KILENCVENHETEDIK KÖTET 2024 4. FÜZET

TURUL

A Magyar Heraldikai és Genealógiai Társaság Közlönye

A KÖZGYŰLÉS MEGBÍZÁSÁBÓL SZERKESZTI

Rácz György főszerkesztő

Avar Anton, Kovács Eleonóra, Körmendi Tamás,
Laczlavik György, Neumann Tibor, Soós István

BUDAPEST
KIADJA A MAGYAR HERALDIKAI ÉS GENEALÓGIAI TÁRSASÁG
MMXXIV

TARTALOM

Beköszöntő: Aranybulla 800
Rácz György – Szabó Csaba: A magyarországi aranybullák archeometriai vizsgálata 169

1. Értekezések
Orosz Péter: A magyarországi aranypecsétek készítéstechnikai vizsgálata 173

2. Kisebb cikkek
Csobay-Novák Csaba: Radiológiai szakvélemény az Országos Levéltár aranypecsétjeiről 206
Mozgai Viktória – Bajnóczi Bernadett: Magyarországi gyűjteményekben őrzött aranybullák roncsolásmentes kézi XRF vizsgálatának eredménye 210
Kertész Zsófia – Angyal Anikó – Dönczö Boglárka – Furu Enikő – Papp Enikő – Szikszai Zita: Aranybullák anyagösszetétel vizsgálata röntgenfluoreszcencia (XRF) módszerrel. Kutatási jelentés 217
Kozma István: Vizsgálati jegyzőkönyv 229

TURUL
XCVII. évfolyam
2024. évi 4. füzet
A Turul folyóirat alapítója a Magyar Heraldikai
és Genealógiai Társaság. Alapítva 1883. évben.

Kiadja a Magyar Heraldikai és Genealógiai Társaság
(székhely: H–1088. Budapest, Múzeum körút 6–8., 1. em. 156.)

Felelős kiadó: dr. Pandula Attila Rudolf (MHGT, elnök)

Felelős szerkesztő: dr. Rácz György (főszerkesztő)
Szerkesztőség: Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára
Postacím: H–1014 Budapest, Bécsi kapu tér 2–4., II. em. 56.
E-mail cím: turul@mnl.gov.hu

Tördelés: Máté István
Nyomdai munkák:
Kódex Könyvgyártó Kft.
Felelős vezető: Marosi Attila
ISSN 1216–7258

A megjelenést támogatta:

mnl
Országos Levéltára

Nemzeti Kulturális Alap

Rácz György – Szabó Csaba

A magyarországi aranybullák archeometriai vizsgálata

Magyarország 2022-ben ünnepelte a II. András király (1205–1235) által 1222-ben kiadott Aranybulla kibocsátásának 800. évfordulóját. Tudományos konferenciák, kiállítások, megemlékezések és sajtómegjelenések sora adta tanúbizonyságát az esztendő során annak, hogy az ünnepelt dokumentum iránt széles körű a közérdeklődés a magyar társadalomban: közös múltunk olyan emlékét látjuk benne, amely része nemzeti összetartozásról kialakított elképzeléseinknek. Az emlékév kiemelkedő tudományos eredménye volt az *Andreae II regis Hungariae decretum anni 1222 bulla aurea roboratum: Tanulmányok az Aranybulla kibocsátásának 800. évfordulójára* című díszes kiadványunk, amely az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat támogatásával a BTK Moravcsik Gyula Intézet és az Aranybulla másolatait őrző, 2023-ban 300 éves múltját ünneplő Magyar Nemzeti Levéltár összefogásával valósult meg.[1] A Pytheas Könyvmanufaktúra gondos munkájának köszönhetően a díszdobozba bekerültek az Aranybulla középkori szövegemlékeinek hasonmásai, valamint pecsétjeik nemesmásolatai – ez utóbbiak a sárgaréz fémbulla kivételével természetes méhviaszból készültek. Ezekhez járult a doboz alsó rekeszében egy tanulmánykötet, amelyben a nevezetes oklevélnek és társdokumentumainak a latin nyelvű kritikai kiadásán és ezek korszerű magyar nyelvű fordításain kívül tudományos tanulmányokat talál az olvasó, amelyek széles szempontrendszer alapján elemzik az 1222. évi királyi dekrétummal kapcsolatos történelmi kérdéseket, és amelyeket a korszak hazai szakértői írtak. A kötet végén található képblokk a hasonmásokkal összhangban betekintést enged a korszak képi világába.

Az aranypecsét másolatának tervezése közben vetődött fel, hogy milyen módon készítették az aranypecséteket, tömör aranyból vagy vékony lemezekből illesztették össze. A kötet és a díszdoboz megjelentetése után jutott csak idő arra, hogy az eddig soha nem vizsgált magyarországi aranypecséteket szerkezeti, anyagtani és egyéb fizikai tulajdonságaik alapján vizsgálat tárgyává tegyük. Világszerte, így hazánkban is, egyre nagyobb igény mutatkozik a kulturális örökség tárgyi emlékeinek természettudományos, méréseken alapuló archeometriai vizsgálatára. Sok esetben olyan leletek vagy tárgyak vizsgálatáról van szó, amelyek egyediek, nagy értékűek, ezért kiemelkedő szerep jut a roncsolásmentes elemzési módszereknek. A királyi kancelláriában készített aranypecsétek ilyen különösen értékes kincseknek tekinthetők.

2022 után 2024 is aranypecsétes emlékév, hiszen II. Andrásnak az az aranypecsétje, amely az 1222. évi Aranybullán is függhetett, három példányban maradt korunkra: egy 1221-es, egy 1233-as és egy 1224. évi oklevélen. Ez utóbbi a Kállay család levéltárában maradt fönn és kibocsátásának 800 éves emlékére konferenciát szerveztünk a Kállay családdal közösen 2024. május 7-én.[2] Az archeometriai vizsgálatok eredményei tehát 2024-ben ugyancsak egy 800 éves évfordulón látnak napvilágot.

A Mohács előtti Magyarországról tizenegy darab aranyból készült királyi pecsétet őriznek a magyarországi gyűjtemények, a Vatikáni Apostoli Levéltárban pedig nyolc IV. Béla aranypecsét maradt fenn. A Magyarországon lévők közül hét pecsét a Magyar Nemzeti Levéltár (MNL) őrizetében (hat az Országos Levéltár, egy Győr-Moson-Sopron Vármegye Soproni Levéltárában), kettő-kettő az esztergomi Prímási Levéltárban, illetve a Magyar Nemzeti Múzeumban található. Az MNL együttműködést kezdeményezett a társintézményekkel, hogy a tizenegy magyarországi középkori aranypecsétet teljeskörűen egységes szempontok és műszerek segítségével lehessen átvizsgálni. Ez utóbbi szempont sajnos nem valósult meg, különböző okok miatt egyes darabok kimaradtak bizonyos vizsgálatokból. Végül az Országos Levéltár két újkori (I. Lipót és Mária Terézia) aranypecsétjét is bevontuk a vizsgálati körbe, hogy látható legyen a hasonlóság vagy különbség a középkori és az újkori pecsétkészítési technikák között. A fizikai tulajdonságok meghatározása és kiértékelése tekintetében különösen a debreceni ATOMKI Örökségtudományi Laboratórium és a budapesti Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézetével való együttműködés bizonyult sikeresnek, hiszen nagy tapasztalattal rendelkeznek a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerekről. A roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek a tárgyak anyagának vizsgálatára (kémiai összetétel, készítés-technológia, ötvöző anyagok, aranyozás módja, rögzítési technikák, forrasztóanyag típusa, felhasznált nyersanyag származásának pontosabb behatárolása) terjednek ki. Az anyagvizsgálatot mikroszkopikus szinten is lehetővé tevő különböző eszközök révén széles mérettartományban kaptunk információt a tárgyak szerkezetéről és anyagi összetételéről. Az

1 Szerk. Mayer Gyula, Szovák Kornél és Rácz György. A szerkesztésben közreműködött Kovács Viktória. Budapest, 2022.

2 https://mnl.gov.hu/mnl/ol/hirek/sokat_adott_a_hazaszereto_kallay_csalad_a_magyar_nemzetnek

aranypecsétek komplex kutatása felölelte a pecsétlenyomatok kezelését, elemzését, konzerválását, interpretációját és dokumentálását. Magyarországon – többek között – az említett két tudományos intézet foglalkozik az örökségtudomány ezen területével. A két intézmény munkatársai – Szikszai Zita és Bajnóczi Bernadett – kulcsszerepet játszottak abban, hogy sikerült összeállítani egy projekttervet, amely az elvégzendő vizsgálatok sorrendjét is meghatározta. A Szikszai Zita vezette debreceni laboratórium abban is a segítségünkre volt, hogy nagyfelbontású mikroszkópos vizsgálatokat végeztek 3D digitális mikroszkóppal, és ezek a felvételek nagymértékben segítettek az aranylemezek kialakításának, megmunkálásának, összeillesztésének, rögzítésének rekonstruálásában, a készítési nyomok (pl. szerszámnyomok) feltárásában.

Ugyanakkor az anyagvizsgálat és képalkotás mellett már kezdettől fogva szóba kerültek az orvostudományban már széleskörűen alkalmazott vizsgálati eljárások is, tekintettel arra a tényre, hogy az aranypecsétek többségének szerkezete üreges és némelyiken akkora rés (5-8 mm) található sérülés következtében, amin egy orvosi endoszkópot biztosan be lehet juttatni a pecsét belsejébe. Itt külön ki kell emelnünk a dr. Genersich Antal Alapítvánnyal való szoros együttműködést, amelynek titkára, Dr. Tankó Attila, a Semmelweis Egyetem nyugalmazott magántanára nagy lelkesedéssel vetette bele magát a szervezésbe. Neki köszönhetően sikerült megszerezni Dr. Merkely Béla egyetemi tanárnak, a Semmelweis Egyetem rektorának a támogatását az aranybullák orvosi képalkotó vizsgálatokkal kapcsolatos kutatásához. Így sikerült megszervezni a sérült aranybullák endoszkópos vizsgálatát, amit elsősorban Dr. Szendrői Attilának köszönünk a Semmelweis Egyetem Urológiai Klinikájáról. De Tankó tanár úr közvetítésével jutottak el az aranypecsétek a Semmelweis Egyetem Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinikára is, ahol Dr. Entz László emeritus professzor vezetésével CT-vizsgálatot is végeztünk az Országos Levéltár összesen hét aranypecsétjén. A vizsgálatok eredményét Dr. Csobay-Novák Csaba egyetemi adjunktus (Radiológiai Diagnosztikai Osztály) radiológiai szakvéleményben összegezte.[3]

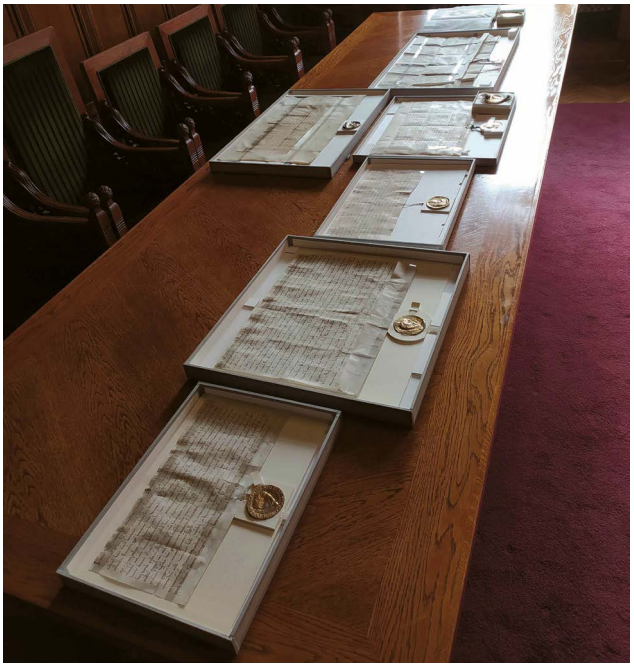
Az anyagösszetételi, valamint az endoszkópos vizsgálatok mellett a projekttervben hangsúlyosan szerepelt a pecsétek belső szerkezetének megismerése, a pecsétek „átvilágítása". Az aranylemezek közti üreg kialakításának, a merevítő szerkezet jellegének és az üregben esetlegesen fellelhető kitöltő anyagnak a meghatározása a bullák „átvilágítása" röntgensugárzást használó komputertomográf (CT) és röntgenradiográfiás módszerrel ugyanis azzal az eredménnyel kecsegtetett, hogy ily módon sikerül majd a nem sérült pecsétek belsejét is megismerni. A városmajori első körös CT vizsgálatok után a szakemberek komolyabb gépeket ajánlottak, és így kerültünk kapcsolatba Dr. Majorosné Dr. Lublóy Éva egyetemi tanárral (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék) – megint csak Tankó tanár úr jóvoltából – aki a Széchenyi István Egyetem Anyagtudományi és Technológiai Tanszékének laboratoriumába irányított minket, ahol Dr. Zsoldos Ibolya és Dr. Hargitai Hajnalka professzorok irányításával, Dr. Kozma István laborvezető nagy teljesítményű CT-vizsgálatoknak vetette alá a Magyar Nemzeti Levéltár és a Magyar Nemzeti Múzeum aranypecsétjeit. A vizsgálatokról több sajtóhír is megjelent.[4]

A 2023 tavaszán kezdődő és az év végéig elhúzódó vizsgálatok értékelése további több hónapos munkát igényelt. A partner-intézményektől megkapott képek és mérési eredmények összegzését és az aranypecsétek készítéstechnikai vizsgálatának összefoglaló elemzését mindenképpen egy, az ötvösmesterségben járatos szakemberre szerettük volna bízni, így esett a választás a Néprajzi Múzeum és az Iparművészeti Múzeum szakemberére, Orosz Péter ötvös restaurátorra. Az elkészített dolgozatot Takács Imre művészettörténész segítette tökéletesíteni lektori véleményével. A vizsgálatok összességében azt az eredményt hozták, hogy a kétoldalas aranypecsétek préselt fémlemezek összeillesztésével készültek, belül általában üregesek. Nagy valószínűséggel a lemezek újrafelhasznált aranyötvözetből készültek, így kevés eredménnyel kecsegtet a korabeli bányászat révén kitermelt aranyérc esetleges azonosítása, az arany lehetséges forrásának behatárolása, az ólomizotóp-összetétel meghatározása és a potenciális ércelőhelyek ércanyagának hasonló kémiai adataival való összehasonlítása. Ezek a szempontok különösen Dr. Langó Péterrel történt konzultációnk során kerültek előtérbe. Tisztában vagyunk azzal, hogy a kutatás ilyen irányban tovább is folytatható volna, mindazonáltal az eddigi eredmények már most is meghaladták korábbi várakozásainkat, és ezért mindenképpen publikációra érdemesek.

Mostani különszámunk ennek az archeometriai vizsgálatnak az eredményéről számol be. Közöljük a két kutatóhely mérési eredményeit, az orvosi radiológiai vizsgálat eredményét és az ötvös restaurátor összefoglaló tanulmányát. Az aranypecsétek kiadási körülményeinek, az aranybullák tárgytörténetének bemutatása már szétfeszítette volna a folyóirat egy számának kereteit, ezért erre egy másik alkalommal kerítünk sort.

3 Dr. Merkely Béla rektor Dr. Entz Lászlót bízta meg azzal a feladattal, hogy a MNL és a Genersich Antal Alapítvány által közösen szervezett „Aranybulla-projekt" Semmelweis Egyetemet érintő részét felügyelje, illetve koordinálja. Sajnos az értékelést Entz László már nem érhette meg, 2023. május 6-án váratlanul elhunyt. Az aranybulla-projekt munkatársai a történelmi emlékeink, nemzeti múltunk iránt különösen fogékony és érzékeny „filoszt" ismertek meg személyében. Hálával és szeretettel emlékezünk rá.

4 Lezajlottak a magyarországi aranybullák természettudományos kutatásának első vizsgálatai, 2023. febr. 28. (https://www.magyarhirlap.hu/kronika/20230228-lezajlottak-a-magyarorszagi-aranybullak-termeszettudomanyos-kutatasanak-elso-vizsgalatai); Lezajlottak a magyarországi aranybullák természettudományos kutatásának első vizsgálatai, 2023. márc. 1. (https://kultura.hu/lezajlottak-a-magyarorszagi-aranybullak-termeszettudomanyos-kutatasanak-elso-vizsgalatai/); Az ország legjobb CT-berendezésével vizsgáltak meg tizenkét hazai aranybullát a Széchenyi-egyetemen, 2023. márc. 1. (https://uni-archiv.sze.hu/az-orszag-legjobb-ct-berendezesevel-vizsgaltak-meg-tizenket-hazai-aranybullat-a-szechenyi-egyetemen); Elkezdődött az aranybullák archeometriai vizsgálata, MNL honlap, 2023. márc. 2. (https://mnl.gov.hu/mnl/ol/hirek/elkezdodott_az_aranybullak_archeometriai_vizsgalata);); Goldbullen unter der Lupe, Budapester Zeitung, 5. März 2023. (https://www.budapester.hu/feuilleton/goldbullen-unter-der-lupe/); Magyar aranybullák górcső alatt - Az ország legjobb CT-berendezésével vizsgáltak meg 12 történelmi ereklyét a Széchenyi-egyetemen, Kisalföld, 2023. márc. 11. (https://www.kisalfold.hu/pr/2023/03/magyar-aranybullak-gorcso-alatt-az-orszag-legjobb-ct-berendezesevel-vizsgaltak-meg-12-tortenelmi-ereklyet-a-szechenyi-egyetemen Elveszett tudás nyomában a Semmelweis Egyetem és a levéltár kutatói, 2023. márc. 21. (https://semmelweis.hu/hirek/2023/03/21/elveszett-tudas-nyomaban-a-semmelweis-egyetem-es-a-leveltar-kutatoi);



1. kép – Az Országos Levéltár aranypecsétjei



2. kép – Endoszkópos vizsgálat 2023. február 2-án (Komáromy Balázs, Rácz György, Szabó Csaba, Szendrői Attila, Orosz Péter és Entz László)



3. kép – Endoszkópos vizsgálat 2023. február 2-án (Kovács Viktória, Tankó Attila, Rácz György, Szendrői Attila, Entz László és Orosz Péter)



4. kép – Endoszkópos vizsgálat (Tankó Attila és Szendrői Attila)



5. kép – Roncsolásmentes kémiai vizsgálat 2023. március 6-án (Bajnóczi Bernadett, Orosz Péter, Mozgai Viktória)



6. kép – Roncsolásmentes kémiai vizsgálat Debrecenben 2023. március 16-án



7. kép – CT vizsgálat Győrben 2023. február 22-én
(Rácz György, Kiss Etele, Zsoldos Ibolya, Kozma István,
Hargitai Hajnalka és Orosz Péter)



8. kép – Sajtótájékoztató az Országos Levéltárban
2023. február 28-án az archeometriai vizsgálatok megkezdéséről
(Bellavics István és Szabó Csaba)



9. kép – A sajtótájékoztató utáni pecsétbemutató 2023. február 28-án
(Rácz György, Langó Péter, Bajnóczi Bernadett,
Tomka Gábor, Kiss Etele, Zsoldos Ibolya, Jékely Zsombor)



10. kép – A sajtótájékoztató után Bajnóczi Bernadett
és Szikszai Zita 2023. február 28-án az Országos Levéltárban



11. kép – A sajtótájékoztató után Tankó Attila, Entz László
és Szabó Csaba 2023. február 28-án az Országos Levéltárban



12. kép – A soproni Mátyás-aranybulla

Orosz Péter

A magyarországi aranypecsétek készítéstechnikai vizsgálata

Analysis of the production techniques of gold seals in Hungary

The paper describes the probable manufacturing techniques of 11 medieval and two post-medieval gold seals preserved in Hungary and issued by Hungarian kings, based on material analysis, endoscopic, CT scanning and high-resolution 3D microscopic images. The main components of the hollow gold bullae are the obverse (depicting the monarch), the reverse (depicting the coat of arms), the cylindrical slit plate that forms the seal, and the sealing or suspension element, which were formed in various ways. The stability and physical strength of the seals, sometimes made of very thin plates, was sometimes ensured by internal metal stiffeners, and sometimes by casting wax into the inner cavity. In almost all cases, the separately prepared components were joined by brazing, using a gold alloy with a lower melting point and different ratios (usually much lower gold and higher copper content). In the case of the hollow gold bulls of the 12th and 13th centuries, we first encounter ‚V' shaped spring pins as a closure, which, in addition to covering the small opening for pouring the wax and fitting the suspension ring, also allowed the cords to be attached, in most cases in an insoluble manner.

Anyagvizsgálat

Annak érdekében, hogy a pecsétek pontos anyagösszetétele és az arany finomsága meghatározható legyen, roncsolásmentes vizsgálatot végeztünk kézi röntgenfluoreszcens spektrométer segítségével. Az analízis során a bulla több szerkezeti elemén legalább 2 ponton készült mérés. Az azonos alapfémek esetében a különböző pontokon mért 1 tömegszázalék alatti különbség az ötvözetek anyagának inhomogenitásából adódik. A mai modern ötvözési technikákkal is rendkívül nehéz homogén ötvözetet alkotni, mivel ennek eléréséhez, egyenletes hőközlésre és oxid/szulfidmentes tiszta nyersanyagokra van szükségünk. A középkori ötvösségben a hőközlés folyamatossága és a nyersanyagok teljes szinítése nem volt megoldható, ezért a kapott eredményekben olykor egy alapanyagszegmensben is több ezrelékes eltérést fedezhetünk fel. Azonban az ötvözőanyagok jelentős, több mint 20 tömegezrelékes eltérése esetén feltételezhetjük, hogy a teljes alapfém nem ugyanabból az öntésből származik. A pecsétek komponenseinek anyagösszetételbeli különbsége azonban abból is adódhat, hogy azok elkészítéséhez használt alapanyagok másodlagos felhasználásúak. Azaz például az előoldalhoz használt aranyötvözet egy aranypénzből származik, míg a hátoldalához vagy palástlemezéhez egy másik tárgyból nyerték az alapanyagot.

A bullák anyagvizsgálatát egyrészt Bajnóczi Bernadett és Mozgai Viktória végezte el (HUN-REN CSFK Földtani és Geokémiai Intézet) kézi XRF spektrométerrel (továbbiakban: hXRF) (Mozgai Viktória – Bajnóczi Bernadett: Magyarországi gyűjteményekben őrzött aranybullák roncsolásmentes kézi XRF vizsgálatának eredménye, lásd jelen folyóiratban), továbbá a 3D mikroszkópos felvételek elkészítése mellett a HUN-REN ATOMKI Örökségtudományi Laboratórium (HSLab) munkatársai is végeztek elemösszetétel vizsgálatot, Debrecenben (Kertész Zsófia et al.: Aranybullák anyagösszetétel vizsgálata röntgenfluoreszcencia [XRF] módszerrel, lásd jelen folyóiratban).

Az alkalmazott műszerparaméterek hXRF méréseknél:
SPECTRO xSORT Combi típusú spektrométer, 15–50 kV, 30–120 μA, Rh forrás, Peltier hűtésű SDD detektor, fémek-ötvözetek vizsgálatára alkalmas „Alloy Plus including Light Elements" gyárilag beépített kalibráció, 3 mm átmérőjű mérőablak, 60 másodperc mérési idő. Az hXRF mérési pontok helyeit a Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. tartalmazza. A kézi XRF mérések pontosságának ellenőrzése az MBH Analytical Ltd. ismert összetételű aranysztenderdjeinek mérésével történt.

A mikro-XRF mérések leírása:
Az aranybullák elemösszetételét ($Z \geq 19$) röntgenfluoreszcencia analízis (XRF) módszerrel határoztuk meg az ATOMKI Örökségtudományi Laboratóriumában rendelkezésre álló Bruker M4 Tornado mikro-XRF berendezés segítségével.

A mérések levegőn, atmoszféra nyomáson történtek. A gerjesztéshez Rh röntgencsövet használtunk, 50 kV feszültséggel és 400 mA árammal. A nyalábfolt mérete 25 mm volt. A mérésekhez 100 mm Al + 25 mm Ti filtert használtunk a röntgendiffrakció zavaró hatásának csökkentésére/megszüntetésére. A karakterisztikus röntgenspektrumot két detektorral (XFlash® SDD 30 mm^2 felület, Be ablak) gyűjtöttük párhuzamosan. Pont és multi-pont méréseket végeztünk a kiválasztott felületeken. Területenként 5-10 pont, pontonként 60 s mérési idővel.

Spektrumok kiértékelése: az elemösszetétel meghatározásra az alapvető paraméterek (fundamental parameter - FP) módszerét használtuk a Tornado 4 beépített szoftverének segítségével, referencia anyagokkal elvégzett típuskalibráció alapján.

A mérések minőségét hitelesített referenciaanyagokon, azonos paraméterek mellett végzett mérésekkel ellenőriztük. (Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m.)

A pecsétek szerkezeti felépítéséről és készítéstechnikai kialakításáról

A jelentős okleveleket már a 6. századtól ellátták fémpecsétekkel, melyek jóval tartósabbak voltak a viaszpecséteknél. Az első fémpecsétek ólomból készültek, amelyeket kétoldalasan, verőtőfogóval fixálták a zsinórra, kihasználva így az anyag kellő puhaságát, hidegen formálhatóságát. Az első nemesfémpecsétek is hasonló technikával kerültek a dokumentumra, annyi különbséggel, hogy a két előre díszített arany- vagy ezüstlapot a rögzítésre kerülő zsinór két oldalán viasszal tapasztották és préselték egymáshoz. Az első magyar vonatkozású, üreges szerkezetűen kialakított aranybullák a 12–13. századból maradtak fenn. Ezek belső szerkezete a különböző korszakokban és az egymást követő uralkodók ideje alatt számos változásokon ment keresztül, ahogy a zsinórok rögzítési megoldásai is.

Az üreges szerkezetű aranybullák főbb alkotórészei az előoldal (uralkodó ábrázolás), hátoldal (címer ábrázolás), a pecsétnek testet adó hengerpalást lemez, illetve a záróelem vagy függesztőelem, melyeket különböző módokon alakítottak ki. Az olykor rendkívül vékony lemezekből összeállított pecsétek stabilitását, fizikai ellenállóképességét egyes esetekben belső fém merevítő elemekkel biztosították, máskor pedig viasszal öntötték ki a belső üreget. A külön-külön elkészült összetevőket szinte minden esetben keményforrasztás útján illesztették össze, melyhez alacsonyabb olvadáspontú, más arányokkal rendelkező (legtöbbször jóval alacsonyabb arany- és magasabb réztartalmú) aranyötvözetet használtak. A 12–13. századi üreges szerkezetű aranybullák esetében találkozhatunk először a záróelemként alkalmazott 'V' alakú rugós stiftekkel, melyek a viasz beöntésére használt apró nyílás befedése és a függesztőkarika illesztése mellett, a legtöbbször a zsinórok oldhatatlan rögzítését is lehetővé tették.

A pontos szerkezeti elemzéshez a CT (Computed Tomography, komputertomográfia) vizsgálatok bizonyultak a leginkább megfelelőnek, ugyanis fémből készült műtárgyak esetében a megfelelő erősségű áthaladó röntgensugárzás detektálásával és elemzésével roncsolásmentesen alkothatunk képet a tárgyak belső felépítéséről. Az eddig felsorolt aranybullákról két CT felvétel készült, mivel az első ízben orvosi eszközzel végzett analízis nem minden esetben adott teljeskörűen értelmezhető eredményt az arany fizikai tulajdonságai miatt, így szükség volt egy második, nagyobb energiájú CT vizsgálatra is. Az első analízis a Semmelweis Egyetem Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinikájának Noninvazív Képalkotó Diagnosztikai Részlegén történt Dr. Entz László professzor és Dr. Csobay-Novák Csaba egyetemi adjunktus vezetésével, míg a második képalkotó analízisre a Széchenyi Egyetem Anyagtudományi és Technológiai Tanszékének Röntgen – CT Laboratóriumában került sor Zsoldos Ibolya és Hargitai Hajnalka professzorok és Kozma István adjunktus vezetésével.

A készítéstechnikai eljárások tanulmányozásához segítséget nyújtottak a tárgyakról készült nagyfelbontású makró- és mikroszkópos felvételek, melyeken a szabad szemmel alig látható szerszámnyomok, valamint a tárgyak esetleges sérült részeiben megbúvó egyéb anyagok is jól kivehetővé váltak. Ezeket a felvételeket a debreceni Atommagkutató Intézet Örökségtudományi Laboratóriumában készítették Szikszai Zita vezetésével (Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m.). A sérült, üreges bullák esetén lehetőség volt szintén a Semmelweis Egyetem jóvoltából endoszkópos vizsgálat elvégzésére is Dr. Szendrői Attila egyetemi adjunktus vezetésével, mely során a belső szerkezet alaposabb, színhelyesebb megismerésére volt lehetőség videófelvételek rögzítése közben.

Az elvégzett vizsgálatok eredményei és az azok alapján levont következtetések tárgyanként, kronologikus sorrendben

1172–1196 – III. Béla király
– Leltári száma: MNM 1871.288

Elvégzett vizsgálatok:

- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14533-14534 sorszám
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek és mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 1. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek

Anyagvizsgálat és felépítés

III. Béla király által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	90,5	0,12	6,9	0,06	2,6	0,01
előlap alapfém 1	90,6	0,12	6,8	0,06	2,6	0,01

A pecsét a korabeli ólombullák mintájára készült, két aranylemez verőtőfogóval történő összepréselésével a függesztőzsinór körül. Mivel a pecsétnek nincs összetettebb szerkezeti felépítése, így elégséges volt egy-egy ponton elvégezni a hXRF méréseket az elő- és hátoldalon. Ezek alapján a bulla egységesen 905 ezrelék aranyat tartalmaz, azaz körülbelül 21,5 karátos. A magas aranytartalom miatt a fém rendkívül puha, ennek a fizikai tulajdonságának köszönhető, hogy minta préselhető felületébe akár hidegen is. Az ólommal ellentétben az aranylemezeken nemhogy egy verőtőfogóval, de még egy hagyományos verőtővel sem lehet elég nagy erőt kifejteni ahhoz, hogy azok szinte összehegedjenek. Így feltételezhető, hogy ennél – és az ilyen típusú pecséteknél – a zsinórra applikálás során az aranylapok belső felületére valamilyen kötőanyag került, mely a makrófelvételek alapján akár viasz is lehetett (2. kép).





1. képpár – III. Béla király aranybullája



2. kép – A két aranylemez illesztése a zsinór rögzítésénél

A függesztőzsinór vízszintesen futott keresztül a pecséten, melynek mindkét oldala erősen kopott, deformált, így sajnos korabeli szerszámnyomokat alig találni a felületeken vagy a formák kontúrvonalai mentén.

1202 – Imre király (Tota úrnő)
Jelzete: HU-MNL-OL-DL 39249.

Elvégzett vizsgálatok:
- nagy felbontású ipari CT képalkotás – Kozma István:
- Vizsgálati jegyzőkönyv, lásd jelen folyóiratban.
- klinikai minőségű CT képalkotás – Csobay-Novák Csaba: Radiológiai szakvélemény, lásd jelen folyóiratban.
- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14459-14465 sorszám
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek és mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 2. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek

Anyagvizsgálat

Az 1202-ben, Imre király által kiadott kiváltságlevélhez tartozó kétoldalas aranypecsét anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban)[1]:

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	65,4	0,10	27,4	0,09	7,2	0,02
hátlap alapfém 2	65,0	0,10	27,1	0,09	7,9	0,02
előlap alapfém 1	67,2	0,09	27,4	0,09	5,4	0,02
előlap alapfém 2	68,2	0,10	28,6	0,09	3,2	0,01
előlap alapfém 3	68,5	0,10	28,2	0,09	3,4	0,01
oldal alapfém 1	64,8	0,10	27,3	0,09	7,8	0,02
oldal alapfém 2	64,7	0,10	26,9	0,09	8,5	0,02

A pecsét előoldalának aranyötvözete az eredmények alapján 20–30 ezrelékkel több aranyat és jóval kevesebb rezet tartalmaz, mint a címeres hátoldal, valamint a palástrész. Ebből arra következtethetünk, hogy az előoldal és a bulla többi alkotóeleme más-más öntés során, vagy akár másodlagos felhasználású anyagból készülhetett. Az ötvözet finomsági fokát a modern kori mértékegységét használva 16 karát (1 karát 41,66 ezrelék finomságot fejez ki) körülinek mondhatjuk, mivel átlagosan 650–670 ezrelék aranytartalommal rendelkezik. Ez az ötvözet fizikailag jobban ellenáll a deformálódásnak, felületi karcolódásnak, mint a magasabb aranytartalmú társai. A palástlemez anyagvizsgálati eredményét az is befolyásolhatta, hogy a bulla komponenseinek összeépítésekor használt forraszanyag ott terült, folyt szét először a hőközlés, forrasztás során. A keményforrasztásról tudni kell, hogy a megolvadó, alacsonyabb olvadáspontú fém mindig a magasabb hőmérsékletű felület irányába indul, ezért lehet az, hogy a pecsét egyszerre melegített komponensei közül a vékonyabb, kisebb felülettel és ez által gyorsabban áthevülő palástlemezére folyt először.

Az elő- és hátoldal kialakítása

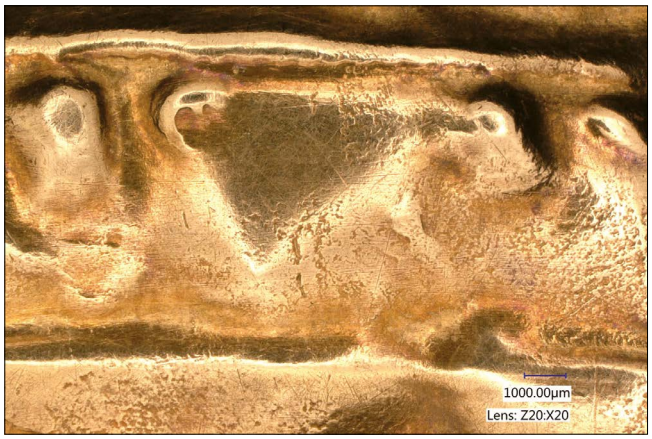
A vizsgált, 13. századra datált aranybullákhoz hasonlóan Imre király pecsétje is üreges szerkezetű. Elő- és hátoldalának mintáját kalapálással elvékonyított aranylemezekből, a

1 A táblázatban jelölt eredmények (tömeg)százalékos arányban mutatják az egyes ötvözetkomponensek mennyiségét. A „+/-„ oszlopokban az adatok hibája látható.





3. képpár – Imre király aranybullájának elő- és hátoldala



4. kép – Szerszámnyomok a hátoldalon

pénzérmékhez és a korábbi ólombullákhoz hasonlóan vésett verőtövekkel alakították ki. A technológiai különbség azonban az, hogy míg a hagyományos, pénzérmék előállítására használt eszközöknél az alsó és felső részek vésett formái különböztek, addig a pecsétek oldalkialakításánál ezek egy adott forma pozitív és negatív mintáját hordozzák, precízen illeszkedve egymásba, így alapvetően ezt a technikát hívhatnánk préselésnek is. Az aranybullákhoz használt verőtövek kialakításáról nem maradt fent tárgyi vagy írásos emlék, így csak feltételezhetjük, hogy hasonló technikákkal készültek, mint a pénzveréshez használt társaik. A különbség egyedül annyi lehetett, hogy mivel oldallemezenként kellett egy pozitív és egy negatív formát készíteni, talán egyszerűbb volt a negatív formát kialakítani véséssel, majd a pozitív oldalt az elkészült verőtőről levett minta[2] alapján fémből leönteni. A verőtövek alapanyaga lehetett vas, amellyel nagy példányszámban tudtak készíteni érmeket anélkül, hogy a verőtő által nyomott minta kontúrossága elveszne vagy maga a verőtő állapota romlana. De készülhettek bronzból is, amennyiben finomabban cizellált, részletgazdagabb eredményt kívántak elérni alacsonyabb példányszámban. Az aranybullák esetében feltételezhetjük, hogy a készítésükhöz használt szerszámok alapanyaga bronz lehetett. Nem csupán azért, mert a díszítettségük rendkívül aprólékos és az érmekhez mérten kevesebb példányban készülhettek, hanem azért is, mert a megmunkálni kívánt fém is jóval vékonyabb, így kevésbé koptatja a verőtőn kialakított mintát. Az arany fizikai tulajdonsága a remek alakíthatóság, repedezés nélküli, nagymérvű nyúlási képesség, ezért a vékony lemezek készítéséhez elégséges volt a nyers öntvény lapos kalapácsokkal történő lemezzé nyújtása. Az elő- és hátoldalak formáinak kialakítása előtt az elvékonyított lemezeket kitüzelték[3] (izzásig hevítették), hogy a kalapálás során felkeményedett fém újra képlékeny legyen. A lapok főbb formáit préseléssel adták meg, olykor viszont a király- és címerábrázolás részleteinek gazdaggá tétele az ornamensek és alakok utólagos cizellálását is indokolttá tette. Ezeket egyedileg kialakított, különböző végű, feltehetőleg vas poncolószerszámokkal végezték. Ezeknek a szerszámoknak a nyomai jól láthatók a mikroszkópos felvételeken a fő motívumok mellett, még a pecsét felületének kopottsága ellenére is (4. kép). A cizellálást végezhették egy vagy mindkét oldal felől, hogy megadják a formáknak a kellő kontúrgazdagságot.

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

A pecsét belső szerkezetének megismeréséhez rendkívül nagy segítséget nyújtottak a CT vizsgálatok, melyek alapján egyértelművé vált, hogy a bulla belseje üreges, nincs benne egyéb

2 A minta levételéhez feltételezhetően viaszt használtak.

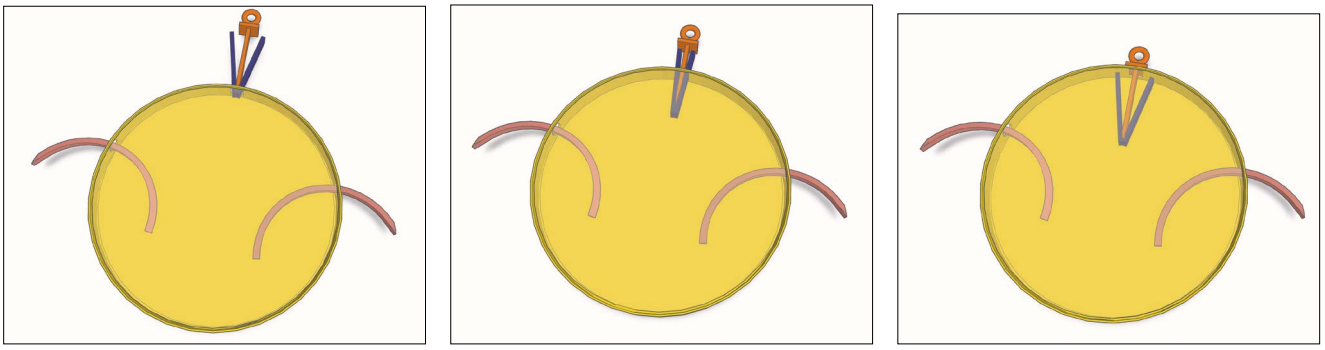
3 Kitüzelés alatt a fémek izzásig történő hevítését értjük, mely annak érdekében történt, hogy a fémek anyagszerkezetét képző atomi kristályos fémrácsszerkezet visszalazuljon, visszaadva a fémnek a rugalmasságát, melyet fizikai behatások (pl. kalapálás) során elveszít a rácsszerkezet tömörödése okán.



5. kép – Az aranypecsét nagyfelbontású CT képe



6. kép – Lemezgyűrődés és sorjanyomok a palástlemezen



7. képsorozat – A záróstift működése

speciális fém szerkezeti elem a fenti záróstiften kívül, melynek kialakítása jól látható a felvételeken (5. kép) és működésére is következtethetünk. Az alapszerkezet kialakítása az alábbi sorrendben történhetett: Miután elkészült az elő- és hátoldal, az előkészített, méretre szabott palástlemezt keményforrasztás útján rögzítették a hátoldali lemezhez. Ennél a műveletnél a felület tisztítását követően feltehetően bór és szilikát összetevőket tartalmazó folyósítószert vittek fel, majd a forraszanyagot a belső oldal felől, kis lemezekre vágva illesztették a forrasztandó részekhez.

A vizsgált aranypecsét esetében a forrasztás rendkívül jól sikerült, mivel a palástlemez és a két oldal közötti varratoknál nem látható hézag. Az előoldalt szintén keményforrasztás útján rögzítették, de ezúttal a palástlemez külső oldala felől illesztve a forraszanyagot. A palástlemezen a fenti, előoldali kereszt fölötti részen pár milliméternyi rést hagytak azért, hogy az üreges forrasztás során a belső térben, magas hőmérséklet hatására megnövekedő nyomás és a keletkező gázok miatt a pecsét ne deformálódjon, ne robbanhasson szét. A forrasztást követően a forraszmaradékot és a két oldal palástlemezen





8. képpár – A mintavétel helye és a sztereomikroszkópos felvétel (nagyítás: 50x)

túlnyúló részeit reszelő, csiszoló szerszámmal eltávolították. Ezek után alakították ki a palást a zsinórbújtatásra használt lyukakat, melyre a bennük és mellettük kialakult sorja maradék, valamint a lyukasztás során megszaladó szerszám által okozott minimális hátoldali lemezgyűrődés is utal (6. kép). A gázok távozására meghagyott palást oldali résnek azonban volt még más funkciója is.

Az ide kialakított záróstiftnek az volt ez esetben a szerepe, hogy az érmébe bújtatott zsinórok viasz befolyatásával történő rögzítését követően oldhatatlan módon lezárja a felső beöntőnyílást. Ezt a funkciót úgy érték el, hogy az aranystiftre egy rugalmasabb, merevebb fémet – feltehetően valamilyen vasötvözetet – szegecseltek, mely 'V' alakban állt az érme középpontja felé és a keskeny beöntőnyíláson áthaladva szétfeszült, meggátolva a stift eltávolítását (7. kép). A viasz jelenlétére utal a pecsét egyik zsinórcsonkját átitató, illetve az érem több pontján visszamaradt kristályos anyag is. A zsinór vizsgálatához mintavételt követően sztereomikroszkópos felvételek készültek, melyeken amellett, hogy egyértelműen látszik a viasz jelenléte, a zsinór alapanyaga is meghatározhatóvá vált. A zsinór a felvételek alapján anyagában színezett selyem, melyet 'S' sodratú szálakból alakítottak ki (8. kép).

1221 – II. András (Tota úrnő megerősítése) – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 39250.

Elvégzett vizsgálatok:

- nagy felbontású ipari CT képalkotás – Kozma I.: Vizsgálati jegyzőkönyv i. m.
- klinikai minőségű CT képalkotás – Csobay-Novák Cs.: Radiológiai szakvélemény i. m.
- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14472-14477 sorszám
- mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 3. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek

Anyagvizsgálat

Az 1221-ben II. András király által kiadott kiváltságlevél megerősítéséhez tartozó kétoldalas aranypecsét anyagvizsgálati, aranyötvözetre vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	81,1	0,11	15,6	0,07	3,3	0,02
hátlap alapfém 2	81,4	0,11	15,4	0,08	3,2	0,02
előlap alapfém 1	81,3	0,11	15,6	0,08	3,1	0,02
előlap alapfém 2	81,2	0,11	15,6	0,08	3,3	0,02
oldal alapfém 1	77,1	0,11	17,9	0,08	4,9	0,02
oldal alapfém 2	74,1	0,11	19,3	0,08	6,6	0,02

Az anyagvizsgálati eredmények alapján jól elkülönül az elő- és hátoldali lemezek és az oldalsó palástlemez közötti 40–70 ezrelék körüli aranyötvöző különbség. Ez feltételezhetően annak tudható be, hogy a pecsét szerkezeti keményforrasztása során az alacsonyabb arany, de magasabb ezüst- és réztartalmú – ezáltal alacsonyabb olvadáspontú – forraszanyag a hevítés hatására először a magasabb hőmérsékletet hamarabb elérő palástlemezen folyt el, hasonló módon, mint Imre király aranybullájánál. Az ötvözet finomsági fokát a modern kori mértékegységét használva 19,5 karát körülinek mondhatjuk, mivel átlagosan 812 ezrelék aranytartalommal rendelkezik. Ez az ötvözet lényegesen puhább



9. képpár – II. András 1221-es aranybullájának elő és hátoldala

és sérülékenyebb az előzőekben vizsgált, 16 karátos bullához képest, mivel itt a sérülések, karcolások nyomai szabad szemmel is jól láthatóak, főként a címeres hátoldalon, valamint a peremek mentén.

Az elő- és hátoldal kialakítása

Az aranypecsét elő- és hátoldalának készítéstechnikai szempontú vizsgálatát a felület nagy részét borító, szakszerűtlen tisztításból adódó, sűrű karcolásnyomok nehezítik (10. kép). A magas aranytartalmú ötvözetek egyik fizikai adottsága a felületének „puhasága", sérülékenysége, mely egy figyelmetlenül, nem megfelelő eszközzel elvégzett tisztítás során visszafordíthatatlan károsodások bekövetkezését okozhatja. Közelebbről megvizsgálva a felszínüket, egyértelművé válik azonban, hogy az alapanyagok előkészítése és azok megmunkálása hasonló módon történt, mint a többi magyar kötődésű, 13. századi aranybulla esetében. A vékony aranylemezeket kalapálással alakították ki a nyersanyagból, majd az alapformákat vésett verőtövekkel készítették, mely után a kontrasztosságát, hidegen megmunkálva, cizellálással gazdagították.



10. kép – A hátoldalon szabadszemmel is látható karcolásnyomok és deformációk

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

Imre király aranypecsétjéhez hasonlóan II. András 1221-es aranybullája is üreges szerkezetű, belső merevítő komponensek nélküli. Zsinórvezetése hagyományos, már az ólombulláknál is alkalmazott módon függőleges elrendezésű, azonban a pecsét alapszerkezetének kialakítása kissé más technikai megoldással készült. Az elkészült, cizellált elő- és hátlemezt a palástlemezzel egyszerre forrasztották meg oly módon, hogy a



11. kép – A zsinór átfűzéséhez használt alsó lyuk kialakítás



12. kép – Az aranybulla keresztmetszeti CT felvétele

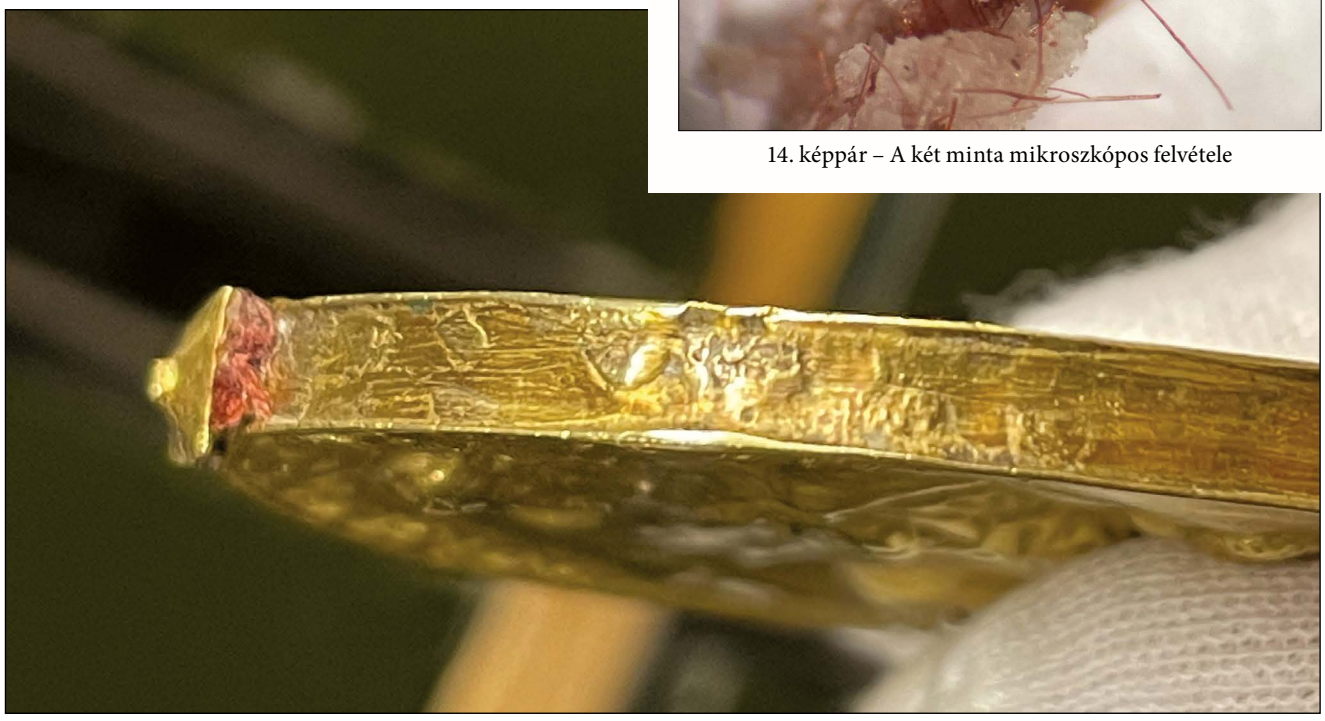
vékony, a pecsétnek testet (vastagságot) adó lemezt pár milliméterrel kisebb körívre hajtották, így vékony peremet hagyva a két díszes lemez szélén. A három fő komponenst egymáshoz rögzítették ideiglenesen, majd a vékony peremekre folyasztószert vittek fel és elhelyezték a forraszanyagot. A forrasztást több részletben végezve alakították ki a pecséten, a palástlemezen rést hagyva a táguló levegőnek és a felszabaduló gázoknak. A palástrészt nem dolgozták olyan precízen el, mint Imre király aranybulláján, így még most is jól kivehetők a nem teljesen elfolyt forraszmaradványok (15. kép). A zsinór átfűzéséhez kialakították a pecsét alján a lyukat feltehetően egy éles szerszám beütésével (11. kép). Ezt követően a zsinórt átfűzték a bullán egy hegyes, tűszerű eszközzel, viaszt öntöttek az üreges testbe, majd a pecsét lezárását, illetve a zsinór rögzítését a záróstift behelyezésével végezték el. A viasz használatára a zsinóron található opálos, kristályos viaszmaradék utal. A függesztőzsinór vizsgálatára az alsó nyílásból, illetve a záróstift mellől vett minta alapján, mikroszkóp alatt került sor, melynek során megállapítható volt az is, hogy alapanyaga selyem (13–14. kép).



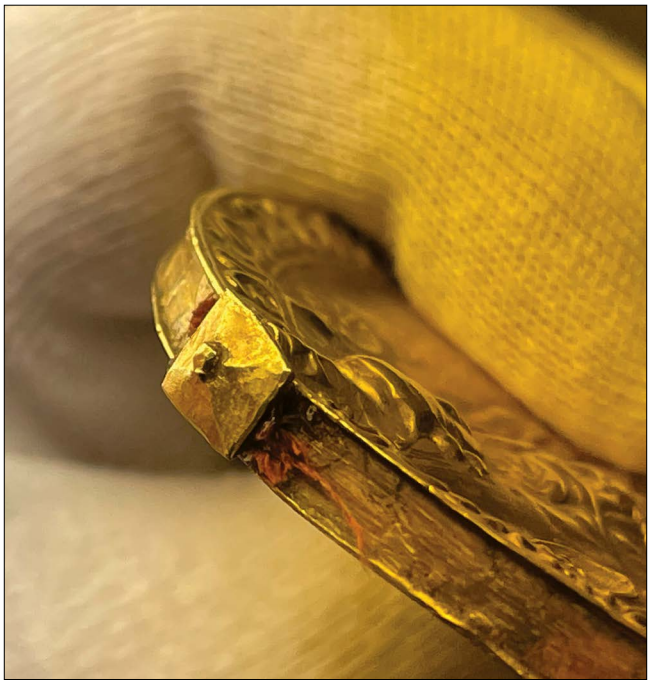
13. képpár – A mintavételek helyei



14. képpár – A két minta mikroszkópos felvétele



15. kép – Forrasznyomok a palástlemezen



16. kép – A függesztőkarika helye

A záróstift hasonlatos kialakításában az Imre király aranypecsétjén találhatóval, azaz a központi stiftre egy 'V' alakú rugalmas, de kemény anyagból – feltételezhetően vasból – készítették és szegecselték a kihúzást meggátló záró alkatrészt. A pecsétnek ez az eleme remekül kirajzolódik a klinikai CT felvételeken (12. kép). Ezen az aranypecséten is lehetett függesztőkarika, amin átfűzték a függesztőzsinórt, melynek pontos helyéről ma már csak egy csonk árulkodik (16. kép).

1224 – II. András – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 50616. (Kállay levéltár)

Elvégzett vizsgálatok:

- nagy felbontású ipari CT képalkotás – Kozma I.: Vizsgálati jegyzőkönyv i. m.
- klinikai minőségű CT képalkotás – Csobay-Novák Cs.: Radiológiai szakvélemény i. m.
- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14466-14471; 14509 sorszám
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek és mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 4. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek

Anyagvizsgálat

Az 1224-ben, II. András által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	73,9	0,11	17,2	0,08	8,8	0,02
hátlap alapfém 2	74,2	0,11	17,2	0,08	8,6	0,02
előlap alapfém 1	77,7	0,11	15,7	0,08	6,5	0,02
előlap alapfém 2	78,1	0,11	15,7	0,08	6,2	0,02
oldal alapfém 1	73,4	0,11	16,5	0,08	10,2	0,02
oldal alapfém 2	72,8	0,11	16,4	0,07	10,8	0,02
oldal forrasz	68,3	0,10	16,9	0,07	14,8	0,03

Az eredmények alapján jól látható, hogy a pecsét borítását adó aranylapok finomsága, aranytartalma átlagolva 760 ezrelék





17. képpár – II. András 1224-es aranybullája

körüli, azaz kb. 18 karátos. Mivel a pecsét előoldalának aranytartalma ~4%-kal magasabb, míg az ezüst- és réztartalma ~2%-kal alacsonyabb a hátoldali lemezhez képest, arra következtethetünk, hogy a komponensek nem ugyanabból az öntésből származnak. A magas aranytartalom miatt ez az alapanyag könnyen karcolódik és kopik, mely fizikai hatások nyomai a bullán még szabad szemmel is jól látszanak. Sérülékenysége ellenére ez az ötvözet rendkívül jól megmunkálható akár hidegen is, így talán ezért is használták a rendkívül aprólékos kidolgozású pecsét alapanyagaként.

Az elő- és hátoldal kialakítása

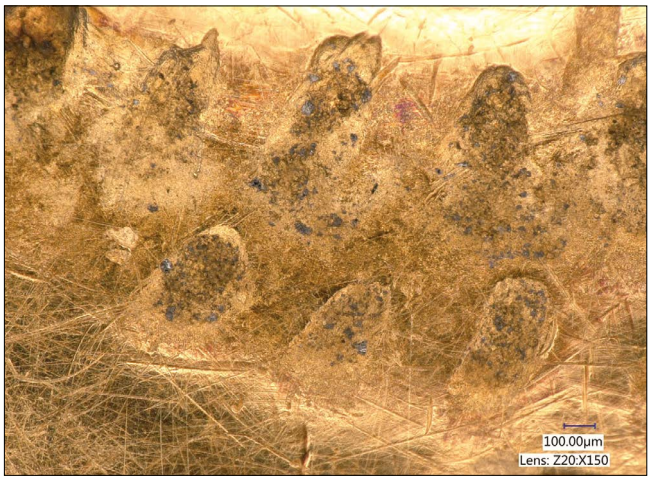
A sztereomikroszkópos felvételeken jól látható lemezes felválások arra utalnak, hogy a bulla testét képző aranylapokat ebben az esetben is kalapálással vékonyították el, előkészítve azokat a további megmunkálásra (18. kép). A pecsét elő- és hátoldalát részben az érmekhez hasonló technikával készítették elő, azaz vésett verőtővel alakították ki a királyábrázolás és a címer fő formáját. Ezek kontúrjait és a részleteket poncoló szerszámok segítségével, a fémet két oldalról hidegen megmunkálva, cizellálással tették kontrasztosabbá, részletgazdagabbá, ahogyan a 1221-es aranypecséten is. A cizelláláshoz használt szerszámok nyomai jól láthatók a makró felvételeken (19–20. kép).



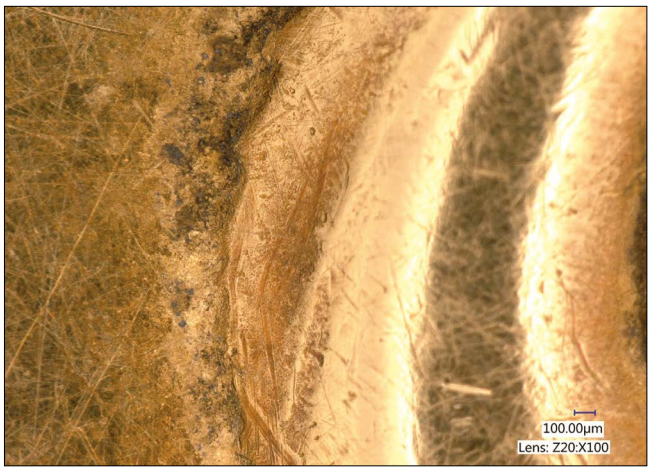
18. kép – Lemezes felválások

Az elő- és hátoldalon található körkörös feliratot előkarcolást követően, feltételezhetően az elsőként elkészített negatív mintájú verőtövön vésték meg. A felirat különböző alakú vésőszerszámok használatával készült, de bizonyos formák kialakítása esetében alkalmazhattak más-más profilú poncolószerszámokat is. A betűk felkarcolásához és véséséhez nem használtak sablonokat, mindegyik egyedi rajzolatú (21. kép). A korabeli ötvösök között is volt specializáció, azaz egyesek jobb minőségben vésték, mások az alapanyagok előkészítéséhez vagy forrasztáshoz értettek inkább. Az aranybullák készítése kapcsán is feltételezhetjük, hogy a verőtövek elkészítését, illetve a pecsétek megmunkálását is többen végezhették. Az előoldal és a hátoldal egyes részein (22. kép) jól láthatók a „betűárnyékok", melyek a domborítás, préselés nagy erővel



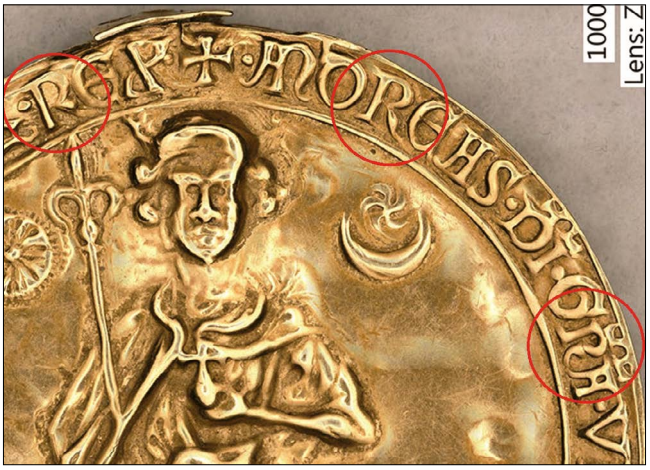


19. képpár – Szerszámnyomok az aranybulla felületén



20. kép – Szerszámnyomok az aranybulla felületén

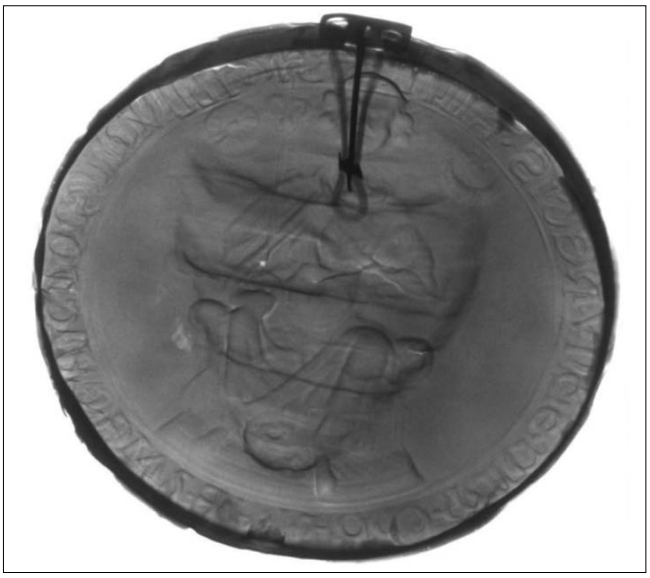
végzett kalapácsütései során, a verőtövek közé fogott aranylemez többszöri elmozdulásából adódtak. Az ilyen jellegű formahibák javítása nem egyszerű feladat, mivel ilyen esetben az anyag már megnyúlt, egyes helyeken elvékonyodott, zsugorodni azonban nem tud, így a síkba hozása során bevitt további erőhatás hatására begyűrődik, melynek nyoma marad.

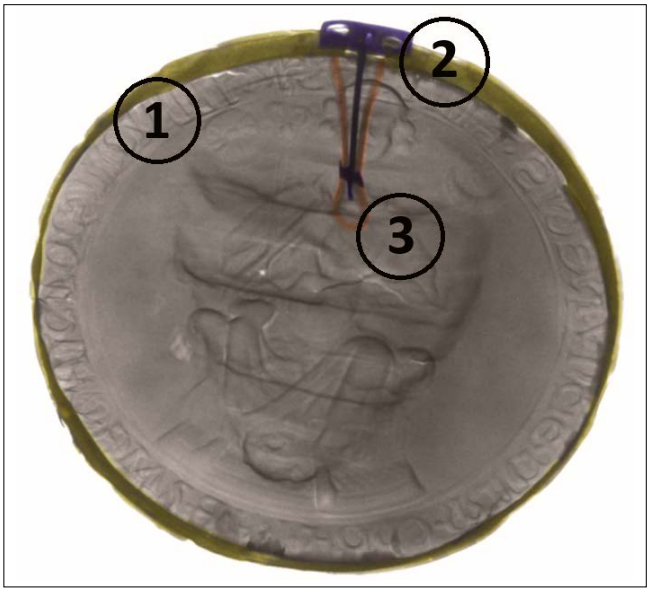


21. kép – Az azonos betűk összehasonlítása



22. kép – Betűárnyékok a hátoldal jobb alsó részén





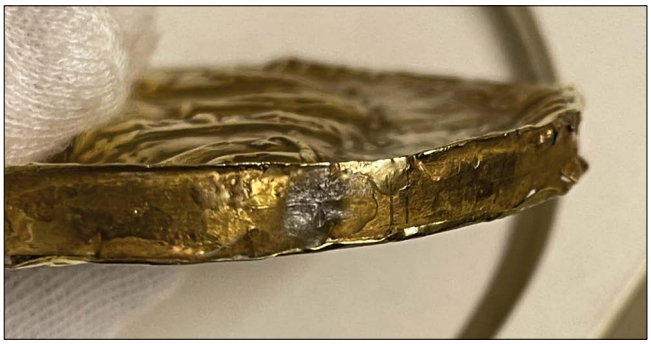
24. képpár – Az aranybulla CT felvétele és a színnel jelölt szerkezeti elemek



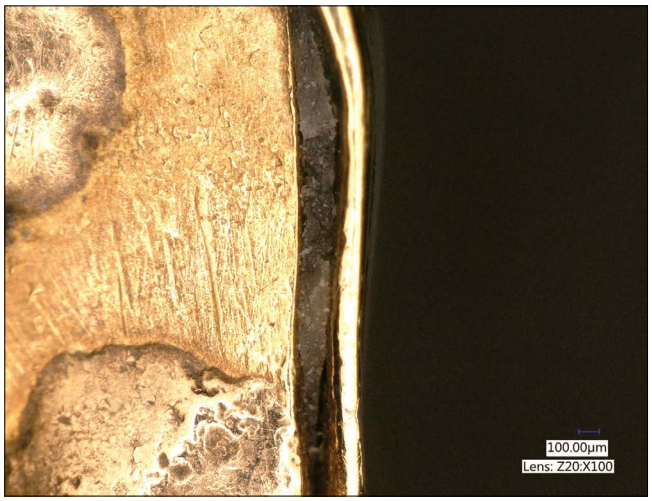
23. kép – Az 1221-es és 1224-es pecsét összehasonlítása



25. kép – A zsinór befűzésére használt lyukak a záróstiften







26. képsorozat – Viasz nyoma a zsinór kivezető nyílásánál, a zsinór fűzéséhez használt egyik lyuk belsejében és a palástlemez mellett

Összehasonlítva az 1221-re és az 1224-re datált II. András király nevéhez kapcsolódó aranybullák elő- és hátoldalát, a formák, feliratok pozíciójának és kialakításának hasonlóságaiból arra következtethetünk, hogy mindkét pecsétet ugyanazzal a verőtővel készíthették (23. kép). A különbségek csak a két bulla eltérő állapotából adódnak, illetve az utólagos cizellálás során keletkezhettek.

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

II. András ezen aranybullájának felépítése annyiban tér el a korábbi, 1221-es változatától, hogy míg azon a pecséttesten függőlegesen áthaladó zsinór két szárvégét a záróstift mellett fűzték be, ebben az esetben a felső rögzítő tagon kialakított két lyukon volt bevezetve a két szárvég. Az elő- és hátoldalt a palástlemezhez az 1221-re datált pecséthez hasonlóan állították össze forrasztással. Ennek minősége gyengén sikerült, mivel szabad szemmel is látható, hogy sok helyen a forraszanyag nem folyt el, illetve az elő- és hátoldal lemeze pár helyen nem rögzült a palástlemezhez. Ennek oka lehet a rossz minőségű vagy nem elégséges mennyiségű folyasztószer használata, de elképzelhető az is, hogy a hőközlés nem volt megfelelően egyenletes. A CT felvételen jól látható a pecsét felépítése, azaz az elő- és hátoldalt összefogó, vékony lemezből formált arany palástlemez (24. kép – 1), a zsinór rögzítéséhez használt „T" alakú aranystift (24. kép – 2) és az arra rászegecselt „V" alakú vas- vagy rézelem (24. kép – 3), mely a stift behelyezését követően szétfeszült, meggátolva annak kiszedését. A zsinór bevezetésére a „T" alakú elem vízszintes szárán kialakított két lyuk szolgált (25. kép). A mikroszkópos felvételek alapján, illetve a pecsét alsó – zsinór kivezetéséhez készült – nyílása mellett látható opálos anyag közelebbi vizsgálatának eredménye miatt feltételezhető, hogy a zsinór két szárát a pecsét belsejébe öntött viasszal (26. kép) fixálták, majd a még puha viaszba nyomták bele a „T" záróelemet.

1233 – II. András király – Jelzete: HU-PL-Acta Radicalia V-2. [fényképmásolata: HU-MNL-OL-DF 248770.]

Külön köszönet Hegedűs András levéltárosnak, hogy a Prímási Levéltárban 2024. november 15-én lehetőséget adott az 1233-as és 1465-ös pecsétek anyagvizsgálatára.

Elvégzett vizsgálatok:

- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 16924-16930 sorszám
- hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek

Anyagvizsgálat

Az 1233-ban, II. András által kiadott, az Esztergomi Prímási Levéltárban őrzött aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	78,0	0,11	17,5	0,08	4,6	0,02
hátlap alapfém 2	77,5	0,11	17,9	0,08	4,6	0,02
előlap alapfém 1	77,6	0,11	18,3	0,08	4,1	0,02
előlap alapfém 2	77,9	0,11	17,8	0,08	4,2	0,02
oldal alapfém	69,3	0,10	19,5	0,08	11,1	0,03
stift alapfém	77,7	0,11	17,9	0,08	4,4	0,02
oldal forrasz	57,4	0,09	24,9	0,09	17,6	0,03



27. képpár – II. András 1233-as aranybullája

A vizsgálati eredmények alapján a pecsét aranyötvözetének összetétele hasonló az 1224-re datált aranybulla előoldali lemezével, azaz valamennyivel több mint 18 karátos. Azonban ezüst- és réztartalma különbözik, tehát szinte kizárható annak lehetősége, hogy a vizsgált pecsétek alapanyagát egy időben, egy öntés során készítették el. Ez a feltételezés még inkább megalapozottabbá válik, ha megvizsgáljuk az 1221-es darab anyagösszetételét, mely jelentősen eltér mindhárom komponens tekintetében.

Ennél a bullánál a palástlemezen számos egyben maradt forraszanyag is megtalálható volt, melyekről egyrészt megismerhető, hogy mekkora és milyen formájú darabokból hordták fel a felületre, másrészt a műszeres vizsgálat során lehetőség nyílt az anyagösszetételének meghatározására is. A forrasz amellett, hogy kevesebb aranyat, több ezüstöt és rezet tartalmaz, mint az alapfém, megfigyelhető volt az ólom minimális (0,9 ‰) jelenléte is. Ez alapján akár azt is feltételezhetnénk, hogy a korabeli ötvösmesterek kísérleteztek a megfelelő, eutektikus ötvözetként[4] viselkedő forraszanyagok létrehozásával azért, hogy a hevítés hatására a forraszanyagok olvadása közben ne legyen több halmazállapotú fázis, csak a szilárd és a folyékony, mellyel csomó és buborékmentes forrasztási felület érhető el, de valószínűbb az, hogy ebben az esetben az ólom minimális jelenléte szimplán csak szennyeződésnek tekinthető.

4 Az eutektikus ötvözet egy olyan kettő vagy több elemből álló ötvözet, melynek van olyan összetételű aránya, ami hevítés esetén az olvadáspont elérésekor a szilárd halmazállapotból egyenesen folyékony lesz, átmeneti fázisok nélkül.

Az elő- és hátoldal kialakítása

A harmadik, II. András királyhoz köthető aranybulla vizsgálata a morfológiai megfigyelések alapján a már korábban leírt pecsétekhez hasonló módon került kialakításra. Ezek után a kérdés már csupán csak az, hogy vajon a 10 évvel korábban használt verőtövekkel készült-e ez a darab is? Az összehasonlításhoz – mivel a vizsgálatok térben és időben nem egyszerre történtek – a tárgyak fotóinak szinte megegyező nagyításban egymás mellé sorolt fotóit használtam fel, az 1224-es pecsétnél bemutatottakhoz hasonlóan.

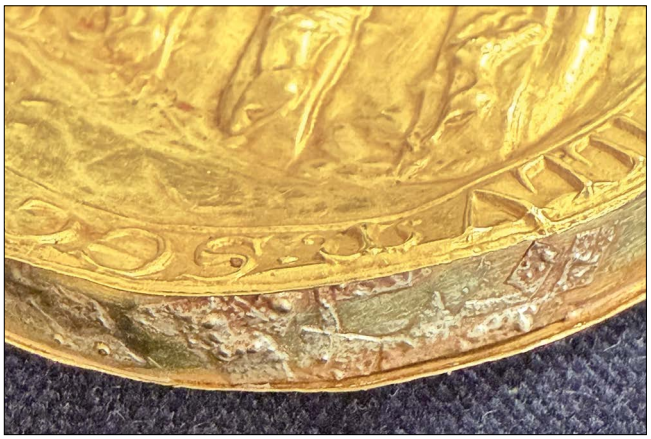
A három aranybulla különböző pontokban vizsgált részleteit, figurális ábrázolásának arányait és köriratában használt betűk kialakítását összehasonlítva egyértelművé válik, hogy ugyanazzal a verőtővel készültek. Ez a feltevés még biztosabbá válik, amennyiben megfigyeljük azokat a verőtő által hátrahagyott nyomokat, melyek nem szándékosan kerültek kialakításra, hanem esetleges anyaghibából vagy készítéstechnikai rendellenességekből adódnak. Ilyen, nem szándékos verőtő hiba látható az 1224-es és az 1233-as pecséten „1”-essel jelölve vagy a mindhármon észrevehető anyagfeldúsulás a körirat egy betűjénél, „2”-essel jelezve. Az „1”-essel jelölt hiba csak azért nem látszik az 1221-es aranybullán, mivel annak ott sérült, deformált a felülete (28. kép).

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

Ugyan az 1233-ra datált bulláról nem készült CT képalkotással belső szerkezeti felvétel, de a külső készítéstechnikai sajátosságok alapján következtethetünk felépítésének a korábbi, II. András királyhoz köthető aranypecsétekkel való hasonlóságára. Ennél a pecsétnél is egy, az elő- és hátoldali



28. képsorozat – Az 1221-es, 1224-es és az 1233-as aranypecsét összehasonlítása



29. kép – Forraszanyag a palástonlemezeknél szűkebb palásttal alakították ki a vastagságot, illetve ezt a három elemet kívülről, keményforrasztással rögzítették egymáshoz. A forrasztás ebben az esetben sem sikerült tökéletesen, melyre a szabad szemmel is jól látható forraszanyag maradékok utalnak a palást teljes felületén (29. kép). A selyemzsinór átfűzésére ebben az esetben is függőlegesen került sor, illetve annak rögzítéséről egy, a korábbi pecsétek CT felvételein jól kivehető 'T' alakú aranystift gondoskodik, melynek vízszintes oldalán keresztül történt eredetileg a zsinór bújtatása (30. kép).

Olyan, az alsó zsinórbújtató nyílást megerősítő hengeres betétlemez is megtalálható azonban ezen az aranybullán, ami a többi vizsgált pecséten nem volt látható valamilyen oknál fogva. Ennek szerepe feltételezhetően az volt, hogy a zsinór érzékeny selyemszálait megvédje a vékony aranylemez éles széleitől (31. kép). Ugyanakkor ezen a bullán nem volt megfigyelhető viaszmaradék sem a külső felületen, sem a sérülések mentén, ahogy az az 1221-es és 1224-es pecséteken látható volt, továbbá a zsinórból sem maradt fenn sok, csak az alsó lyukon belül volt felfedezhető pár szál.



30. kép – A zsinórrögzítő aranystift



31. kép – A selyemzsinór alsó kivezetőnyílása



32. képpár – IV. Béla 1251-es aranybullája

1251 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 50617. (Kállay levéltár)

Elvégzett vizsgálatok:

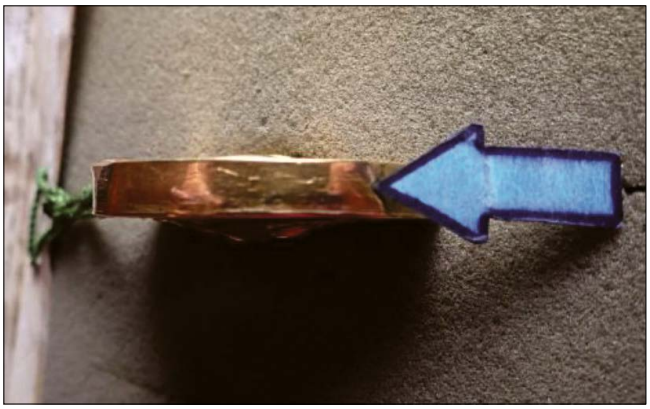
- nagy felbontású ipari CT képalkotás – Kozma I.: Vizsgálati jegyzőkönyv i. m.
- klinikai minőségű CT képalkotás – Csobay-Novák Cs.: Radiológiai szakvélemény i. m.
- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14502-14506 sorszám
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek és mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 5. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások (makrófelvételek) és endoszkópos videófelvétel

Anyagvizsgálat

Az 1251-ben, IV. Béla király által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
előlap alapfém 1	73,3	0,10	22,0	0,09	4,6	0,02
előlap alapfém 2	73,1	0,11	22,0	0,09	4,9	0,02
hátlap alapfém 1	73,5	0,11	21,7	0,09	4,8	0,02
hátlap alapfém 2	73,3	0,11	22,0	0,09	4,7	0,02
oldal alapfém 1	60,9	0,10	27,0	0,09	12,1	0,03
oldal alapfém 2	67,8	0,10	24,2	0,09	8,0	0,02
oldal alapfém 3	66,1	0,10	25,1	0,09	8,8	0,02

Az eredmények alapján az elő- és hátoldal aranyötvözete egységesen 733 ezrelék körüli, kb. 17,5 karátos, azaz feltehetően ugyanabból az alapanyagból készültek, míg az alacsonyabb aranytartalmú (kb. 16 karátos) palástlemez más forrásból



33. kép – Az „oldal alapfém 1” anyagvizsgálati hely

(másodlagos felhasználás vagy más ötvözés és öntés) származott. Az oldallemez alacsonyabb aranytartalma ez esetben nem magyarázható a forraszanyag terülésével, mivel az érme szerkezeti felépítése vastagabb, vékonyabb keresztmetszetű lemezekkel, mint a korábban vizsgált aranypecsétek esetében, így a forrasztáshoz kevesebb forraszra volt szükség és nagy mennyiségű maradványanyag sem található a felületen. Az „oldal alapfém 1” mérés a palást olyan pontjában készült, ahol a forraszanyag nyomai voltak (33. kép). A 609 ezreléknyi aranytartalom és a többi komponenshez viszonyítva jóval több réztartalom egyértelműen mutatja a forraszanyag jelenlétét.

Az elő- és hátoldal kialakítása

IV. Béla aranybulláinak alaplemezeit is kalapálással készítették elő, vékonyították el, melyre a mikroszkópos felvételeken szembetűnő szerszámnyomok utalnak (34. kép). Ennek és a többi IV. Bélához köthető pecsétnek a lemezkialakításaira egységesen jellemző, hogy sokkal vékonyabbak, mint



34. kép – A kalapálással történő megmunkálásra utaló szerszámnyomok

II. András, illetve Imre király bulláinak lemezei. Ezen pecsétekre is az jellemző, hogy az elő- és hátoldal teljes kialakítását préseléssel, véséssel és poncolással – feltételezhetően bronz alapanyagú – verőtöveken végezték, melyet követően semmilyen, vagy csak minimális cizellálásra volt szükség. Abból következtethetünk arra, hogy ugyanazzal a verőtővel készült az összes vizsgált IV. Béla nevéhez kapcsolódó aranybulla, ha összehasonlítjuk a három pecsét megfelelő oldalait. Az összehasonlítás során láthatjuk, hogy mind a királyalak, a címeroldal, illetve a köriratok egyező arányúak, nagyságúak. A betűk kialakításánál is észrevehető összehasonlítás során az azonosság, legfeljebb a felület kopása és a későbbi deformációk miatt lehetnek különbségek (35. kép).

A vékonyabb, ridegebb aranylemezen, a kisebb mértékű utómunka, azaz a kevesebb cizellálás miatt, az alak és a többi minta kevésbé kontrasztos, kevesebb a határozott él, illetve a köriratot kívül-belül övező szegély is összemosódik.

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

A pecsét belső szerkezeti felépítése jelentősen eltér a korábban vizsgált bullákétól, mivel alapvetően változtatták meg a zsinór rögzítésének módját. A pecsét belsejének alapos vizsgálatára az előoldalon található sérülés, hiány adott lehetőséget (36. kép), melyen keresztül endoszkóppal belülről is nagyrészt körbetekinthetővé vált IV. Béla aranybullája. Ezért még a nagy teljesítményű CT vizsgálatot megelőzően feltérképezhető volt a belső kialakítás egy része.

Viasz helyett ez esetben, egy, a pecséttestbe vízszintesen forrasztott keresztmerevítő lemez került a tárgy középátlójától kissé feljebb, mely az üreges és ezáltal gyenge megtartású bulla tartósságát volt hivatott biztosítani. A keresztmerevítőt a hátlaphoz forrasztották, melynek nyomai jól láthatók mind az endoszkópos, mind pedig a CT felvételeken (37–38. kép). A zsinórt mindhárom IV. Bélához köthető bulla esetében a függőleges tengely mentén rögzítették, közel azonos módon.



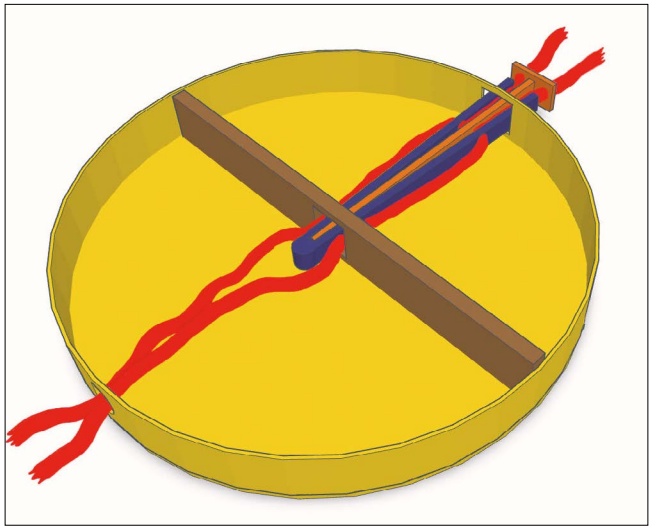
35. képsorozat – A három IV. Béla királyhoz tartozó aranybulla összehasonlítása (balra fent: 1251; jobbra fent 1252; alul 1258



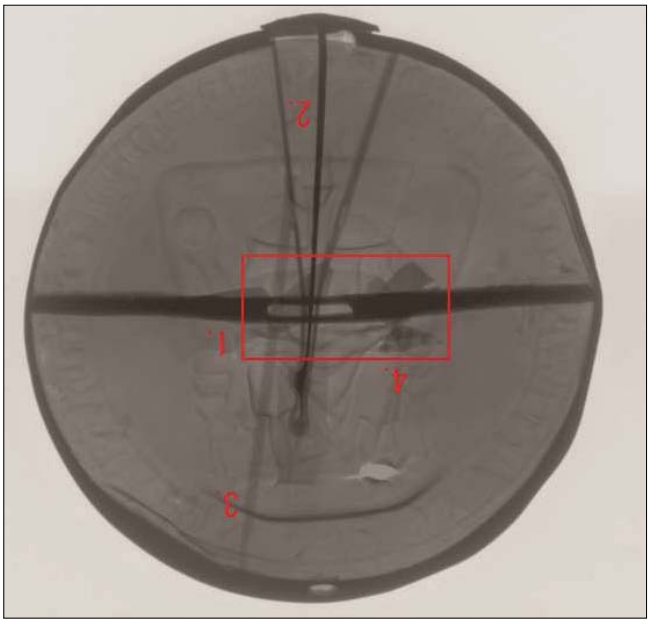
36. kép – Sérülés a pecsét előoldalán



38. kép – Forrasztási nyomok az endoszkópos felvételen



40. kép – A pecsét belső szerkezetének sematikus képe és a zsinór átfűzése



37. kép – A belső szerkezet CT felvétele, pirossal jelölve a forrasztás nyomait



39. kép – Tű törött vége a CT felvételen

Az Imre király és II. András aranybulláinál megismert záróstift használata megmaradt, de megváltozott mérettel és kissé módosult funkcióval. A vizsgált pecsét esetében a záróelem több mint 4,5 cm hosszú, hasonló felépítésű, mint a korábban vizsgált bullák, azaz egy központi 'T' alakú aranytestre szegecseléssel rögzítettek egy vasból készült 'V' alakú rugalmas elemet, mely a behelyezést követően befeszült a pecsét testébe, rögzítve a zsinórt. A hosszú záróelem számára nyílást hagytak a keresztmerevítőn. A zsinór bújtatásának módja is segítette annak rögzítését: a záróelem külső vízszintes elemén befűzték

a két szárat, majd azt kibújtatták a 'V' alakú rögzítőelemen, az azon kialakított lyukak segítségével, majd egy hegyes tűvel az összesodort szálakat átvezették a bulla testén. A megfelelő hossz elérését követően, a záróelemet a helyére csúsztatták, mely befeszítette a zsinórt (40. kép). A nagyfelbontású CT képeken ennek a bullának a belsejében egy oda nem illő tárgy képe is láthatóvá vált, mely az endoszkópos felvételeken nem látható. Ez egy kb. 52 mm hosszú, 1,6 mm átmérőjű hengeres komponens, mely az alsó végén kúpos kialakítású. Feltételezhetjük, hogy a felfedezett ismeretlen funkcióval rendelkező belső elem egy, a zsinór átvezetésére szolgáló tű törött vége, mely bent szorult a pecséttestben (39. kép).

1252 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 369.

Elvégzett vizsgálatok:

- nagy felbontású ipari CT képalkotás – Kozma I.:
- Vizsgálati jegyzőkönyv i. m.
- klinikai minőségű CT képalkotás – Csobay-Novák Cs.: Radiológiai szakvélemény i. m.
- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14494-14499 sorszám
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek és mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 6. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások (makrófelvételek) és endoszkópos videófelvétel

Anyagvizsgálat

Az 1252-ben, IV. Béla király által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	85,1	0,12	13,6	0,07	1,3	0,01
hátlap alapfém 2	85,2	0,11	13,4	0,07	1,3	0,01
előlap alapfém 1	85,3	0,12	13,3	0,07	1,4	0,01
előlap alapfém 2	85,1	0,12	13,6	0,07	1,3	0,01
oldal alapfém	84,2	0,11	13,9	0,07	1,9	0,01
merevítés alapfém	29,9	0,12	8,1	0,07	61,9	0,08

Az eredmények alapján arra következtethetünk, hogy a pecsét minden külső komponense, azaz az elő- és hátoldal, illetve a palástlemez ugyanabból az aranyötvözetből készült, mely egységesen 850 ezrelékes, azaz körülbelül 20 karátos. Mivel ez az ötvözet rendkívül magas aranytartalmú, ezért jól alakítható melegen és hidegen egyaránt, feltételezhetően emiatt került a pecsét jelenlegi, roncsolódott állapotába. A vékonyra kalapált aranylapokból kialakított elő- és hátlemez mára rendkívül deformált, szakadt, hiányos állapotba került, a belső vízszintes merevítőlemez kidomborodott mindkét oldalán. Ezek a súlyos sérülések viszont lehetővé tették a pecsét belső felépítésének alaposabb vizsgálatát, melyek során a merevítőlemez anyagvizsgálatára is sor kerülhetett a hátsó aranylemez hiányzó részénél. A vizsgálat egyértelműen kimutatta, hogy a belül felhasznált anyagok nem nemesfémből, hanem



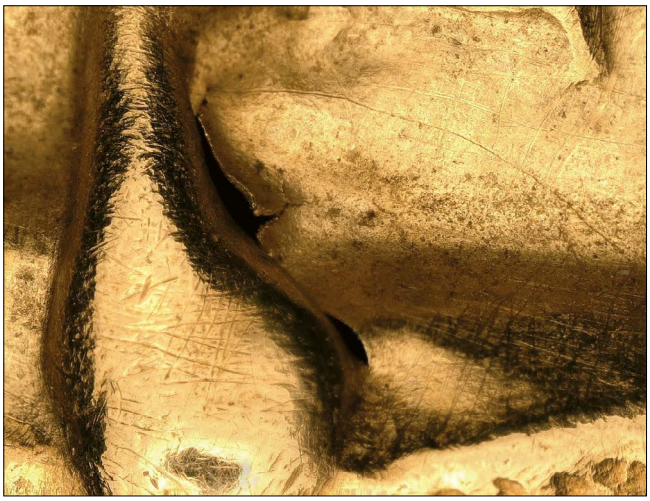
41. képpár – IV. Béla király 1252-es aranybullája



42. kép – A mintavétel helye a keresztmerevítőn



43. kép – Cizellálás nyomai (poncolószerszám nyomai)

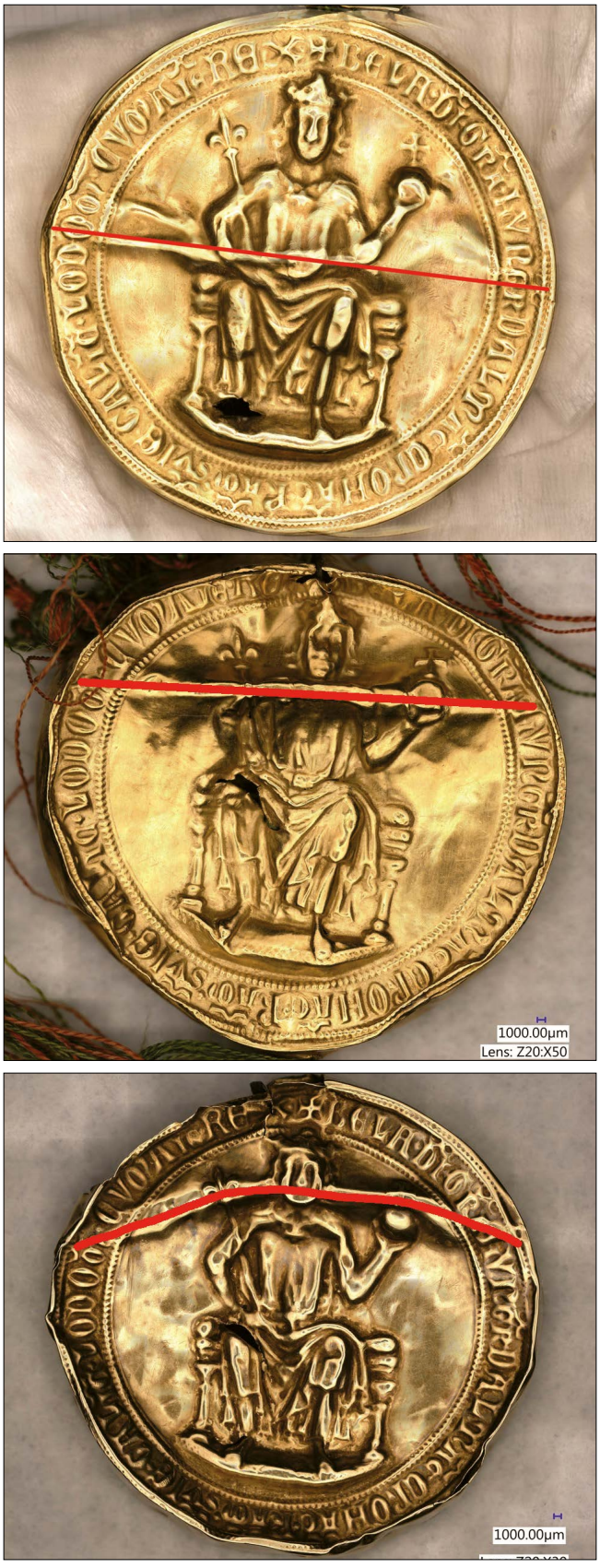


44. kép – A lemez szakadása

vasból és rézből készültek. A kiértékelő táblázatban a 'merevítés alapfém' sorban olvasható 299 ezrelék aranytartalom azzal magyarázható, hogy a mérés azon a helyen történt, ahol az arany forraszanyag megfolyt maradéka is jelen volt (42. kép).

Az elő- és hátoldal kialakítása

A pecsét elő- és hátoldalának, illetve a palástlemezének kialakítása szinte teljesen megegyezik az 1251-re datált, szintén IV. Bélához köthető aranybulláéval, az sem kizárt, hogy ugyanaz az ötvös készítette. Csupán néhány készítéstechnikai különbség fedezhető fel az anyagvastagságban és a felületek kidolgozottságában. A pecsétnek a préseléssel kialakított formái részletgazdagabbak, alaposabban cizelláltak (43. kép). Az elő- és hátoldal lemeze viszont valamivel vékonyabb, mint a korábbi 1251-es bulláé, mely egyik oka lehet a tárgy jelenlegi állapotának is, főleg annak ismeretében, hogy az 1252-es pecsét ötvözete jóval több aranyat tartalmaz, így mások a fizikai tulajdonságai. Nem véletlen tehát, hogy IV. Béla eme aranybulláján jóval több korabeli, feltételezhetően már készítésekor létrejött sérülés figyelhető meg a mikroszkópos felvételeken, mint a korábbi pecsét esetében (44. kép).



45. képsorozat – A keresztmerevítő elhelyezkedése IV. Béla aranybulláin (balról jobbra: 1251, 1252, 1258)



46. képpár – A zsinór bújtatásához használt fenti és lenti nyílás

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

A pecsét szerkezeti felépítése megegyezik a 1251-re datált, szintén IV. Béla uralkodásához köthető bulláéval, pár kisebb különbséggel. Az egyik különbség a vízszintes merevítő elem elhelyezkedése, mely a bulla előoldalán is jól láthatóan átnyomódott valamilyen erősebb fizikai behatás következtében. Ennél az aranybullánál ez a vízszintes szerkezeti elem a tárgy 1/3-ától alig feljebb a királyábrázolás országalmát tartó kezének vonalában helyezkedik el, míg a korábbi IV. Béla pecséten ez az elem a könyök vonalába került (45. kép). A hasonlóságok közé tartozik a zsinórrögzítő stift mérete, felépítése, a zsinór vezetése és átfűzési útja. Ennél a pecsétnél sincs viaszkitöltésre utaló nyom.

A belső kialakítás és a készítéstechnikai sajátosságok ebben az esetben részletesebben megfigyelhetők a hátoldali lemez hiányossága és deformáltsága miatt. A merevítésre használt rézlemez élein megfigyelhető szabálytalan lemezesség arra utal, hogy kalapálással vékonyították el. Valamint a különböző pontokon mért eltérő anyagvastagság és egyenetlenség arra enged következtetni, hogy a formák és a szöveg részletei préseléssel és utólagos cizellálással lettek kialakítva. Amiről nem rendelkezünk információval, az a záróstift vízszintes, bullán kívüli része, mivel az teljesen hiányzik, csak a szár és a 'V' alakban arra szegecselt rugalmas vas zárszerkezet maradt meg (46. kép), így a zsinór bújtatásának első lépését csak a korábbi bulla alapján tudjuk rekonstruálni.

1258 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 40046.

Elvégzett vizsgálatok:

- nagy felbontású ipari CT képalkotás – Kozma I.: Vizsgálati jegyzőkönyv i. m.
- klinikai minőségű CT képalkotás – Csobay-Novák Cs.: Radiológiai szakvélemény i. m.
- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14454-14458 sorszám
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek és mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 7. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások (makrófelvételek) és endoszkópos videófelvétel

Anyagvizsgálat

Az 1258-ban, IV. Béla király által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

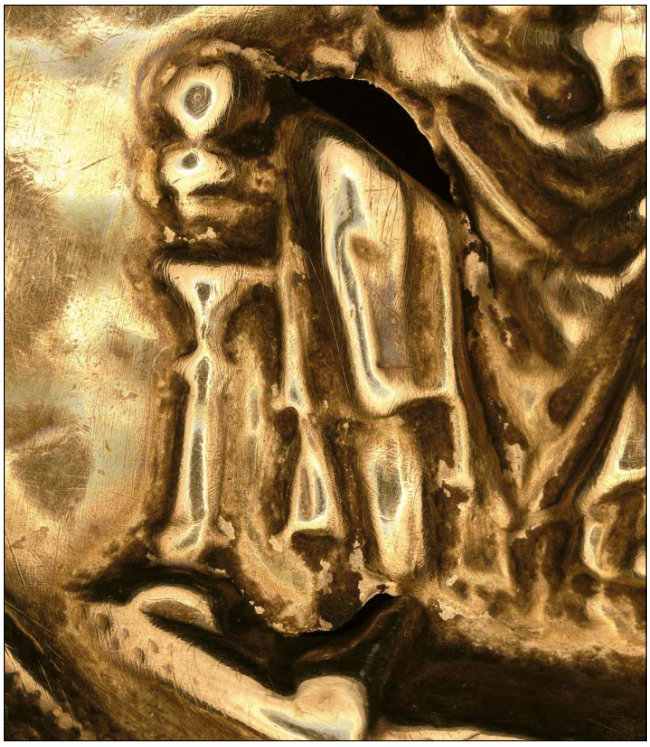
Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	68,8	0,10	26,4	0,09	4,8	0,02
hátlap alapfém 2	68,6	0,10	26,2	0,09	5,2	0,02
előlap alapfém 1	68,5	0,10	26,2	0,09	5,3	0,02
előlap alapfém 2	68,8	0,10	26,0	0,09	5,2	0,02
oldal alapfém	68,1	0,10	26,2	0,09	5,7	0,02

Az eredmények alapján ebben az esetben is arra következtethetünk, hogy a bulla külső, arany komponensei ugyanabból az alapanyagból készültek, ahogy az 1252-es pecsét esetében is, azonban ez esetben kevésbé tiszta aranyötvözetről van szó, melyben magasabb az ezüst és a réztartalom is. Az átlagosan 686 ezrelékes, azaz kb. 16,5 karátos ötvözet fizikailag ridegebb, de jól alakítható melegen és hidegen is egyaránt. Ezt az aranyfinomságú ötvözetet használják leggyakrabban manapság is azon aranyékszerek készítéséhez, melyek kevesebb fizikai behatásnak, kopásnak vannak kitéve. Ez az aranybulla is erősen deformálódott és palástlemezének felső részén hiányos, ami feltételezhetően annak a következménye, hogy története során többször érte erős fizikai behatás, mely a vékony és ötvözeténél fogva rideg aranylemezek repedéséhez, szakadásához vezetett (48. kép). Ezek a sérülések lehetővé tették ennek a pecsétnek a vizsgálata során is, hogy





47. képpár – IV. Béla király 1258-as aranybullája



48. kép – Repedések, szakadások a felületen



49. kép – A keresztmerevítő mikroszkópos képe

jobban megismerhessük felépítésüket. Mivel a belső szerkezeti elemek anyagvizsgálatának elvégzéséhez nem volt megfelelő méretű síkfelület, korróziós termékeik mikroszkópos vizsgálatával azonosíthatók ezek a komponensek. A keresztmerevítőn látható zöldes, vöröses korrózióréteg, illetve a vöröses alapfémszín réz alapanyagra, míg a záróstift látható lemezeinek élei valamilyen vasötvözetre utalnak (49–50. kép).

Az elő- és hátoldal kialakítása

A pecsét külső, aranylemezből készült elemeinek kialakítása a készítéstechnikai szempontokat figyelembevéve teljesen megegyezik az előzőekben vizsgált másik két IV. Béla királyhoz köthető bulláéval. A kalapálással elvékonyított elő- és hátoldali lemezek formai kialakítását ebben az esetben is vésett, poncolt verőtöveken végzett préseléssel alakították ki, majd a hátsó címeres lemezhez forrasztották a szintén kalapálással elvékonyított palástlemezt. Ezt követően illesztették bele a belső vízszintesen elhelyezkedő merevítőelemet, majd forrasztották azt a hátsó lemez belső oldalához. Végezetül a királyábrázolással díszített lemezt is a palástlemezhez forrasztották, minden esetben keményforrasztást alkalmazva,



50. kép – A záróstift rugalmas vaslemezei



52. kép – A sérült záróelem és az eredeti zsinór maradványa

alacsonyabb olvadáspontú aranyforrasszal. A forrasztás ennél a bullánál sem sikerült tökéletesen, feltételezhetően a nem egyenletes hevítésnek köszönhetően vagy a nem megfelelően elterülő folyasztószer miatt. A pecsét fizikai sérülése



51. kép – Elvált forrasztás az előoldal jobb alsó részén

következtében ezek a forrasztási hibák láthatóvá váltak az előoldal jobb alsó és baloldali pereménél (51. kép).

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

A szerkezeti felépítés és az elemek kötése, funkciója is megegyező a korábban vizsgált IV. Béla pecsétekével. A bulla sérült állapota ebben az esetben is jó betekintést nyújt a belső felépítés megfigyeléséhez. A 'T' alakú záróstift arany komponensei nagy mértékben hiányoznak, a függőleges szárból alig látszik valami, illetve a vízszintes, a zsinórok bevezetésére és a fenti lyuk elfedésére használt elem teljesen hiányzik. A hiányos felső oldali nyíláson betekintve azonban jól látszik a 'V' alakú vas záróelemen kialakított kör alakú lyukon átbujtatott eredeti zsinór egy része (52. kép).

A bullatest keresztmerevítő eleme és annak kialakítása is remekül megfigyelhető a sérült részen keresztül. Feltehetőleg a pecsétet többször érte erős külső fizikai behatás, így a keresztmerevítő lemez elmozdult. Az előoldali éle felcsúszott és a teljes elem ívbe hajlott deformációt okozva a királyábrázolás fej részénél, míg a hátsó él a keményforrasztás tartóereje miatt az eredeti síkban maradt (47. kép – elő- és hátoldal képe).

1235–1270 – IV. Béla király – Leltári száma: MNM 26/1881.

Elvégzett vizsgálatok:

- nagy felbontású ipari CT képalkotás – Kozma I.: Vizsgálati jegyzőkönyv i. m.
- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14527-14532 sorszám
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek és mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 8. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek



53. képpár – IV. Béla aranybullája

Anyagvizsgálat

IV. Béla király által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	72,4	0,10	22,3	0,09	5,3	0,02
hátlap alapfém 2	71,5	0,10	23,0	0,09	5,5	0,02
előlap alapfém 1	75,7	0,11	19,8	0,08	4,5	0,02
előlap alapfém 2	75,5	0,11	19,9	0,08	4,5	0,02
oldal alapfém 1	71,4	0,10	22,5	0,09	6,1	0,02
oldal alapfém 2	71,8	0,10	22,4	0,09	5,8	0,02

Az eredmények alapján ennek a IV. Béla királyhoz köthető aranybullának az aranyötvözete leginkább a korábban vizsgált 1251-es pecsétéhez hasonlatos. Az előoldala 750 ezrelékes aranytartalmú, ami szinte pontosan 18 karátos anyagnak felel meg, míg a hátoldal és a palástlemez 715–720 ezrelékes finomságú, azaz picit több, mint 17 karátos. Ebben az esetben is feltételezhetjük azt, hogy az előoldali lemez más öntés során készülhetett, vagy másodlagos felhasználású.

Az elő- és hátoldal kialakítása

A többi, korábban vizsgált IV. Béla királyhoz köthető pecséthez hasonlóan ennél a bullánál is a vékonyra kalapált aranylemezek formára préselésével alakították ki az elő- és hátoldalt, melyeket enyhén tovább cizelláltak a kontrasztosabb formai világ elérése érdekében. Az összesen négy, IV. Béla királyhoz kapcsolódó pecsét közül ez a darab a legjobb állapotban lévő, annak ellenére, hogy előoldalán lyuk és a belső vízszintes merevítő elem vonalában keresztben átfutó repedés és annak régi



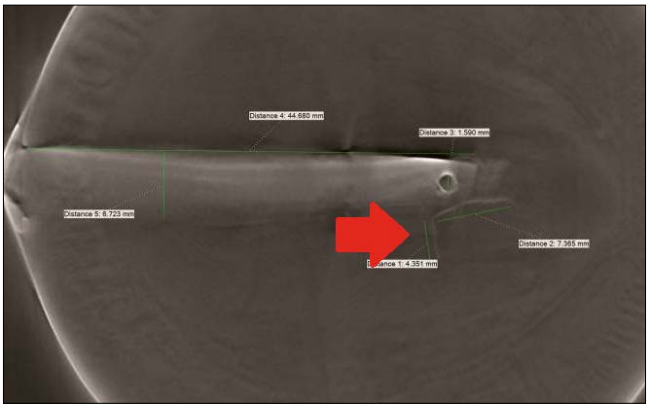
54. kép – Készítéstechnikai hiba nyoma a hátoldalon

javítása látható. A királyábrázolása ennek a legrészletgazdagabb, a többihez viszonyítva kevesebb deformációval és kopott felülettel rendelkezik.

A hátoldalon megfigyelhető a címerábrázolás kialakításánál az a készítéstechnikai sajátosság, amikor a forma préselése során a kalapáláskor a két verőtő között az alaplemez megugrik, így a forma rossz helyre nyomódik (54. kép). A korrigálás során a lemezt újra síkba kalapálják, azonban a már megnyúlt lemez nem tud további vékonyodás nélkül teljesen kisimulni. Ez a fémek azon fizikai tulajdonságával magyarázható, hogy akár hidegen, akár melegen nyúlik meg a felületük, az a felszín növekedésével és a keresztmetszet csökkenésével jár. Ezek után az anyag zsugorodásra és egyenletes zömülésre képtelen. Egy ilyen sikertelen mintabeütés nyomai látszanak a címer keresztje körül.

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

A pecsét szerkezeti felépítése is rendkívül hasonló a többi IV. Béla király nevéhez köthető bulláéhoz, azaz üreges kialakítású, a vízszintes középvonalától valamennyivel feljebb egy szerkezeti merevítőlemezzel, hosszú, a zsinór átfűzésében és rögzítésében szerepet játszó záróstifttel. Alaposabban átnézve a vizsgálati eredményeket, érdekes tárgytörténeti jelekre figyelhetünk fel. Az ipari CT felvételeken jól látható a záróstift aranytengelye, 'T' alakú zárókupakja, azonban nem látszik a 'V' alakú vaslemez, mely rögzítené a stiftet és egyúttal a zsinórt a bullában, ahogyan a korábban vizsgált IV. Béla királyhoz köthető pecsét esetén. A Kozma István vizsgálati jegyzőkönyvében található CT metszeti képen láthatjuk a vaslemez szegecseléssel való rögzítéséhez kialakított lyukat a tengelyen, illetve rendkívül halványan egy 4,3×7,4 milliméteres vékony, derékszögű lemezt (55. kép). Feltételezhetjük, hogy a vaslemez valamikor a tárgy története során megsérült, eltört és csak egy darabja maradt a bulla belsejében. Felvetődik a kérdés, hogy akkor mi tartja helyén a záróelemet? Erre a pecsét külső oldalán kapjuk meg a választ, viasz jelenlétére utaló nyomokból (56. kép). A királyábrázoláson lévő sérülés körül már akár szabad szemmel is viaszmaradékot találunk, továbbá megvizsgálva a bulla alsó zsinórkivezető nyílását, szintén felfedezhetjük annak jelenlétét. Mindezekből arra következtethetünk, hogy ezt a bullát valamikor javították, méghozzá úgy, hogy a törött záróstiftet, illetve ennek kapcsán a zsinórt a bullatestbe öntött meleg viasszal rögzítették újra. Ennek a viasznak a többsége feltehetően akkor távozott a pecsét testéből és egy része lerakódott a sérülés köré, illetve a királyalak bal oldalára, mikor azt később fizikai sérülés érte, melyet forrasztással próbáltak javítani. A javító forrasztás nyomait a mikroszkópos képet megvizsgálva, a királyábrázolás bal oldalán találhatjuk vízszintesen, a belső merevítőlemez vonalában (57. kép).



55. kép – Vas lemez töredéke a bullatestben (CT felvétel)



57. kép – Javítás nyomai az előoldalon (forrasztás)



56. képpár – Viasznyomok az előoldal sérülése körül, illetve a zsinóron az alsó oldalon



58. képpár – Mátyás király 1464-es aranybullája

1464 – Mátyás király (soproni aranybulla) – Jelzete: HU-GYMSMSL-XV.76.-DL 1938. [fényképmásolata: HU-MNL-DF 203563.]

Elvégzett vizsgálatok:

- nagy felbontású ipari CT képalkotás – Kozma I.: Vizsgálati jegyzőkönyv i. m.
- kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14478-14483 sorszám
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek és mikro-XRF eredmények – Kertész Zs. et al.: Aranybullák i. m. 9. sz. mérési dokumentáció
- hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek

Anyagvizsgálat

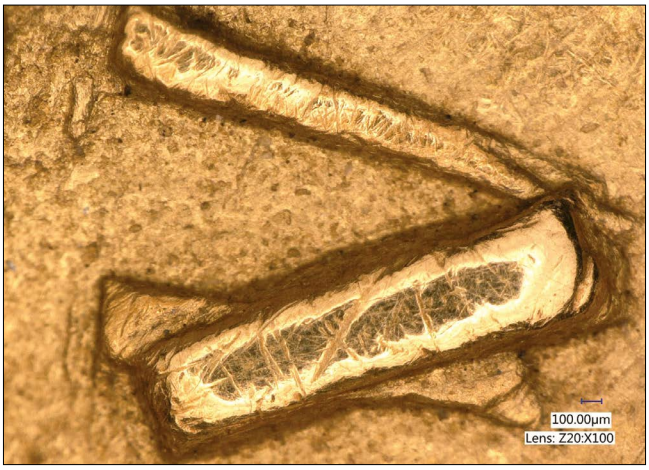
Az 1464-ben, Mátyás király által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	97,2	0,13	2,1	0,04	0,7	0,01
hátlap alapfém 2	97,3	0,13	2,1	0,04	0,6	0,01
előlap alapfém 1	97,4	0,13	2,0	0,04	0,6	0,01
előlap alapfém 2	97,1	0,13	2,0	0,04	0,8	0,01
oldal alapfém 1	80,6	0,11	11,4	0,07	8,1	0,02
oldal alapfém 2	80,0	0,12	11,4	0,07	8,6	0,02

A pecsét három fő komponensének hXRF vizsgálata alapján az elő- és hátoldali komponens magasabb aranytartalommal rendelkezik, míg a palást alacsonyabb aranytartalmú. Az előlap és hátlap aranyfinomsága átlagosan 972 ezrelék, mely majdnem színarany, azaz közel 24 karátos, míg az oldallemez átlagosan 803 ezrelékes, azaz valamivel több, mint 19 karát. Az eddig vizsgált aranybullák közül összességében ez a legmagasabb aranytartalommal rendelkező darab. Az ilyen tisztaságú arany fizikailag gyengébb, puhább, azaz jobban karcolódhat, deformálódhat. Állapota azonban szemmel láthatóan alig árulkodik erről a fizikai tulajdonságáról, hiszen jó megtartású, formái és köriratai épek, kevésbé deformálódtak, felülete kopott ugyan, de erősebb karcokat nem fedezhetünk fel rajta. Mindez azért lehetséges, mivel, a többi bullától eltérően, a Mátyás király nevéhez kapcsolható pecsét, kisebb, de ugyanakkor kézbe véve érezhetően súlyosabb darab, melynek oka az, hogy főbb komponensei más ötvöstechnikai módszerrel készültek, illetve a zsinór rögzítési típusa is eltér a korábban megismertekhez képest.

Az elő- és hátoldal kialakítása

A pecsét elő- és hátoldala az eddig vizsgált 12–13. századi aranybullákhoz képest jóval vastagabb lemez. Közelebbről megvizsgálva a formai kialakítást, rögtön szembetűnik a felületek részletgazdagsága, a királyábrázolás oldalon a ruházat redőinek részletessége, díszítése, a haj kidolgozása, illetve a háttér finom rasztere. Tovább vizsgálva a felszínt észrevehető



59. kép – A felületen észrevehető porozitás, formák kontúrossága

a formák, betűk kontúrjának éles váltása, melyek a mikroszkóp alatt még nyilvánvalóbbá teszik azt a feltételezést, hogy az elő- és hátlemez öntéssel készült (59. kép). Az öntési technika típusára a szabad szemmel sík háttér felületek adják meg a választ. A mikroszkópos képen is látható szemcsés porozitásból arra következtethetünk, hogy az olvadt fémet agyagba vagy nagyon finom homokba önthették. Az, hogy az eredeti pozitív forma milyen anyagból és módon készülhetett, nem tudhatjuk biztosan, de mintázhatták viaszból vagy felhasználhattak egy korábbi öntvényt is akár, melyet átalakítottak az aranybullákhoz illeszkedő feliratokkal és királyábrázolási előírások alapján. Az elő- és hátoldalt az öntést követően eldolgozták reszelő és csiszoló szerszámokkal, majd előkészítették a pecsét testét adó lemezanyagot.

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

Mátyás király 1464-es aranybullájának súlya méretéhez képest jelentős, így feltételezhető, hogy nem teljesen üreges kialakítású. Sajnálatos módon az ipari CT felvételek technikai hiba miatt nem mutatták meg a belső szerkezetet, azonban a külső jellegzetességek alapján rekonstruálható a belső kialakítás, illetve a zsinór rögzítés módja. Maga a pecsét teste





60. képpár – A felső záróelem





61. képpár – A pecsét felső és alsó zsinórrögzítő záróeleme

három fő komponensre osztható. Az öntött elő- és hátlaplemezek mellett a bulla vastagságát egy tömör középrész adja, mely egy vagy két darabból áll, úgy, hogy a tárgy függőleges középvonalában üreges rész maradjon. Ezeket a komponenseket keményforrasztással illesztették össze, melynek nyoma lehet az oldalsó részen forraszanyagra utaló anyagvizsgálati eredmény. A pecsét felső részén a két ággal a bullába futó selyemzsinórt egy szintén aranyból készült rögzítőelem tartja helyén, melynek felületén ütésekre utaló síkfelületek találhatók (60. kép). Ebből arra következtethetünk, hogy a zsinór átfűzését követően ezt a záróelemet a helyére ütötték, beszorítva azt a tárgyon keresztülhaladó üregbe. A tárgy alsó részén mindössze egy zsinórkivezetés található, melyből feltételezhetjük, hogy a fenti arany záróelembe futó két zsinórágat összecsomózták, vagy csak egyszerűen összesodorták, mielőtt kivezették alul és beszorították a záróelemmel (61. kép).

1465 – Mátyás király (esztergomi aranybulla) – Jelzete: HU-PL-Acta Radicalia A-10. [fényképmásolata: HU-MNL-OL-DF 248450.]

Elvégzett vizsgálatok:

– kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 16931-16935 sorszám
– hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek



62. képpár – Mátyás király 1465-ös aranybullája



63. képpár – Az 1464-es (balra) és 1465-ös (jobbra) bulla hátoldalának összehasonlítása

Anyagvizsgálat

Az 1465-ben, Mátyás király által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
hátlap alapfém 1	95,7	0,13	2,7	0,04	1,5	0,01
hátlap alapfém 2	95,4	0,13	2,9	0,04	1,8	0,01
előlap alapfém 1	95,5	0,13	2,8	0,04	1,7	0,01
előlap alapfém 2	95,0	0,13	3,0	0,04	2,0	0,01
stift alapfém	95,5	0,12	2,2	0,04	2,3	0,01

Az anyagvizsgálat eredményeiből látható, hogy Mátyás király 1465-ben készült pecsétje is rendkívül tiszta – több mint 950 ezrelék aranyat tartalmazó – ötvözet, szinte színarany, azaz 24 karátos. Az 1464-ben készült bullánál körülbelül 20 ezrelékkel kevesebb arany – így arányosan ennyivel több ezüst és réz – található anyagában. Mivel ennek a pecsétnek hiányzik a függesztőzsinórja, a rögzítőstift jobban hozzáférhető volt a műszeres vizsgálat során, így sikerült annak anyagösszetételét is vizsgálni, mely alapján egyértelműen látható a komponensek közötti azonosság, tehát a zsinórrögzítő stift is ugyanabból az ötvözetből készült, mint a pecséttest.

Az elő- és hátoldal kialakítása

Az 1465-re datált aranybulla két oldalát az 1464-ben készültéhez hasonlóan, öntéssel készítették el. A két Mátyás király nevéhez köthető pecsét elő- és hátoldalát összehasonlítva biztonsággal kijelenthető, hogy azok ugyanarról a mintáról készültek. Az összehasonlítás során mindkét bulláról a nagyfelbontású fotókon a jellemző formai, kialakításbéli hibákat megkeresve lehet egyértelmű nyomokat felfedezni az azonosság tényére (63. kép). Továbbá az ilyen alapos vizsgálat során fel lehet fedezni esetleges öntéstechnikai hibákat is, melyek



64. kép – Öntési hiba (buborék) a hátoldal köriratának betűjén

egyértelműsítik a pecsét készítésének módját. Az 1465-ös aranybulla felületén több helyen fedezhető fel az olvadt aranyötvözet öntésekor keletkező légbuborékok helye, melyek létrejöhetnek akkor is, ha az öntőminta nincs kellően felhevítve, a fémötvözet túlhevült vagy esetleg bizonyos felületi szennyezőanyagok szublimálnak a felületről (64. kép).

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

Az 1465-re datált Mátyás aranypecsét szerkezeti felépítésben minimálisan tér el az 1464-estől. Már szabadszemmel is látható a két bulla vastagságának különbsége, mely a későbbi darab szerkezeti felépítésének eltérésére utal (65. kép). Ez a különbség a jobb alsó paláston látszódik leginkább, ahol a keményforrasztással rögzített elemek elváltak. Ez a sérülés feltételezhetően akkor keletkezett, mikor a zsinórrögzítő stifteket a helyükre ütötték. Az erős ütések hatására az amúgy is puha, jól alakuló fém az alsó előoldali részen megrepedt, a valószínűsíthetőleg nem tökéletes forrasztás, mely összetartotta az elő- és hátoldalakat, részben elengedett (66. kép).

Az 1465-ös aranybulla szerkezeti felépítését, a korabeli sérülése miatt jobban megfigyelhetjük. Az elengedett forrasztás egyértelműsíti a két lemez vastagságát, továbbá azt, hogy az 1464-essel ellentétben itt nincs köztes – a pecséttestet alkotó – szerkezeti elem. Ezen megfigyelések alapján tehát a pecsét a következő módon készült el, majd került az iratra: A negatív öntőformákat, agyagba vagy finomszemcsés homokba készítették elő egy pozitív mintájú szerszámmal (vagy egy



65. képpár – Az 1464-es (fent) és 1465-ös (lent) bulla vastagsága



66. képpár – Az előoldal alsó zsinórkivezetésénél látható sérülés (fent) és az elő- és hátoldal forrasztásának vonala



67. kép – Az aranybulla felső zsinórrögzítő stiftje

korábbi bulla felhasználásával), melybe az olvadt fémet öntötték. A friss öntvényekről eltávolították a formából visszamaradt anyagot, majd hátoldalukat és peremüket eldolgozták reszelőkkel. A 2–3 mm vastag oldallapok hátulján kialakították a zsinór átfűzéséhez használt „csatornát" fűrészeléssel vagy reszelőszerszámokkal. A két oldalt alacsonyabb olvadáspontú, kisebb aranytartalmú forraszanyag felhasználásával, a korszakra jellemző bórtartalmú folyasztószerrel végzett keményforrasztással rögzítették egymáshoz. Aranylemezből kalapálással, majd hajtással kialakították a selyemzsinórt rögzítő stiftet, melyet a zsinórra csíptetve ütöttek át a pecsét testén kialakított résen (67. kép).

1660 – I. Lipót király – Jelzete: HU-MNL-OL-E 152-Col. Cassov.- 1-1.

Elvégzett vizsgálatok:
- nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek
- hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek

Anyagvizsgálat

I. Lipót király aranybullájáról a kézi hXRF készülékkel technikai okokból adódóan nem készült kvalitatív és kvantitatív ötvözetmeghatározó mérés. A mérőműszer számára 3×3 milliméteres síkfelület szükséges értékelhető eredmények kinyeréséhez, ilyen terület azonban nem található a gazdagon díszített pecsét felületén. A fém fakósárga színéből és ép, szinte karcmentes felületi állapotából arra következtethetünk, hogy az aranyötvözet magas ezüst- vagy réztartalmú lehet, 700–800 ezrelék aranytartalommal, melyek miatt a fizikai behatásoknak ellenállóbb ötvözetről beszélhetünk.

Az elő- és hátoldal kialakítása

A pecsét teljes előoldala, azaz a királyábrázolás hiányzik, ami lehetővé teszi a készítéstechnikai jellegzetességek alapos vizsgálatát, illetve lehetőséget biztosít ezen bullatípus belső felépítésének megismerésére. A rendkívül gazdagon díszített hátoldalt közelről megvizsgálva annak készítéstechnikájára utaló nyomokat fedezhetünk fel (69. kép). A sík felületeken helyenként látható porozitás és kráteres anyaghiány, illetve számos díszítésen vagy azok mellett mutatkozó ömleny és anyagtöbblet, arra utal, hogy a hátoldal és feltehetően a hiányzó előoldal is viaszvesztéses öntéssel készült. A motívumok részletes kidolgozása méhviaszlapra történt, melyet aztán agyaggal vontak be, kialakítva közben ki- és beömlőnyílásokat, melyeken hevítés hatására a viasz kifolyt, miközben az agyag megszilárdult. A megszilárdult agyagnegatívba ezt követően öntötték a megolvasztott aranyötvözetet. A fém lehűlését követően az agyagot lebontották a fémről, eltávolították a fölöslegessé vált ki- és beömlőcsonkokat, majd az öntvény felületét eldolgozták csiszoló- és reszelőszerszámokkal.

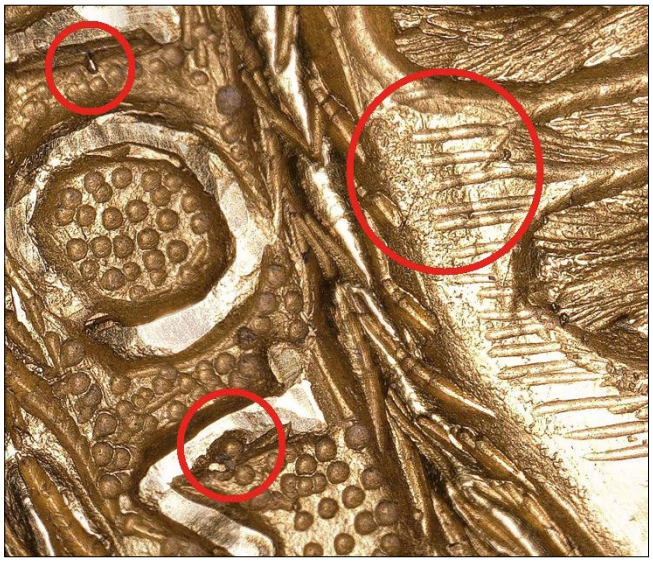
A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

A bulla palástlemezét kalapálással elvékonyított aranylapból készítették, melyet a hátoldal lemezéhez keményforrasztással rögzítettek és vésett ornamensekkel díszítettek (70. kép).





68. képpár – I. Lipót király 1660-as aranybullája

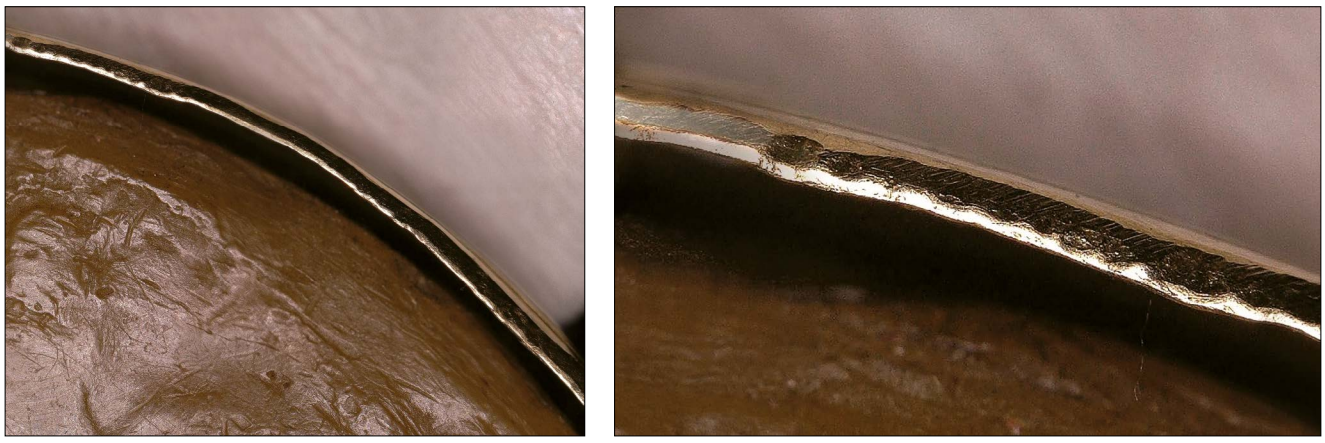


69. kép – Öntésre utaló felületi sajátosságok

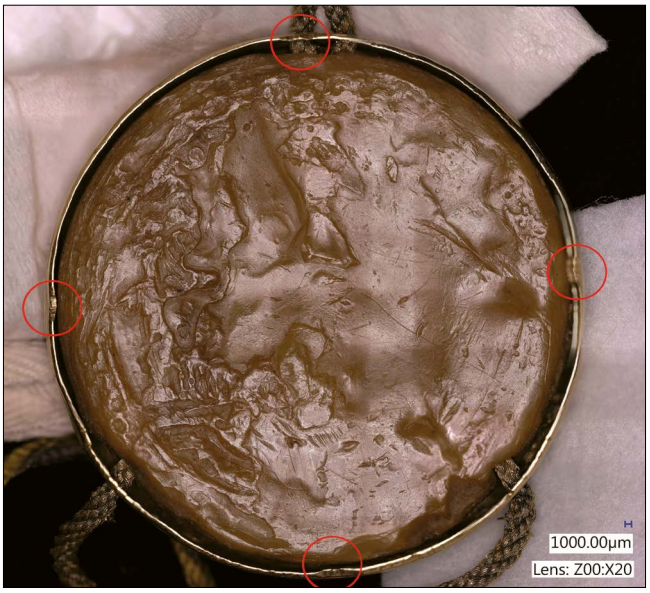
Az aranyszálakkal font selyemzsinórok helyét fúrással alakították ki a palástlemezen. Fent közvetlenül egymás mellett két lyukon vezették be a pecséttestbe a zsinórokat, keresztezték azokat, majd alul, negyed körív kihagyással lettek kivezetve. A keresztezésre a Mária Terézia nevéhez fűződő, hasonlóan kialakított aranybulla CT felvétele alapján következtethetünk. A zsinórok átfűzését követően a pecséttestbe az előoldal irányából melegített, folyékony állagú méhviaszt öntöttek, mellyel az előlap magasságáig töltötték fel a bullát. A viasz teljes megszilárdulását követően az előoldalt – ami feltételezhetően minimálisan kisebb átmérőjű volt, mint a kialakított palástlemez belső befoglaló mérete – ráhelyezték a megszilárdult viaszra és a palástlemez peremeit drágakövek befoglalásához használt szerszámhoz hasonló eszközzel ráhajtogatták a királyábrázolást magán hordó öntött előoldal peremeire. Erre a technikára abból következtethetünk, hogy a palástlemez előoldal irányába álló éle elvékonyított, deformált, illetve több foglaló szerszámra utaló nyom is látható rajta (71. kép). A palástlemez előoldal felöli



70. kép – A pecsét palástlemezének díszítése



71. képpár – Az elvékonyított palástlemez és a foglalás nyomai



72. kép – Korábbi javítás nyomai

élén négy nagyobb deformációt láthatunk, melyek alapján feltételezhető, hogy korábban már kieshetett a mára hiányzó előoldal, melyet akkor megpróbáltak visszafoglalni a pecsétre (72. kép).

1765 – Mária Terézia (Erdélyi címeradomány) – Jelzete: HU-MNL-OL-F 144-5.

Elvégzett vizsgálatok:

– nagy felbontású ipari CT optikai felületrekonstrukció – Kozma I.: Vizsgálati jegyzőkönyv i. m.
– klinikai minőségű CT képalkotás – Csobay-Novák Cs.: Radiológiai szakvélemény i. m.
– kézi röntgenfluoreszcens spektrometria (hXRF) – Mozgai V. – Bajnóczi B.: Magyarországi i. m. 14484-14493 sorszám
– nagy felbontású 3D mikroszkópos felvételek
– hagyományos fotótechnikai eljárások – makrófelvételek

Anyagvizsgálat

Az 1765-ben, Mária Terézia által kiadott aranybulla pecsétjének anyagvizsgálati, aranyötvözetére vonatkoztatott hXRF eredményei (tömegszázalékban):

Mérés helye	Au	+/-	Ag	+/-	Cu	+/-
előlap alapfém 1	95,1	0,13	0,3	0,03	4,7	0,02
előlap alapfém 2	86,8	0,13	< k.h.	–	13,2	0,03
előlap alapfém 3	95,5	0,13	0,2	0,03	4,3	0,02
előlap alapfém 4	86,0	0,13	0,3	0,03	13,7	0,03
hátlap alapfém 1	91,4	0,12	4,3	0,03	4,3	0,02
hátlap alapfém 2	90,3	0,13	4,0	0,05	5,7	0,02
hátlap alapfém 3	85,1	0,12	4,0	0,04	10,9	0,03
hátlap alapfém 4	85,1	0,12	4,1	0,05	10,8	0,03
oldal alapfém 1	83,8	0,12	3,8	0,04	12,5	0,03
oldal alapfém 2	84,2	0,13	3,5	0,04	12,3	0,03

Mária Terézia pecsétjének vizsgálatánál azért került végül sor ennyi mérésre, mivel az elő- és hátoldalon először mért két-két érték rendkívül különböző aranyösszetételt mutatott, látszólag minden ok nélkül. A mérések során megfigyelhető volt, hogy a sima, polírozott felületeken a mérési eredmények 855–860 ezrelék arany jelenlétét mutatták, míg a poncolt, textúrával díszített felületeken jóval több, 900–950 ezrelék arany





73. képpár – Mária Terézia 1765-ös aranybullája



74. képpár – Anyagvizsgálat mérési pontjai



75. kép – A kiegészítő aranyozás nyomai



76. kép – Öntésre utaló felületi porozitás nyomai

van jelen (74. kép). Szabad szemmel és mikroszkóp alatt megfigyelve az elő- és hátoldalt, észrevehető az arany színében is a különbség, mely nem csak a felület díszítettségének mértékétől függő, mivel az ornamensek kontúrvezetésén túlnyúlva, a sima polírozott felületeken is megtalálható.

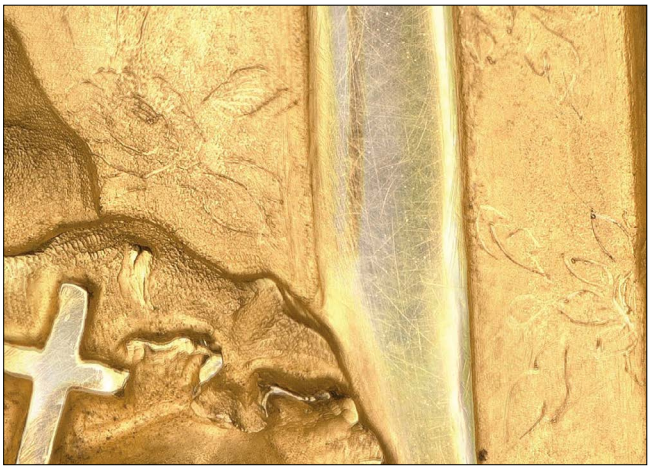
Az eredményekből arra következtethetünk, hogy a bullatest megformálásához használt ötvözet egységesen 850 ezrelék aranytartalmú, azaz valamennyivel több mint 20 karát körüli. Ezen felül viszont megtalálható egy rendkívül magas, 950 ezrelék körüli aranytartalmú kiegészítő aranyozás, mely a különböző formákon, uralkodói alakon, koronán és címeren is jól megfigyelhető (75. kép).

A pecsét készítéstechnikai kialakítására utaló másik fontos információ, mely kiolvasható az eredményekből, az a rendkívül alacsony ezüst és magas réztartalom az alapfémben. Ilyen arany-réz arány leginkább azokban az ötvözetekben figyelhető meg, melyeket öntéshez használnak.

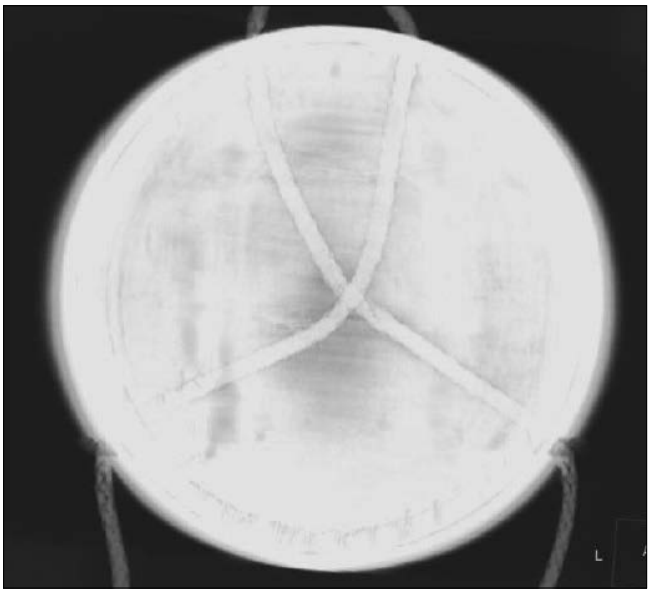
Az elő- és hátoldal kialakítása

Mária Terézia aranybullája készítéstechnikai szempontok alapján sokban hasonlít I. Lipót pecsétjéhez, de méreteiben 10–15%-kal nagyobb, mint az 1660-ra datált királyi pecsét. Az elő- és hátoldal kialakítása ebben az esetben is viaszvesztéses öntéssel készült, ráadásul rendkívül jó minőségben. A felületén alig található hiba, egyedül a betűk felületén és a korona kontúrvonalai mentén látható porozitás (76. kép). Mind az elő-, mind pedig a hátoldalt az öntést követően a felület eldolgozása során cizellálták, illetve a homogén textúrázott felületeket alig észrevehetően karcolásos eljárással díszítették. Mária Terézia figurája körül a szövetet virágmotívumokkal, míg a lába alatt lévő szőnyeget geometriai formák bekarcolásával tették mozgalmasabbá (77. kép). Az uralkodó ábrázolása mellett, a jobb oldali oszlop talapzatán 'KLP' betűket láthatunk bekarcolva, melyekről feltételezhető, hogy a bullát készítő ötvös monogramja (78. kép). A cizellálást és karcolást követően mindkét oldalt bearanyozták színarannyal, feltehetően azért, hogy a fém színe mélyebb sárga, aranyosabb hatású legyen. Az anyagvizsgálat alapján kijelenthető, hogy a leggyakrabban használt, tűzi aranyozásra utaló higany jelenléte nem mutatható ki, így feltehetőleg a technikailag komplexebb hideg aranyozást alkalmazhatták. Ennek tisztázása további, roncsolásos, mintavétellel járó vizsgálatot igényelne, mely ezen műtárgyak esetében nem járható út.

A sík felületeket visszapolírozták, melynek során az aranyozás onnan eltűnt, a világosabb, ezüstösebb árnyalatú



77. kép – Karcolásos díszítés a drapérián



79. kép – A zsinórok elrendezése a CT felvételen

alapfémet láttatva. Ettől a bulla mindkét oldala kontrasztosabb, plasztikusabb lett.

A pecsét palástlemezét az aranyozást megelőzően forrasztották a hátlaplemezhez, majd véséssel díszítették, illetve kialakították rajta az aranyszállal font zsinór fűzésére szolgáló lyukakat fúrással.

A pecsét szerkezeti felépítése és a zsinór rögzítése

A bulla szerkezeti felépítése, illetve a zsinór rögzítése megegyezik I. Lipót pecsétjénél látottakkal, azaz az összeforrasztott palástlemezt és a hátlaplemezt a zsinórok áthúzását és keresztezését követően kitöltötték viasszal, végül az előoldalt a megszilárdult viaszra helyezve, a palástlemez túlnyúlását



78. kép – ‚KLP' monogram karcolata



80. kép – Az előoldal peremén látható foglalásra utaló nyomok

használva befoglalták. A klinikai CT felvételek alapján (79. kép) tudjuk, hogy a pecsét belsejében az aranyszállal font zsinórok keresztezve lettek bevezetve. Az előoldali lemez befoglalására a mikroszkópos felvételeken találhatók nyomok, mivel a palástlemez peremén a közeli felvételeken jól látható szerszámnyomok vannak, illetve a fénytörés is azt mutatja, hogy a felület olykor ívelt, olykor pedig csapott (80. kép).

Csobay-Novák Csaba

Radiológiai szakvélemény az Országos Levéltár aranypecsétjeiről

A 13–18. században készült aranypecsétek radiológiai vizsgálatát végeztük el a Magyar Nemzeti Levéltár és a Genersich Antal Alapítvány kérésére. Jelen voltak: Csüllögh Csilla, Entz László, Szabó Csaba, Rácz György, Tankó Attila. Eseménytelen CT vizsgálatot végeztünk összesen 7 db bulláról, helikális technikával, a sugárdózis – és így a képminőség – maximalizálásával.

Meg kell jegyezni, hogy a képminőség sajnos az összes vizsgált aranybulla esetén lényegesen elmarad a várakozásaimtól. Ennek oka az arany extrém sugárelnyelése, mely minden várakozást felülmúlt. Így a bennék denzitásáról érdemben nyilatkozni nem lehet, azon túl, hogy nem fémöntvény, és nem gáznemű anyag van bennük.

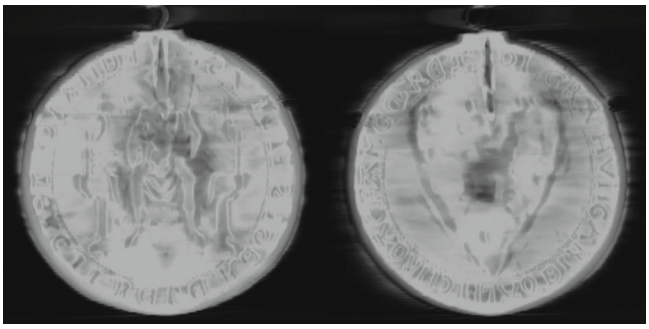
A tárgyak radiológiai leírása a helyszínen kapott leltári szám alapján:

1202 – Imre király (Tota úrnő)
Jelzete: HU-MNL-OL-DL 39249.

A függesztőkarikával összefüggésben a középpont irányában megfigyelhető egy 19 mm hosszú, körülbelül 2 mm átmérőjű fémszög. Közvetlenül a fémszög mellett látható V alakban egy 2 mm széles, lapos fémlemez. Benneke a széli részeken nem megítélhető, a függesztőkarika környezetében levegőzárványok azonosíthatóak.



1. kép – DL 39249.



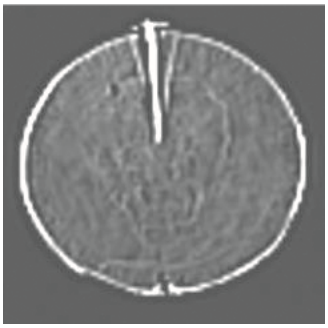
2. képpár – DL 39249. elő- és hátlap

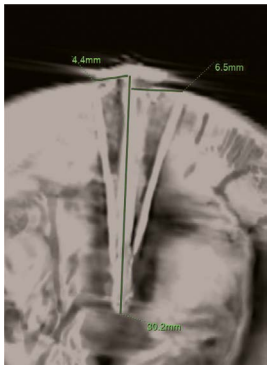


3. képpár – DL 39249.

1221 – II. András (Tota úrnő megerősítése) – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 39250.

A függesztőkarika a bulla középpontja irányában egy 30 mm hosszú fémszögben folytatódik. Ettől két oldalra, 6 és 4 mm-re egy-egy 2,5-3 mm széles fémlemez merevítő figyelhető meg V alakban elhelyezkedve. Középső részén, a fémszög körül levegőzárványok láthatók, a széli részeken benneke nem megítélhető.

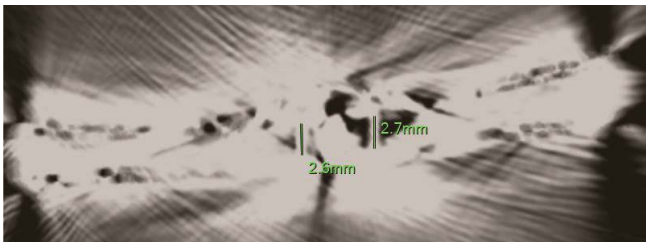




4. képpár – DL 39260.



5. képpár – DL 39250.



6. kép – DL 39250.

1224 – II. András – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 50616.

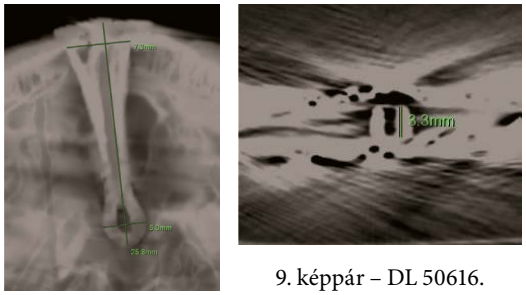


A függesztőkarika a bulla középpontja felé álló, körülbelül 3 mm széles fémszögben folytatódik. Egyéb merevítő nem látszik benne. Benneke alig megítélhető, valószínűleg levegőzárványt is tartalmaz.

7. kép – DL 50616.



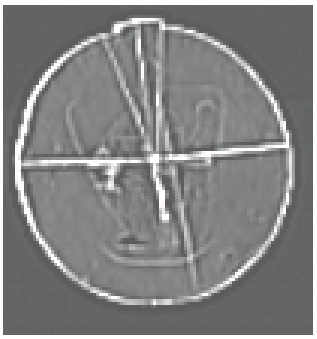
8. képpár – DL 50616.



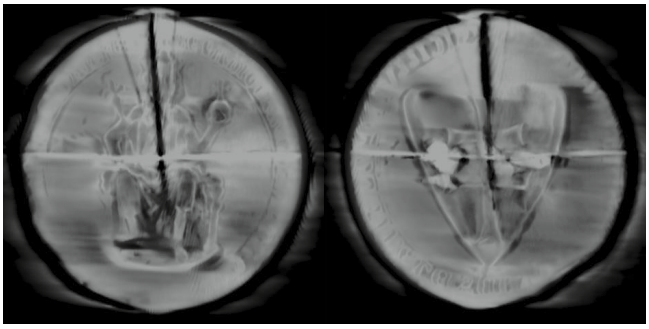
9. képpár – DL 50616.

1251 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 50617.

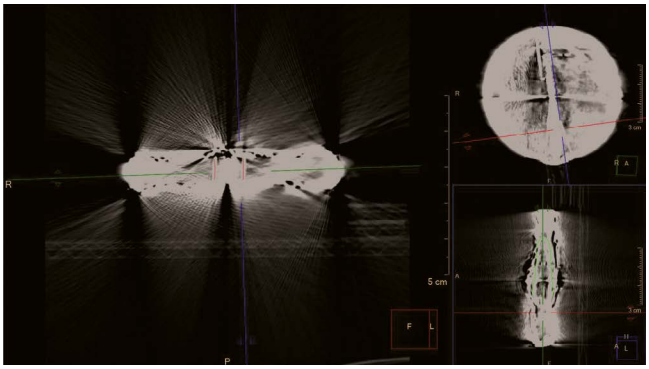
Ebben a bullában két fémlemez keresztezi egymást nem teljesen a középpontban. A bulla „vízszintes/egyenlítői” tengelye mentén lévő fémlemezen a kettőkeresztet mutató címer felőli oldalon, a felszín alatt szabálytalan alakú fémdarabkák láthatók (forrasztás?). Ezen kívül két, hajtű alakú, lapos fém is van a bulla belsejében, egymásra merőlegesen. A bullát nagyjából homogénnek tűnő massza tölti ki, számottevő levegő nincs benne.



10. kép – DL 50617.



11. képpár – DL 50617.



12. képpár – DL 50617.

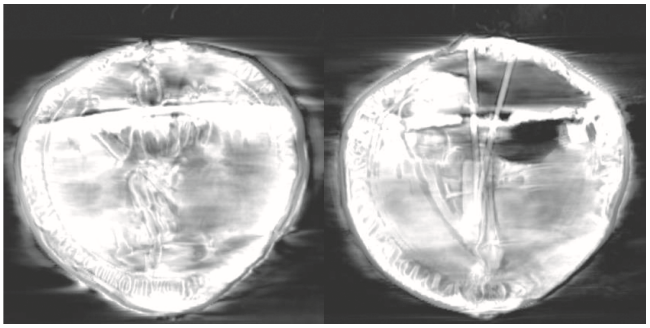
1252 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 369.



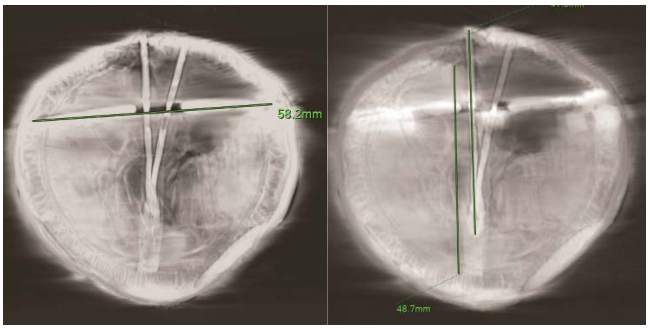
13. kép – DL 369.

A függesztőkarika a bulla középpontja irányában 48 mm hosszú, körülbelül 6 mm széles, hajtű alakú fémlemezben folytatódik. Ezalatt egy hasonló, 48 mm hosszú fémlemez látható, az előzőre merőleges síkban. Ezen kívül a bulla „egyenlítőjével” párhuzamosan is látható egy 58 mm hosszú fém merevítés. A kettőskeresztet ábrázoló

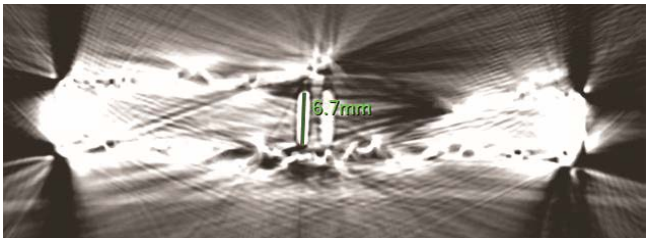
címer felőli oldalon jelentős anyaghiány látszik, ezzel összefüggésben a bulla ezen része üreges. Egyéb részeinek bennéke nem megítélhető.



14. képpár – DL 369.



15. képpár – DL 369.



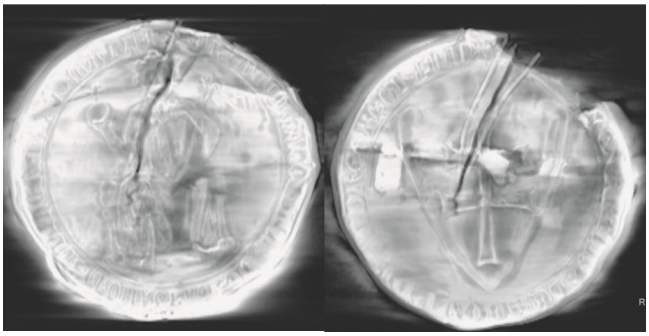
16. kép – DL 369.

1258 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 40046.

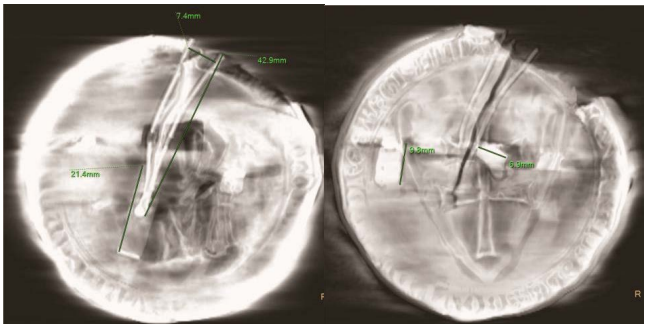
A függesztőkarika 43 mm hosszú, lapos (7 mm), hajtű alakú fémszögben folytatódik. Ennek végénél merőleges helyzetű, rövidebb, hasonlóan lapos (6 mm), hajtű alakú fém figyelhető meg. Ebben a bullában figyelhető meg legnagyobb mennyiségben a bulla címeres oldalának felszínéhez közel elhelyezkedő, törmelékszerű fémárnyékok (forrasztás?). A fémszegre merőleges merevítés ebben az egy bullában lényegesen szélesebb, a trónoló királyalakos oldala felé eső felszínhez közeli részén 16 mm legnagyobb szélességet ér el, kifejezetten aszimmetrikus. Címeres oldalának felső részén jelentős anyaghiány figyelhető meg. A bulla benneke nem megítélhető.



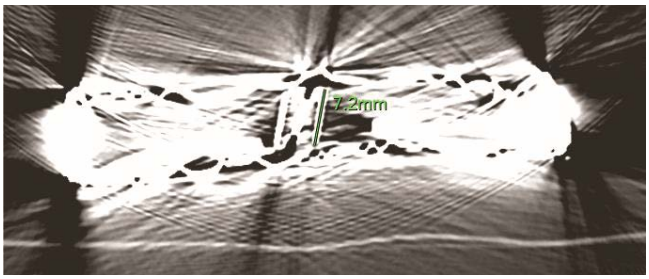
17. kép – DL 40046.



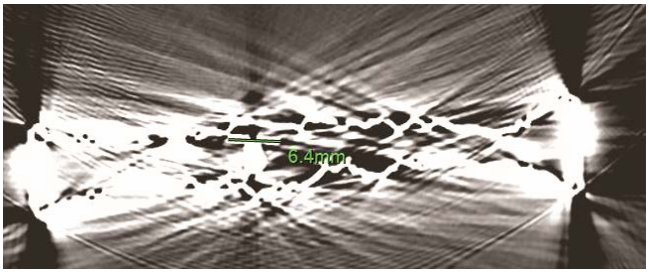
18. képpár – DL 40046.



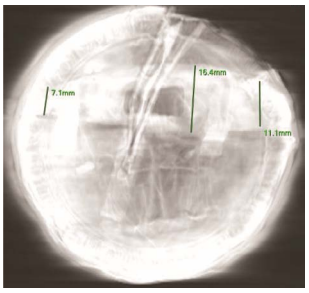
19. képpár – DL 40046.



20. kép – DL 40046.

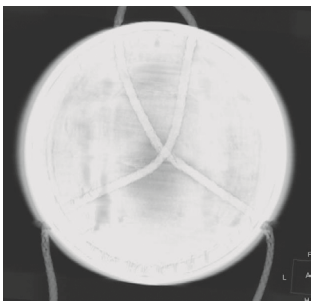


21. kép – DL 40046.



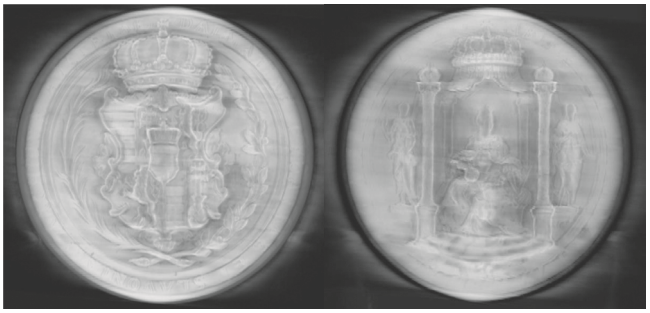
22. kép – DL 40046.

1765 – Mária Terézia (Erdélyi címeradomány) – Jelzete: HU-MNL-OL-F 144-5.

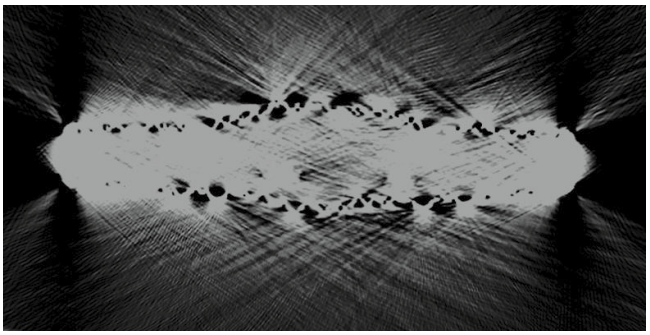


Homogén masszával kitöltött, levegő nincs benne. A kisebb bulláktól teljesen eltérő a szerkezete, sem fémmerevítést, sem egyéb fémkomponenst nem tartalmaz. A madzag csomó nélkül, keresztezve halad át rajta.

23. kép – OL-F 144-5.



24. képpár – OL-F 144-5.

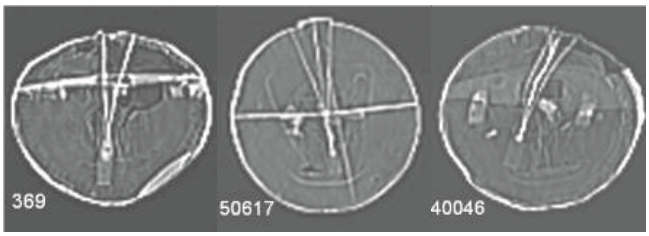


25. kép – OL-F 144-5.

Összefoglalás

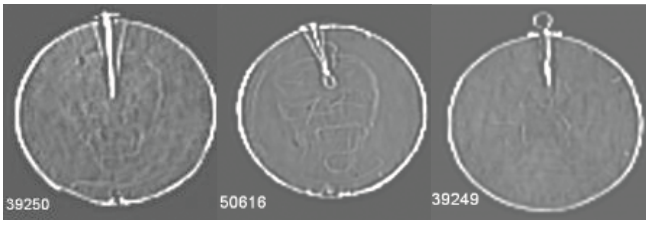
A vizsgált aranybullákat szerkezetük alapján három csoportra oszthatjuk.

Az első csoportba tartoznak a hosszú (4-5 cm), csaknem a teljes pecsétet átérő rögzítőszeggel, ehhez kapcsolódó, illetve erre merőleges helyzetű merevítőkkel készített pecsétek – 369, 50617, 40046. Ezek közül szerkezetileg kicsit kilóg a 40046 számú tárgy, melynek merőleges merevítője lényegesen szélesebb, mint a másik kettőnél – talán más mester készíthette. Mindhárom pecsét további közös és kizárólagos jellemzője a szabálytalan fémbennék jelenléte, mely talán forrasztás lehet, mindhárom pecsét esetében a címer felőli felszínhez közel.

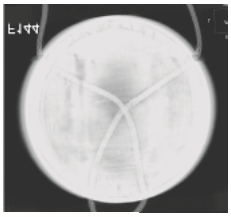


26. képsorozat

2. A második csoportba a rövid (2-3 cm) rögzítőszeggel rendelkező pecsétek tartoznak, melyek belsejében további fémmerevítés nincs. Ezek közül szerkezetileg kissé kilóg a sorból a 39249 számú bulla, melynek fémszeg melletti merevítője lényegesen közelebb helyezkedik el, sokkal kevésbé V alakú, mint a másik kettőnél – ezt talán egy másik mester készíthette.



27. képsorozat



A harmadik csoportot az F144 jelű bulla alkotja, melyben nincs belső merevítés, sem rögzítőszeg, sem függesztőkarika.

28. kép

Mozgai Viktória – Bajnóczi Bernadett*

Magyarországi gyűjteményekben őrzött aranybullák roncsolásmentes kézi XRF vizsgálatának eredménye

Bevezetés

A Magyar Nemzeti Levéltár gyűjteményéből nyolc darab, az esztergomi Prímási Levéltár gyűjteményéből két darab, míg a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből két darab aranybulla roncsolásmentes kémiai vizsgálatát végeztük el kézi XRF spektrométerrel (továbbiakban: hXRF).

Alkalmazott műszerparaméterek

SPECTRO xSORT Combi típusú spektrométer, 15–50 kV, 30–120 μA, Rh forrás, Peltier hűtésű SDD detektor, fémek-ötvözetek vizsgálatára „*Alloy Plus including Light Elements*" gyárilag beépített kalibráció, 3 mm átmérőjű mérőablak, 60 másodperc mérési idő. Az XRF mérési pontok helyeit ld. a dokumentum végén. A kézi XRF mérések pontosságának ellenőrzése az MBH Analytical Ltd. ismert összetételű aranysztenderdjeinek mérésével történt.

Eredmények és értelmezés

A vizsgált aranybullák aranyötvözetből készültek (65–97 tömeg% Au), az arany mellett fő összetevőként ezüstöt és rezet tartalmaznak (1. táblázat; 1–2. ábra). Az előlap, a hátlap és az oldallemez összetétele alapján az alábbiak szerint csoportosíthatjuk az aranybullákat (megjegyzendő, hogy a forraszok, különösen az oldallemezeknél, torzíthatják a mérési adatokat):

- az előlap, a hátlap és – amennyiben mértük – az oldallemez viszonylag homogén kémiai összetételt mutat, azonos összetételű aranyötvözetből készültek: MNM 1871.288 (III. Béla király, 1172–1196), HU-MNL-OL-DL 369 (IV. Béla király, 1252), HU-MNL-OL-DL 40046 (IV. Béla király, 1258), HU-PL-Acta Radicalia A-10. (Mátyás király, 1465),
- az előlap és a hátlap azonos, az oldallemez eltérő összetételű aranyötvözetből készült: HU-MNL-OL-DL 39250 (II. András király, 1221), HU-PL-Acta Radicalia V-2. (II. András király, 1233), HU-MNL-OL-DL 50617 (IV. Béla király, 1251), HU-GYMSMSL-XV.76.-DL 1938 (Mátyás király, 1464),
- a hátlap és az oldallemez azonos, az előlap eltérő összetételű aranyötvözetből készült: HU-MNL-OL-DL 39249 (Imre király, 1202), MNM 26/1881 (IV. Béla király, 1235–1270),
- az előlap, a hátlap és az oldallemez eltérő összetételű aranyötvözetből készült: HU-MNL-OL-DL 50616 (II. András király, 1224), HU-MNL-OL-F 144-5. (Mária Terézia, 1765).

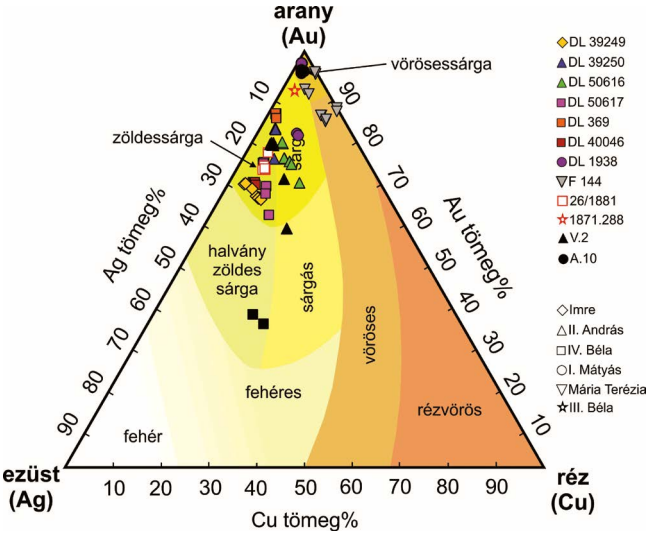
A vizsgált aranybullák közül a leggyengébb minőségű aranyötvözetből készült bullát Imre király adta ki 1202-ben (HU-MNL-OL-DL 39249: 64,7–68,2 tömeg% Au) és IV. Béla király 1258-ban (HU-MNL-OL-DL 40046: 68,1–68,6 tömeg% Au). A legjobb minőségű két aranybullát Mátyás király bocsátotta ki 1464-ben és 1465-ben (HU-GYMSMSL-XV.76.-DL 1938: 97,1–97,4 tömeg% Au, HU-PL-Acta Radicalia A-10.: 95,0–95,7 tömeg% Au).

Az azonos uralkodó által kiadott aranybullák összetétele egymáshoz képest eltérő. A II. András által kiadott három aranybulla közül az 1221-ben kibocsátott (HU-MNL-OL-DL 39250) a legnagyobb aranytartalmú, a IV. Béla által kiadott négy aranybulla közül pedig az 1252-ben kiadott (HU-MNL-OL-DL 369).

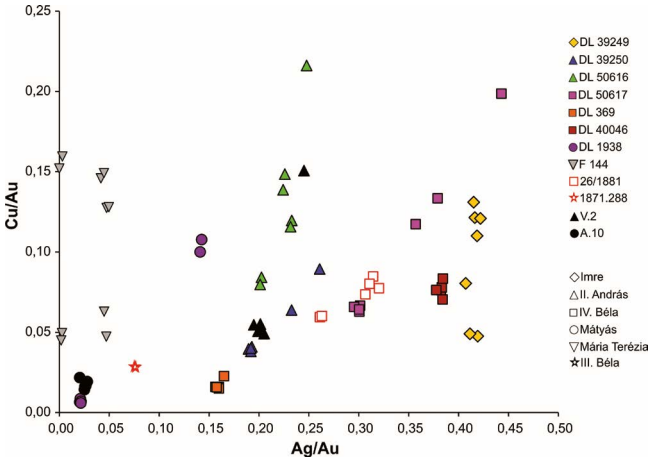
A Mária Terézia által 1765-ben kiadott aranybulla (HU-MNL-OL-F 144-5.) elő- és hátlapján a matt, textúrált részeken több aranyat és kevesebb rezet mértünk a sima, fényes részekhez képest (az előlapon kb. 9–10%-kal több arany, a hátlapon kb. 5%-kal több arany). A többletarany alapján valószínűleg a matt részeken utólagos aranyozás történt. Mivel a spektrumokban nem látjuk higany vonalát, ezért a tűzi aranyozás kizárható.

A IV. Béla által 1252-ben kiadott aranybulla (HU-MNL-OL-DL 369.) merevítéséhez vörösrezet használtak.

* HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, mozgai.viktoria@csfk.org; bajnoczi.bernadett@csfk.org



1. ábra: A vizsgált aranybullák kémiai összetétele a hXRF mérések alapján az Au–Ag–Cu háromszögdiagramon ábrázolva.



2. ábra: A vizsgált aranybullák kémiai összetétele a hXRF mérések alapján Ag/Au–Cu/Au kétváltozós diagramon ábrázolva.

1. táblázat - A tizenkét aranybulla hXRF elemzésének eredménye. A kapott eredményeket tömegszázalékban tüntettük fel (a ± oszlopokban az adatok hibája látható). <k.h. = kimutatási határ alatt.

Sorszám	Leltári szám	Kibocsátó	Mérés helye	Au	±	Ag	±	Cu	±
14534	MNM 1871.288	III. Béla király (1172–1196)	hátlap alapfém	90,5	0,12	6,9	0,06	2,6	0,01
14533			előlap alapfém	90,6	0,12	6,8	0,06	2,6	0,01
14459	HU-MNL-OL-DL 39249	Imre király (1202)	hátlap alapfém 1	65,4	0,10	27,4	0,09	7,2	0,02
14460			hátlap alapfém 2	65,0	0,10	27,1	0,09	7,9	0,02
14461			előlap alapfém 1	67,2	0,09	27,4	0,09	5,4	0,02
14462			előlap alapfém 2	68,2	0,10	28,6	0,09	3,2	0,01
14463			előlap alapfém 3	68,5	0,10	28,2	0,09	3,4	0,01
14464			oldal alapfém 1	64,8	0,10	27,3	0,09	7,8	0,02
14465			oldal alapfém 2	64,7	0,10	26,9	0,09	8,5	0,02
14472	HU-MNL-OL-DL 39250	II. András király (1221)	hátlap alapfém 1	81,1	0,11	15,6	0,07	3,3	0,02
14473			hátlap alapfém 2	81,4	0,11	15,4	0,08	3,2	0,02
14474			előlap alapfém 1	81,3	0,11	15,6	0,08	3,1	0,02
14475			előlap alapfém 2	81,2	0,11	15,6	0,08	3,3	0,02
14476			oldal alapfém 1	77,1	0,11	17,9	0,08	4,9	0,02
14477			oldal alapfém 2	74,1	0,11	19,3	0,08	6,6	0,02
14466	HU-MNL-OL-DL 50616	II. András király (1224)	hátlap alapfém 1	73,9	0,11	17,2	0,08	8,8	0,02
14467			hátlap alapfém 2	74,2	0,11	17,2	0,08	8,6	0,02
14468			előlap alapfém 1	77,7	0,11	15,7	0,08	6,5	0,02
14469			előlap alapfém 2	78,1	0,11	15,7	0,08	6,2	0,02
14470			oldal alapfém 1	73,4	0,11	16,5	0,08	10,2	0,02
14471			oldal alapfém 2	72,8	0,11	16,4	0,07	10,8	0,02
14509			oldal forrasz	68,3	0,10	16,9	0,07	14,8	0,03

Sorszám	Leltári szám	Kibocsátó	Mérés helye	Au	±	Ag	±	Cu	±
16925	HU-PL-Acta Radicalia V-2.	II. András király (1233)	hátlap alapfém 1	78,0	0,11	17,5	0,08	4,6	0,02
16930			hátlap alapfém 2	77,5	0,11	17,9	0,08	4,6	0,02
16924			előlap alapfém 1	77,6	0,11	18,3	0,08	4,1	0,02
16929			előlap alapfém 2	77,9	0,11	17,8	0,08	4,2	0,02
16926			oldal alapfém	69,3	0,10	19,5	0,08	11,1	0,03
16928			stift alapfém	77,7	0,11	17,9	0,08	4,4	0,02
16927			forrasz alapfém	57,4	0,09	24,9	0,09	17,6	0,03
14502	HU-MNL-OL-DL 50617	IV. Béla király (1251)	hátlap alapfém 1	73,5	0,11	21,7	0,09	4,8	0,02
14503			hátlap alapfém 2	73,3	0,11	22,0	0,09	4,7	0,02
14500			előlap alapfém 1	73,3	0,10	22,0	0,09	4,6	0,02
14501			előlap alapfém 2	73,1	0,11	22,0	0,09	4,9	0,02
14504			oldal alapfém 1	60,9	0,10	27,0	0,09	12,1	0,03
14505			oldal alapfém 2	67,8	0,10	24,2	0,09	8,0	0,02
14506			oldal alapfém 3	66,1	0,10	25,1	0,09	8,8	0,02
14496	HU-MNL-OL-DL 369	IV. Béla király (1252)	hátlap alapfém 1	85,1	0,12	13,6	0,07	1,3	0,01
14497			hátlap alapfém 2	85,2	0,11	13,4	0,07	1,3	0,01
14494			előlap alapfém 1	85,3	0,12	13,3	0,07	1,4	0,01
14495			előlap alapfém 2	85,1	0,12	13,6	0,07	1,3	0,01
14499			oldal alapfém	84,2	0,11	13,9	0,07	1,9	0,01
14498			merevítés alapfém	29,9	0,12	8,1	0,07	61,9	0,08
14454	HU-MNL-OL-DL 40046	IV. Béla király (1258)	hátlap alapfém 1	68,8	0,10	26,4	0,09	4,8	0,02
14455			hátlap alapfém 2	68,6	0,10	26,2	0,09	5,2	0,02
14456			előlap alapfém 1	68,5	0,10	26,2	0,09	5,3	0,02
14457			előlap alapfém 2	68,8	0,10	26,0	0,09	5,2	0,02
14458			oldal alapfém	68,1	0,10	26,2	0,09	5,7	0,02
14527	MNM 26/1881.	IV. Béla király (1235–1270)	hátlap alapfém 1	72,4	0,10	22,3	0,09	5,3	0,02
14528			hátlap alapfém 2	71,5	0,10	23,0	0,09	5,5	0,02
14529			előlap alapfém 1	75,7	0,11	19,8	0,08	4,5	0,02
14530			előlap alapfém 2	75,5	0,11	19,9	0,08	4,5	0,02
14531			oldal alapfém 1	71,4	0,10	22,5	0,09	6,1	0,02
14532			oldal alapfém 2	71,8	0,10	22,4	0,09	5,8	0,02
14480	HU-GYMSMSL-XV.76.-DL 1938	Mátyás király (1464)	hátlap alapfém 1	97,2	0,13	2,1	0,04	0,7	0,01
14481			hátlap alapfém 2	97,3	0,13	2,1	0,04	0,6	0,01
14478			előlap alapfém 1	97,4	0,13	2,0	0,04	0,6	0,01
14479			előlap alapfém 2	97,1	0,13	2,0	0,04	0,8	0,01
14482			oldal alapfém 1	80,6	0,11	11,4	0,07	8,1	0,02
14483			oldal alapfém 2	80,0	0,12	11,4	0,07	8,6	0,02
16933	HU-PL-Acta Radicalia A-10.	Mátyás király (1465)	hátlap alapfém 1	95,7	0,13	2,7	0,04	1,5	0,01
16934			hátlap alapfém 2	95,4	0,13	2,9	0,04	1,8	0,01
16931			előlap alapfém 1	95,5	0,13	2,8	0,04	1,7	0,01
16932			előlap alapfém 2	95,0	0,13	3,0	0,04	2,0	0,01
16935			stift alapfém	95,5	0,12	2,2	0,04	2,3	0,01

Sorszám	Leltári szám	Kibocsátó	Mérés helye	Au	±	Ag	±	Cu	±
14488	HU-MNL-OL-F 144-5.	Mária Terézia (1765)	hátlap alapfém 1	91,4	0,12	4,3	0,05	4,3	0,02
14489			hátlap alapfém 2	90,3	0,13	4,0	0,05	5,7	0,02
14490			hátlap alapfém 3	85,1	0,12	4,0	0,04	10,9	0,03
14491			hátlap alapfém 4	85,1	0,12	4,1	0,05	10,8	0,03
14484			előlap alapfém 1	95,1	0,13	0,3	0,03	4,7	0,02
14485			előlap alapfém 2	86,8	0,13	<k.h.	–	13,2	0,03
14486			előlap alapfém 3	95,5	0,13	0,2	0,03	4,3	0,02
14487			előlap alapfém 4	86,0	0,13	0,3	0,03	13,7	0,03
14492			oldal alapfém 1	83,8	0,12	3,8	0,04	12,5	0,03
14493			oldal alapfém 2	84,2	0,13	3,5	0,04	12,3	0,03

Mérési helyek:

MNM 1871.288 – III. Béla király (1172–1196)



előlap alapfém (14533) hátlap alapfém (14534)

HU-MNL-OL-DL 39249 – Imre király (1202)



hátlap alapfém 1 (14459) hátlap alapfém 2 (14460)



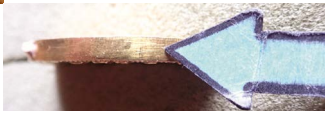
előlap alapfém 1 (14461) előlap alapfém 2 (14462)



előlap alapfém 3 (14463)



oldal alapfém 1 (14464)



oldal alapfém 2 (14465)

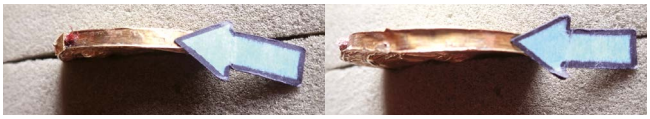
HU-MNL-OL-DL 39250 – II. András király (1221)



hátlap alapfém 1 (14472) hátlap alapfém 2 (14473)



előlap alapfém 1 (14474) előlap alapfém 2 (14475)



oldal alapfém 1 (14476) oldal alapfém 2 (14477)

HU-MNL-OL-DL 50616 – II. András király (1224)



hátlap alapfém 1 (14466) hátlap alapfém 2 (14467)



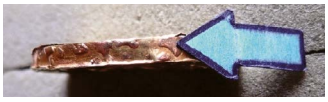
előlap alapfém 1 (14468) előlap alapfém 2 (14469)



oldal alapfém 1 (14470)



oldal alapfém 2 (14471)



oldal forrasz (14509)

HU-PL-Acta Radicalia V-2. – II. András király (1233)



hátlap alapfém 1 (16925)



hátlap alapfém 2 (16930)



előlap alapfém 1 (16924)



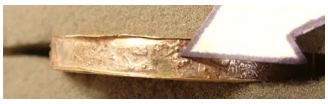
előlap alapfém 2 (16929)



oldal alapfém (16926)



stift alapfém (16928)



forrasz alapfém (16927)

HU-MNL-OL-DL 50617 – IV. Béla király (1251)



hátlap alapfém 1 (14502)



hátlap alapfém 2 (14503)



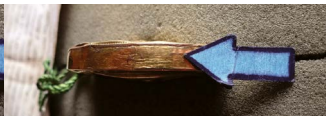
előlap alapfém 1 (14500)



előlap alapfém 2 (14501)



oldal alapfém 1 (14504)



oldal alapfém 2 (14505)



oldal alapfém 3 (14506)

HU-MNL-OL-DL 369 – IV. Béla király (1252)



hátlap alapfém 1 (14496)



hátlap alapfém 2 (14497)



előlap alapfém 1 (14494)



előlap alapfém 2 (14495)



oldal alapfém (14499)



merevítés alapfém (14498)

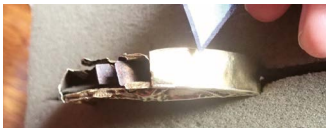
HU-MNL-OL-DL 40046 – IV. Béla király (1258)



hátlap alapfém 1 (14454)



hátlap alapfém 2 (14455)



oldal alapfém (14458)



előlap alapfém 1 (14456)



előlap alapfém 2 (14457)

MNM 26/1881 – IV. Béla király (1235–1270)



hátlap alapfém 1 (14527)



hátlap alapfém 2 (14528)



előlap alapfém 1 (14529)



előlap alapfém 2 (14530)



oldal alapfém 1 (14531)



oldal alapfém 2 (14532)

HU-GYMSMSL-XV.76.-DL 1938 – Mátyás király (1464)



hátlap alapfém 1 (14480)



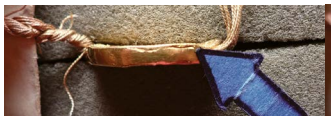
hátlap alapfém 2 (14481)



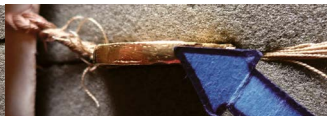
előlap alapfém 1 (14478)



előlap alapfém 2 (14479)



oldal alapfém 1 (14482)



oldal alapfém 2 (14483)

HU-PL-Acta Radicalia A-10. – Mátyás király (1465)



hátlap alapfém 1 (16933)



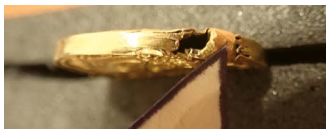
hátlap alapfém 2 (16934)



előlap alapfém 1 (16931)



előlap alapfém 2 (16932)



stift alapfém (16935)

HU-MNL-OL-F 144-5. – Mária Terézia (1765)



hátlap alapfém 1 (14488)



hátlap alapfém 2 (14489)



előlap alapfém 1 (14484)



előlap alapfém 2 (14485)



hátlap alapfém 3 (14490)



hátlap alapfém 4 (14491)



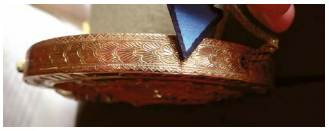
előlap alapfém 3 (14486)



előlap alapfém 4 (14487)



oldal alapfém 1 (14492)



oldal alapfém 2 (14493)

Kertész Zsófia – Angyal Anikó – Döncző Boglárka
– Furu Enikő – Papp Enikő – Szikszai Zita

Aranybullák anyagösszetétel vizsgálata röntgenfluoreszcencia (XRF) módszerrel. Kutatási jelentés

A mikro-XRF mérések leírása

Az aranybullák elemösszetételét (Z ≥ 19) röntgenfluoreszcencia analízis (XRF) módszerrel határoztuk meg az ATOMKI Örökségtudományi Laboratóriumában rendelkezésre álló Bruker M4 Tornado mikro-XRF berendezés segítségével.

A mérések levegőn, atmoszféra nyomáson történtek. A gerjesztéshez Rh röntgencsövet használtunk, 50 kV feszültséggel és 400 μA árammal. A nyalábfolt mérete 25 μm volt. A mérésekhez 100 μm Al + 25 μm Ti filtert használtunk a röntgendiffrakció zavaró hatásának csökkentésére/ megszüntetésére. A karakterisztikus röntgenspektrumot két detektorral (XFlash® SDD 30 mm^2 felület, Be ablak) gyűjtöttük párhuzamosan. Pont és multi-pont méréseket végeztünk a kiválasztott felületeken. Területenként 5–10 pont, pontonként 60 s mérési idővel. Spektrumok kiértékelése: az elemösszetétel meghatározásra az alapvető paraméterek (fundamental parameter – FP) módszerét használtuk a Tornado 4 beépített szoftverének segítségével, referencia anyagokkal elvégzett típuskalibráció alapján. A mérések minőségét hitelesített referencia anyagokon, azonos paraméterek mellett végzett mérésekkel ellenőriztük.

Mért elemkoncentrációk arany referencia anyagokon (Fluxana no. 707 és 747) tömegszázalékban (wt%) (50 kV Rh katód, 400 μA áram, szűrő: 100 μm Al + 25 μm Ti)

Au707	**Ni**	**Cu**	**Zn**	**Pd**	**Ag**	**Au**
referencia érték (wt%)	5,04	15,13	2,06		2,75	75,02
mért érték (wt%)	4,97	14,82	1,97		2,88	75,10
mérési bizonytalanság (wt%)	0,02	0,03	0,01		0,08	0,14

Au747	**Ni**	**Cu**	**Zn**	**Pd**	**Ag**	**Au**
referencia érték (wt%)		10,09	1,21	6,49	26,84	55,37
mért érték (wt%)		10,52	1,36	6,34	27,73	54,01
mérési bizonytalanság (wt%)		0,29	0,03	0,27	0,24	0,25

A koncentrációkat tömegszázalékban (wt%) adtuk meg a fő összetevők esetében, és tájékoztató jelleggel feltüntettük a nyomnyi összetevők koncentrációit, ppm-ben. A mérési bizonytalaság a 10 pontmérés szórása (SD), vagy az egyedi pontmérések esetében a statisztikai hiba (1σ) .

Optikai képek

Az aranypecsétekről nagyfelbontású 3D optikai képeket készítettünk Keyence VHX6000 3D digitális mikroszkóppal, 20-200× nagyítás mellett.

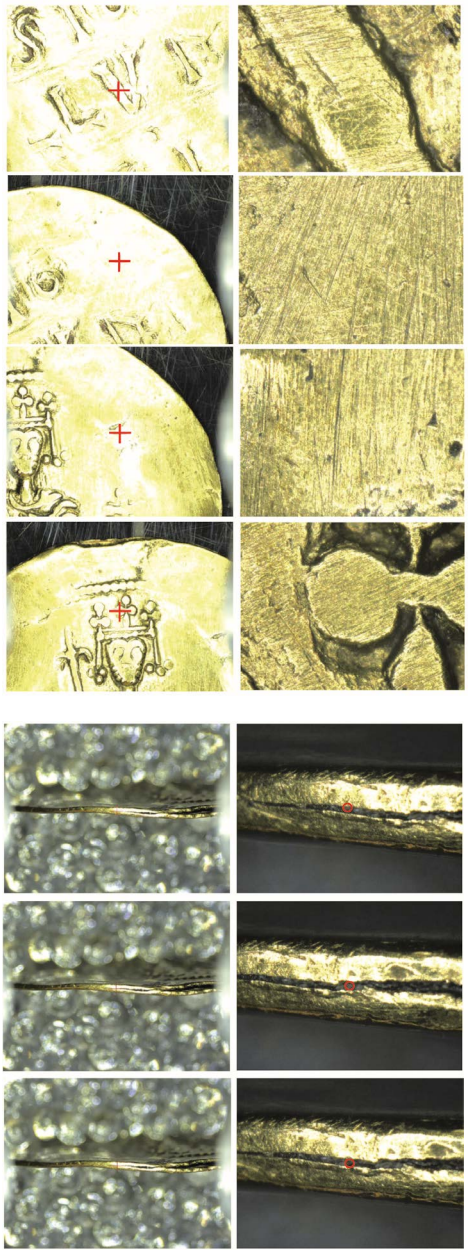
1172–1196 – III. Béla király – Leltári száma: MNM 1871.288

	fő összetevő				**nyomelemek**				
	Au	**Ag**	**Cu**	**Fe**	**Ni**	**Zn**	**As**	**Sn**	**Sb**
	(wt%)			(ppm)					
hátoldal1	90,1	7,0	2,5	450		471	75		560
SD	0,1	0,1	0,1	42		22			
hátoldal2	89,9	7,1	2,5	1170		490	80		540
SD	*0,2*	*0,1*	*0,1*	*840*		*25*			
előlap1	90,3	7,0	2,5	485		525	60		500
SD	*0,1*	*0,0*	*0,1*	*75*		*19*			
előlap2	90,2	7,0	2,5	650		470	60		510
SD	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*430*		*19*			
egyedi pontmérések									
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
oldal_p1	84,5	7,8	7,1	4040		825	35		
oldal_p2	89,7	7,1	2,8	1140		590			
oldal_p3	86,9	7,5	4,5	6580		1650	275		

* Angyal Anikó PhD, Döncző Boglárka PhD, Furu Enikő PhD, Kertész Zsófia PhD, Szikszai Zita PhD, Papp Enikő PhD, mindannyian HUN-REN ATOMKI Örökségtudományi Laboratórium (HSLab ATOMKI). A mérés a GINOP-2.3.3-15-2016-00029 projekt támogatásával, az E-RIHS.hu keretében készült.

XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás 100× nagyítás megnevezés



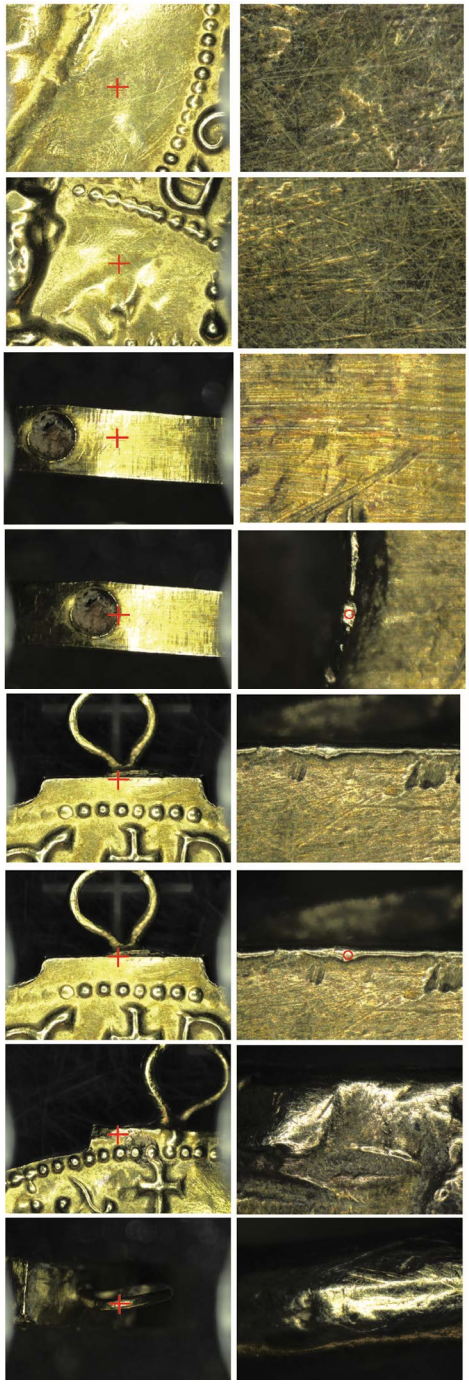
1202 – Imre király (Tota úrnő) Jelzete: HU-MNL-OL-DL 39249

	fő összetevő			nyomelemek					
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
hátlap	64,0	27,5	8,3	520		420	65		
SD	*0,1*	*0,2*	*0,1*	*33*		*24*			
hátlap karika	64,8	27,5	7,5	690		530	80		
SD	*0,5*	*0,3*	*0,2*	*562*		*210*			
előlap	66,2	28,0	5,6	300		420	80		630
SD	*0,3*	*0,4*	*0,1*	*34*		*27*			*185*
előlap karika	51,5	29,3	19,0	325		480	230		830
SD	*1,8*	*0,5*	*1,4*	*63*		*59*	*80*		*316*

	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
karika	65,1	27,7	7.0	305		415	91		
SD	0.1	0.1	0.1	32		33			
oldal	63,9	27,4	8,5	220		440	61		
SD	0.3	0.3	0.1	37		26			
egyedi pontmérések									
lyuk széle	64,6	26,8	8,4	200		380			
stat. hiba (wt.%)	0,1	0,1	0,1	7		6			

XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás 100× nagyítás megnevezés



1221 – II. András (Tota úrnő megerősítése) – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 39250

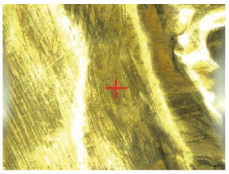
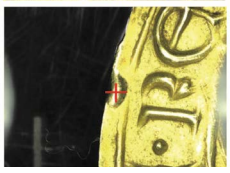
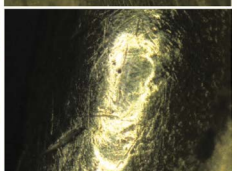
	fő összetevő			nyomelemek					
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
hátlap	80,5	15,8	3,1	3610		600	290		460
SD	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*1470*		*39*	*113*		*184*
hátlap forrasz	59,0	28,4	12,4	120		490	155		
SD	*0,6*	*0,7*	*0,4*	*12*		*19*	*70*		
előlap sötét	80,9	15,7	3,1	1180		570	170		580
SD	*0,1*	*0,1*	*0,0*	*69*		*23*	*27*		*59*
előlap világos	80,4	16,0	3,0	3125		550	175		810
SD	*0,1*	*0,2*	*0,1*	*1691*		*49*	*42*		*183*
függesztő	73,5	18,6	7,6	230		550	425		
SD	*1,8*	*0,5*	*1,3*	*30*		*171*	*186*		
oldal	81,8	15,1	2,9	480		530	80		
SD	*0,2*	*0,1*	*0,1*	*63*		*49*			
oldal forrasz	64,7	26,0	9,1	160		460	70		
SD	*0,4*	*0,2*	*0,2*	*20*		*26*			
szegecs	75,4	18,8	5,6	560		450	95		
SD	*0,5*	*0,4*	*0,2*	*66*		*44*	*54*		
egyedi pontmérések									
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
széle	80,4	15,9	3,6	660		395	80		

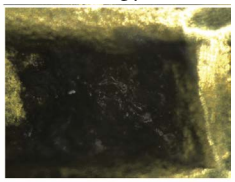
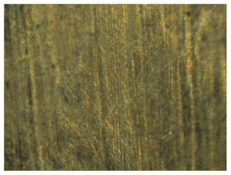
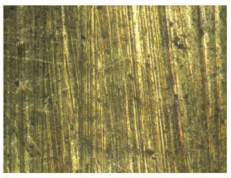
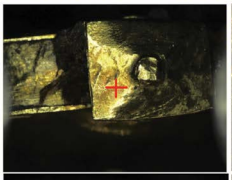
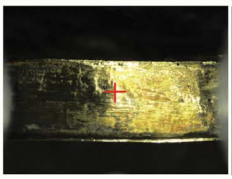
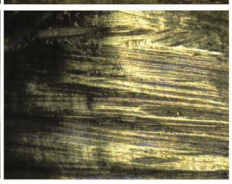
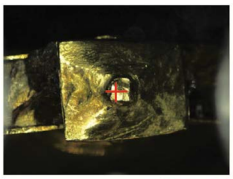
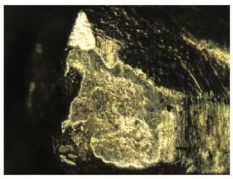
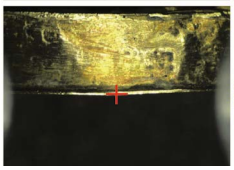
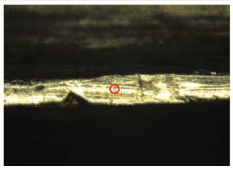
Az előlap_H esetében a koncentráció értékek tájékoztató jellegűek, mivel a minta több rétegű, és a rétegek vastagsága, valamint összetétele nem ismert (pl. Au, Ag, Cu valószínűleg az alapfémből származik), ennek kiderítésére további mérések lennének szükségesek.

	fő összetevő						
	Si	Ca	Fe	Cu	Ag	Au	Hg
	(wt%)						
előlap_H	22,8	10,4	12,9	1,4	9,1	41,0	1,10
SD (wt%)	*4,9*	*1,7*	*3,8*	*0,1*	*1,5*	*4,5*	*0,15*

	nyomelemek								
	Ti	Cr	Mn	Ni	Zn	As	Zr	Sn	Pb
	(ppm)								
előlap_H	7670	390	300	160	1610		120	650	320
SD (ppm)	*1768*	*122*	*97*	*54*	*439*		*48*	*299*	*243*

XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás	100× nagyítás	megnevezés
		hátlap
		hátlap forrasz

10× nagyítás	100× nagyítás	megnevezés
		előlap_H
		előlap sötét
		előlap világos
		függesztő
		oldala
		oldala forrasz
		szegecs
		széle

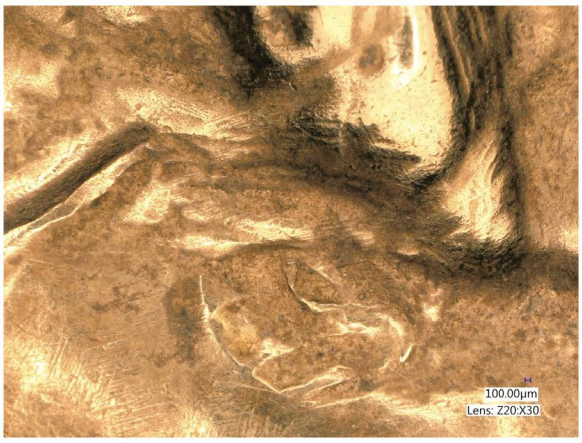
1224 – II. András – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 50616 (Kállay levéltár)

	fő összetevő			nyomelemek					
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
hátlap	73,4	17,8	8,5	1190		590	320		340
SD	*0,3*	*0,2*	*0,3*	*953*		*151*	*129*		
előlap	77,4	16,0	6,3	640		510	80		335
SD	*0,2*	*0,2*	*0,4*	*61*		*57*			
függesztő	77,4	16,2	6,1	910		450	80		500
SD	*0,2*	*0,2*	*0,3*	*62*		*53*			
oldal	75,3	15,8	8,6	1120		550	145		500
SD	*1,3*	*0,1*	*1,3*	*73*		*61*	*163*		*203*
oldal forrasz	62,4	17,9	19,4	270		600	90		1030
SD	*0,2*	*0,2*	*0,2*	*24*		*41*	*34*		*327*
oldal szegecs	60,4	18,1	21,2	140		530	120		510
SD	*0,4*	*0,6*	*0,2*	*15*		*18*	*49*		
szegecs	77,1	16,2	6,5	470		480	70		350
SD	*0,2*	*0,1*	*0,0*	*23*		*32*			
egyedi pontmérések									
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
hátlap brázda	73,9	17,9	8,1	630		435	120		
stat. hiba (1 Sigma)	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*13*		*6*	*10*		
hátlap sérült	73,1	18,4	8,2	1810		715	125		
stat. hiba (1 Sigma)	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*22*		*8*	*10*		



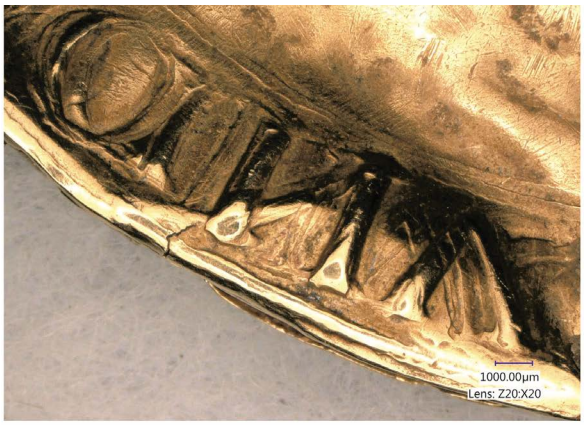











1000.00µm
Lens: Z20:X20


100.00µm
Lens: Z20:X100

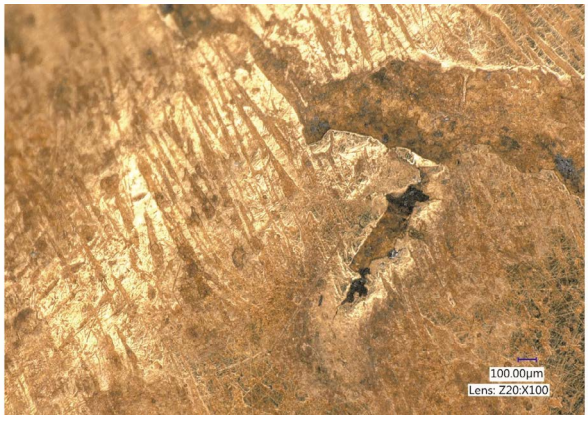

100.00µm
Lens: Z20:X50

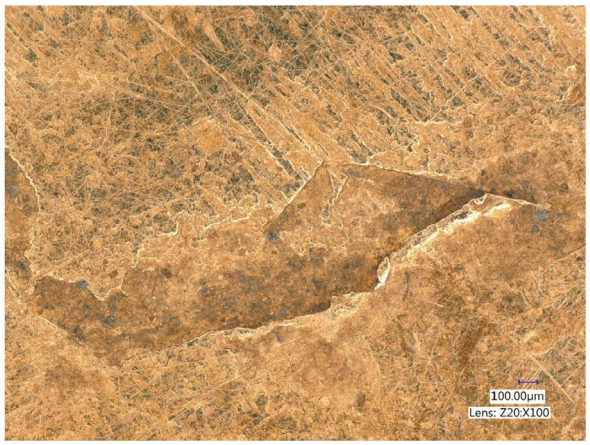

100.00µm
Lens: Z20:X50

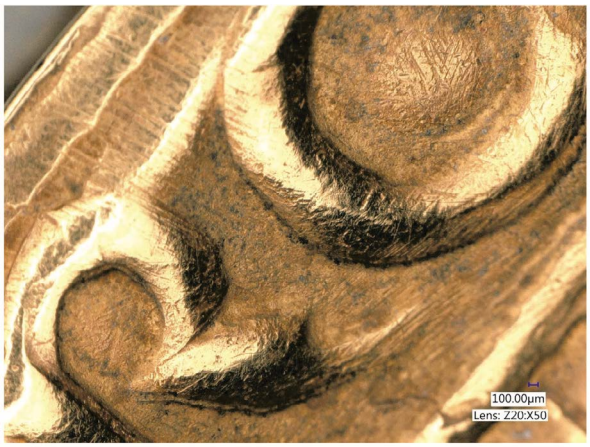

100.00µm
Lens: Z20:X50

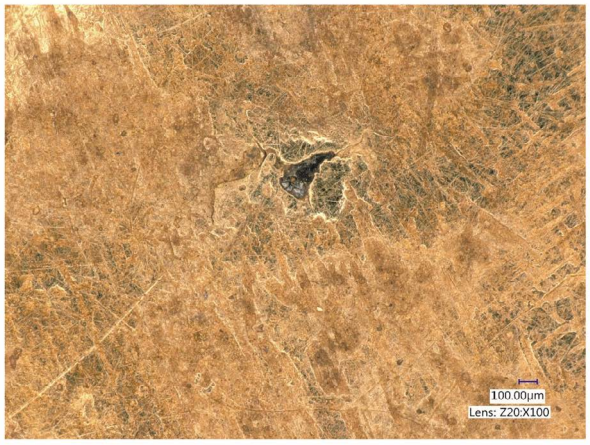

100.00µm
Lens: Z20:X30

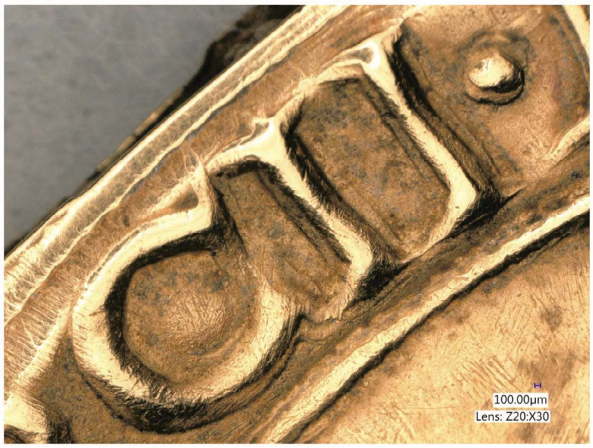

100.00µm
Lens: Z20:X100

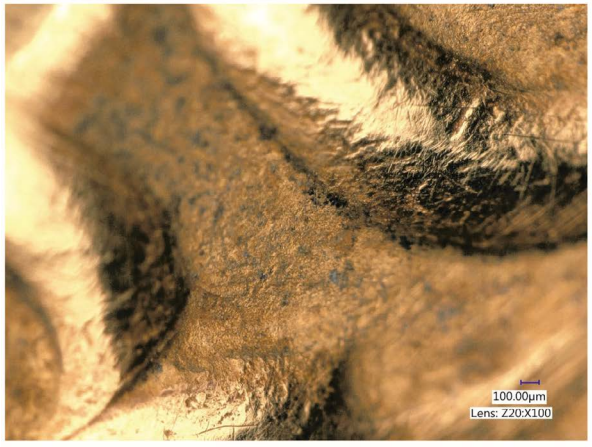

100.00µm
Lens: Z20:X100

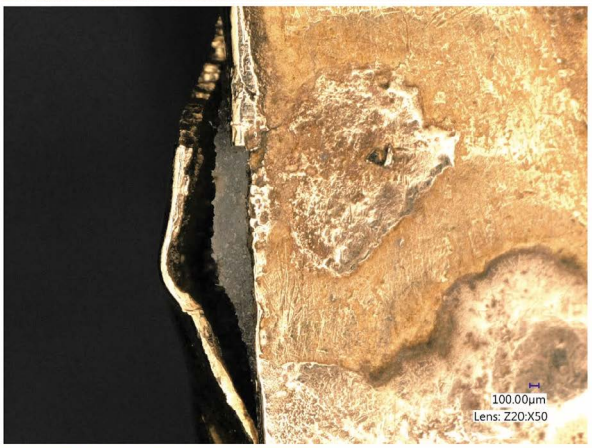

100.00µm
Lens: Z20:X100

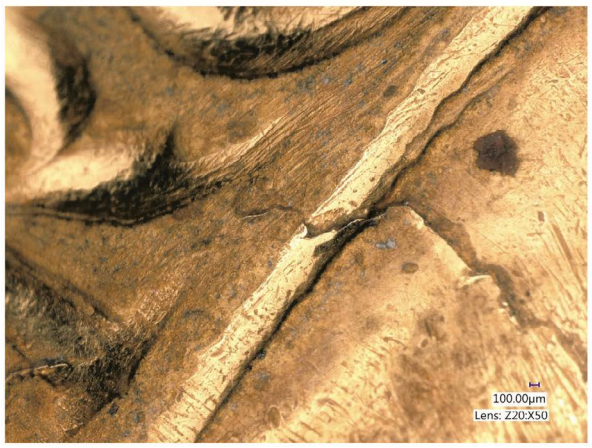

100.00µm
Lens: Z20:X50


100.00µm
Lens: Z20:X100


100.00µm
Lens: Z20:X30


100.00µm
Lens: Z20:X100

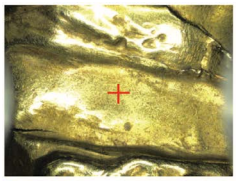
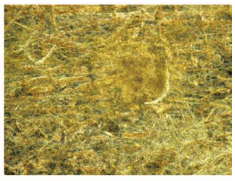
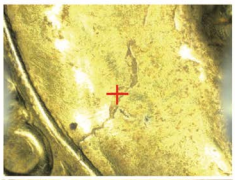
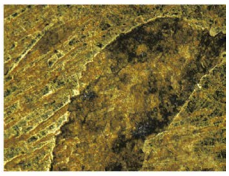
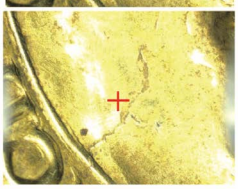
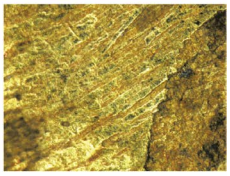
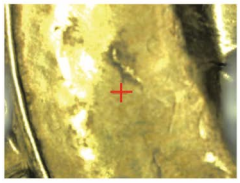
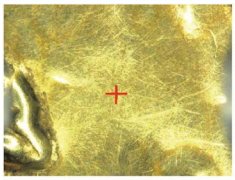
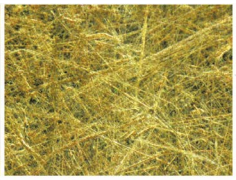
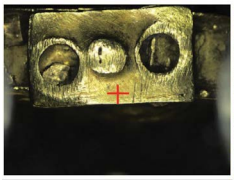
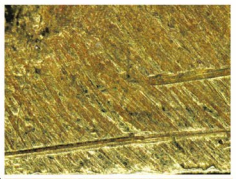
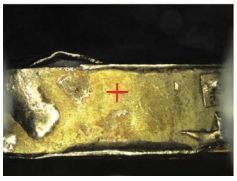

100.00µm
Lens: Z20:X50

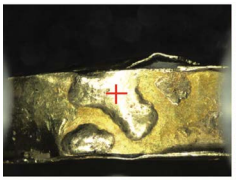
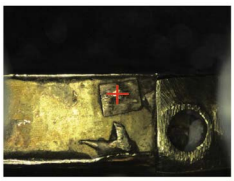
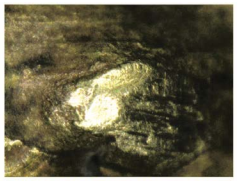
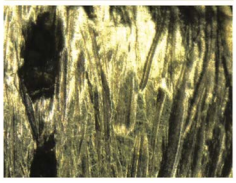

100.00µm
Lens: Z20:X50


100.00µm
Lens: Z20:X50



XRF mérés: mérési pontok

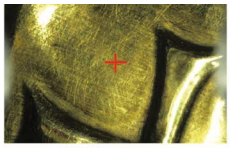
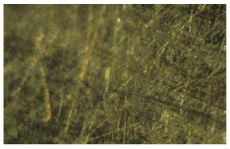
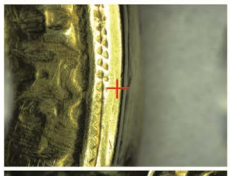
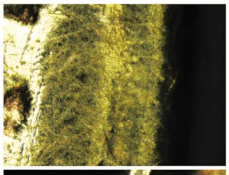
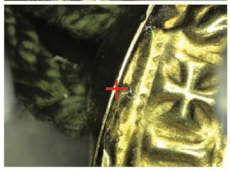
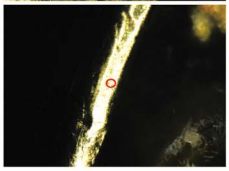
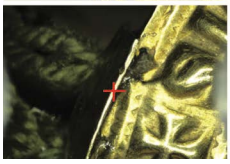
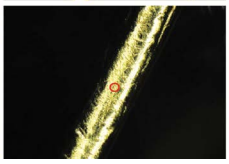
10× nagyítás	100× nagyítás	megnevezés
		hátlap 1
		hátlap 2
		hátlap barázda
		hátlap sérült
		előlap
		függesztő
		oldal

		forrasz
		oldal szegecs
		szegecs

1251 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 50617 (Kállay levéltár)

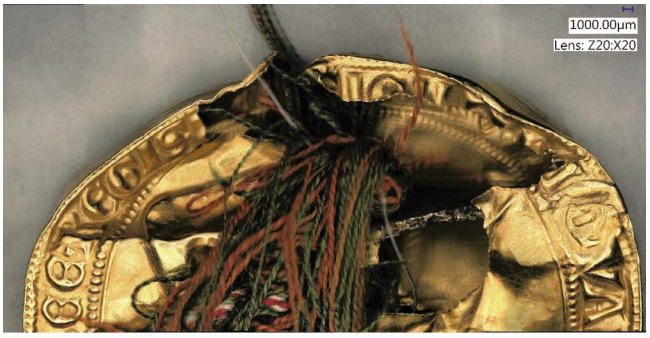
	fő összetevő			nyomelemek					
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
hátlap	73,4	21,8	4,4	2020		570	105		365
SD	*0,1*	*0,3*	*0,2*	*1152*		*55*			
előlap	72,9	21,9	5,1	350		490	90		
SD	*0,2*	*0,1*	*0,2*	*202*		*29*			
egyedi pontmérések									
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
lemezke1	72,5	21,7	5,6	285		365	50		
stat. hiba (1 Sigma)	*0,0*	*0,1*	*0,0*	*8*		*5*	*2*		
lemezke2	72,7	21,6	5,6	405		405	15		
stat. hiba (1 Sigma)	*0,0*	*0,1*	*0,0*	*10*		*6*	*1*		

XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás	100× nagyítás	megnevezés
		hátlap
		előlap
		lemezke 1
		lemezke 2

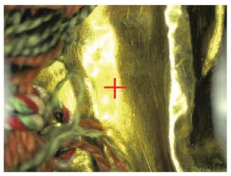
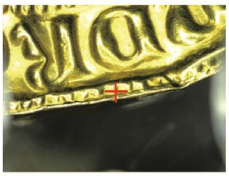
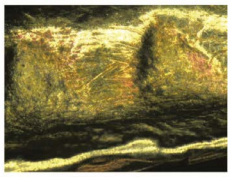
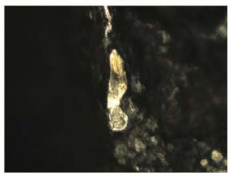
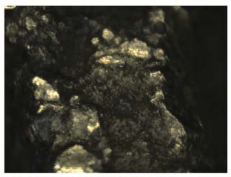
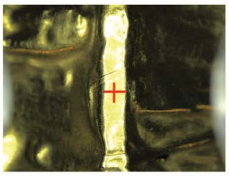
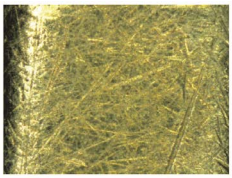
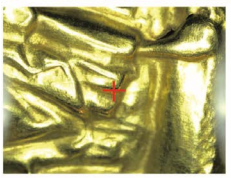
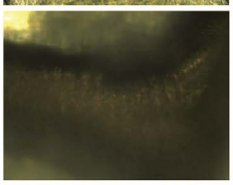
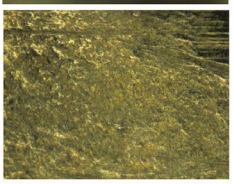
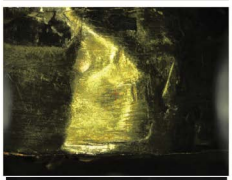
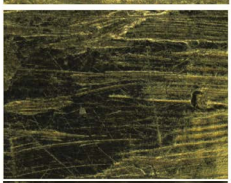
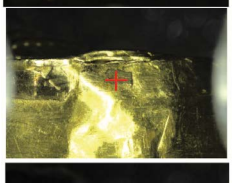
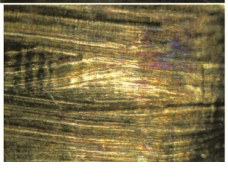
1252 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 369

	fő összetevő			nyomelemek					
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
oldal1	84,4	14,0	1,35	1100		500			
SD	*0,2*	*0,2*	*0,04*	*206*		*27*			
oldal2	84,8	13,7	1,31	1100		500			
SD	*0,2*	*0,2*	*0,04*	*206*		*27*			
oldal3	75,7	18,9	5,05	900		500	64		540
SD	*0,2*	*0,1*	*0,23*	*39*		*11*	*12*		
oldal4	59,9	25,8	14,5	500		500	135		310
SD	*0,4*	*0,2*	*0,35*	*43*		*11*	*20*		
előlap	84,5	13,8	1,34	600		600	60		360
SD	*0,2*	*0,2*	*0,05*	*75*		*39*			
hátlap	84,3	13,9	1,39	1100		600	50		400
SD	*0,1*	*0,1*	*0,03*	*89*		*23*			
egyedi pontmérések									
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
hátlap merevítő2	46,4	15,1	38.0	2200		1100	155		1040
hátlap merevítő	42,4	14,4	43.0	460		850		1100	550
oldal él2	75,3	17,1	7.5	655		315			
oldal él3	85,4	13,2	1.2	700		305			
oldal él	81,4	15,4	2.9	700		320			

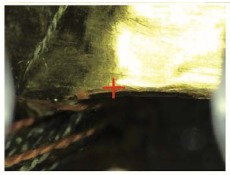
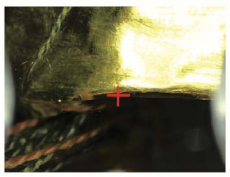
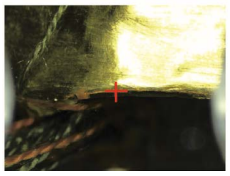
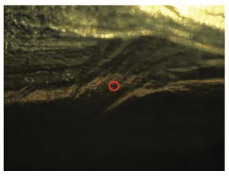




XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás	100× nagyítás	megnevezés
		hátlap
		hátlap 2
		hátlap merevítő
		hátlap merevítő 2
		előlap
		előlap 2
		oldal 1
		oldal 2
		oldal 3
		oldal 4

XRF mérés: mérési pontok

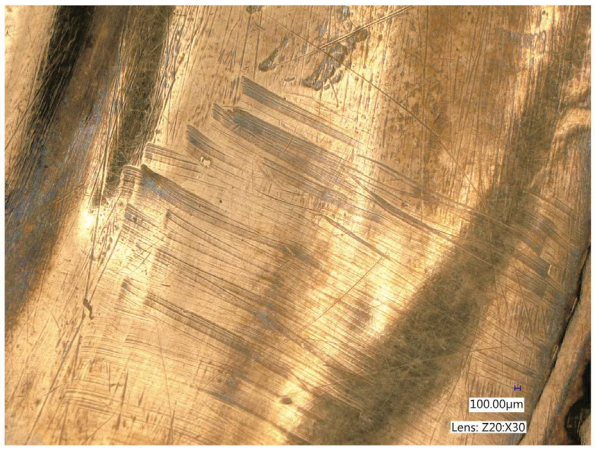
10× nagyítás	100× nagyítás	megnevezés
		oldal él
		oldal él 2
		oldal él 3

1258 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 40046

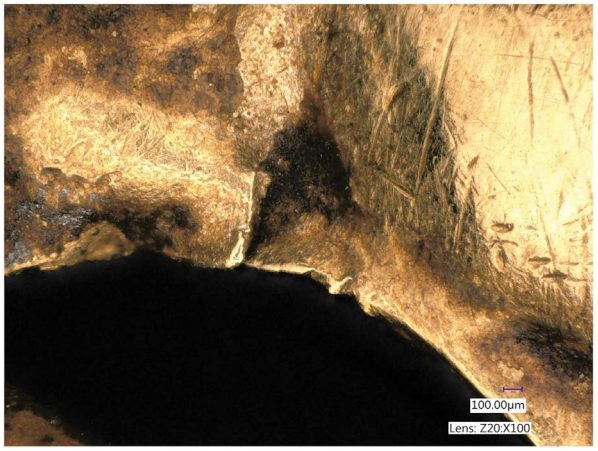
	fő összetevő			nyomelemek					
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
hátlap	68,3	26,6	5,0	200		440	40		
SD	*0,1*	*0,2*	*0,2*	*25*		*27*			
előlap	68,1	26,6	5,1	680		455	145		415
SD	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*174*		*30*	*62*		
oldal	67,7	26,4	5,7	380		435	160		250
SD	*0,1*	*0,2*	*0,1*	*120*		*33*			
oldal fém	69,6	27,4	2,7	1070		585	95		280
SD	*0,2*	*0,2*	*0,1*	*137*		*49*			
egyedi pontmérések									
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
oldal vörös	69,6	26,7	3,3	3525		270			
stat. hiba (1 Sigma)	*0,1*	*0,1*	*0,1*	*25*		*10*			

	fő összetevő				nyomelemek							
	Ca	Cu	Ag	Au	Ti	Cr	Mn	Fe	Zn	As	Ba	Pb
	(wt%)				(ppm)							
oldal lerakódás	3,4	6,5	25,4	64,0	545	40	125	3120	495	415	450	965
SD	*0,6*	*0,2*	*0,1*	*0,4*	*163*	*23*	*28*	*658*	*38*	*162*	*1017*	*590*
oldal fekete	6,4	3,7	25,2	63,1	580	45	190	10360	800	400		2070
SD	*5,3*	*0,4*	*1,4*	*5,1*	*345*	*24*	*141*	*5499*	*221*	*178*		*2450*

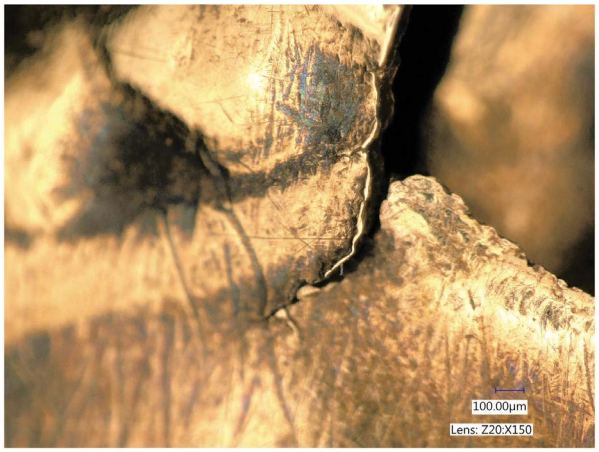
		nyomelemek							
	Fe	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Au	Pb
	(wt%)	(ppm)							
oldal merevítő	99,7	20	505	1040	155	370	180	160	360
SD	*0,1*	*10*	*247*	*891*	*76*	*110*		*106*	*261*

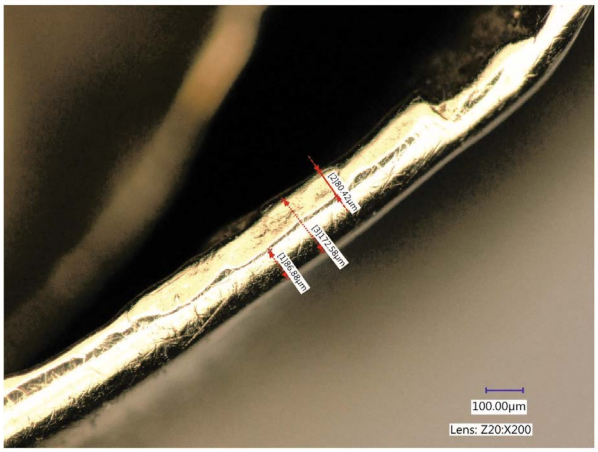






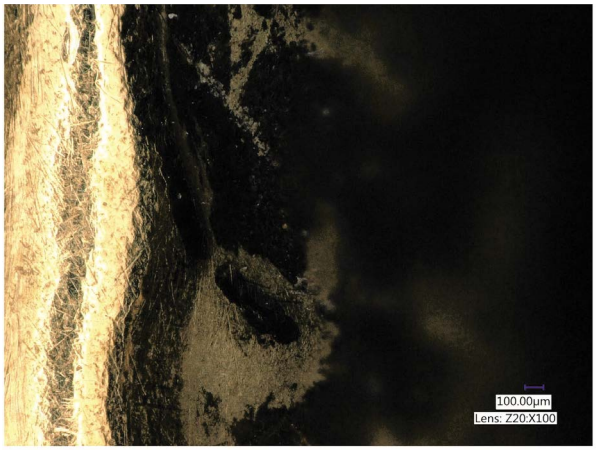




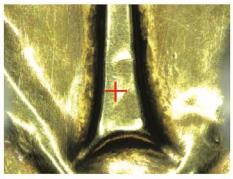
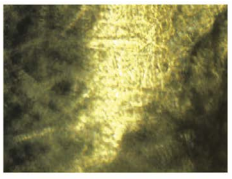
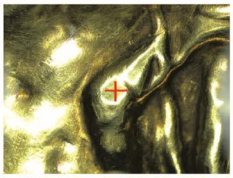
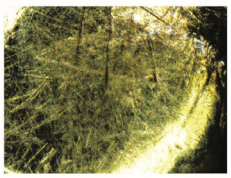
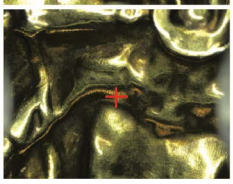
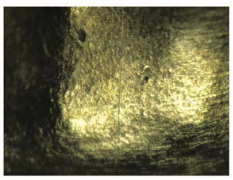
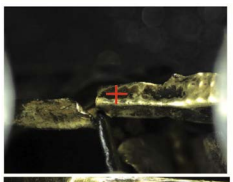
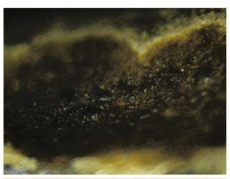
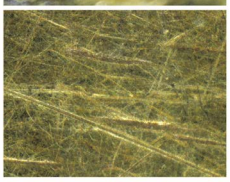
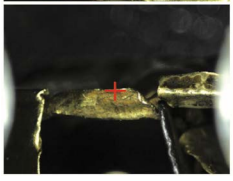
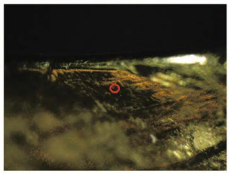






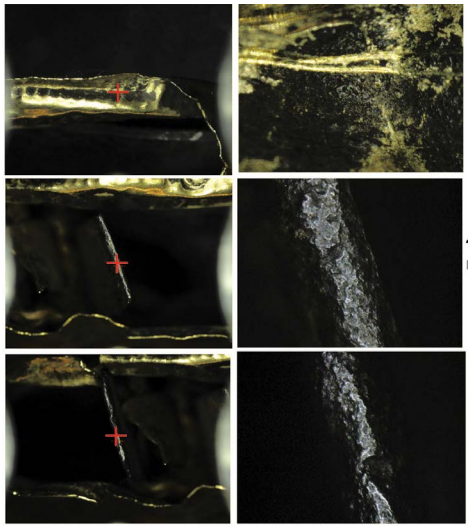


XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás	100× nagyítás	megnevezés
		hátlap
		előlap
		előlap 2
		oldal fém
		oldal fekete
		oldal
		oldal vörös

XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás 100× nagyítás megnevezés



oldal lerakódás

oldal merevítő 1

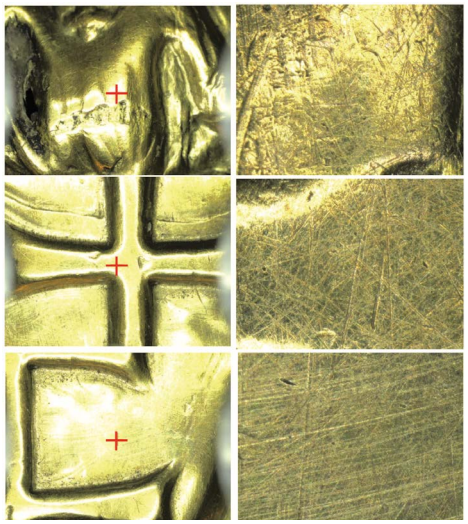
oldal merevítő 2

1235–1270 – IV. Béla király – Leltári száma: MNM 26/1881

	fő összetevő			nyomelemek					
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
előlap p1	75,4	19,8	4,5	320		560	110		
SD	*0,1*	*0,3*	*0,2*	*142*		*65*	*17*		
hátlap p2	71,3	22,3	6,2	330		465	130		
SD	*0,1*	*0,2*	*0,2*	*32*		*21*	*36*		
hátlap p3	71,8	22,8	5,2	305		480	185		
SD	*0,1*	*0,2*	*0,2*	*38*		*25*	*74*		
függesztő p4	71,8	22,2	5,8	1430		515	150		
SD	*0,1*	*0,2*	*0,1*	*316*		*48*	*17*		
forrasz p5	71,6	22,4	5,8	260		445	160		
SD	*0,1*	*0,1*	*0,0*	*11*		*17*	*14*		

XRF mérés: mérési pontok

10x nagyítás 100x nagyítás megnevezés



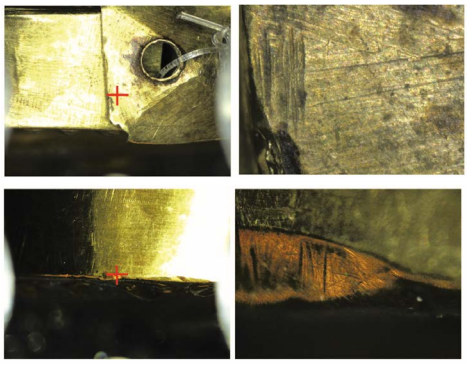
előlap 1

hátlap 2

hátlap 3

XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás 100× nagyítás megnevezés



függesztő 4

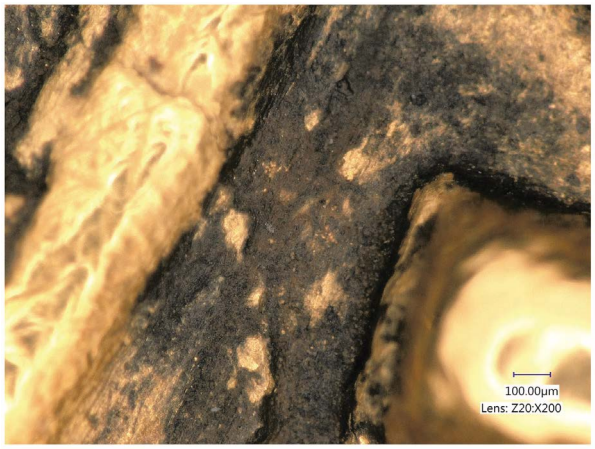
forrasz p5

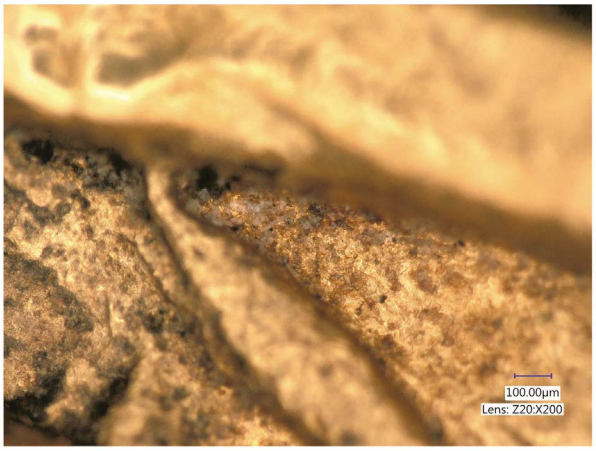
1464 – Mátyás király (soproni aranybulla) – Jelzete: HU-GYMSMSL-XV.76.-DL 1938[*]

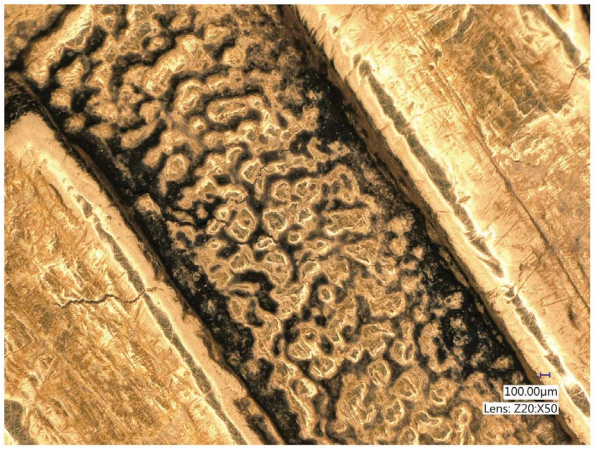
	fő összetevő			nyomelemek					
	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Sn	Sb
	(wt%)			(ppm)					
hátlap1	95,9	2,82	0,79	1660	28	970			
SD	*0,2*	*0,04*	*0,14*	*248*	*14*	*53*			
hátlap2*	95,4	2,64	0,76	3620	25	3080			
SD	*0,7*	*0.05*	*0,13*	*1629*	*17*	*514*			
hátlap3	96,1	2,66	0,78	2060	28	930			
SD	*0,6*	*0,05*	*0,63*	*103*	*12*	*93*			
előlap	96,3	2,5	0,6	1485	17	890	50		760
SD	*0,1*	*0,0*	*0,1*	*161*	*5*	*36*			*284*
oldal	78,0	11,8	10,0	140		515	65		365
SD	*0,3*	*0,3*	*0,5*	*33*		*34*			*148*



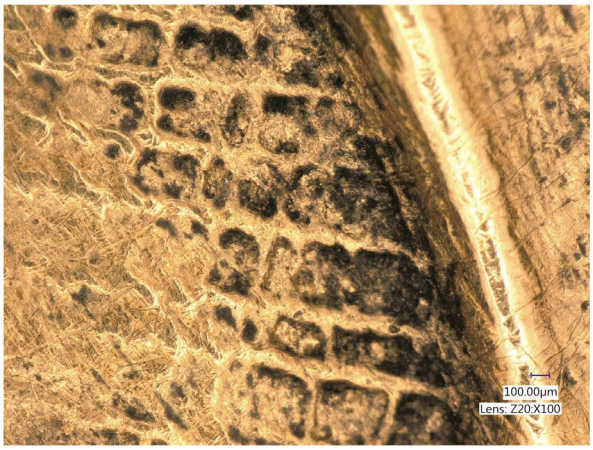
* A DL1938 hátlap2 mérési ponton a fekete elszíneződésen Pb (1366 ± 350 ppm) és Hg (5100 ± 7000 ppm) szennyezést is mértünk.

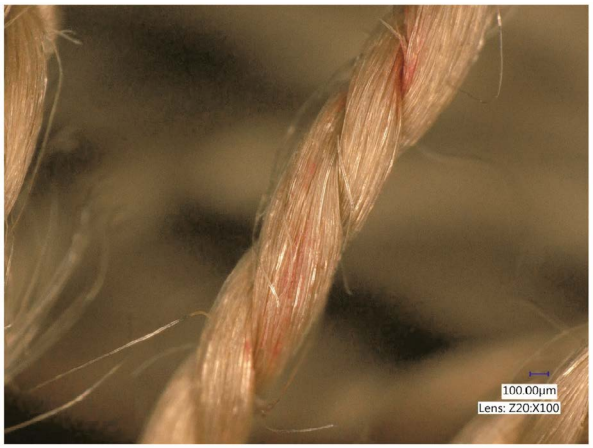




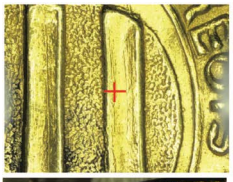
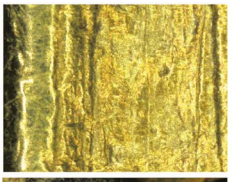
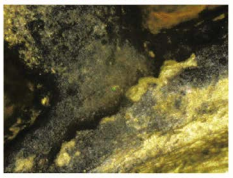
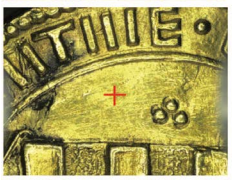
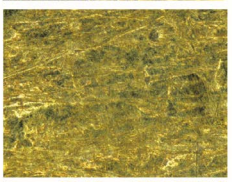
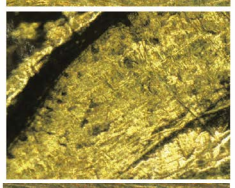
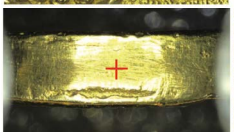
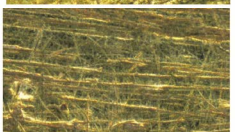








XRF mérés: mérési pontok

10× nagyítás	100× nagyítás	megnevezés
		hátlap 1
		hátlap 2
		hátlap 3
		előlap
		oldal

Kozma István

Vizsgálati jegyzőkönyv

A pecséteket nagy felbontású ipari CT berendezéssel elemeztük az 1. táblázatban szereplő paraméterekkel.

Csőfeszültség [kV]	Csőáram [mA]	Röntgen fókuszpont [mm]	Vetítési képek száma [db]	Felbontás (x-y) [mm]	Felbontás (z) [mm]
420	1,550	0,4	1440	0,12	0,12

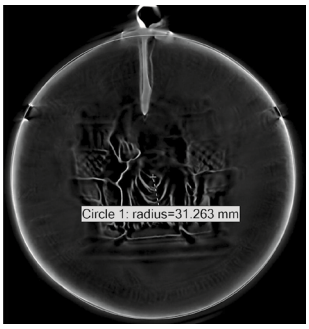
1. táblázat: Vizsgálati paraméterek: Forgó rész

Az arany sajnos az egyik legnehezebben vizsgálható anyag röntgensugárzással, nagy számú műhiba típus jelentkezik a képalkotás során. A mérések ún. sík detektoros képrögzítéssel és mikrofókuszú/makrofókuszú röntgencsővel történtek. Ennek a technikának az előnye, hogy viszonylag gyors mérést biztosít, teljes 3D-s rekonstrukciót eredményez és ha mikrofókuszú röntgen csövet használjuk, akkor az eredmény egy nagy felbontású digitális másolat. A CT felvételek kiértékelésénél gondot jelentett a pecsétek aranya anyagminősége. A tapasztalat az, hogy a pecsétek belső szerkezete (homogén/inhomgogén, zsinórvezetés, üreges szerkezetű-e, stb.) jól elemezhető, azonban a külső, alakadó felület ezzel a vizsgálattal nem rekonstruálható. A vizsgált aranybullákról elmondható, hogy mindegyik üreges belső szerkezetű (kivéve a Mátyás pecsétet), valamint az is, hogy idegen anyagot a belső szerkezetben – amely nem merevítés, forrasztás – nem sikerült detektálni. Itt megjegyzendő, hogy nem zárjuk ki ezek jelenlétét a vizsgálattal, azonban az arany mellett egy jóval kisebb denzitású anyag (pl. textil) egyértelműen nem kimutatható a képi eredmények alapján. A képi információk kiértékeléséhez, valamint a 3D rekonstrukcióhoz ipari képfeldolgozó rendszert használtunk (VolumeGraphics). Azoknál a pecséteknél, amelyeknél a rekonstrukciót sok artefaktum jellemezte, gyakran alkalmaztuk az 1440 db röntgenképet az elemzéshez.

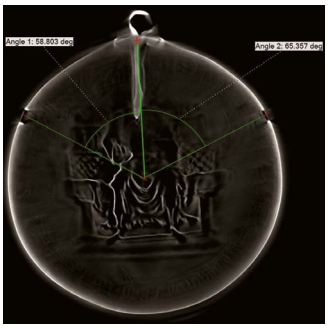
1202 – Imre király (Tota úrnő) Jelzete: HU-MNL-OL-DL 39249.



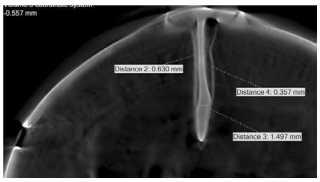
1. kép – Az alkotó nem használt merevítést a pecsétnél. Az illesztőszegnek kialakított furat mellet további két furat helyezkedik el a palástfelületen.



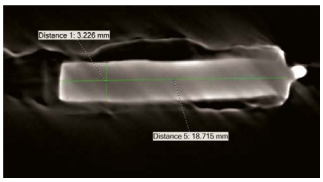
2. kép – CT metszeti kép – Pecsét átmérő ~ 62,5 mm



3. kép – CT metszeti kép – geometriai méretek



4. kép – CT metszeti kép – geometriai méretek. A kisebb falvastagságú lemez más anyagminőség, mint a középső, vastagabb szegmens.



5. kép – CT metszeti kép – A rögzítőszeg geometriai méretei

1221 – II. András (Tota úrnő megerősítése) – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 39250.



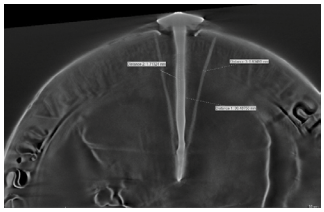
6. kép – Pecsét előlapi röntgenképe



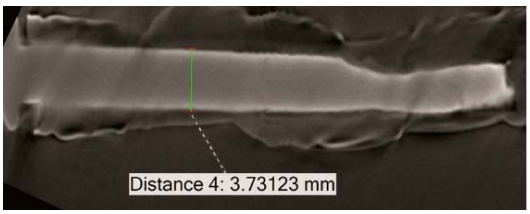
7. kép – Pecsét hátlapi röntgenképe



8. kép – CT metszeti kép – A pecsét átmérője közel 67 mm



9. kép – CT metszeti kép – A rögzítőszeg geometriai jellemzői (hossza ~31 mm, axiális vastagsága 1,7 mm)

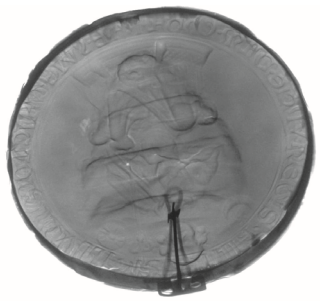


10. kép – CT metszeti kép – A rögzítőszeg radiális irányú mérete ~ 3,7 mm

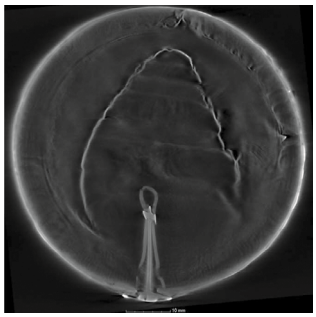
1224 – II. András – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 50616. (Kállay levéltár)



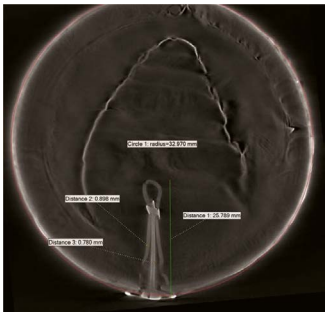
11. kép A pecsét előlapi röntgen képe



12. kép – A pecsét hátlapi röntgenképe – Imre király pecsétjéhez hasonló szerkezetű, nincs belső merevítés, a pecsét mellett egy további komponens a rögzítőszeg.

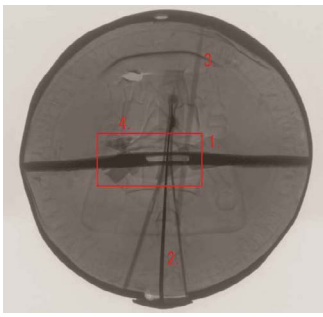


13. kép – CT metszeti kép – Imre király rögzítőszeg szerkezetnél a lemezt „V" alakban alakították ki és „kovácsolták" rá a középső elemre. A többi pecsétnél egy plusz szerkezeti elemet, egy „tengelyt" alkalmaztak és a tengely körül hajlították meg a lemezt. Ez egy harmadik szerkezeti variáció: „O" alakban hajlított lemez, amely a középső szegmens végénél „szegecseléssel" hoz létre bonthatatlan egységet.

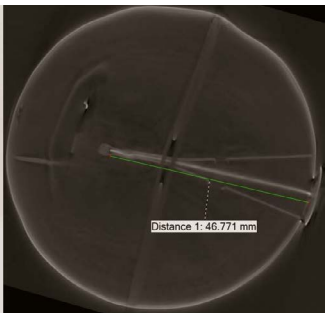


14. kép – CT metszeti kép – A rögzítőszeg geometriai jellemzői

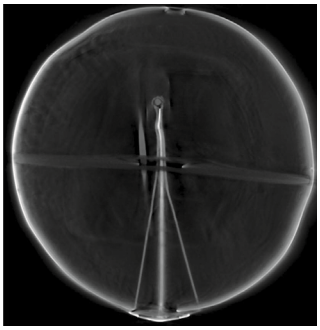
1251 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 50617. (Kállay levéltár)



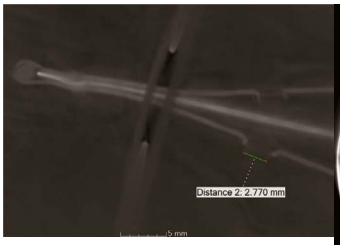
15. kép – A pecsét digitális röntgenfelvétele. A kép a pecsét belső szerkezeti felépítést mutatja.(1.) jelölt lemez a pecsét teljes átmérőjében merevíti a külső palástfelületet. (2.) jelölt szegmens egy szerelt/alakított egységet mutat. (3.) jelölt elem a pecsét átmérőjénél kisebb „tű" alakzatú elem. A röntgenképen (4.) számmal jelölt, további lemezszerű elemeket detektáltunk.



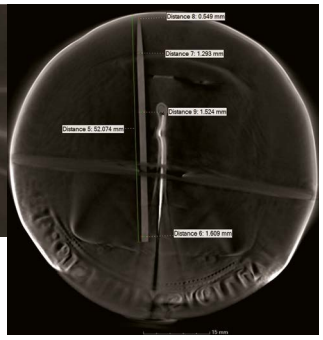
16. kép – A pecsét CT metszeti képe. A merevítő elem, valamint a „rugós" tag közel 90°-os szöget zár be egymással. A merevítő elem hossza megegyezik a pecsét belső átmérőjével, a „rugós" egység ennél valamivel rövidebb.



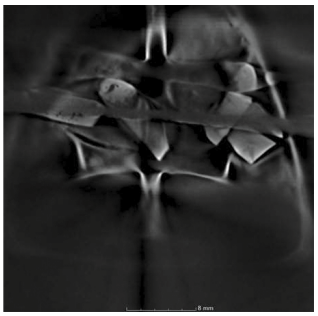
17. kép – A pecsét CT metszeti képe. A „rugós" szerkezetet 3 elem alkotja. 1. A középső „pálca" alakú alkatrész, melynek egyik végéhez rögzített elem zárja a pecsét palástfelületét (továbbiakban: „záróelem"), 2. A hajlított lemez elem, amely megakadályozza, hogy a „záróelem" elváljon a pecséttől, 3. A hengeres komponens a „záróelem" és a hajlított lemez csatlakozási pontjában. Ez a komponens vélhetően egy technológiailag szükségszerű elem, annak érdekében, hogy a záróelem és a „rugós" lemez közötti kapcsolatot valamilyen képlékenyalakítási technológiával létre lehessen hozni. Feltételezhető, hogy az ívelt kialakítást mind a záróelemen, mind a „rugós" lemezen ebből a célból hozták létre. A CT metszeti képe jelentős szürkeségi eltérést mutat a lemez/hengeres elemek, valamint a záróelem között. Feltételezhető, hogy más-más anyagok, ötvözetek jellemzik a komponenseket.



18. kép – A pecsét CT metszeti képe. A „rugós lemez két szárán, egymással szemben egy-egy közel 3 mm furatot alakítottak ki.

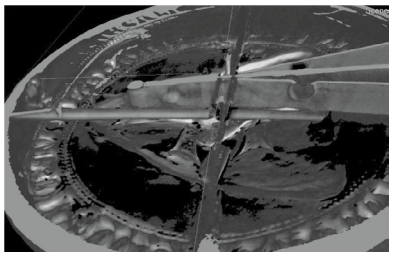


19. kép – A pecsét CT metszeti képe. A belső szerkezetben detektáltunk egy hengeres komponenst, melynek hossza ~ 52 mm, átmérője ~1.6 mm. A komponens az egyik végpontjában kúpos kialakítású, anyaga feltehetően a „rugós” lemez anyagával megegyező.



20. kép – A pecsét CT metszeti képe. A röntgenfelvételnél (15. kép) jelöltük a lemezes elemek jelenlétét. A CT metszeti képek elemzése során a felvételeken porozitást (fekete foltok) detektáltunk, az adott szegmensben hőhatással járó beavatkozás (pl. javítás, pótlás) érte a pecsétet.

21. kép – A pecsét CT 3D-s képe: „Tű” és a furat a „rugós” lemezen.



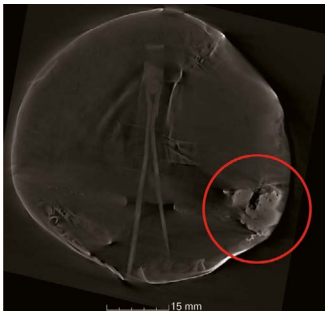
252 – IV. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 369.



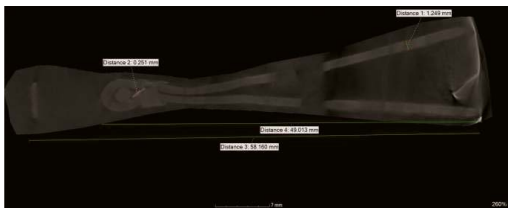
22. kép – A pecsét röntgenképe – A kereszt irányú merevítő nem a legnagyobb átmérőben, hanem annak kétharmad részénél helyezkedik el. Közepén egy négyszög alakú kivágás, ebben megy át a merevítésre merőleges irányú rögzítőszeg. Feltételezhető, hogy a merevítésnél utólagos javítás is történt – a bal oldali forrasztás egyenes vonalú, míg a bal oldali jelölt szegmensben nagyobb területen detektáltunk porozitást, apróbb lunkereket.



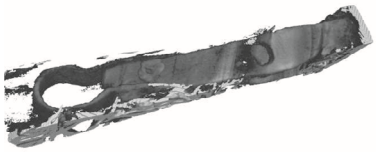
23. kép – A pecsét röntgenképe



24. kép – CT metszeti kép – jelentős területű forrasztásra utaló anyag, jelentő számú porozitással



25. kép – CT metszeti kép – Rögzítőszeg geometriai méretei. A „Distance 2”-vel jelölt lemez más anyagminőséggel készült, mint az rögzítőszeg többi eleme.



26. kép – 3D rekonstrukció a rögzítőszemről

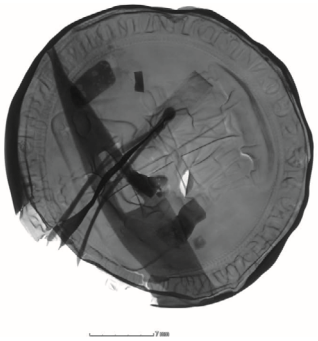
1258 – I V. Béla király – Jelzete: HU-MNL-OL-DL 40046.



27. kép – Pecsét röntgenképe – A vizsgált pecsétek közül ez a belső kialakításában a legváltozatosabb. Kereszt irányú merevítő csakúgy mint a „369”-es pecsétnél, nem a legnagyobb keresztmetszetben, hanem az átmérő 2/3-ánál helyezkedik el. A merevítő közepén szintén van egy trapéz alakú kivágás, amin átmegy a merevítőre merőleges irányban az rögzítőszeg. Ennél a pecsétnél is jelentős a hozzáadott (esetleg a pecsét alkotásánál is már használt) javítási anyag. Különbség, hogy ennél a pecsétnél detektáltunk egy „U” alakban hajlított vékony lemezt, amely jelenléte sem a merevítést, sem a javítást nem indokolja (1)-el jelölt elem.



28. kép – Pecsét röntgenképe



29. kép – Pecsét röntgenképe



30. kép – CT metszeti kép – jelentős porozitás a merevítés rögzítési felületén

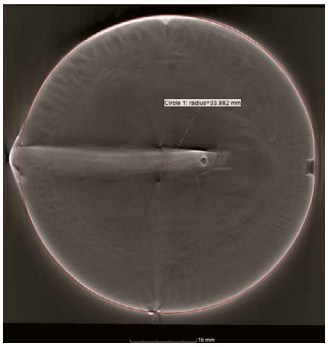


31. kép – CT metszeti kép

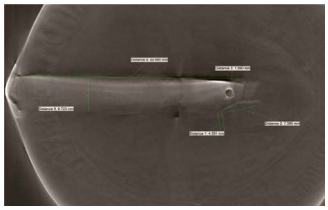
1235–1270 – IV. Béla király – Leltári száma: MNM 26/1881.



32. kép – A pecsét röntgenképe – Kereszt irányban egy merevítőt építettek be, amelyet a detektált lunkerek alapján forrasztással rögzítettek a pecsét egyik oldalához. Ezzel merőleges irányban egy zárólemez illeszkedik a pecséthez.

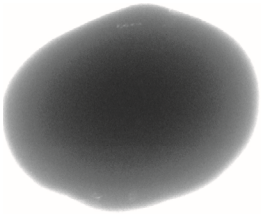


33. kép – CT metszeti kép – a pecsét átmérője ~ 67,8 mm

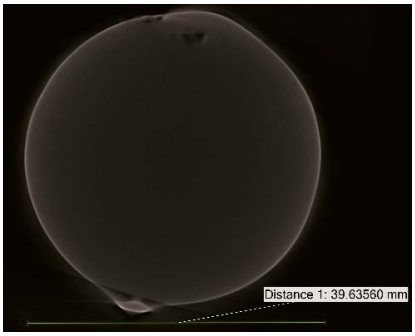


34. kép – CT metszeti kép – a zárószeg geometriai adatai. A pecsét belsejében detektáltunk egy ~ 4,3×7,4 mm befoglaló méretű 1 mm-nél kisebb falvastagságú derékszögű lemezt.

1464 – Mátyás király (soproni aranybulla) – Jelzete: HU-GYMSMSL-XV.76.-DL 1938. [fényképmásolata: HU-MNL-DF 203563.]



35. kép – A pecsét röntgenképe – Ennél a pecsétnél a vizsgálat nem adott érdemi eredményt, esetleg a képfeldolgozásba (rekonstrukció számításába) valamilyen technikai hiba adódott. Sem a röntgenkép, sem a metszeti képeken nem lehetséges frakciók, alaksajátosságok szétválasztása.



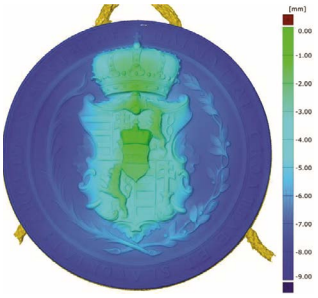
36. kép – metszeti kép



37. kép – metszeti kép

1765 – Mária Terézia (Erdélyi címeradomány) – Jelzete: HU-MNL-OL-F 144-5.

A pecsétről csak optikai felületrekonstrukciót sikerült készíteni, a CT felvételek értékelhetetlenek lettek.



38. kép – A pecsét domborzati méretei a címer oldali felületen



39. kép – A pecsét geometriai méretei

40. kép – A pecsét átmérője ~107 mm



E számunk szerzői

Angyal Anikó PhD, tudományos főmunkatárs (HUN-REN Atommagkutató Intézet Örökségtudományi Laboratórium, Debrecen)
Bajnóczi Bernadett PhD, tudományos főmunkatárs (HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, Bp.)
Csobay-Novák Csaba PhD, radiológus szakorvos, egyetemi adjunktus (Semmelweis Egyetem Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Bp.)
Döncző Boglárka PhD, tudományos munkatárs (HUN-REN Atommagkutató Intézet Örökségtudományi Laboratórium, Debrecen)
Furu Enikő PhD, tudományos munkatárs (HUN-REN Atommagkutató Intézet Örökségtudományi Laboratórium, Debrecen)
Kertész Zsófia PhD, tudományos főmunkatárs (HUN-REN Atommagkutató Intézet Örökségtudományi Laboratórium, Debrecen)
Kozma István PhD, egyetemi docens (Széchenyi István Egyetem, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék, Győr)
Mozgai Viktória PhD, tudományos munkatárs (HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, Bp.)
Orosz Péter állományvédelmi csoportvezető (Néprajzi Múzeum, Bp.); főosztályvezető-helyettes (Iparművészeti Múzeum, Bp.)
Papp Enikő PhD, tudományos munkatárs (HUN-REN Atommagkutató Intézet Örökségtudományi Laboratórium, Debrecen)
Rácz György PhD, főlevéltáros (Magyar Nemzeti Levéltár, Bp.); egyetemi docens (Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Bp.)
Szabó Csaba PhD, habil. főigazgató (Magyar Nemzeti Levéltár, Bp.)
Szikszai Zita PhD, tudományos főmunkatárs, laboratórium-vezető (HUN-REN Atommagkutató Intézet Örökségtudományi Laboratórium, Debrecen)

TÁJÉKOZTATJUK KEDVES OLVASÓINKAT,

hogy a Turul kiadói jogait 2023-tól a folyóiratot alapító *Magyar Heraldikai és Genealógiai Társaság* (MHGT) vette át. A továbbiakban a Turul terjesztését is az MHGT szervezi. Az átadás-átvétellel, valamint a meglévő előfizetések további fenntartásával kapcsolatos információk megtalálhatók **a Turul folyóirat új honlapján: https://turul.mhgt.hu/**

Az új honlapon (a *Lapszámok* menüpontban) elérhetők a folyóirat megjelent számai, letölthető PDF formátumban. (Az 1883–2009 közötti lapszámok évenként egy fájlban, míg a 2010 utániak füzetenként külön-külön tölthetők le.) Ugyanitt található a folyóirat további Internetes elérhetőségeit tartalmazó linkgyűjtemény is.

Felhívjuk Kedves Előfizetőink figyelmét, hogy a kiadó-váltás eredményeként,
a folyóirat előfizetési bankszámlaszáma is megváltozott!

Kérjük szépen, hogy előfizetési díjaikat, a továbbiakban a következő bankszámlára utalják:

Bankszámlaszám: 16200223-10176344
Számlatulajdonos neve: Magyar Heraldikai és Genealógiai Társaság
(Szükség esetén rövidítve is írható, pl.: „Magyar Heraldikai és Gen. Társ." vagy „MHGT")
Számlavezető bank neve: MagNet Magyar Közösségi Bank Zrt.

Nemzetközi átutaláshoz szükséges, kiegészítő adatok:
IBAN (nemzetközi bankszámlaszám): HU84 1620 0223 1017 6344 0000 0000
Számlavezető bank BIC (SWIFT) kódja: HBWEHUHB

Az előfizetési díj összege a 2024. évben is változatlan.
Belföldi előfizetőink részére:
3000 forint/évfolyam (= 4 × 750 forint/füzet).
Külföldi előfizetőink részére:
európai szállítási cím esetén: 35 EUR; tengerentúli szállítási cím esetén: 40 USD.

TISZTELT SZERZŐINK, LEENDŐ SZERZŐINK!

A Turul 2020-tól megváltoztatta közlési szabályzatát. A szakirodalmi hivatkozásoknál a Századok folyóirat közlési szabályzatát alkalmazzuk. Kérjük, tanulmánya benyújtása előtt feltétlenül tájékozódjon a lap közléssel kapcsolatos elvárásairól, és a szabályzatban foglaltakat követve készítse el munkáját! A részletekről honlapunkon (**https://turul.mhgt.hu/**), a *Szerzőinknek* menüpontban olvashat. Ugyanitt található a levéltári hivatkozások szabályzata is.

E folyóiratszámunk megjelenését az NKTK Nemzeti Kulturális Alap
208101/00018 azonosító szám alatt nyilvántartásba vett pályázati célként támogatta.



Nemzeti
Kulturális
Alap