egyre részletesebben az írott források.³ Rézkohászattal kapcsolatba hozható régészeti jelenségek az ország területéről szintén főként a későbbi évszázadokból ismertek.⁴ A régészeti leletek hiányában támpontként szolgálhat a réz kohósításának korabeli módszeréről, emellett a réz tisztításának és ötvözésének eljárásairól is a Theophilus presbyter *Schedula diversarum artium* című munkájában olvasható leírás, emellett a kísérleti régészet eredményei, illetve az Európa más területeiről ismert iparrégészeti lelőhelyek.⁵

2. Ötvözéstechnika

2.1. A réz ötvözetei

A réz, mint az emberiség által legrégebben használt fém, korszakokon átívelve jelenti ma is a fémművességben az egyik leginkább nélkülözhetetlen alapanyagot. Felhasználása a történeti korszakokban is széleskörű volt, színfémként és ötvözetek alapjaként egyaránt. A réz színfémként elsősorban az öntés szempontjából előnytelen tulajdonságokkal bír, az öntést követően kialakuló szivacsos, porózus anyagszerkezete miatt nehezen alakítható. A legkorábbi réz alapú ötvözetként meghatározható tárgyak alapanyaga természetes úton átlagosan 1–2% ónt, illetve néhány százalék arzént tartalmazó, ún. arzénbronz, amely a megmunkálhatóságot tekintve kedvezőbb tulajdonságokkal bír, azonban ezek a tárgyak még nem határozhatók meg szándékosan készített ötvözeteknek.⁶ A tapasztalati úton megvalósult általános fejlődés eredményeként

³ BÁCSEKAY 1988, 126; WEISZ 2013, 36; 148; WEISZ 2015, 4.

⁴ VARGA 2012, 2–9.

⁵ ASMUS 2009, 155–162; BAYLEY 2015; BOURGARIT–BAUCHAU 2010, 27–33; BOURGARIT–THOMAS 2011, 8–16; BOURGARIT–THOMAS 2012, 3052–3069; Theophilus 1986, 115–116; 118.

⁶ Az arzéntartalom a kohászat módjától és a felhasznált érc típusától függően akár a 10%-ot is elérhette (BAYLEY ET AL 2015, 58; TÖRÖK 2013, 49).

a Kr. e. 3. évezredtől terjedtek el a nagyobb mennyiségű, tehát szándékosan hozzáadott önt tartalmazó rézötvözetek, ezt követően változatlanul jelentették a fémművességben használt egyik legfontosabb alapanyagot a régészeti korokban.⁷ A réz ötvözei három fő csoportra oszthatók, az önt (mellette sok esetben kisebb részben ólmot) tartalmazó ötvözetek összefoglaló neve bronz, a cinket tartalmazó ötvözeteké sárgaréz, az önt és cinket is tartalmazó ötvözetek pedig *gunmetal*-ként szerepelnek a szakirodalomban.⁸ Az ólom hozzáadásával javítani tudták az öntvényminőséget, azonban az öntés után további hideg megmunkálás, illetve aranyozás szempontjából az ötvözetben jelen lévő ólomtartalom igen hátrányos volt.⁹ Az ötvözés hatására az alapfém tulajdonságai három fő szempontból változnak meg, ezek közül a két legfontosabb az anyagkeménység növekedése és az olvadáspont csökkenése. Emellett szintén nem elhanyagolható, bár főként a dekorációs és kultikus funkció szempontjából lényeges, hogy a hozzáadott fémek a réz színét is megváltoztatják, így az ötvözetek különböző típusaival szélesebb színskálán mozgó alapanyagokat lehet előállítani.¹⁰ Elmondható, hogy a réz alapú ötvözeteket a technikai ismeretek fejlődésével lehetőség szerint igyekeztek a készítendő tárgy megmunkálási technikájához célzottan igazítani. Ez jelenti a réz alapú ötvözetek egy további lehetséges osztályozását, melyben két alapvető csoport különíthető el, ezek a képlékenyalakításhoz, illetve az öntéshez készített ötvözetek. Mindkét esetben más arányban hozzáadott ötvöző fémek segítségével érhető el a leginkább kedvező tulajdonságok. Természetesen minden ötvözet megmunkálható

⁷ TÖRÖK 2013, 68; KUTZ 2015, 118; HORVÁTH ET AL 2020, 88; GYÖNGYÖSI ET AL 2023, 171–183.

⁸ A *gunmetal* emellett ólmot is tartalmazhat, lényegében műhelyhulladék, maradék fémanyagok és rontott tárgyak újraolvasztásával keletkező, anyagtulajdonságaiban öntésre és képlékeny alakításra is alkalmas ötvözetként definiálható. TÖRÖK – GIUMLIA-MAIR 2022, 165.

⁹ BAYLEY ET AL 2015, 40; THEOPHILUS 1986, 117. Theophilus javaslatát támasztják alá a rézötvözetből készült, aranyozott tárgyak anyagösszetétel vizsgálati is (TYLECOTE 2002, 92).

¹⁰ BAYLEY ET AL 2015, 40–41.

ellenkező módon, azonban leginkább arra alkalmas, amilyen célból eredetileg készítették.¹¹ Az ötvöző fémek arányának szempontjából tehát a tárgy elsődleges megmunkálásának típusa (öntés vagy képlékenyalakítás) volt meghatározó.¹²

2.2 A réz ötvöző fémek

Ón

A réznek az ónnal, mint legfőbb ötvözővel létrehozott ötvözetét összefoglaló néven általában bronznak, esetleg ónbronznak nevezik, melyeknek ezen belül több típusa különíthető el az összetevők arányának függvényében. A legkorábbi bronztárgyak relatíve kis koncentrációjú ón- és arzéntartalma a rézérc kohósítása során, az ércből került a természetes úton kialakuló fémötvözetbe. A bronztárgyak tekintetében tehát a néhány százalékos (1–2%) óntartalom korszaktól függetlenül nem határozható meg szándékos ötvözés eredményének.¹³ Az ón pozitívan befolyásolja a réz tulajdonságait, növeli az anyagkeménységet, így tartósabb tárgyakat eredményez, illetve csökkenti a réz 1084°C-os olvadáspontját és a tiszta rézhez képest nagyban javítja az öntés utáni nehezen alakítható anyag szerkezetet, összességében jobb megmunkálhatóságot és minőséget biztosít. Az ónt érc formájában, a rézzel együtt kohósítva is létrehozhatták az ötvözetet, emellett egy másik módszer volt az óntartalmú érc adagolása a rézhez redukált körülmények között. Az ón alacsony olvadáspontjából kifolyólag könnyen előállítható volt fém formájában, így a technológiai fejlődés eredményeként a későbbiekben az olvadt rézhez meghatározott mennyiségű fémest ónt adagoltak, ezt az eljárást ismerteti Theophilus presbyter is.¹⁴ Az ón hozzáadása az öntött tárgyak esetében átlagosan 10% körül határozható meg, a régészeti korokban kialakult 1:10 (legfeljebb

¹¹ UNTRACHT 1982, 52.

¹² DAVIS 2001, 171.

¹³ TYLECOTE 2002, 7. A kohósítással előállított réz legalább 1%-ban tartalmaz szennyezőket, ennél tisztább rézet a középkor technológiai fejlettségével még nem tudtak előállítani (ZORKÓCZY 1968, 183).

¹⁴ THEOPHILUS 1986, 117.

1:8) ötvözesi arány a középkorban is általános volt. A speciális tulajdonságokat igénylő tárgyak (pl. harangok) összetétele ettől eltérő csoportot képvisel.¹⁵

Ólom

A bronz ötvöző fémeként is használt ólom az ón mellé adagolva tovább csökkenti az ötvözet olvadáspontját, illetve az olvadt fém viszkozitását növeli, így könnyebben önthetővé teszi az ötvözetet, ami az öntvényminőséget is pozitívan befolyásolja. Ugyanakkor az ólom a bronzötvözetben jellemzően szegregátumként, elkülönült cseppek formájában figyelhető meg a metallográfiai mikroszkópos képeken.¹⁶ Az ólom nagyobb mértékben történő hozzáadása az ötvözetet rideggé, képlékenyalakítással nehezen megmunkálhatóvá teszi. Az ólom szintén alacsony olvadáspontja miatt könnyen előállítható fém, megolvasztása házi tűzhelyen is lehetséges volt, így ötvöző fémként a kívánt mennyiségben tudták aránylag pontosan adagolni az egyes ötvözetekhez. Az ólmot emellett ónnal ötvözve a régészeti korokban is lágyforrasz előállítására használták, illetve a római kortól kezdve készítették ón-ólom ötvözetből edényeket is.¹⁷ Az ón jól oldódik az ólomban, egyben keményíti az ólom-ón ötvözetet, ugyanakkor csökkenti annak olvadáspontját.¹⁸ Megjegyzendő, hogy mind az ón, mind az ólom rézkorróziós folyamatok miatt erősen hajlamos a bronztárgyak felületén történő dúsulásra.¹⁹ Ugyanakkor a bronztárgyak felületén tapasztalható óndúsulás képlékenyalakítás és hőkezelés hatására egyaránt kialakulhat.²⁰

¹⁵ TÖRÖK 2013, 51. A haranghoz használt ötvözetekről: „(...) Miután a rezet ilyen módon kiolvasztották, ötödrésznyi ónt adnak hozzá, és így kapják azt a fémeket, amelyből a harangok készülnek. (...)” (THEOPHILUS 1986, 116). A harangbronz átlagosan 78–80% rezet és 22–20% ónt tartalmaz (UNTRACHT 1982, 52).

¹⁶ SZENTPÉTERI–TÖRÖK 2022, 141.

¹⁷ BAYLEY ET AL 2015, 49.

¹⁸ BARKÓCZY ET AL 2012, 1143.

¹⁹ SZENTPÉTERI–TÖRÖK 2022, 141.

²⁰ TÖRÖK ET AL 2013, 167–168.

Cink

A cink hozzáadása a rézhez a jelenlegi ismeretek szerint nagyságrendileg a Kr. e. 1. évezredtől jelent meg. A réz ötvözőjeként a cink jobb önthetőséget, alacsonyabb olvadáspontot, nagyobb anyagkeménységet és szakítószilárdságot is jelent. Emellett a sárgaréz ötvözetek a rézhez képest sokkal nehezebben megmunkálhatóak, a 30–40% közötti cinket tartalmazó ötvözet már csak melegen alakítható. A 20% körüli cinket tartalmazó sárgaréz színe az aranyhoz hasonló, ez jelentette díszítő funkciójának általános jelentőségét, amely az ékszerek és viseleti elemek mellett számos egyéb funkcióban, például a könyvveretek esetében is megjelent.²¹ A cinket fémes formában még a középkor során sem tudták előállítani, ennek oka, hogy 907°C fölött a cink gőzzé alakul, az akkori kemencék pedig ennél magasabb hőfokon működtek, a hőmérséklet pontosabb szabályozhatósága nélkül. Ebből kifolyólag az öntől és az ólomtól eltérően a cinket (oxidos vagy karbonátos ásványait porrá törve) az ún. *cementálás* eljárásával redukált körülmények mellett adagolták a rézhez, mellyel akár 40% cinktartalmú ötvözetet is el tudtak érni.²² A réz legfontosabb ötvöző fémjei az öntött tárgyak esetében a középkor során elsősorban a cink, valamint kisebb százalékban az ón és az ólom voltak.²³ Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a középkori sárgaréz ötvözetek metallográfiai vizsgálatainál rendszeresen lehetett tapasztalni ólom-szegregációkat egyaránt.²⁴

2.3 A réz és ötvözetei az írott forrásokban

A középkor írott forrásaiban az ókori eredetű *aes* (ua. *aeneus*, *aereus*) és *orichalcum* (*aurichalcum*) megnevezések egyaránt jelölhettek bronz vagy sárgaréz ötvözetet is. Theophilus presbyter

²¹ BENKŐ–BARKÓCZY 2017, 165–192.

²² BARNET–DANDRIDGE 2006, 53; BOURGARIT–BAUCHAU 2010, 27–33; BOURGARIT–THOMAS 2011, 8–16; BOURGARIT–THOMAS 2012, 3052–3070; CRADDOCK 2018, 149–150; REHREN–MARTINÓN-TORRES 2008, 168; TÖRÖK 2013, 58.

²³ BARNET–DANDRIDGE 2006, 52.

²⁴ TÖRÖK ET AL 2017, 922–923.

Schedula diversarum artium című munkájában az *aes* bronzot és sárgarezet is jelent, *aurichalcum*-ként a tisztított rézből cink hozzáadásával készült ötvözetet, tehát a sárgarezet nevezi meg.²⁵ Albertus Magnus 12. századi művében *aurichalcum*-ként szintén a sárgarézt szerepelteti, melyet cementálással állítottak elő réz (*cuprum*) és cink (*calamina*) felhasználásával,²⁶ ebben az esetben tehát az ötvözés típusát illetően is információval szolgál.²⁷

3. Az alapanyag megmunkálásának főbb típusai

Olvasztótégelyek, olvasztás

Az ötvözetek előállításához és az öntéshez használt olvasztótégelyekre szerencsés esetben minden régészeti korszakhoz kapcsolódóan található példa, a fémből készült leletanyagok mennyiségéhez képest azonban ezek száma aránylag rendszerint kevés. Erre vonatkozóan Theophilus presbyter szolgál magyarázattal, leírása szerint a régi olvasztótégelyeket porrá törték, és az újak készítéséhez használt agyagot ezzel soványítva növelték a kész termékek hőállóságát.²⁸

Az olvasztás során az eleinte kézzel formált, később korongolt, ívelt aljú olvasztótégelyeket a hevítéshez használt szén közé ágyazták, vagy az olvasztókemencéknek a tégelyek számára kialakított, kör alakú átvágásokkal ellátott részébe illesztették (1. ábra/1.).²⁹ A korongolással készített tégelyek alja nagyrészt sík volt,

²⁵ BLAIR–BLAIR 1991, 81. A réz tisztítása az ólomtartalomtól azért jelentős, hogy a kész tárgy felületét aranyozni lehessen (THEOPHILUS 1986, 117).

²⁶ Kovacinkérc (kalamín). BARNET–DANDRIDGE 2006, 52; TÖRÖK 2013, 58.

²⁷ MAGNUS 1890, 90; BLAIR–BLAIR 1991, 81.

²⁸ THEOPHILUS 1986, 116–117. Réz és réz alapú ötvözetek, illetve arany és ezüst esetében is előzőleg az adott fémhez vagy ötvözethez használt olvasztótégelyek speciálisan ugyanahhoz történő újrafelhasználását írja elő (THEOPHILUS 1986, 87).

²⁹ KRABATH 2002, 130; THEOPHILUS 1986, 116.

ezeket sík aljú kemencékben használták (1. ábra/3.).³⁰ Az olvasztótégelyekben az olvasztás, ötvözés mellett a tisztítást és szétválasztást is elvégezhették, illetve ezeket használták a fémhulladékok újraolvasztásánál egyaránt.³¹ A réz esetében az 1084°C-os olvadáspont (illetve ötvözetei esetében ennél alacsonyabb) miatt a kisebb mennyiségű fém olvasztása nem igényel fejlettebb műhelykörülmenyeket, azonban fontos a redukált környezet előteremtése a fém oxidálódásának elkerülése miatt, ezt faszén segítségével tudták biztosítani. A speciálisan nagyobb mennyiségű fém megolvasztására alkalmas olvasztókemencék a nagyobb méretű tárgyak készítésénél voltak elengedhetetlenek, a harangöntéshez használt, kiöntővályúval ellátott kemencét Theophilus presbyter részletesen ismerteti.³² Bronzolvasztáshoz használt kemencék, illetve öntőgödrök az Árpád-kori régészeti hagyatékból is ismertek többek között Visegrád, Feldebrő és Esztergom környékéről.³³

Az olvasztáshoz használt tégelyeknek számos mérete ismert a régészeti leletanyagból, a középkorban egy nagyobb tégely alkalmas lehetett akár 4 kg fém megolvasztására is. Az olvasztótégelyeknél számos esetben megállapítható a tárgy felületén megfigyelt salakosodás nyomainak vizsgálatával az olvasztás pontos módja (hevítés iránya, faszén közé helyezés).³⁴

Öntéstechnika

A réz alapú ötvözetekből történő öntési folyamat sikerességéhez ismerni kellett az egyes ötvözetek öntési és szilárdulási tulajdonságait, és az alapvető öntődei gyakorlatok betartásával a készítenő tárgy típusához és technikai követelményeihez leginkább

³⁰ BAYLEY ET AL 2015, 43.

³¹ A használat, és a feldolgozandó fém mennyiségének függvényében az olvasztó- és kupellálótégelyeknek számos típusa ismert (BAYLEY–REHREN 2007, 46–55).

³² THEOPHILUS 1986, 138–140.

³³ GRÓH 1997, 535–541; KOVALOVSZKI 1993, 87–98; KOVALOVSZKI 1994, 441–456; VÁLYI 1997, 381–414.

³⁴ BAYLEY ET AL 2015, 43.

megfelelő öntési módszert kiválasztani.³⁵ A középkorban központi szerepe volt a viaszveszejtéses öntésnek, illetve kisméretű tárgyak esetében az öntőforma használata volt elterjedt. Utóbbiak a korszak öntőműhelyeinek feltárásából esetenként nagy számban kerültek elő, amely az adott sorozatgyártásra specializálódott műhely kapacitását és jelentőségét is tükrözi.³⁶

A korszakban alkalmazott öntési módszerek

Alapanyagöntés

A fémek ércből való kinyerését, kohósítását, majd esetleges színtését, ötvözését követően a készítés további fázisaihoz használt alapanyagokat gyakran rudak, vagy vastagabb tömbök formájában öntötték ki. Az így előállított nyersanyag, félkész anyag ebben a formában, esetleg tovább darabolva alkalmas volt tárolásra, kereskedelmi célra, fizetőeszközként, valamint további finomításra, ötvözésre, feldolgozásra is. Utóbbi esetben a lemezeket a szükséges anyagvastagság eléréséig kalapálással nyújtották, illetve a drótokat dróthúzó szerszám segítségével állították elő, így megkapva a további munkálatok kiindulásához szükséges alapanyagokat.³⁷ Theophilus presbyter ehhez kapcsolódóan említi a ma használt kokillához hasonlóan arany és ezüst öntésére használt vasból készült öntőformákat, emellett ezek kőből, illetve agyagból készült megfelelője is ismert a régészeti leletanyagból (2. ábra/1–2.).³⁸ A leöntött

³⁵ DAVIS 2001, 171.

³⁶ BERGER ET AL 2020, 21–58; SAUSSUS 2019, 144–181.

³⁷ Erre vonatkozóan a legismertebb példákhoz tartozik régészeti kontextusból a Mediterráneumban zajlott bronzkori kereskedelem egyik alapvető eleme, a marhabőr alakú réz (DICKINSON 1994, 248) illetve jellemző volt a réz és bronz nyersanyagának a kemence alján összegyűlt olvadék kör alakú, szilárdult formában való tárolása (2. ábra/3. KLAU PAUF ET AL 2008, 70; TYLECOTE 1992, 37–38). Emellett, elsősorban a viking korhoz kapcsolódó számos, kereskedelemhez vagy fémműves-séghez köthető lelőhelyről vagy depóleletből ismertek ezüstrudak (*ingot*), illetve ezek öntőformái (2. ábra/1–2. SÖDERBERG 2008, 102; SHEEHAN 2014, 194–221; SCREEN 2021, 377–395).

³⁸ THEOPHILUS 1986, 85; COMBER 1997, 108; SÖDERBERG 2008, 102.

fém, illetve az öntéssel előállított fémötvözet tárgyak fizikai, mechanikai tulajdonságait alapvetően befolyásolta az anyag öntés során kialakult mikroszerkezete. Az öntött anyagok szerkezetét a dendritek jelenléte jellemzi. Általában a dendritek kétféle formában fordulnak elő az öntött termékekben: egytengelyű dendritek és irányított oszlopos dendritek.³⁹

Viaszveszejtési öntés

A viaszveszejtési öntés eljárása az ókorban jelent meg, majd terjedt el széles körben, a technológia középkori környezetbe történő közvetítésében és tovább örökítésében a bizánci, illetve muszlim területeknek volt jelentős szerepe.⁴⁰ A középkorban alkalmazása elsősorban egyházi vagy világi rendeltetésű használati tárgyak készítésénél alapvető volt.⁴¹ A viaszveszejtési öntés technikájával tömör, vagy üreges öntvény egyaránt elkészíthető. Utóbbi takarékosági szempontok mellett a készítendő tárgy funkcionalitásának céljából is alkalmazták, a középkor kontextusában többek között a harangöntés, és az aquamanilék készítése során. Ekkor a modell elkészítésének első lépcsőjét a belső agyagmag megformálása jelentette, melyet az öntés során felszabaduló gázok és nyomásváltozás miatt fontos volt szalmával, trágyával, vagy egyéb, laza, üreges szerkezetet biztosító anyaggal soványítani. A belső magra illetve készítették el a viaszból vagy faggyúból megformált modellt, melyet a belső agyagmaghoz magtartó szegekkel rögzítettek, ezek anyaga réz, réz alapú ötvözet, vagy egyéb, magas olvadáspontú fém (vas, acél) is lehetett (3. ábra/1–3.). A viaszmodellre mérettől függően gázvezető csatornákat rögzítettek viaszból, melyek az öntésnél jelentkező gázok és nyomásváltozás során

³⁹ TÖRÖK ET AL 2019, 37.

⁴⁰ A technológiatörténeti kutatásokban az egyes eljárások pontos keletkezése a folyamatosan bővülő ismeretanyag tükrében változó tényező (SCHADT 1996, 31: Az eljárás Kr. e. 1000 körül jelent meg. WOLTERS 2008, 42: A viaszveszejtési öntés elsőként Kr.e. 3500 körül jelent meg Mezopotámia területén).

⁴¹ BARNET 2008, 80–81; BARNET–DANDRIDGE 2006, 39–42; MENDE 2020; SCHADT 1996, 31–32; WOLTERS 2008, 42–64.

töltöttek be fontos szerepet, így az öntvény minősége ezáltal is jelentősen befolyásolható volt (homogenitás, öntési hibák minimalizálása). A viaszmodellt és a kilógó magtartó szegeket ezt követően finom szemcséjű agyaggal vagy gipsszel vonták be, amelyet magas hőállóságot biztosító adalékokkal soványítottak (pl. samott). A finom szemcséjű anyag a legapróbb részletekig felvette a modell formai jellegzetességeit, ez azért is jelentős volt, mert a viaszmodellt rendszerint már ebben a fázisban díszítették. Az így elkészített, egy vagy több beömlő nyílással és gázvezetőkkel ellátott öntőformából a viaszt kiégették, majd a formát – a hőmérsékleti különbségek csökkentésének céljából – felhevítve, megtöltötték az olvadt fémmel. A hűtést követően a formát szétörték, és kidolgozták a végleges öntvényt az öntési csonkok, varratok eltüntetésével, a gyengébb minőségű öntvények felületét pedig gyakran kalapálással zömítették. Ezt követően csiszolással, polírozással, és sok esetben díszítő eljárásokkal (vésés, cizellálás, nielló, aranyozás stb.) nyerték el végleges formájukat a tárgyak.

A modellezéshez használt viasz alakíthatóságát gyanta, vagy különböző olajok hozzáadásával tudták befolyásolni, így lehetett például magasabb olvadáspontú, keményebb, ebből kifolyólag könnyebben faragható viaszt készíteni a gyakran már a modell esetében gazdagon díszített tárgyakhoz. A viaszhoz adott pigmentanyag alkalmazása a középkor esetében nem alátámasztható, azonban a reneszánsz kor alatt már a gyakorlat része volt, így nem zárható, hogy már ekkor színezték, elsősorban vörös pigmentanyaggal a viaszt.⁴² A viasz színezése egyben segítette, hogy az aprólékosan díszített felszín jobban láthatóvá váljon a méhviasz eredeti, áttetsző színéhez képest.⁴³

⁴² A vörös pigmentet illetően az aranyozásnál is használt cinóbert említi a szakirodalom, amelyet a higany ásványából, a cinnabaritból nyertek (BARNET–DANDRIDGE 2006, DVD melléklet; DANDRIDGE 2008, 83). A cinóber festőszerként való használatát már Id. Plinius is említi (PLINIUS 2001, 71–75).

⁴³ A viaszveszejtéses öntés hagyományos módszerének leírásában nyújtott szakmai segítségéért köszönet Lestyán Goda János szobrászművésznek.

Öntőformák

Az öntőformák az öntési technológia alapvető eszközeiként a középkorban is jelen voltak (4. ábra/1–2.). Az egy- és kétrészes formák használata az egyes tárgyak felületi sajátosságainak részletes vizsgálatával is sok esetben megállapítható. Az egyrészes öntőformával készült tárgyak felületén az öntési nyom csak az egyik oldalon figyelhető meg, illetve az oxidált fémréteg kiugróan magasabb azon az oldalon, amely az öntés során a levegővel érintkezett. Kétrészes öntőformára utaló egyértelmű nyom a tárgyon megfigyelhető öntési heg, vagy ennek eldolgozása, vagy a beömlő nyílás(ok) helyének nyoma. A régészeti leletanyagból előkerült öntőformák anyaga általában kő (homokkő), az agyag öntőformák esetként a kiégetés után olyan mértékben is mállékonnyá válhatnak, hogy nem hagynak régészeti szempontból megfigyelhető nyomot.⁴⁴ A sokszorosítási eljárásokhoz kapcsolódóan fontos szerepe volt a viaszhoz készült öntőformáknak, melyekben a viaszveszejtési eljárással készült, sorozatgyártott tárgyakhoz tudták a modelleket nagy számban előállítani (pl. övveret készletek, egyéb viseleti elemek), az ilyen célra készült öntőformák anyaga a felsoroltak mellett fa vagy bronz is lehetett.⁴⁵ Az egyes tárgycsoportokkal kapcsolatban az azonos öntőforma használatának megállapítása is lehetséges a megegyező formai sajátosságok segítségével, amely a mellkeresztek vonatkozásában már korábban felmerült az Árpád-kor kutatásában.⁴⁶

Homoköntés

Az öntési technikák közül a régészeti leletanyagból ismert tárgyi bizonyítékok alapján elsősorban agyagból vagy kőből készült öntőformákat használtak, azonban nem kizárt, hogy a népvándorlás korhoz hasonlóan a középkor folyamán is alkalmazták a homoköntést. Erre utaló nyomok a tárgyak anyagszerkezetének vizsgálatával állapíthatóak meg, illetve egyes korszakokban ez a tech-

⁴⁴ TÖRÖK 2013, 61; BÍRÓ–SZENTHE 2011, 156; SZENTHE 2013, 5.

⁴⁵ SZENTHE 2013, 2-3; TÖRÖK 2013, 58.

⁴⁶ LOVAG 2001, 119–121.

nológia magyarázatként szolgálhat a régészeti leletanyagból hiányzó öntőformákra egyaránt. A homoköntés nem hagy régészeti-
leg megfigyelhető egyértelmű nyomot, azonban ismert példa öntéshez használt különféle szemcsefinomságú homok előkerülésére régészeti kontextusban.⁴⁷

A megmunkálás egyéb műveletei

Az úgynevezett *képlékeny alakítási eljárásokat* rendszerint alkalmazták az öntéssel készült tárgyak esetében az öntvény felszínének zömítése, illetve a további kidolgozás céljából, valamint a már említett, képlékenyalakításra célzottan ötvözött alapanyagoknál az egyes tárgyak elkészítéséhez. A képlékenyalakítás során a tárgyak anyagvesztés és halmazállapot-változás nélkül esnek át rugalmas vagy maradó alakváltozáson.⁴⁸ A színes- és nemesfémek szobahőmérsékleten is jól megmunkálhatóak, azonban a folyamatos alakítás hatására a fémek rácsszerkezete torzul, amely az anyag felkeményedésével jár, ami ezáltal nehezen megmunkálható lesz. Ezért bizonyos időközönként szükséges a készülő tárgyakon lágyítást végezni, melynek hatására a fém rácsszerkezetében kettős újrakristályosodás megy végbe, ezáltal ismét könnyen alakíthatóvá válik. Ennek hőfoka a réz alapú ötvözeteknél megközelítőleg 800°C alatt határozható meg.⁴⁹

A képlékeny alakítási eljárások között a nemes- és színesfém-megmunkálásban gyakran alkalmazottként említhető a kalapálás (egyengetés, nyújtás, zömítés), hajlítás, domborítás, felhúzás, cizellálás. A fémnyomás módszere szintén a képlékeny alakítási eljárások közé tartozik, de a technikátörténeti szakirodalomban kevésbé feldolgozottnak mondható. A technológia megjelenését a jelenlegi ismeretek tükrében az ókor időszakára helyezik, a középkorban edények, illetve a jelen cikkben is szereplő mérlegek ser-

⁴⁷ BÍRÓ–SZENTHE 2011, 156.

⁴⁸ SIMON 2014, 37.

⁴⁹ BAYLEY ET AL 2015, 40, 48.

penyőinek sorozatgyártására használták.⁵⁰ A *forgácsolás nélküli darabolásból* (nyírás, lyukasztás, vágás) származó leeső hulladékok a régészeti kontextusból az egyik leggyakrabban előkerülő, egyértelműen fémmegmunkálásra utaló leletek.⁵¹

A *kézi forgácsolási eljárások* közös jellemzője, hogy alkalmazásuk során minden esetben anyagvesztés keletkezik. A leggyakrabban alkalmazott típusai közt említhető a reszelés, fűrészelés, fűrés, hántolás és vésés. A hántolást alkalmazták a nagyobb méretű öntvények kidolgozásának a felület zömítését követő fázisában is a szerszámnyomok eltüntetésének céljából.⁵² A gyakori díszítő eljárásnéven használt vésést a készítés utolsó fázisai közt kivitelezték, a vésett felületet csak egyéb díszítő vagy felületkezelő, illetve -bevonó eljárások (tausírozás, nielló, zománc, patina, fémbefonatok) alkalmazásakor érinthette további behatás.⁵³ Az utolsó munkafázisok közt elvégzett csiszoláshoz és polírozáshoz a Theophilus presbyter által is ajánlott különböző szemcsefinomságú homokot, homokkövet, vagy egyéb, csiszolásra alkalmas anyagot (homok és hematitpor keveréke) használhattak.⁵⁴ A polírozás része volt az úgynevezett kézi fényezés, amelynek eszközei rendszerint karneolból, achátból vagy hematitből készültek, emellett állati agyarból készült szerszámot is használhattak erre a célra.⁵⁵ A kézi fényezés az aranyozást, ezüstözést követően is nélkülözhetetlen volt.⁵⁶ A bemutatott leletanyaghoz kapcsolódóan az aquamanilék lelettípusának esetében összességében elmondható, hogy a díszítés módja leggyakrabban a felület vésése és cizellálása volt. Emellett ritkán aranyozták, elvértve pedig niellóval is díszítették a tárgya-

⁵⁰ MÉRI 1954, 108–109; ROSTA 2017, 140; WONG ET AL 2003, 1419; ZOLTÁN 2019, 48.

⁵¹ BAYLEY ET AL 2015, 40.

⁵² BARNET–DANDRIDGE 2006, 48; DANDRIDGE 2008, 92.

⁵³ BIRON ET AL 1996, 48–62; BREPOHL 1984, 44–46; GIUMLIA-MAIR 2020, 1–26; HUGHES 1993, 1–18; LA NIECE 1983, 279–297. A zománc-bevonat sárgaréz alapanyagon nem alkalmazható (BREPOHL 1984, 11.)

⁵⁴ THEOPHILUS 1986, 98–99; BARNET–DANDRIDGE 2006, 47.

⁵⁵ DANDRIDGE 2008, 94.

⁵⁶ GIUMLIA-MAIR 2020, 5, 7–9.

kat.⁵⁷ A jelen cikkben szereplő, Esztergomban előkerült aquamanile egy egyszerű kivitelezésű, díszítetlen darab, melynek esetében csak az öntvényt dolgozták ki.

4. Az Esztergom-Kossuth Lajos utca 27. lelőhelyen előkerült aquamanile és mérleg készítése technikai megfigyelései és anyagösszetételi vizsgálata

A leletanyag és a vizsgálati módszerek

A tárgyak Esztergomban 1952-ben, alapozási munkálatok alkalmával kerültek elő, majd később ajándékozás útján, 1955-ben és 1960-ban két részletben jutottak a Balassa Bálint Múzeum tulajdonába.⁵⁸ A műhelyként értelmezhető objektumok, eszköz- és szerzőszámleletek ritkasága miatt a tárgycsoportnak kiemelt szerepe van az Árpád-kor hagyatékában. A leletek előkerülésénél pontos régészeti megfigyelésekre és dokumentációra nem volt lehetőség, a helyszínen tartózkodók elmondása szerint a tárgyak elszenesedett gerendák és egy emberi csontváz mellett kerültek elő. Mindezek mellett az egyes tárgyak keltezését is figyelembe véve Fettich Nándor a tatárjáráshoz kötötte a műhely pusztulását.⁵⁹

A leletanyag feldolgozásának célja elsődlegesen az egyes tárgyak technológiai szempontú vizsgálata volt, melyhez alapvető információkat szolgáltatottak a röntgenfluoreszcens módszerrel végzett anyagösszetételi vizsgálatok. Emellett a 3D lézerekkel alkotott térmodelleken olyan részek is mérhetővé váltak, melyek adatai szabad kézzel nem, vagy igen nehezen lettek volna rögzíthetőek, ezáltal olyan részleteket is sikerült meghatározni, mint az aquamanile öntésénél megformált belső agyagmag egykori mérete (5. ábra/2.).⁶⁰

⁵⁷ BARNET–DANDRIDGE 2006, 47–51; WILLIAMSON 2002, 136–137.

⁵⁸ FETTICH 1968, 157.

⁵⁹ FETTICH 1968, 157–196.

⁶⁰ A 3D térmodell elkészítéséért köszönet Kotán Dávid Márknak.

A tárgyakon végzett roncsolásmentes kémiai összetétel vizsgálatok hordozható energiadiszipatív röntgenfluoreszcens kézi elemző (ED-XRF) alkalmazásával készültek.⁶¹ A leletegyütteshez tartozó több tárgy vizsgálata is megtörtént, de jelen cikk témájából kifolyólag ezek közül csak az ide kapcsolódó két réz alapú ötvözetből készült tárgy, az aquamanile és a mérleg kerülnek bemutatásra.

Az aquamanile

A leletanyag talán legrészletesebben vizsgálható darabja a többszörösen javított, töredékes, eredetileg valószínűleg oroszolt formázó aquamanile. A mérések alapján az öntvény alapanyaga 10–11% önt és 5–6% ólmot tartalmazó bronzötvözet lehet, amely az öntött tárgyak esetében már említett gyakori ötvözési arány. Ugyanakkor nem zárható ki teljes mértékben az említett két ötvöző bizonyos mértékű felszíni dúsulása sem. Az aquamanilék öntéséhez általánosan használt réz alapú ötvözetek leggyakoribb ötvözői a cink, az ón és az ólom voltak.⁶² Esetünkben a cink nem jelent meg az alapötvözet mérésekor. Az öntvény anyagösszetétele alapján vélhetően szándékosan kialakított összetételű bronz, alapanyagát elsődlegesen ennek a tárgynak a készítéséhez ötvözheték, nem pedig maradék anyagok, illetve rontott öntvények véletlenszerű összeolvasztásából származhatott. A hátsó részen figyelhető meg a tárgyon elvégzett legnagyobb javítás, amelynél a toldás anyagösszetétele is jól megfigyelhetően elkülönül az eredeti öntvényétől, átlagosan 21% ólmot tartalmaz. Itt az arzén és a bizmut, mint szennyező nem jelent meg (az alapötvözetben igen), az óntartalom és az ezüst, mint szennyező alacsonyabb koncentráció-

⁶¹ Az XRF-vizsgálatokat Török Béla archeometallurgus, a Miskolci Egyetem docense, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem tudományos főmunkatársa végezte el Bruker Tracer 5 hordozható röntgenfluoreszcens elemzővel. A bemutatott tárgyak összetételére vonatkozó információk, következtetések tőle származnak, amelyekért ezúton is köszönetemet fejezem ki.

⁶² BARNET–DANDRIDGE 2006, 52.

ban volt mérhető, viszont 0,3–0,5% közötti értékekben cink is detektálható volt (6. ábra/1.). A javítások esetében nem sikerült forrasanyagot kimutatni, ez az elnagyolt illesztések miatt a forrasztásnál a tárgy belsejébe is szívódhatott. Az aquamanile viaszvezejtéses öntéssel készült, erre többek között az a két bronzból készült szeg is egyértelműen utal, amelyek egykor a viaszmodellt rögzítették a belső agyagmaghoz és a külső köpenyhez (5. ábra/4.). A viaszmodell megformálásához használt méhviasz tulajdonságainak befolyásolása a korábban említett módszerekkel fontos tényező volt, a könnyebben faragható, keményebb viasz alkalmazása a modell minél precízebb kialakítása miatt volt lényeges. Az esztergomi aquamanile igen kis méretű, díszítetlen darab. Az öntvényhez eredetileg tartozó beömlő- vagy hűtő funkciót ellátó, a tárgy közepén elhelyezkedő 5,7 mm átmérőjű bronz rúd felső részén, az öntvény felszínén megfigyelhető rés minden bizonnyal az öntésnél keletkezett, nem utólagos sérülés (6. ábra/2.). Ebből kifolyólag a tárgy valószínűleg már eredetileg sem volt alkalmas folyadék tárolására. Emellett jóval kisebb az aquamanilékre általánosan jellemző méretekhez képest, így lehetséges, hogy elsődleges rendeltetése szerint egy öntéshez készített próbadarab volt, de folyadék tárolására eredeti formájában sem volt alkalmas. Formai sajátosságait tekintve leginkább a Magdeburgban készült darabokhoz hasonlít, legközelebbi párhuzamai alapján a 12. századra keltezhető (6. ábra/3.).⁶³

A csuklós karú mérleg

A leletanyag másik lényeges darabja egy csuklós karú mérleg, amelynek használata elterjedt volt a korszakban, az esztergomi ötvösműhely eszköztárának is az egyik alapvető darabja lehetett (7. ábra/1.).⁶⁴ Az anyagösszetételi vizsgálat eredménye szerint a serpenyők és a kar anyaga jól elkülönül egymástól. A serpenyők anyaga úgynevezett *gunmetal*, ez kis százalékban tartalmaz ónt, ólmot és cinket, amelyek az alapanyagot öntésre és képlékenyala-

⁶³ FALKE 1935, 57–65; MENDE 2020, 232.

⁶⁴ STEUER 1997, 21–44; ROSTA 2017, 126–128.

kításra egyaránt alkalmassá teszik. A gunmetal alapvetően hulladék és törmelék fémek keveréséből származott, gyakorlatilag újrafelhasználással kialakult réz-ón-cink-ólmot ötvözet, amelyet szükség esetén, a célnak megfelelően további fémek friss hozzáadásával ötvöztek.⁶⁵ A két serpenyő anyaga között némi eltérés volt megfigyelhető a vas- és ólomtartalmat illetően, ellentétes előjellel, ugyanakkor az ón- és cinktartalmak értékei eltérő mértékű szórást mutattak az egyes serpenyőknél. A kar anyaga magasabb keménységű, ezáltal kopásállóbb réz alapú ötvözetnek bizonyult, amely stabilabbá és ellenállóbbá tette a precíz mérések elvégzéséért felelős alkatrészt. A kar esetében alkalmazott pontos készítméstechnikai eljárásokat roncsolással járó anyagszerkezet-vizsgálattal lehetne megállapítani, az optikai mikroszkópos vizsgálat alapján csak a felületet reszeléssel és csiszolással történt kidolgozása látható (7. ábra/3.).⁶⁶ A kar egyik végén látható mélyedés öntési hiba is lehet, de ennek pontos megállapítása csak az említett metallográfiai módszerekkel lehetséges (7. ábra/2). A kar formai kialakításával megegyező két párhuzam ismert az esztergomi Balassa Bálint Múzeumból (7. ábra/4.).⁶⁷ A mérleg serpenyői az azok külső és belső oldalán megfigyelhető párhuzamos vonalak alapján fémmnyomással készültek, amely egy, az ókor óta ismert sorozatgyártási eljárás (8. ábra/1–2.). Eszközei az eszterga elven működő nyomópad és a különböző profilú nyomóvasak.⁶⁸ A fentiek alapján az esztergomi mérleg is a sorozatgyártást alkalmazó műhelyek egyikéből került ki, melyek pontos lokációja kérdéses.⁶⁹ A mérleg a Heiko Steuer által felállított tipológiai besorolás 8-as típusába tartozik, melyben lánccal és zsineggel a karhoz csatlakoztatott serpenyők egyaránt előfordulhatnak (8. ábra/3.).⁷⁰ Ebben az esetben a kar két végéhez

⁶⁵ TÖRÖK–GIUMLIA–MAIR 2022, 165.

⁶⁶ Csak a serpenyők esetében alkalmazott sorozatgyártási technika alapján valószínűsíthető, hogy a mérleg karja is elsődlegesen öntéssel készíthetett.

⁶⁷ A leletek rendelkezésemre bocsátásáért köszönet Kocsis Anitának.

⁶⁸ WONG ET AL 2003, 1419; ZOLTÁN 2019, 48.

⁶⁹ MÉRI 1954, 108–109; ROSTA 2017, 140.

⁷⁰ STEUER 1997, 277.

a serpenyők valószínűleg szerves anyagból készült zsineggel voltak csatlakoztatva, mivel a mérleghez tartozóan a kar két végében lévő furatokba oxidálódott láncszemekon kívül a felerősítést szolgáló lánc nem került elő. A mérlegek ezen típusa Magyarországon a 13. század első feléig keltezhető biztosan, így ez is alátámasztja, hogy az esztergomi műhely a tatárjárás pusztításának áldozata volt.⁷¹

Összegzés

A cikkben bemutatott adatok alapján elmondható, hogy a középkor általános fejlettségi szintjét tükröző bronzműves műhelyek a Magyar Királyság területén is működhettek a régészeti leletek és jelenségek alapján.⁷² A nyersanyag pontos lelőhelyeit illetően a 13–14. századtól tartalmaznak az írott források részletesebb adatokat, azonban a Kárpát-medence ércben gazdag lelőhelyei alapján jelentős rézbányászat lehetett a korábbi évszázadokban egyaránt. A rézkohászatot és az ötvözüestechnikát illetően elsősorban az írott források és a korszakban közel álló, Európa más országainak területén előkerült iparrégészeti leletanyag, illetve az anyagösszetételi vizsgálatok jelenthetnek támpontokat. A korszakban alkalmazott különböző bronzmegmunkálási technológiák kimutatására a roncsolásmentes anyagösszetételi vizsgálatok is nyújtanak olyan adatokat, melyekkel jelentős részben megismerhetőek a tárgyak ötvözüestechológiai eljárásai és készitéstechnikai módszerei. A bemutatott tárgyak esetében nem mondható el biztosan, hogy hazai készitményekről, vagy importtárgyakról van-e szó, azonban készitésük módjának megismerésével is közelebb kerülhetünk ahhoz az iparműves környezethez, amely jórészt az antik előzményekkel rendelkező technológiai eljárásokat örökítette tovább és fejlesztette saját igényeinek megfelelően, így a bronzművesség terén megteremtve a középkori Európa anyagi kultúrájának egyik alapvető komponensét.

⁷¹ ROSTA 2017, 168.

⁷² KOVALOVSKI 1994, 441–456.

Bibliográfia

ASMUS 2009

Asmus, B.: A natural draught furnace for bronze casting. = *Metalurgy and Civilizations, Eurasia and Beyond Archetype*. Eds.: Mei, J. – Rehren, T. London 2009, 155–162.

BÁCSKAY 1988

Bácskay E.: Őskori és római kori ércbányászat a Szerb-érchegységben. = *Mérnökgeológiai Szemle* 37 (1988) 117–129.

BARKÓCZY ET AL 2012

Barkóczy P. – Bartha T. – Kovács Á. – Padányi J. – Török B.: Zrínyi-Újvár 1664. évi ostromából származó vas- és ólomlövedékek anyagszerkezeti vizsgálata. = *Hadtörténelmi Közlemények* 125/4. (2012) 1139–1148.

BARNET–DANDRIDGE 2006

Barnet, P. – Dandridge, P.: *Lions, Dragons and Other Beasts. Aquamanilia of the Middle Ages. Vessels for Church and Table*. London 2006.

BAYLEY–REHREN 2007

Bayley, J.–Rehren, T.: Towards a functional and typological classification of crucibles. = *Metals and Mines. Studies in Archaeometallurgy*. Eds.: La Niece, S. – Hook, D. – Craddock, P. London 2007, 46–55.

BAYLEY ET AL 2015

Bayley, J. – Dungworth, D. – Paynter, S.: *Archaeometallurgy. Guidelines for Best Practice*. Liverpool 2015.

BENKŐ – BARKÓCZY 2017

Benkő, E. – Barkóczy, P.: A könyv régészete. Középkori könyvveretek és -kapcsok a pilisi ciszterci kolostorból. = *Mesterségek és műhelyek a középkori és kora újkor Magyarországon: tanulmányok Holl Imre emlékére*. Szerk.: Benkő, E. – Kovács, Gy. – Orosz, K. Budapest 2017, 165–192.

BERGER ET AL 2020

Berger, D. – Ditmar-Trauth, G. – Wunderlich, C.-H.: *Der Magdeburger Gießformenfund. Herausragendes Zeugnis handwerklicher Zinngießer aus einer mittelalterlichen Metropole*. Halle (Saale) 2020.

BIRON ET AL 1996

Biron, I. – Dandridge, P. – Wypyski, M. T.: Techniques and Materials in Limoges Enamels. = *Enamels of Limoges 1100–1350*. Ed.: O’Neill, J. P. New York 1996, 48–62.

- BLAIR–BLAIR 1991
Blair, C. – Blair, J.: *Copper Alloys*. = English Medieval Industries. Ed.: Blair, J. – Ramsay, N. London 1991, 81–116.
- BOURGARIT–BAUCHAU 2010
Bourgarit, D. – Bauchau, F.: The Ancient Brass Cementation Processes Revisited by Extensive Experimental Simulation. = *Journal of Minerals, Metals & Materials Society*, Vol. 62. No. 3 (2010) 27–33.
- BOURGARIT–THOMAS 2011
Bourgarit, D. – Thomas, N.: From laboratory to field experiments: shared experience in brass cementation. = *Historical Metallurgy* 45/1 (2011) 8–16.
- BOURGARIT–THOMAS 2012
Bourgarit, D. – Thomas, N.: Late medieval copper alloying practices: a view from a Parisian workshop of the 14th century AD. = *Journal of Archaeological Science* 39 (2012), 3052–3070.
- BREPOHL 1984
Brepohl, E.: *Iparművészeti zománctechnika*. Ford.: Oberfrank Ferenc. Budapest 1984.
- COMBER 1997
Comber, M.: Lagore Crannóg and non-ferrous metalworking in early historic Ireland. = *The Journal of Irish Archaeology* 8 (1997) 101–114.
- CRADDOCK 2018
Craddock, P. T.: Brass, Zinc and the Beginnings of Chemical Industry. = *Indian Journal of History of Science* 53/2 (2018) 148–181.
- CRAMP–DANIELS 1987
Cramp, R. J. – Daniels, R.: New finds from the Anglo-Saxon monastery at Hartlepool, Cleveland. = *Antiquity*, Vol. 61. Issue 233 (1987), 424–432.
- DANDRIDGE 2008
Dandridge, P.: Gegossene Phantasien: mittelalterliche Aquamanilien und ihre Herstellung. = *Bild und Bestie. Hildesheimer Bronzen der Stauferzeit*. Ed.: Brandt, M. Hildesheim 2008, 77–102.
- DICKINSON 1994
Dickinson, O.: *The Aegean Bronze Age*. Cambridge 1994.
- ENGELS–WÜBBENHORST 2007
Engels, G.–Wübbenhorst, H.: *5000 Jahren Giessen von Metallen*. Düsseldorf 2007.
- FALKE–MEYER 1935
Falke, O. von – Meyer, E.: *Romanische Leuchter und Gefässe: Giesgefässe der Gotik*. Berlin 1935.

FETTICH 1968

Fettich, N.: Ötvösmester hagyatéka Esztergomban a tatárjárás korából. = *A Komárom Megyei Múzeumok Közleményei* 1 (1968) 157–196.

GIUMLIA-MAIR 2020

Giumlia-Mair, A.: Plating and Surface Treatments on Ancient Metalwork. = *Advances in Archaeomaterials* 1 (2020) 1–26.

GRÓH 1993

Gróh D.: Néprajzi adalékok Visegrád-Lepence lelőhely Árpád-kori ötvösműhelyéhez. = *A Herman Ottó Múzeum Évkönyve* 30–31/2. (1993) 535–541.

GYÖNGYÖSI ET AL 2023

Gyöngyösi, Sz. – Szabó, G. – Barkóczy, P. – Cseh, J.: Metallographic Investigation of the Bronze Sword from Vértesszőlős. = *Metallography Microstructure and Analysis* 12 (2023) 171–186.

HORVÁTH ET AL 2020

Horváth, T. – Cseh, J. – Barkóczy, P. – Juhász, L. – Gulyás, S. – Bernert, Zs. – Buzár, Á.: A double burial of the Baden culture from Tatabánya–Delphi (northern Transdanubia, Hungary): A case study of the Dentalium beads of the Baden culture and their interpretation. = *Quaternary International* 539 (2020) 78–91.

HUGHES 1993

Hughes, R.: Artificial Patination. In: *Metal Plating and Patination*. Eds.: La Niece, S. – Craddock, P. Kent 1993, 1–18.

KLAPPAUF ET AL 2008

Klappauf, L. – Bartels, C. – Linke, F.-A. – Asmus, B.: Das Montanwesen am Rammelsberg und im Westharz. = *Bild und Bestie. Hildesheimer Bronzen der Stauferzeit*. Ed.: Brandt, M. Hildesheim 2008, 65–76.

KOVALOVSZKI 1993

Kovalovszki J.: Árpád-kori bronzöntő műhely Feldebrőn. = *Tanulmányok Entz Géza nyolcvanadik születésnapjára*. Szerk.: Valter I. Budapest 1993, 87–98.

KOVALOVSZKI 1994

Kovalovszki J.: Árpád-kori bronzolvasztó kemence Visegrádon. = *A kőkortól a középkorig. Tanulmányok Trogmayer Ottó 60. születésnapjára*. Szerk.: Lőrinczy G. Szeged 1994, 439–454.

KRABATH 2002

Krabath, S.: Die mittelalterlichen Buntmetallschmelzöfen in Europa: Vergleichende Studien aufgrund archäologischer schriftlicher und

ikonographischer Quellen. = *Mittelalterliche Öfen und Feuerungsanlagen: Beiträge des 3. Kolloquiums des Arbeitskreises zur Archäologischer Erforschung des mittelalterlichen Handwerks*. Hrsg.: Röber, R. Stuttgart 2002.

KUTZ 2015

Kutz, M.(ed.): *Mechanical Engineers' Handbook*. New Jersey 2015.

LA NIECE 1983

La Niece, S.: Niello: An Historical and Technical Survey. = *The Antiquaries Journal Volume 63, Part 2* (1983) 279– 297.

LOVAG 1979

Lovag Zs.: *A középkori bronzművesség*. Budapest 1979.

MAGNI 1890

Magni, B. Alberti: *Opera Omnia*. Ed.: Borgnet, A. – Quéatif, J. Párizs 1890.

MENDE 2020

Mende, U.: *Gusswerke*. Regensburg 2020.

MÉRI 1954

Méri I.: Árpád-kori pénzváltó mérleg. = *Folia Archaeologica 4* (1954) 106 – 114.

REHREN 1996

Rehren, T.: A Roman zinc tablet from Bern, Switzerland: Reconstruction of the manufacture. = *Archaeometry 1994. Ankara: Symposium on Archaeometry*. Eds.: Demirci, S. – Özer, A. M.–Summers, G. D. Ankara 1996, 35–45.

REHREN–MARTINÓN-TORRES 2008

Rehren, T. – Martinón-Torres, M.: Naturam Ars Imitata. European Brassmaking Between Craft and Science. = *Archaeology, History and Science: Integrating Approaches to Ancient Materials*. Walnut Creek 2008, 167–188.

ROSTA 2017

Rosta Sz.: Árpád-kori kézi mérlegek Pétermonostorán. In: *Hatalom, adó, jog. Gazdaságtörténeti tanulmányok a magyar középkorból*. Szerk.: Kádas L. – Weisz, B. Budapest 2017, 125 – 153.

SAUSSUS 2019

Saussus, L.: X. La production. = *Un atelier d'orfèvre autour de l'an mil. Travail du cuivre, de l'argent et du fer à Oostvleteren (Flandre occidentale, Belgique)*. Eds.: Saussus, L.–Thomas, N. Louvain 2019, 144–181.

SCHADT 1996

Schadt, H.: *Goldsmith's Art*. Stuttgart 1996.

SCREEN 2021

Screen, E.: Coins as an indicator of communications between the British Isles and Scandinavia in the Viking Age. = *Viking Age Trade. Silver, Slaves and Gotland*. Eds: Gruszczyński, J. – Jankowiak, M. – Shepherd, J. Abingdon 2021, 377–395.

SHEEHAN 2014

Sheehan, J.: Silver. In: *Woodstown. A Viking-Age settlement in Co. Waterford*. Eds.: Russel, I. – Hurley, M. F. Dublin 2014, 194–221.

SÖDERBERG 2008

Söderberg, A.: Metall- och glashatverken. In: *På väg mot Paradiset. Arkeologisk undersökning i kvarteret Humlegården 3 i Sigtuna 2006*. Red.: Wikström, A. Sundbyberg 2008.

SPEER 2014.

Speer, A.(hrsg.): *Zwischen Kunsthandwerk und Kunst. Die 'Schedula diversarum artium'*. Berlin-Boston 2014.

STEUER 1997

Steuer, H.: *Waagen und Gewichte aus dem mittelalterlichen Schleswig*. Köln 1997.

SZENDE 2014

Szende L.: Bencés kolostorok kézművészége az Árpád-kori Magyarországon. In: *Arcana tabularii. Tanulmányok Solymosi László tiszteletére. Szerk.: Bárány A. – Dreska G. – Szovák K.* Budapest-Deb-recen 2014, 887–898.

SZENTPÉTERI – TÖRÖK 2022

Szentpéteri J. – Török B.: A solti Tételhegy szórvány leleteinek skandináv és balti kapcsolatai (régészeti és archeometriai adatok). = *Archeologia Cumanica* 5 (2022) 139–174.

THEOPHILUS 1986

Theophilus presbyter: *A különféle művészégekről*. Ford.: Takács Vilmos. Budapest 1986.

TÖRÖK 2013

Török B.: *Archeometallurgia*. Miskolci Egyetem. Miskolc 2013.

TÖRÖK ET AL 2013

Török B. – Barkóczy P. – Kovács Á. – Ferenczi T – P. Fischl K.: Examination of surface layer of Bronze Pick of Hajdúsámson type. = *Surface Engineering* 29/2 (2013) 164–168.

TÖRÖK ET AL 2017

Török, B. – Barkóczy, P. – Kovács, Á. – Major, B. – Vágner, Zs.: Arrowheads and chainmail fragments from the Crusader Al-Marqab Citadel (Syria): First archeometallurgical approach. = *Materials and Manufacturing Processes* 32/7–8 (2017) 916–925.

TÖRÖK ET AL 2019

Török B. – Barkóczy P. – Kovács Á.: Microstructure analysis of metal artefacts from the Carpathian Basin – A brief methodology of the ARGUM’s metallographic practice; = Török, B. – Giumlia-Mair, A. – Riccardi, M. P. – Barkóczy, P. (eds.): *New results and analytical methods to characterize pre- and protohistoric metals and other inorganic materials*. UISPP Journal, Vol. 2, Special Issue 1 (2019) 33–45.

TÖRÖK – GIUMLIA-MAIR 2022

Török, B. - Giumlia-Mair, A.: Examination of Metal Finds from the 10th Century Cemetery of Kiskunfélegyháza (Hungary). = *Interdisciplinaria Archaeologica – Natural Sciences In Archaeology* XIII/2 (2022) 163–177.

TYLECOTE 2002

Tylecote, R. F.: *A History of Metallurgy*. London 2002.

UNTRACHT 1982

Untracht, O.: *Jewelry Concepts and Technology*. New York 1982.

VÁLYI 1997

Vályi K.: Árpád-kori harangöntő gödör és bronzolvasztó kemencék a szeri monostor udvarán. = *A Móra Ferenc Múzeum Évkönyve* 3 (1997) 381–414.

VARGA 2012

Varga M.: Előzetes jelentés a Visegrádon feltárt bronzöntő műhelyről. = *Archaeologia Altum Castrum Online* 2012, 1–11. <http://real.mtak.hu/134230/1/varga-m-visegradi-bronzonto-muhely-1.pdf>

VILEZ 2014

Vilez T. J.: *A bányászat és a bányavárosok joga az Árpád-korban. Szakdolgozat*. Miskolc 2014.

WEISZ 2008

Weisz B.: A nemesérc-bányászathoz kötődő privilégiumok az Árpád- és az Anjou-korban. = *Történelmi Szemle* 50 (2008) 141–161.

WEISZ 2013

Weisz B.: *A királyketteje és az ispán harmada. Vámok és vámszedés Magyarországon a középkor első felében*. Budapest 2013.

WEISZ 2015

Weisz B.: Az urbura. = *Bányászattörténeti Közlemények* 19 (2015) 3–23.

WILLIAMSON 2002

Williamson, P. (ed.): *The Medieval Treasury. The Art of the Middle Ages in the Victoria and Albert Museum*. London 2002.

WOLTERS 2008

Wolters, J.: Schriftquellen zum Wachsausschmelzverfahren. In: Bild und Bestie. Hildesheimer Bronzen der Stauferzeit. Hrsg.: Brandt, M. Hildesheim 2008, 42–64.

WONG ET AL 2003

Wong, C. C. – Dean, I. A. – Lin, J.: A review of spinning, shear forming and slow forming processes. = *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43 (2003) 1419-1435.

ZOLTÁN 2019

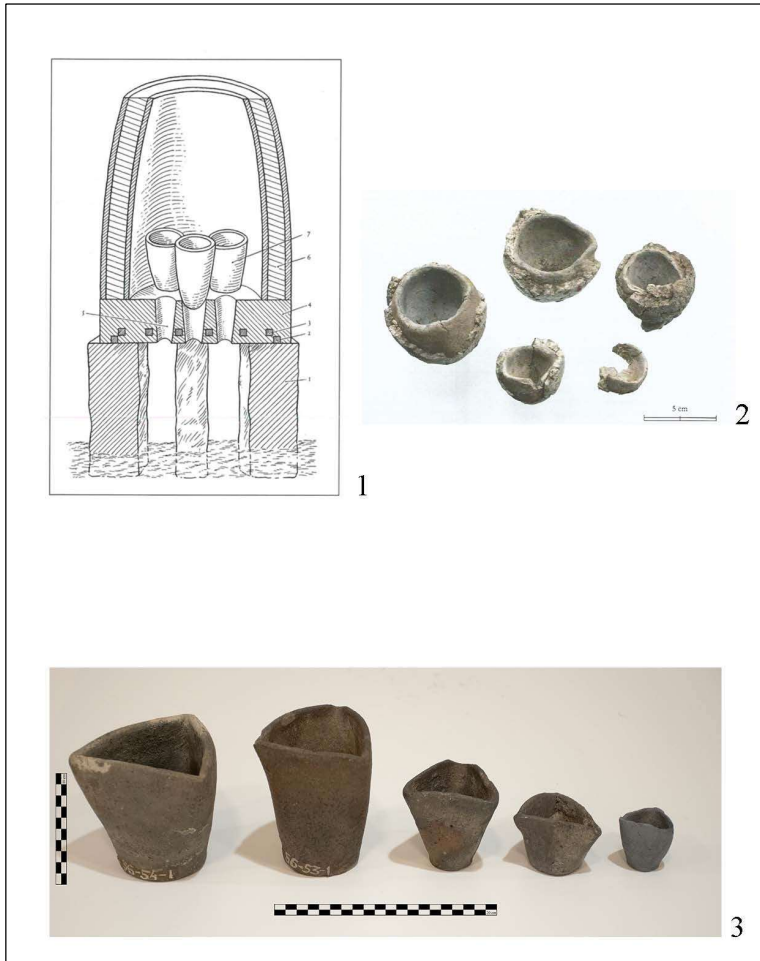
Zoltán T.: *Metálmorfózis. Régi ötvösszerszámok képeskönyve*. Budapest 2019.

ZORKÓCZY 1968

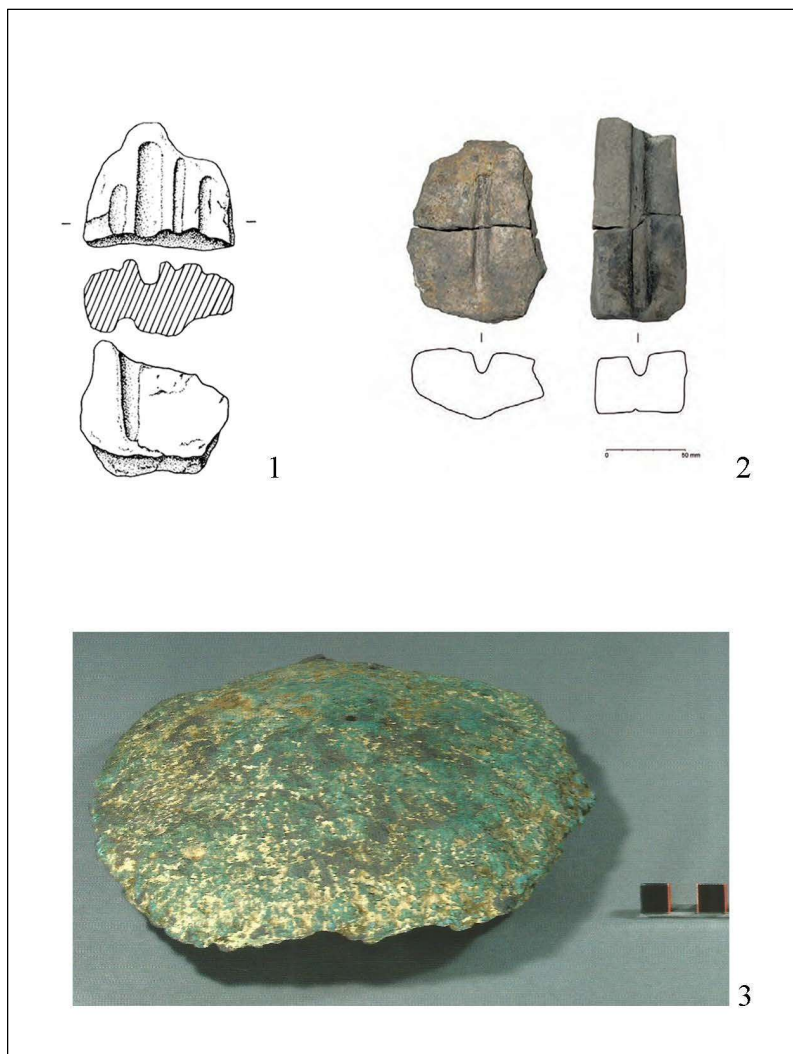
Dr. Zorkóczy B.: *Metallográfia és anyagvizsgálat*. Budapest 1968.



Képek



1. ábra: Theophilus presbyter leírása alapján rekonstruált olvasztókemence (1) (KRABATH 2002, 130) és olvasztótégelyek Oostvleteren 10–11. századi lelőhelyéről (2) (SAUSSUS 2019, 35), illetve 14–16. századra keltezett, korongolt, illetve kézzel készült, sík aljú olvasztótégelyek az esztergomi Balassa Bálint Múzeumból (3)



2. ábra: Alapanyag öntéséhez használt öntőformák Lagore (1) és Sigtuna (2) lelőhelyekről (COMBER 1997, 108; SÖDERBERG 2006, 102. alapján) és a kemence alján összegyűlt, kör alakú formában tárolt nyersanyag (*ingot*) (3) (KLAPPAUF ET AL 2008, 70)



1.1.



1.2.

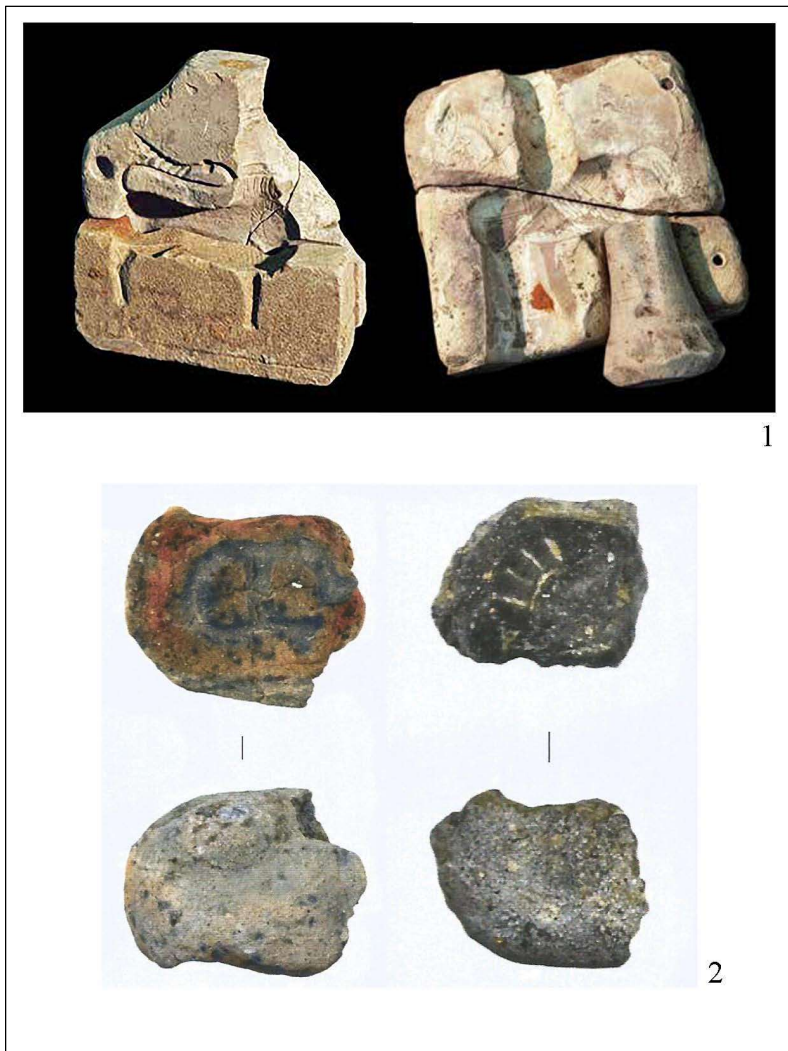


2

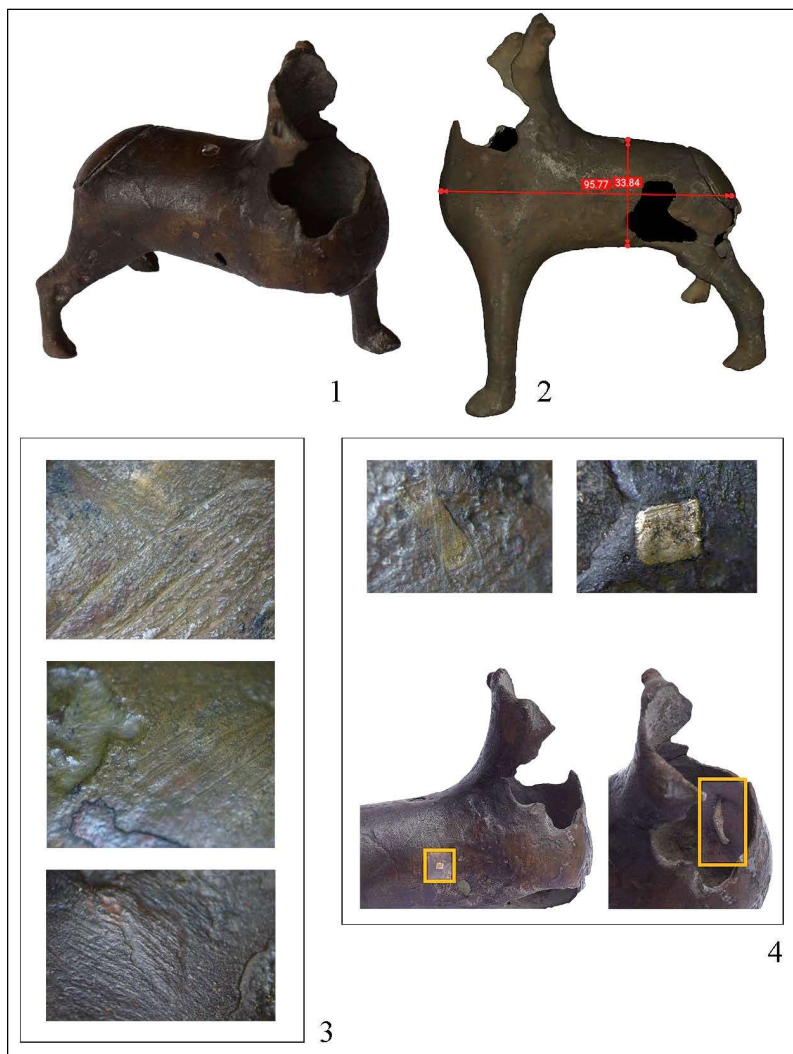


3

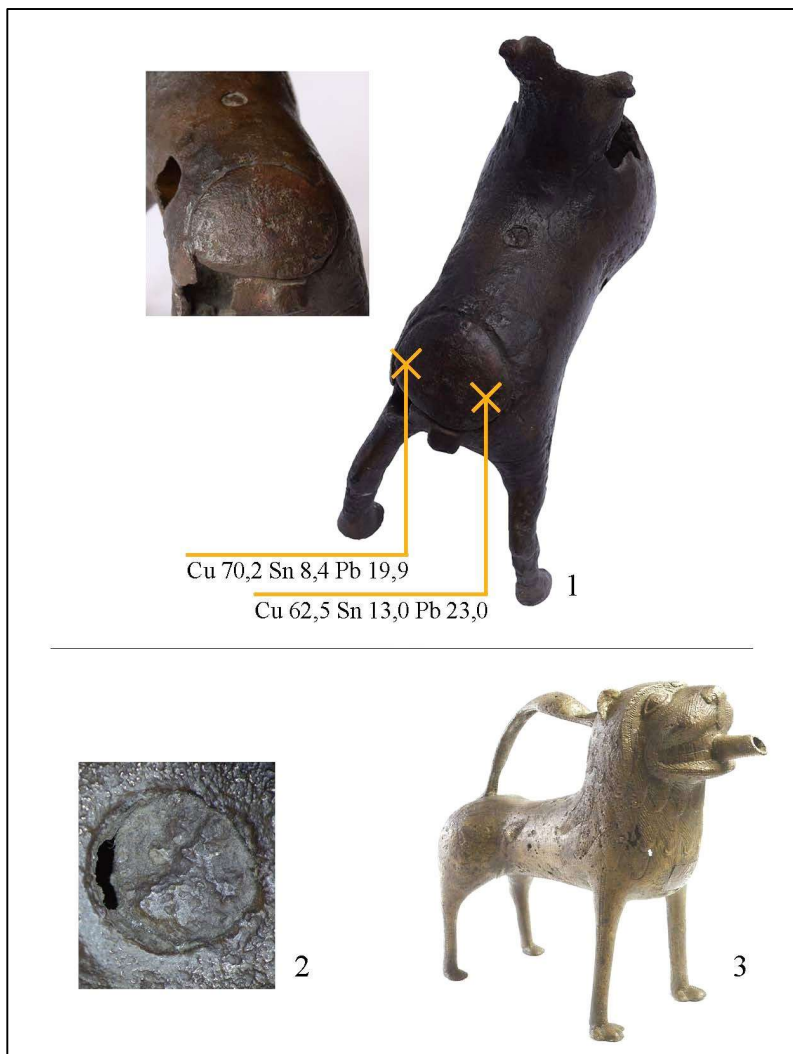
3. ábra: Az esztergomi aquamanilén (1.1.–1.2.) és aquamanile rekonstrukcióján (2) használt magtartó szegek, illetve a viaszmodell díszítése vésséssel (3) (1; 3: BARNET–DANDRIDGE 2006, DVD melléklet)



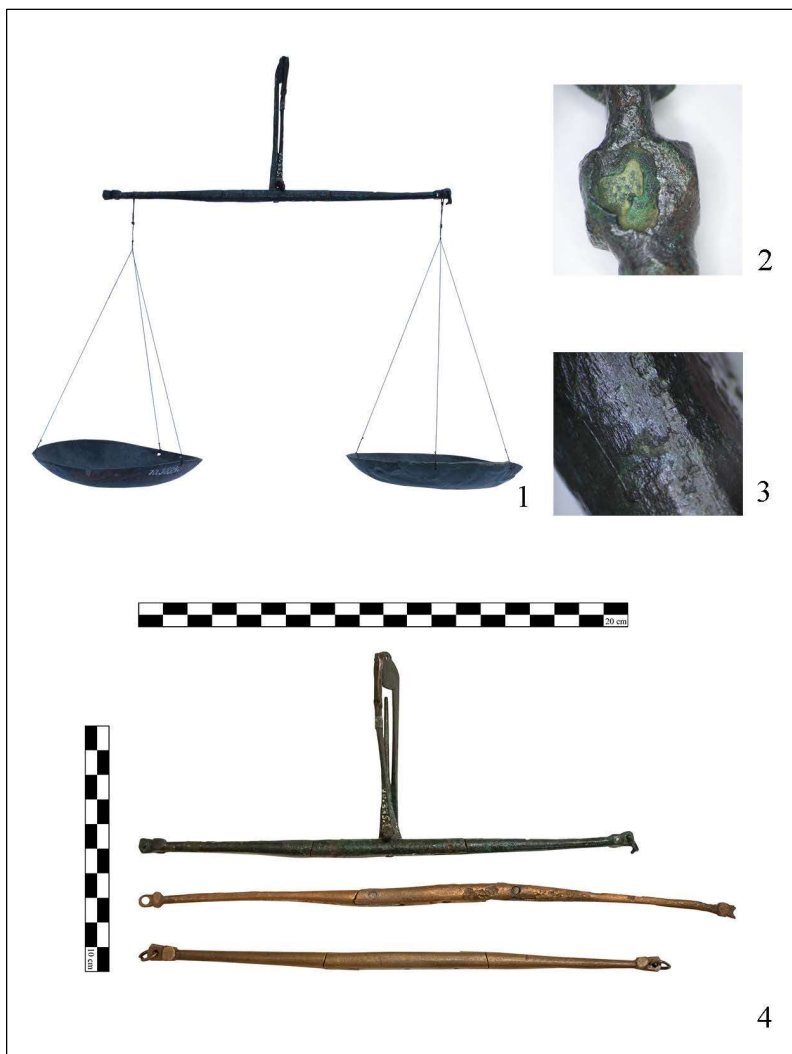
4. ábra: Kőből és agyagból készült öntőformák Magdeburg (1) és Oostvleteren (2) lelőhelyekről (BERGER 2020, 71; SAUSSUS 2019, 167. alapján)



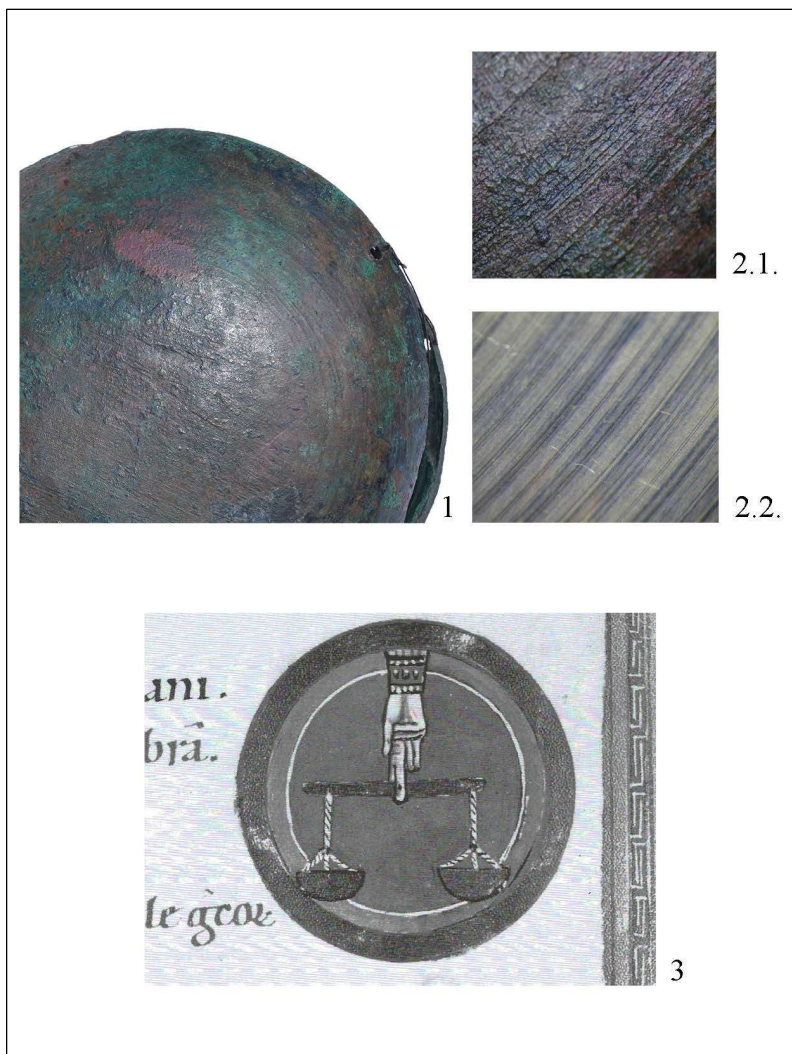
5. ábra: Az esztergomi aquamanile (1), a tárgy 3D térmodellje (2), öntési hibák és a kidolgozás nyomai a tárgy felületén (3) és a magtartó szegek (4)



6. ábra: Az aquamanilén elvégzett legnagyobb javítás (1), az öntésnél keletkezett rés a tárgy felső részén (2) és a tárgy egyik közeli 12. századi párhuzama Magdeburgból (3) (MENDE 2020, 232. alapján)



7. ábra: Az Esztergom-Kossuth Lajos utca 27. szám alatt előkerült mérleg (1), a kar egyik végén látható lehetséges öntési hiba (2), a kar kidolgozásának nyomai (3) és két párhuzama az esztergomi Balassa Bálint Múzeumból (4)



8. ábra: A mérleg fémnyomással készült serpenyői (1), fémnyomás megfigyelt nyoma a mérleg egyik serpenyőjén és annak utángyártott másolatán (2.1.–2.2.), és zsineggel a karhoz rögzített serpenyők (3) (Steuer 1997, 27. alapján)