

## ELŐSZÓ AZ ARCHEOMETRIAI MŰHELY 2020/3 KÖTETÉNEK TEMATIKUS CIKKEIHEZ

### PREFACE TO THE THEMATIC ARTICLES IN THE 2020/3 VOLUME OF THE ARCHAEOOMETRY WORKSHOP\*

SZILÁGYI Veronika<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

E-mail: [szilagyi.veronika@energia.mta.hu](mailto:szilagyi.veronika@energia.mta.hu)

KEYWORDS: MOBILE ANALYTICAL TECHNIQUES, HAND-HELD XRF, INTERNATIONAL PROPOSALS

KULCSSZAVAK: MOBIL ANALITIKAI MÓDSZEREK, KÉZI XRF, NEMZETKÖZI PÁLYÁZATI LEHETŐSÉG

Az Archeometriai Műhely 2020. évi egyetlen, személyes részvétel mellett megtartott vitaülését február 24-én rendeztük meg „*Mobil eszközök az archeometriai kutatásokban*” címmel. A vitaülés támogatója az Austro-Lab Kft., a Bruker Nano GmbH kizárólagos magyarországi képviselője volt. A téma magába foglalja mindazon terepen, gyűjteményekben alkalmazható módszereket, amelyek nem mozgatható vagy nem szállítható (beépített, nagyértékű vagy túlságosan érzékeny) leletek, műtárgyak fizikai tulajdonságainak vizsgálatára alkalmasak. Az ilyen módon kiválasztott berendezések egy részét csupán újabban alkalmazzák hazánkban (hordozható infravörös és Raman spektrométer, LED szkennel), míg mások esetében már egy évtizedes tapasztalattal rendelkezünk (kézi röntgen fluoreszcens spektrométer, hordozható röntgen radiográf). Nem titkolt célunk volt, hogy a mobil analitikai készülékekkel, illetve az általuk nyert adatokkal szembeni ambivalens megítélést valós alapokra helyezzük. A mobil analitikai módszerek ugyanis egyrésztől könnyen hozzáférhető, gyors, mindenható módszernek tűnnek. Másrésztől viszont számos kutató számára kétséges a nyert eredmények megbízhatósága. Az igazság – amire mindannyian törekszünk – valahol félúton van.

Az előadói sikerének tekintjük, hogy számos, az örökségtudományban tevékeny kutatócsoport beszámolt mobil analitikai tapasztalatairól, így szinte teljes körű áttekintést kaphattunk a jelenlegi hazai helyzetről, némi kitekintéssel a nemzetközi porondra. A budapesti Természettudományi Kutatóközpont Niton típusú kézi XRF készülékével végzett kutatásokat May Zoltán mutatta be. A debreceni ATOMKI munkatársai, Csepregi Ákos és Döncző Boglárka, a legújabb Bruker típusú kézi XRF berendezés teszteléséről számoltak be. A budapesti Energiatudományi Kutatóközpont Delta típusú kézi XRF készülékével, illetve egy viszonylag új beszerzésű 3D LED szkennel szerzett tapasztalatokat Maróti Boglárka ismertette. A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézetének Spectro típusú kézi XRF berendezésével nyert eredményekről Mozgai Viktória tartott előadást. Zöldföldi Judit, a Materialprüfungsanstalt, Universität Stuttgart munkatársa vibrációs (a közeli infravörös és Raman) spektroszkópiai módszerek mobil készülékeivel végzett, elsősorban németországi örökségtudományi alkalmazásokról tartott beszámolót. A Képzőművészeti Egyetem képviselőjében Horváth Máttyás, független festményrestaurátor művész és fotodiagnosztikai szakértő nyújtott betekintést a mobil röntgen-radiográfiás berendezéssel végzett kutatásokról. Végül egy EU támogatta kutatási infrastruktúra, az E-RIHS és a hozzá kapcsolódó, már lefutott és most induló kutatási projektek (IPERION CH és HS) mobil analitikai eszköztáráról, a MOLAB-ról adott tájékoztatást Claudia Caliri, a Consiglio Nazionale delle Ricerche munkatársa.

Az Archeometriai Műhely most megjelenő, 2020/3-as kötetébe sajnós a fenti előadásoknak csak egy része került be. Ennek ellenére reméljük, hogy egy olyan tematikus cikkgyűjteményt adhatunk az olvasó kezébe, amely (1) ismereteket nyújt a kézi XRF készülékek működését megalapozó spektroszkópiáról, (2) áttekinti a módszer előnyeit és hátrányait számos anyagtypus (kőzetek, fémek, kerámiák, üvegek, festékek) esetében, (3) rámutat ezen könnyen alkalmazható módszer más technikákkal való kombinálásának előnyeire, illetve (4) felhívja a figyelmet a mobil analitikai technikák széles (a kézi XRF-nél jóval messzebb mutató) tárházára, és egy olyan pályázati lehetőségre, amely a hazai kutatók számára is elérhetővé tesz nemzetközileg elismert mobil laboratóriumi berendezésekhez való hozzáférést.

---

\* How to cite this paper: SZILÁGYI V., (2020): Előszó az Archeometriai Műhely 2020/3 kötetének tematikus cikkeihez / Preface to the thematic articles in the 2020/3 volume of the Archaeometry Workshop (in Hungarian), *Archeometriai Műhely* XVII/3 227-228.



# TÍZ ÉV A HORDOZHATÓ XRF TÁRSASÁGÁBAN, AZAZ EGY ARCHEOMETRIAI UTAZÁS TÖRTÉNETE

## TEN YEARS USING PORTABLE XRF. OUR STORY OF A JOURNEY IN ARCHAEOLOGY •

MAY Zoltán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet,  
H-1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.

E-mail: [may.zoltan@ttk.hu](mailto:may.zoltan@ttk.hu)

### Abstract

*More than ten years ago a new type of analyser was purchased by Plasma Chemistry Research Group in Institute of Materials and Environmental Chemistry, which opened up numerous possibilities in the field of analytical chemistry, and fruitful and versatile relationships were formed with colleagues whose work is the research, examination, conservation and preservation of cultural heritage objects. This instrument is a handheld portable X-ray fluorescence spectrometer (XRF) and by now this technique became very general and sometimes indispensable in archaeometric research and restoration works. Thanks to this instrument, we started numerous projects and joined many exciting and interesting works and research during the past ten years. In this paper we give a short survey about these works and demonstrate the possibilities and extremely useful role of the handheld XRF technique showing and emphasising problems and limitations of this method, and situations in which this technique is not suitable or sufficient.*

### Kivonat

*Több mint tíz évvel ezelőtt az Anyag- és Környezetkémiai Intézet Plazmakémiai Kutatócsoportjának műszerparkja egy új műszerrel bővült, amelynek köszönhetően számos új lehetőség nyílt meg számunkra az elemanalitika területén, és egyben igen szerteágazó és gyümölcsöző munkakapcsolat alakult ki azon kollégákkal, akik az emberiség tárgyi emlékeivel, azok vizsgálatával, feldolgozásával és megóvásával foglalkoznak. A műszer egy kézi hordozható röntgenfluoreszcens spektrométer (XRF), amely technika mára már az archeometriai kutatások és restaurátori munkák egyik alapműszerévé vált. A készüléknek köszönhetően az eltelt bő tíz év során számos rendkívül érdekes és izgalmas munkákba, kutatásokba kapcsolódtunk be. A jelen cikkben ezekből szemezgetünk, és egyben bemutatjuk a módszer lehetőségeit és a rendkívül fontos, néha nélkülözhetetlen szerepét ezekben a munkákban. Különös hangsúlyt fektetünk a módszer korlátaira és azoknak a szituációknak, problémáknak a bemutatására, amelyekre ez a technika nem elegendő vagy nem megfelelő.*

KEYWORDS: PORTABLE XRF, ARCHAEOLOGY, INTERDISCIPLINARITY, RESTORATION

KULCSSZAVAK: HORDOZHATÓ XRF, ARCHEOMETRIA, INTERDISCIPLINARITÁS, RESTAURÁLÁS

### Áttekintés, eredmények

A Természettudományi Kutatóközpont (TTK) Anyag- és Környezetkémiai Intézetében (AKI) működő Plazmakémiai Kutatócsoportjának 2008-ban sikerült beszereznie egy Thermo Fischer Scientific által forgalmazott, NITON X3lt 900 típusú kézi hordozható XRF készüléket, amely új perspektívát nyitott a csoport számára a már meglévő ICP-OES készülék és az ezzel végzett kutatási témák mellett, egyben kitűnő kiegészítő eszközként funkcionált a roncsolásos elemanalitikához.

Köszönhetően annak, hogy az eszköz hordozható és segítségével teljesen roncsolásmentes kémiai elemzések végezhetők, hamar kezdtek kialakulni a munkakapcsolatok a restaurálásban és régészetben dolgozó kollégákkal és intézményeikkel. Már a legelső évben, 2008-ban tesztméréseket végeztünk a Magyar Képzőművészeti Egyetem restaurátor szakos hallgatóinak diplomatárgyain és tulajdonképpen ezzel indítottuk el az archeometriai témájú méréseket a Plazmakémiai Kutatócsoportban.

• How to cite this paper: MAY Z. (2020): Tíz év a hordozható XRF társaságában, azaz egy archeometriai utazás története / Ten years using portable XRF. Our story of a journey in archaeology, *Archeometriai Műhely* XVII/3 229–242.

Ezek a vizsgálatok a végzős hallgatók diplomatárgyain azóta is rendszeresek. A következő, 2009-es év több fontos és nagyobb lélegzetű kutatási témát hozott a területen, hiszen ekkor indult egy saját, posztdoktori OTKA pályázat (2009-2012), aminek keretében hazai történelmi téglák és kerámiák vizsgálata volt a téma, különös tekintettel az aquincumi bélyeges téglákra. Ebben a projektben központi szerepet kapott a kézi XRF készülék, amivel a kísérleti munkák zömét tudtuk elvégezni (helyszíni, terepi kémiai elemzések) (May et al. 2011). Ezen OTKA pályázat mellett egy másik igen jelentős OTKA kutatási témába (2009-2015) kapcsolódhattunk az XRF készülékünknek köszönhetően, aminek keretében a hazai köz- és magángyűjteményekben fellelhető habán kerámiák archeometriai kutatását (Bajnóczy et al. 2014), valamint egy hiánypótló, hazai számítógépes adatbázis létrehozását kezdhettük el, felhasználva az XRF vizsgálatokkal kapott kémiai adatokat. A kerámiák és mázak vizsgálata mellett festmények pigmentjeinek vizsgálatába is bekapcsolódhattunk ebben az évben, egy Édouard Manet festmény (Hölgy legyezővel) XRF vizsgálatával, amit a Szépművészeti Múzeumban végeztünk.

A 2010-es év új témákat és vizsgálatokat hozott, mivel lehetőségünk nyílt régészeti fémek és ötvözetek elemzésére (Horváth et al. 2009, Horváth et al. 2013, Horváth et al. 2017), és ez az anyag típus, aminek XRF elemzésénél a legmegbízhatóbb eredményeket lehet elérni (pontosság, érzékenység). Egy Marcus Aurelius bronzszobor vizsgálata mellett elindítottuk régészeti feltárásokban előkerült pénzérme leletek szisztematikus mérését, Visegrádon előkerült, késő középkori pénzérmék vizsgálatával. Az elkövetkező években egyre nagyobb igény merült fel a kézi XRF készülékekkel történő elemzésekre, így egyre több partnerrel és intézménnyel kerültünk munkakapcsolatba, köztük galériákkal, magángyűjtőkkel, valamint budapesti múzeumokkal és az ELTE Régészettudományi Intézetével. A habán kerámiás projektnek köszönhetően kapcsolatba kerültünk számos külföldi múzeummal és kollégával is, így elmondhatjuk, hogy az XRF technikával nemzetközi viszonylatban is sikeres mérésorozatokat végezhetünk (Bécs, Torino, Kolozsvár, Gyulafehérvár, Brno, Mikulov).

A 2011-2014 közötti időszakban is számos izgalmas és fontos területen tudtuk hasznát venni a kézi XRF technikának. Technikailag jelentős lépés volt a készülék felújítása, aminek során egy új és érzékenyebb GOLDD detektor (geometriaileg optimalizált nagy felületű drift detektor) került a gépbe a régi Si-PIN típusú helyett, továbbá új kalibrációs csomagot vásároltunk a készülékbe és ezzel lehetővé vált néhány új elem mennyiségi mérése is. Ezzel a nagyobb érzékenységű

detektorral kiváltottuk a korábban a könnyebb elemek (Mg, Al, Si, P, S, Cl) mérésére használt, hordozható és az XRF készülékhez csatlakoztatható héliumpalackunkat.

2011-ben lehetőségünk nyílt az Ernst Galériában méréseket végezni Gádor jelzetű kerámiákon, valamint a Magyar Képzőművészeti Egyetemen restaurálás alatt lévő, a Nemzeti Múzeum gyűjteményében őrzött Herendi díszkancsókon (Hugyecsek & May 2010; Hugyecsek & May 2017). Mindkét esetben a kerámia alaptesten kívül izgalmas eredményeket hozott a mázak vizsgálata. Nagy örömeinkre szolgált egy nagy lélegzetű doktori disszertáció témáját adó kora-hellenisztikus kori makedón aranyművesség számos ékszerét (arany fülbevalók) végig elemezni, fontos információkat szolgáltatva ezen tárgyak további vizsgálataihoz (Dági 2012). Hasonlóan érdekes és sikeres mérésorozat volt 2012-ben egy bronz Vénusz szobor vizsgálata a Szépművészeti Múzeumban, amiből egy máig is sokat idézett cikk is született (Lakatos et al. 2012). Fontosnak tartjuk azokat az XRF méréseket is, amelyek a Zeneakadémia teljes felújításához kapcsolódtak, aminek keretében restaurálandó lámpákat, lámpatesteket vizsgáltunk. Szintén 2013-ban egy rendkívül izgalmas és érdekes mérésorozatot végezhetünk el egy restaurálandó gabonamúmián, Ozirisz i. e. 1. évezred második feléből származó gabonamúmiájának aranyozott maszkián. Ugyanebben az évben a Magyar Nemzeti Múzeumban őrzött, Közép-Tisza-vidék népvándorlás kori bronztárgyainak XRF vizsgálatát is elvégeztük (Horváth et al. 2013).

2014-ben is folytatódott a különböző, népvándorlás kori bronztárgyak vizsgálata (May & Szenthe 2015, Rácz & May 2018) és ezzel párhuzamosan elindult egy négy éves mérésorozat, amely talán a legjelentősebb projekt a tíz év alatt, amit a kézi XRF készülékünkkel végeztünk, hiszen elindult a késő római császárkor egyik legjelentősebb ezüst kincsleletének, a Seuso-kincs edényeinek a szisztematikus kézi XRF vizsgálata. 2014 áprilisában a Parlamentben még csak előzetes XRF méréseket végeztünk egy-két tárgyon és egy-két ponton, de már akkor láttuk, milyen jelentős eredmények várhatók az ezüstedények természettudományos kutatásában. Ezeket az előzetes és ekkor még nem publikus méréseket követte mind a 14 ezüstitárgy, valamint a hozzájuk kapcsolódó rézüst négy évig tartó részletes és aprólékos XRF elemzése. Ezekből az XRF mérési eredményekből és más anyagvizsgálási módszerekkel kapott adatokból fokozatosan születtek és születnek jelenleg is (2020) publikációk, bel- és külföldi konferencia poszterek és előadások (Mozgai et al. 2017; Mozgai et al. 2018a; Mozgai et al. 2020), valamint részét képezik Mozgai Viktória doktori disszertációjának is, és

nem utolsósorban fontosak a médiában való megjelenései is ezeknek a kutatásoknak.

A régészeti nemesfémek vizsgálatát egy másik kor aranytárgyainak XRF vizsgálatával is kiegészítettük a szarmata arany ékszerek elemzésénél 2015-ben (Mozgai et al. 2018b). Ebben az évben egy nagyot ugrottunk vissza az időben, amikor az Eötvös Loránd Tudományegyetem kollégáival közösen nagyszámú, a Réka-völgyből származó jurakori kőzetmintát elemeztünk és eredményeinket rangos nemzetközi folyóiratban publikáltuk (Müller et al. 2017). A 2015-ös év hozott még egy igazi csemegét számunkra, amikor a magyar történelem egyik meghatározó alakjának, Corvin Mátyás királynak és feleségének, Aragóniai Beatrix királynénak híres márvány domborművét vizsgálhattuk. Kimutattuk az alakokat megformázó márvány rendkívüli tisztaságát, valamint bebizonyosodott, hogy a sötétzöld (szinte fekete) háttér anyaga nem jápsis, ahogy eddig vélték, hanem feltehetően szerpentin, ami az XRF mérés során kimutatott, jellemzően nagy alumínium-, magnézium-, vas- és szilíciumtartalom alapján valószínűsíthető (Szócs et al. 2018). Ezzel jól összecseng az is, hogy a korabeli firenzei templomok díszítéseinél is előszeretettel használták a szerpentin.

2016-ban tovább folytatódta a régészeti fém és ötvözet mérések egy Ócsa környékéről fémkeresés során előkerült hun kori üstöredék XRF elemzésével (Masek 2017), valamint magyarországi középkor és kora újkorai pénzhamisító műhelyekből előkerült érmeleletek vizsgálatával (Nagy et al. 2016). Szintén ebben az évben kezdtünk el a Szépművészeti Múzeum felkérésére egy XRF vizsgálatosorozatot a múzeum több száz darabos gemma gyűjteményén (Antik Gyűjtemény), amelynél alapvető cél volt a gemmák csoportosítása anyagfajtájuk alapján. A múzeum Egyiptomi Gyűjteményében pedig múmiák fakoporsóinak felületén lévő díszítések és motívumok pigment anyagait elemeztük a kézi XRF készülékkel. A 2014. évhez hasonlóan 2016-ban is visszatértünk az Országházba, ahol a Parlament főemeleti kerámiaszobrának restaurálását megelőző állapotfelmérésben működünk közre a helyszíni XRF mérésekkel.

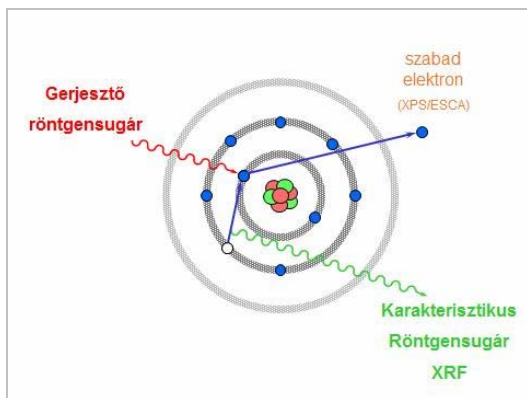
Az utóbbi négy év sem telt el tétlenül, ami a kézi XRF méréseket illeti, hiszen ebben az időszakban is számos izgalmas és rendkívül érdekes anyagvizsgálatokban vehettünk részt. A Petőfi Irodalmi Múzeum (PIM) fotógyűjteményében igen ritka fényképeket, dagerrotípiákat vizsgálhattunk a magyar fotózás korai szakaszából.

A Magyar Nemzeti Galéria restaurátorműhelyében Csontváry Kosztká Tivadar az Öreg halász című festményének alapos XRF elemzését végeztük el, hogy beazonosítsuk a képen használt lehetséges pigmenteket. Hasonló festményvizsgálatra került

sor olasz kollégákkal való együttműködésben Carlo Crivelli reneszánsz festő képeinek XRF elemzésével a Múcsarnokban. Szintén fontos mérésorozatot végeztünk a Szépművészeti Múzeumban őrzött számos márványszobron, hiszen itt a márványban lévő kísérő-, illetve nyomelemek (ami közül a legfontosabb a stroncium) meghatározásán keresztül hasznos információkat kaphatunk a márvány nyersanyag eredetéről. A pénzérme leletek XRF vizsgálatai is folytatódtak ebben az utóbbi négy éves időszakban, hiszen lehetőségünk nyílt több nagyobb leletegyüttes vizsgálatára is. Ezek egyike az Orosháza mellett feltárt fémlelet együttes, ami a 12-13. században itt élt muszlim kereskedőtől maradt hátra, amelyek közül pár tucat friesachi dénár, illetve korabeli hamisítvány (Rózsa et al. 2019). A másik jelentős leletegyüttes a kunmadarasi lengyel ezüstpénzlelet, aminek XRF vizsgálatát Szolnokon a Damjanich János Múzeumban végeztük el, és amelyből kiadvány is született könyv formájában (Nagy et al. 2019). 2018 őszén alkalmunk nyílt XRF méréseket végezni a Bécsi Szépművészeti Múzeum kihelyezett részlegében, a Kincstárban (Schatzkammer) őrzött Bocskai koronán, amelynek során a drágakőberakások vizsgálata, lehetséges azonosítása volt az elsődleges feladatunk, de ellenőriztük a korona alapjául szolgáló aranylemezt is. Ezek a mérések és az erről szóló összefoglaló a médiában is megjelent nem sokkal a mérések után, ezzel is népszerűsítve a módszert: (<https://www.facebook.com/muzeum.bocskaiistvanmuzeum/videos/2358973347488674/>)

### **Az XRF módszer**

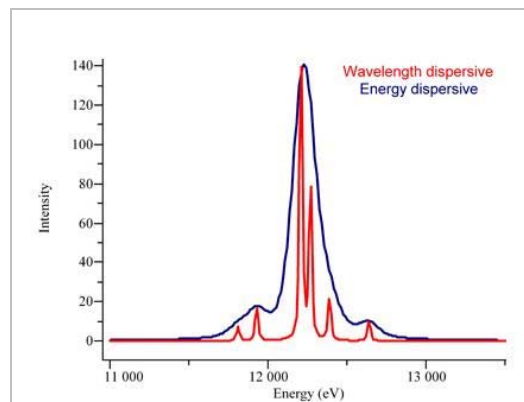
Az XRF technika elemanalitikai módszer, amely során a vizsgált felületről kapunk minőségi és mennyiségi kémiai információt, azaz meghatározhatjuk, hogy mely kémiai elemek (minőségi) milyen mennyiségben, koncentrációban (mennyiségi) építik fel a vizsgált mintát. A vizsgálat során a mintát alkotó atomok a készülékből kilépő gerjesztő röntgensugárzás hatására magasabb energiaállapotba kerülnek (gerjesztett állapot, elektronátmenetekkel és ionizációval), ami rendkívül rövid élettartamú, nem stabil állapot, így ezek az atomok rögtön visszatérnek az alapállapotukba (relaxáció), miközben kisugározzák a két energiaszint (alap és gerjesztett) közötti különbséget karakterisztikus röntgensugárzás formájában (**1. ábra**). Ebben a minta által kibocsátott röntgensugárzásban a mintát felépítő atomokra jellemző energiájú és hullámhosszú röntgensugarak vannak (karakterisztikusak), melyeknek intenzitásai arányosak az adott kémiai elem koncentrációjával a mintában.



**1. ábra:** A karakterisztikus röntgensugárzás keletkezése az XRF mérés során.

**Fig. 1.:** Formation of characteristic X-rays during XRF measurement.

A kézi XRF készülékek kivétel nélkül az energiájuk szerint válogatják szét ezeket a mintából kilépő másodlagos (karakterisztikus) röntgensugarakat és alkotják meg a mintára jellemző spektrumokat. Ezt nevezzük energiadiszerzív detektálásnak (EDXRF), szemben a laboratóriumi hullámhossz-diszerzív módszerrel (WDXRF). Legnagyobb előnye a kézi XRF készülékeknek, hogy könnyen vihetők helyszínre és teljes roncsolásmentes kémiai elemzést tesznek lehetővé, mintavétel sem szükséges a vizsgált tárgyól. Érzékenységre jellemző, hogy a legkisebb koncentráció, amit ki lehet ezzel a készülékekkel mutatni, átlagosan 10 mg/kg (ppm), ami egyben a készülékek átlagos kimutatási határa (természetesen ez függ a mátrixtól, azaz, hogy milyen anyagban kell kimutatni a kérdéses elemet, illetve a kimutatandó elem rendszámától). Azonban az energiadiszerzív detektálásból adódóan az EDXRF készülékek, így a kéziek is, kisebb spektrális felbontással rendelkeznek (összevetve a WDXRF műszerekkel), aminek következtében számos elem egymás mellett történő egyidejű mérése ugyanazon mintából csak nehezen vagy egyáltalán nem lehetséges (**2. ábra**). További, mindig szem előtt tartandó tulajdonsága a módszernek, hogy felületanalitikai elemzést ad, azaz a tárgy legfelső (átlagosan pár száz mikron) rétegéről, térfogatáról kapunk elemösszetétel adatokat. Ez a behatolási (információs) mélység a mátrixban lévő és a meghatározandó elemek átlagos rendszámától és a gerjesztő röntgensugárzás energiájától is függ. Korrodálódott, ásatáson előkerült fémtárgyak (ötvözetek) mérésénél tehát alapvetően a korróziós termékeket fogjuk elemezni egy ilyen mérés során és nem az alapötvözetről kapunk információt. Ehhez el kell távolítani a felső 'zavaró' réteget (pl. a restaurálás során, vagy roncsolásos módszerrel, reszeléssel), ami a tárgyra nézve beavatkozást, roncsolást jelent.



**2. ábra:** Az energia- és a hullámhossz-diszerzív detektálás összehasonlítása, különös tekintettel a spektrális felbontásra.

([https://www.horiba.com/fileadmin/\\_migrated/pics/tutorial10.jpg](https://www.horiba.com/fileadmin/_migrated/pics/tutorial10.jpg)).

**Fig. 2.:** Comparison of energy and wavelength dispersive detection and spectral resolution ([https://www.horiba.com/fileadmin/\\_migrated/pics/tutorial10.jpg](https://www.horiba.com/fileadmin/_migrated/pics/tutorial10.jpg)).

Másik alapvető jellemzője a kézi XRF készülékeknek, hogy a periódusos rendszer mely elemeit képesek mérni és melyeket nem (**3. ábra**). Napjaink érzékeny félvezető detektoraival felszerelt kézi XRF készülékei a magnéziumtól az uránig képesek mérni elméletileg, gyakorlatilag ez az adott készülék gyári beállításaitól függ (kalibrációk, korrekciók, stb.).

A kisebb rendszámú elemeket (3. periódus) nagyobb, a közepes és nagy rendszámú nehéz elemeket (4. periódustól felfelé) kis kimutatási határ mellett lehet meghatározni. Sajnálatos módon a 3. periódusban lévő, magnézium előtti nátriumot egyik kézi XRF készülék sem tudta kimutatni, ami több anyagfajta elemzésénél is hátrányt jelent (üvegeknél, pigmenteknél, kerámiáknál). Ilyen esetekben egyéb műszeres vizsgálat válhat szükségessé. Az azonosítható elemek sorából jól látszik, hogy a magnézium alatti (kisebb rendszámú) kémiai elemek egyáltalán nem mérhetők, amiből fakad a következő korlátja a módszernek, nevezetesen, hogy szerves anyagokat nem lehet elemezni és jellemezni kézi XRF készülékekkel. Kimondható tehát, hogy a módszer alapvetően szerves anyagok mérésére alkalmas (lévén, hogy a szén, hidrogén, oxigén, nitrogén a magnéziumnál kisebb rendszámúak). Természetesen szerves összetevők szerves mátrixban történő elemzése lehetséges (pl. papíron vagy bőrön lévő festékanyagok elemzése) és a nemfemes elemek közül a kén és foszfor, mint szerves molekulákban gyakran megtalálható heteroatomok is meghatározhatók, közvetett információt nyerve a szerves mátrixról.

The table shows the periodic table with elements color-coded by their detectability by handheld XRF. Gray elements are not measurable. Yellow elements are measurable but with a higher detection limit (from a few hundred ppm). Blue elements are well measurable (from an average of 10 ppm). The elements between Mg and U are highlighted in blue, indicating they are detectable by portable XRF devices. Elements like Na are gray, indicating they are not measurable.

**3. ábra:** Kézi hordozható XRF módszerrel kimutatható elemek. Szürke: nem mérhető, sárga: mérhető, de nagyobb kimutatási határral (párszáz ppm-től), kék: jól mérhető (átlagosan 10 ppm-től). Hordozható XRF készülékeknél a kimutatható elemek a Mg és U között található a periódusos rendszerben (Na nem mérhető!). (<https://www.thermofisher.com/blog/wp-content/uploads/2016/04/periodictable-9.jpg>)

**Fig. 3.:** Elements which can be detected by handheld XRF method. Gray: not measurable, yellow: measurable, but with a higher detection limit (from a few hundred ppm), blue: well measurable (from an average of 10 ppm). For portable XRF devices, the detectable elements are in the periodic table between Mg and U (Na can not be measured!). (<https://www.thermofisher.com/blog/wp-content/uploads/2016/04/periodictable-9.jpg>)

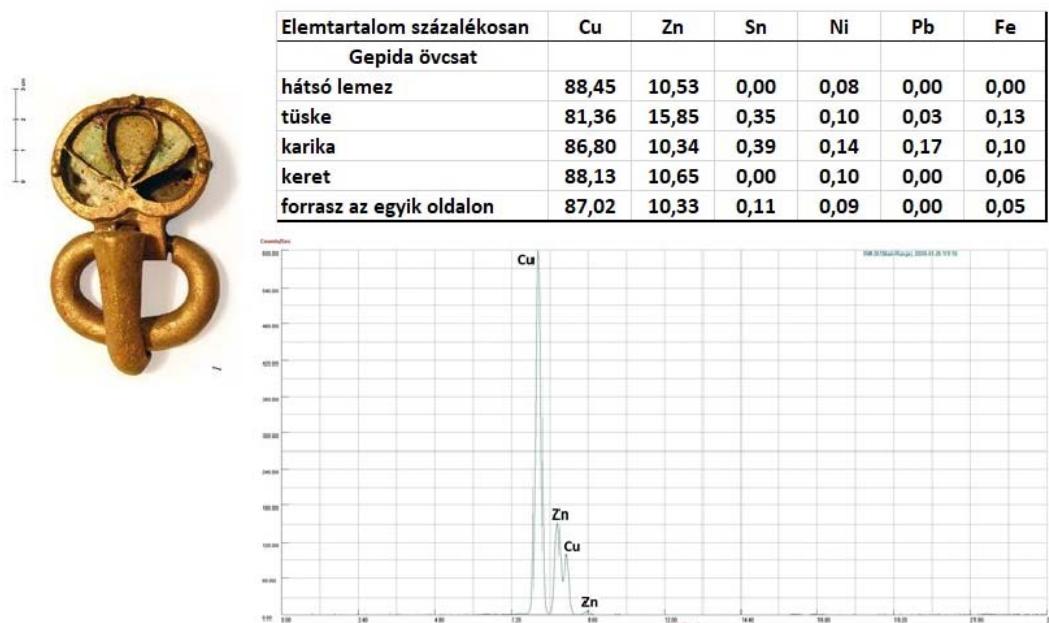
A vizsgálandó anyagok halmazállapotát tekintve az XRF technika leginkább szilárd anyagok mérésére alkalmas. További fontos paraméter a kézi XRF mérések pontosságának szempontjából a vizsgálandó mintának, tárgynak az alakja, geometriája, hozzáférhetősége. Ideális esetben a készüléknek jól kell illeszkednie a mért felülethez és minimálisnak kell lenni a gép és a minta közötti távolságnak, csökkentve a minta által emittált karakterisztikus röntgensugárzás szóródását, elnyelődését a készülék és a mért felület közötti légrétegben. Mindebből tehát az következik, hogy a legpontosabb méréseket sík mintafelületen lehet végezni.

**Esettanulmányok**

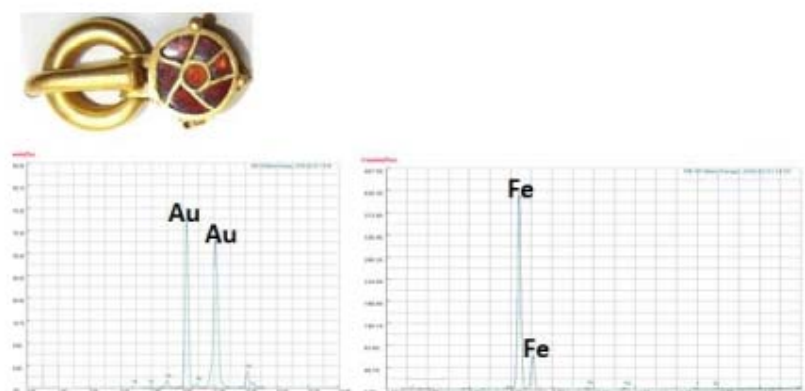
A következőekben néhány esettanulmányon keresztül mutatjuk be a kézi XRF technika előnyeit, lehetőségeit, nem megfelelően a módszer korlátairól.

A készülékkel való munkás elején, 2009-ben egy nagyobb szabású mérésorozatot végeztünk népvándorlás kori gepida és avar, bronznak ismert és publikált tárgyakon, ötvözeteken, melyek között volt számos övcsat. Ezek a tárgyak több hazai múzeum gyűjteményében vannak. A mérések alapján kiderült, hogy az elemzett tárgyak egyike sem tartozik a bronznak nevezett anyagcsoportba, mivel az öntartalmuk minimális, vagy kimutatási határ alatti (**4. ábra**). Ellenben a réztartalom mellett igen jelentős cinktartalom volt mérhető, így kijelenthető volt, hogy ezeknek a tárgyaknak az anyaga sárgaréz és nem bronz (Horváth et al. 2009).

A népvándorlás korából származó példaink sorát gyarapítja továbbá egy hun kori tömör arany övcsat is (Horváth 2012), ahol a méréseink révén a fém alapanyag tisztaságát, valamint a gránátberakások fajtáját ellenőriztük. Előbbi esetében közel 95-96 tömeg % aranytartalmat mértünk, utóbbi esetben el kellett döntenünk, hogy a gránátberakás anyaga pirop vagy almandin (**5. ábra**).



**4. ábra:** Gepida kori övcsat Rákóczifalva-Kastélydombról. Az XRF mérések helyei és eredményei  
**Fig. 4.:** A Gepidian belt buckle from Rákóczifalva-Kastélydomb. XRF measuring spots and results



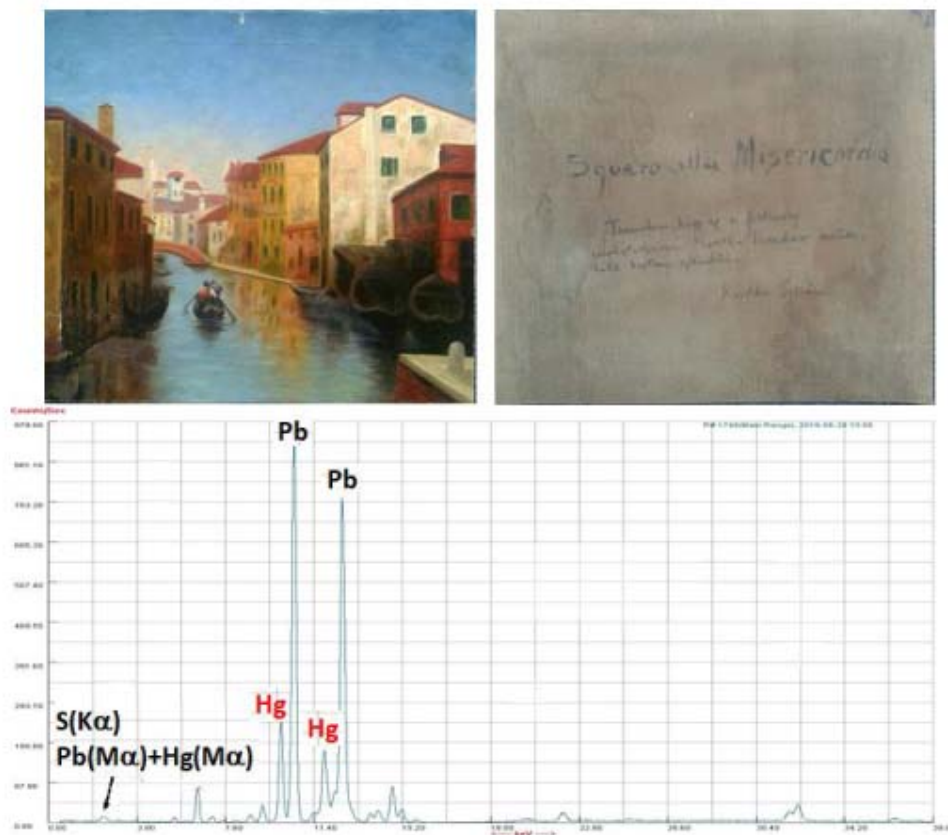
**5. ábra:** Hun kori gránátberakásos arany övcsat Lébény-Magasmarttól. Az arany és a berakás XRF spektruma.  
**Fig. 5.:** Gold belt buckle found in Lébény-Magasmart with garnet inlay from the Hunnic period. XRF spectrum of the gold body and the inlay.

A gránátban mért jellemzően nagy vas- és kis magnéziumtartalom alapján a gránátot almandinnak valószínűsítettük. Mindkét gránátfajta alumíniumszilikát ásvány, egymástól alapvetően a vas-, illetve magnéziumtartalom dominanciájában különböznek. Természetesen, mivel az XRF elemanalitikai

módszer, így a gránát pontos ásványtani besorolása nem lehetséges, csak közvetett módon, az elemösszetétel (Si, Al, Mg, Fe, Ca, Mn) és egyéb fizikai jellemzők (pl. fénytörés, szín, keménység) alapján.







**8. ábra:** A *Squero alla Misericordia* című festmény és a hátoldala. A piros háznál mért spektrumon a Hg L-vonalai látszanak, ami a cinóber pigmentre utal (HgS). A Pb és a Hg M-vonalai átfedésben vannak a S (kén) K-vonalával.

**Fig. 8.:** *Squero alla Misericordia*, front and back. On the XRF spectrum measured at the red house the L-lines of Hg can be seen, which refers to the cinnabar pigment (HgS). The M-lines of Pb and Hg overlap with the K-line of S (sulphur).

Ezen mérősorozatok alapján alapvetően három nagyobb csoportra tudtuk osztani a gyűjteményt: kövek (kvarc módosulatok), üvegek és egyéb anyagok (7. ábra, piros körben a kvarc módosulatok, a zöld körben az üvegek csoportosulnak).

A festményvizsgálatok közül most egy 2016-ban végzett elemzést mutatunk be, amely során egy Csontváry Kosztká Tivadarnak tulajdonított kép vizsgálatát kérték tőlünk. A „*Squero alla Misericordia*” című festmény (8. ábra) esetében is hasonlóan jártunk el, mint más képek vizsgálatánál, azaz minden színnél és a kép hátoldalán is elvégeztük az XRF elemzéseket, hogy lássuk, milyen elemek mutathatók ki adott szín, motívum esetében, ezzel közelebb kerülve a használt pigment azonosításához. Huszadik századi festmények esetében mindig nagyon fontos kérdés a titán

mérése, hiszen a titánfehér nevű vegyületet ( $\text{TiO}_2$ ) csak 1921-től kezdték használni a festők (fehér alapozás, fehér színek). A mi esetünkben egyik mérési ponton sem volt kimutatható mennyiségben titán (nyolc helyen végeztünk a festményen elemzést), így a kép századfordulón való készítésének kérdése alátámasztható, illetve nem cáfolható. (Természetesen ez nem jelenti azt, hogy a festő 1921 után ne használhatott volna titánmentes fehér pigmentet, azonban a titánfehér rendkívül népszerű lett és széles körben használt). Jelen kép esetében az ólom- és báriumtartalom minden mért felületen jellemző, ami az ólomfehér és baritfehér (ólom-karbonát és bárium-szulfát) vegyes használatára, mint fehér alapozásra utal. A baritfehér pigment kéntartalma a magas ólomkoncentráció mellett nem mérhető a kén K-alfa és az ólom M-alfa csúcsainak átfedése (kézi XRF készülékek kisebb spektrális felbontása) miatt.



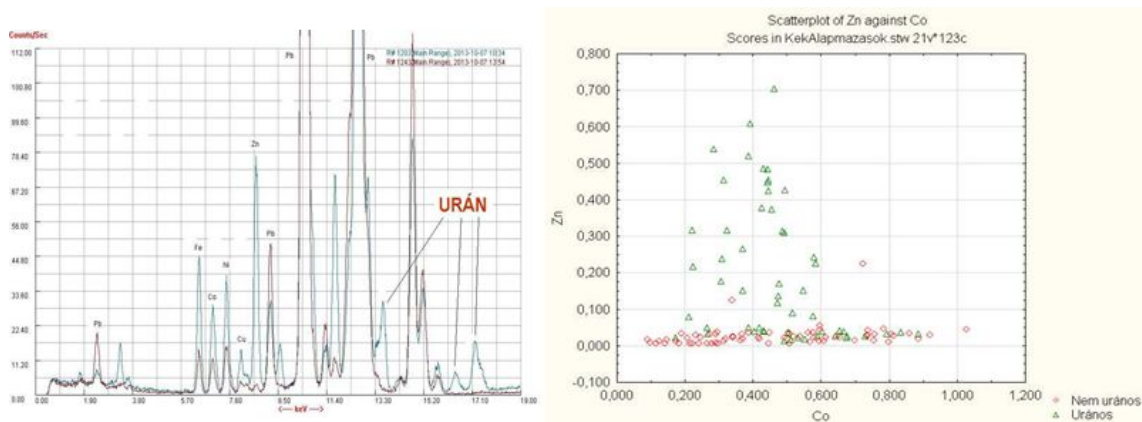
**9. ábra:** Fehér- és kékmázás habán kerámiák. A fotón látható tárgyak a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből valók. A tárgyak sorrendben, leltári számuk szerint: MNM1954.408, MNM1885.11, MNM 1939.59, MNM1973.10, MNM1963.130, MNM 1954.366. A fényképeket Ormos József készítette. Az 1939.59 leltári számú tál mérésének fényképét Bajnóczi Bernadett készítette.

**Fig. 9.:** White and blue glazed haban ceramics. The objects shown in the photo are from the collection of the Hungarian National Museum. Items in order, according to their inventory number: MNM 1954.408, MNM 1885.11, MNM 1939.59, MNM 1973.10, MNM 1963.130, MNM 1954.366. The photos were taken by József Ormos. The photo of measurement of the 1939.59 bowl was taken by Bernadett Bajnóczi.

A kék égbolt esetében az XRF elemzés jelentősebb kobalt- és alumíniumkoncentrációt mutatott, ami a kobaltkék nevű vegyes Co-Al-oxid vegyületre utal, mint kedvelt és a korban is használt kék pigmentre. Természetesen nem zárhatjuk ki szerves kék használatát (pl. indigó), továbbá egy esetleges ultramarinos kék alkalmazása sem kizárható, mivel az egyik kulcseleme, a nátrium nem mérhető XRF technikával (az ultramarin másik két indikátor eleme, az alumínium és szilícium közül az előbbi eleve benne van a kobaltkékben, az utóbbi könnyű elem lévén nehezebben mérhető). A festmény többi színénél is beazonosíthatók voltak azok a kémiai elemek, amelyek a lehetséges pigment használatára utalnak. Ezek a javasolt pigmentek (cinóber, krómsárga, okker, viridián, malachit) a festmény készítésének korában elterjedtek voltak, közöttük a kadmiumsárga (kadmium-szulfid) is, amit már az 1840-es évektől kezdtek a művészek használni. Ebben a vizsgálatban tehát nem tudtuk cáfolni a Csontvárynak vélt festmény eredetiségét, ugyanakkor nagyon fontosak a kiegészítő műszeres vizsgálatok is egy végső döntés kimondásában,

mivel az XRF mérés önmagában általában nem elegendő festmények eredetiségének megállapításában.

A 2009-2015 közötti időszak nagyon izgalmas volt az XRF mérések szempontjából és az egyik projekt során igazán kiismerhettük a kézi XRF készülékünket, megtapasztalhattuk a lehetőségeit és elmerülhettünk a kapott eredmények, adathalmazok értékelésében, a kinyert spektrumok tüzesebb vizsgálatában és értelmezésében. Ez egy közel hatéves mérésorozatot jelentett a „Magyarországi köz- és magángyűjteményekben fellelhető habán kerámiák művészettörténeti és archeometriai kutatása, számítógépes adatbázis és katalógus elkészítése” címmel futó konzorcialis OTKA pályázat keretében a Magyar Nemzeti Múzeum, az Iparművészeti Múzeum és a Néprajzi Múzeum, valamint az MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet részvételével. Ennek során több mint 500 darab, hutterita, habán, késő habán és poszthabán tárgyat (elsősorban tálak, bokályok, korsók, kályhacsempék, valamint régészeti töredékek) mértünk végig a kézi XRF készülékkel (9. ábra).



**10. ábra:** Urántartalmú kék mázak jellegzetes XRF spektruma és a Zn-U korreláció ábrázolása (minden urános máz - zöld háromszög- cinktartalmú is egyben).

**Fig. 10.:** Characteristic XRF spectrum of uranium-bearing blue glazes and representation of Zn-U correlation (all uranium glazes - green triangles – contain zinc as well).

Ez volt az első nagyszabású projekt, amihez kapcsolódni tudunk már egy évvel a készülék beszerzését követően, 2009-ben. A nagyszámú mérések során elsődlegesen a habán tárgyak mázáit vizsgáltuk, és ahol volt rá lehetőség, ott a mázatlan alaptesten is történtek mérések a felületi, szennyezett réteg szakszerű, restaurátor általi lekaparását követően.

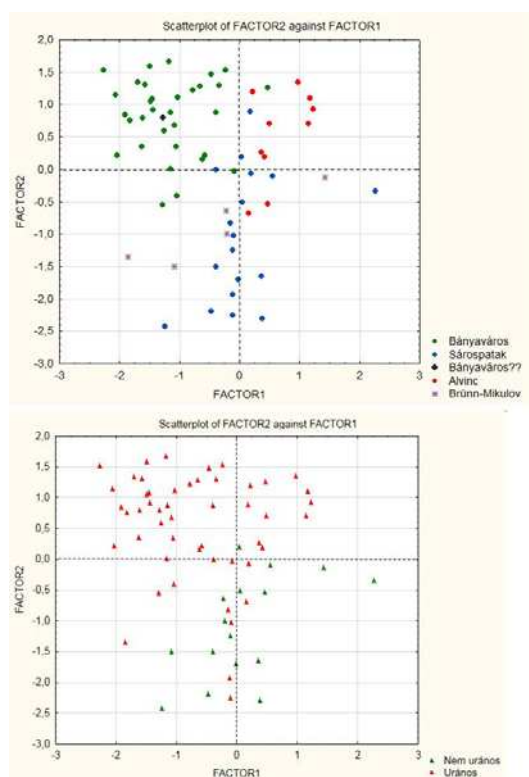
Az ónműzas fajansztechnika elterjedése a 16-18. századi Kelet-Közép-Európában jelentős részben az anabaptista habánokhoz (hutteriták) köthető és nekik köszönhető. A pontos receptúra és kerámiakészítési technológia korabeli írott forrása nem maradt fenn (Bajnóczi et al. 2014).

Az ásatásokon előkerült habán töredékeken a kézi XRF mérések mellett készültek SEM-EDX, XRD/ $\mu$ -XRD és ICP-OES/MS elemzések is (Bajnóczi et al. 2014; Bajnóczi et al. 2015). A mázak XRF elemzése kapcsán fontos felismerés és egyben újdonság volt, hogy 107 kerámiánál a kék mázban (alpmáz, díszítés) urántartalom is mérhető volt. Az urán a kék mázak színét adó kobalttartalmú pigmentek kísérőeleme, amennyiben a pigment olyan kobaltércből készült, aminek urántartalma is van (ún. Ni-Co-As-Ag-Bi+U típusú ércesedés), ugyanakkor a cinktartalommal való pozitív korrelációját is megfigyeltük (Ridovics et al. 2015; Ridovics et al. 2017) (**10. ábra**). Az urántartalmat az XRF mérés első éveiben még nem tudtuk pontosan meghatározni mennyiségileg, mivel a készülék akkori gyári kalibrációjában ez az elem nem szerepelt, de a gép 2012-es fejlesztésénél már bekerült. Ez előtt csak a felvett spektrumokon tudtuk beazonosítani az urán csúcsait és így elkülöníteni az urántartalmú kerámiák csoportját. Ez azért volt fontos eredmény, mert ezzel közelebb

kerültünk a kobaltos pigmentek eredetének meghatározásához. Ahhoz a lehetséges származási helyhez, ahonnan azt a habán mesterek is beszerezhették. A pontosabb meghatározáshoz azonban még további kutatás szükséges. A mért habán kerámiákon belül fontos a mintegy 140 darabos kékmáz (kék alpmáz) kerámia csoportja. Az XRF mérések során bebizonyosodott, hogy a kékmáz kerámiák mázaiban többkevesebb óntartalom van jelen. Még a rendkívül kis mennyiségben mért ónkoncentráció (150 ppm, 0,015 tömeg %) is szándékos hozzáadagolás eredménye, és SEM-EDX méréssel is kimutatható a mázhoz adagolt ón-oxid szemcsék jelenléte, ami fontos technológiai adat (Bajnóczi et al. 2015).

A kékmáz kerámiák mázainak XRF elemzéséből kapott adatokból statisztikai módszerekkel (többváltozós adatelemzéssel) kíséreltük meg az egyes habán fazekasműhelyek körét meghatározni (**11. ábra**). Jól elkülönült az úgynevezett 'bányavárosi műhelyben' készült tárgyak csoportja, amelyre jellemző az urántartalmú kék máz.

A habán kerámiák kézi XRF mérésénél ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy akár a kék, akár a fehér alpmáz tárgyak kapcsán a jellemzően nagy ólom- és óntartalom miatt a kalcium, kálium, foszfor és kén elemek kimutatása és mennyiségük meghatározása nem igazán lehetséges az ólom M-vonala, az ón L-vonala és a felsorolt elemek K-vonalainak spektrális átfedése (interferencia) miatt. Sárga máz esetében a szint adó pigmenthez kapcsolódó antimon L-vonalai is hozzáadódnak a vonalak átfedéseikhez.



**11. ábra:** Kékmázás kerámiák XRF elemzésének eredményei faktoranalízissel feldolgozva.

**Fig. 11.:** Results of XRF analysis of blue-glazed ceramics processed by factor analysis.

Ez a majd hat éven át tartó habán projekt arra is remek példa volt, hogy ilyen esetekben, amikor a műtárgyak többsége ép, vagy belőlük minta nem vehető, akkor az egyetlen elemanalitikai módszer a kézi XRF technika marad, amivel igen hasznos, értékes és hiánypótló kémiai információk nyerhetők a tárgyakból, szem előtt tartva a módszer korlátait.

Összefoglalva az eddigieket és áttekintve ezt a bő tíz évet, elmondható, hogy ennek a módszernek köszönhetően számos nagyon izgalmas és fontos kutatási témába tudunk bekapcsolódni, vagy tudunk elindítani hiánypótló és unikális vizsgálatsorozatokat, aminek köszönhetően gyümölcsöző munkakapcsolatokat alakítottunk ki hazai és külföldi kollégákkal. A módszer legnagyobb szépsége, hogy összehozza a különböző tudományterületen dolgozó szakembereket és közös gondolkodásra sarkallja a természet- és bölcsészettudomány művelőit. Bízunk benne, hogy az ez idő alatt elkezdett és valamilyen szinten befejezett kutatási témákat a jövőben folytatni tudjuk, illetve új irányokat jelölhetünk ki, hiszen a régészet, művészettörténet, valamint a műtárgyak restaurálása és állagmegóvása folyamatos feladatokkal látja el a kémikus analitikust.

## Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt köszönetemet és hálámat szeretném kifejezni Tóth Máriának 'Totyinak', aki elindított ezen az úton, és aki nélkül nem lett volna lehetőségem bekapcsolódni ezekbe az archeometriai kutatásokba, és aki nélkül nem ismertem volna meg azokat a csodálatos kollégákat és intézményeket, akikkel most együtt dolgozhatok. Köszönetemet fejezem ki Ridovics Annának, Bajnóczi Bernadettnek, Horváth Eszternek, Lakatos Szilviának, valamint Mráv Zsoltnak a közös munkáért és hozzájárulásukért az itt bemutatott eredmények és ábrák közléséhez, valamint lelkiismeretes szakmai segítségükért.

A római bélyeges téglák vizsgálata, valamint a habán kerámiák kutatása a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával történt (NKFIH, régebbi nevén OTKA 75740 és K81201, K81213 és K81133 számú szerződések).

## Irodalomjegyzék

BAJNÓCZI, B.; NAGY, G.; TÓTH, M.; RINGER, I. & RIDOVICS, A. (2014): Archaeometric characterization of 17th-century tin-glazed Anabaptist (Hutterite) faience artefacts from North-East-Hungary. *Journal of Archaeological Science* 45 1–14.

BAJNÓCZI, B.; MAY, Z.; RIDOVICS, A.; SZABÓ, M.; NAGY, G. & TÓTH, M. (2015): The tin content of the blue-glazed Hutterite and Haban ceramics – implications for the production technology based on results of the handheld XRF and electron microprobe analyses. *Acta Ethnographica Hungarica* 60/2 517–534.

DÁGI, M. (2012): Aranyművesek és készítési technikák. Arany mirtuszkoszorúk a későklasszikus – korahellénisztikus kori Makedóniában. In: KREITER, A.; PETŐ, Á. & TUGYA, B. szerk., *Környezet-Ember-Kultúra. Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde* (Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ 2010. október 6-8-án megrendezett konferenciájának tanulmánykötete). Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ, Budapest 279–289.

HORVÁTH, E.; MAY, Z.; KOVÁCS J. & TÓTH, M. (2009): An early medieval buckle with cloisonné decoration. The localization of workshop area by archaeometrical investigation (Egy kora középkori cloisonné díszes övcsat. A műhelykörzet lokalizálása archeometriai módszerekkel) *Archeometriai Műhely* VII/4 15–29.

HORVÁTH, E. (2012): Ékkő- és üvegberakásos ötvösmunkák a Kárpát-medence hun kori és kora Meroving-kori leletanyagában. *PhD disszertáció kézirat*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Budapest, pp. 179.

- HORVÁTH, E.; BENDŐ, Zs. & MAY, Z. (2013): One hundred years later... Characteristics of the materials technology and workshop affinities of the polychrome metalwork from Gáva (North-East Hungary). In: HARDT, M. & HEINRICH-TAMÁSKA, O. (eds.): *Macht des Goldes, Gold der Macht: Herrschaft- und Jenseitsrepräsentation zwischen Antike und Frühmittelalter im mittleren Donauraum*. Akten des 23. Internationalen Symposiums der Grundprobleme der Frühgeschichtlichen Entwicklung im Mittleren Donauraum. Verlag Bernhard Albert Greiner, Weinstadt, 251–280.
- HORVÁTH, E. & MAY, Z. (2017): The Archaeometric Investigation of the Early Byzantine Jug Decorated with Hunting Scenes from Budakalász. In: VIDA, T. (ed.): *Die frühbyzantinische Messingkanne mit Jagdszenen von Budakalász (Ungarn)*. MTA BTK Régészeti Intézet, Budapest, 243–256.
- HUGYECSEK, B. & MAY, Z. (2010): Herendi díszkancsók restaurálása. *Műtárgyvédelem*, (Magyar Nemzeti Múzeum) **35** 141–155.
- HUGYECSEK, B., MAY, Z. (2017): Víz és Levegő: herendi porcelán díszkancsók készítechintekai sokszínűsége. In: RIDOVICS, A.; BAJNÓCZI, B.; DÁGI, M. & LÓVEI, P. szerk., *Interdiszciplinaritás – Archeometriai, régészeti és művészettörténeti tanulmányok*. Magyar Nemzeti Múzeum – Szépművészeti Múzeum, Budapest, 333–345.
- LAKATOS, Sz.; MAY, Z. & TÓTH, M. (2012): Egy bronz Venus szobor vizsgálata régészeti és természettudományos módszerek együttes alkalmazásával. In: KREITER, A.; PETŐ, Á. & TUGYA, B. szerk. *Környezet-Ember-Kultúra. Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde* (Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökség-védelmi Központ 2010. október 6 – 8-án megrendezett konferenciájának tanulmánykötete). Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökség-védelmi Központ, Budapest, 335–343.
- MASEK, Zs. (2017): A fresh look at hunnic cauldrons in the light of a new find from Hungary, *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **68** 75–136
- MAY, Z.; TÓTH, M. & SZÉPVÖLGYI, J. (2011): Application of a portable and handheld Niton XRF analyzer in studying of ceramics and historical bricks in Hungary *EMAC 2011 - 11th European Meeting on Ancient Ceramics, 29 September – 1 October 2011*, Vienna, Austria, Conference program and Abstracts, 27–26.
- MAY, Z. & SZENTHE, G. (2015): Archaeometrical studies on some bronze buckles with portable (handheld) XRF spectroscopy. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **66** 379–386.
- MOZGAI, V.; BAJNÓCZI, B.; FÓRIZS, I.; MAY, Z.; HATVANI, I.G.; DÁGI, M.; MRÁV, ZS. & TÓTH, M. (2017): Handheld XRF mapping of elemental composition of Roman silver artefacts: preliminary results In: MONTERO-RUIZ I. & PEREA, A. eds., *Archaeometallurgy in Europe IV, Bibliotheca Praehistorica Hispana XXXIII* Editorial CSIC, Madrid, 237–247.
- MOZGAI, V.; BAJNÓCZI, B.; MAY, Z.; PERNICKA, E.; FÓRIZS I.; MRÁV Zs.; DÁGI M. & TÓTH M. (2018a): The use of handheld XRF supplemented with LA-QICP-MS in the analysis of composite silver artefacts – the case study of the late Roman Seuso Treasure. European Conference on X-ray Spectrometry (EXRS 2018), 24–29 June 2018, Ljubljana, Slovenia, In: KAVČIČ, M.; ŽITNIK, M.; HRAST, M. & BUČAR, K. eds., *Book of Abstracts*, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, p. 200.
- MOZGAI, V.; SZABÓ, M.; MAY, Z. & BAJNÓCZI, B. (2018b): A Dunakeszi-Székesdűlőn feltárt korai szarmata sír aranyleleteinek kézi röntgenfluoreszcens és elektron-mikroszkopos vizsgálata. In: KOROM, A.; BALOG, Cs.; MAJOR B. & TÜRK, A. (szerk.): *Relationes rerum – Régészeti tanulmányok Nagy Margit tiszteletére. Studia ad Archaeologiam Pazmaniensia 10* Pázmány Péter Katolikus Egyetem Régészettudományi Intézet – Budapesti Történeti Múzeum, Budapest, 209–223.
- MOZGAI, V.; BAJNÓCZI, B.; MAY, Z. & MRÁV, Zs. (2020): A hordozható XRF alkalmazási lehetőségei és korlátai római ezüsttálak archeometriai vizsgálatában / Possibilities and limitations of the use of handheld XRF in the archaeometric study of Roman silver platters (In *Hungarian with English abstract*), *Archeometriai Műhely XVII/3* 253–270.
- MÜLLER, T.; GREGORY, D. P.; DÁVID, B.; NYERGES, A.; KESJÁR, D.; RAUCSIK, B.; VARGA, A.; JUDIK, K.; FEKETE, J.; MAY, Z. & PÁLFY, J. (2017): New multiproxy record of the Jenkyns Event (also known as the Toarcian Oceanic Anoxic Event) from the Mecsek Mountains (Hungary): Differences, duration and drivers. *Sedimentology* **64/1** 66–86.
- NAGY, Zs. D.; MAY, Z. & FINTOR, K. (2016): Archaeometric investigation of the hoard from Bodrogolaszi, Hungary. *STAR: Science & Technology of Archaeological Research* **1/2** 89–98.
- NAGY, Zs. D.; ZAJAC, B. & MAY, Z. (2019): *Lengyel pénzek Magyarországon I.* A Kunmadaras-repülőter lelőhelyen előkerült éremlelet előzetes eredményei. Damjanich János Múzeum, Szolnok, 89 p.

RÁCZ, Zs. & MAY, Z. (2018): Öntőminta pajzsos testű csat készítéséhez. In: BÍRÓ, Gy.; KATONAKISS, A. & RÓZSA, Z. eds., *Mozaikok Orosháza és vidéke múltjából* **19** Fémek a földből I. Orosháza Város Önkormányzat Nagy Gyula Területi Múzeuma, Orosháza, Magyarország, 50–51.

RIDOVICS, A.; MAY, Z.; BAJNÓCZI, B. & TÓTH, M. (2015): Examination of Haban vessels with uranium-bearing blue glaze. *Acta Ethnographica Hungarica* **60/2** 485–515.

RIDOVICS, A.; MAY, Z. & BAJNÓCZI, B. (2017): Virágok, sellők, bányászkalapács. Kékmázás hutterita, habán edények és kályhacsempék a bányavárosi műhely munkáinak tükrében In: RIDOVICS A.; BAJNÓCZI B.; DÁGI M. & LŐVEI P. szerk., *Interdiszciplinaritás –*

Archeometriai, régészeti és művészettörténeti tanulmányok. Magyar Nemzeti Múzeum – Szépművészeti Múzeum, Budapest, 195–222.

RÓZSA, Z.; TÓTH Sz. & MAY Z. (2019): Preliminary archaeometric studies and results of fake denars from friesach found in the inheritance of a community in the Árpád-era dealing with money exchange, *Archeometriai Műhely* **XVI/1** 57–62.

SZŐCS, M.; KÁLDI, R.; MAY, Z.; BAJNÓCZI, B. & TÓTH, M. (2018): Material analysis of the marble reliefs attributed to Benedetto da Maiano representing King Matthias Corvinus and Beatrice of Aragon and aspects of their technical execution. *Bulletin du Musée Hongrois des Beaux-arts – A Szépművészeti Múzeum Közleményei* **123** 51–65.





# RÉGÉSZETI KŐESZKÖZÖK ÉS BRONZTÁRGYAK VIZSGÁLATA HORDOZHATÓ KÉSZÜLÉKEKKEL

## INVESTIGATION OF STONE ARTEFACTS AND BRONZE OBJECTS WITH PORTABLE DEVICES\*

MARÓTI Boglárka<sup>1</sup>, SZILÁGYI Veronika<sup>1</sup>, HARSÁNYI Ildikó<sup>1</sup>, KASZTOVSZKY Zsolt<sup>1</sup>,  
SZENTMIKLÓSI László<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Energiatudományi Kutatóközpont, Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratórium

1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

E-mail: [maroti.boglarka@energia.mta.hu](mailto:maroti.boglarka@energia.mta.hu)

### Abstract

*The main scope of our laboratory is the non-destructive composition determination of various objects with neutrons. In the last few years, a handheld XRF and a 3D LED scanner is used to improve the capability of the PGAA method. Our XRF spectrometer is primarily used for pre-screening samples preparatory to the PGAA or NAA measurement. It allows us to assess the risk of neutron activation, especially in the case of metal alloys, which is essential when examining artefacts from a museum collection. Samples that are difficult to measure with PGAA can be analyzed; measurements can be carried out in the field/on the site and the analysis of non-transportable objects is also possible. In recent years, our handheld XRF has been successfully used in combination with other methods in the provenance analysis of chipped stone tools and to determine the composition of Bronze Age metal objects. To design custom sample holders for fixing valuable, occasionally fragmented artefacts with specific shapes to the facilities' sample manipulator, another portable device, a structured-light 3D optical LED scanner is applied. It provides 0.5-1% accuracy in the imaging of the object surface, making accurate size comparison possible. We present in this paper the experiences of the past few years.*

### Kivonat

*Laboratóriumunk fő tevékenysége a roncsolásmentes kémiai összetétel vizsgálat neutronokkal. Az utóbbi években egy kézi XRF készüléket és egy 3D LED szkennert alkalmazunk a PGAA módszer teljesítőképességének növelésére. Az XRF spektrométert elsősorban PGAA mérésre érkező minták előzetes szűrésére használjuk. Ezzel a neutronnyaláb hatékonyabb kihasználása mellett a tárgyak felaktiválódási kockázatát - főleg fémötvözetek esetén - is becsülni tudjuk, mely elengedhetetlen, ha múzeumi gyűjteményben található tárgyakat vizsgálunk. Ezen túlmenően a hordozható berendezés a PGAA-val nehezen mérhető minták, ill. terepi, vagy nem mozdítható tárgyak analizését is lehetővé teszi. Az elmúlt évek során kézi XRF készülékünket más módszerekkel kombinálva sikeresen alkalmaztuk pattintott kőeszközök eredetmeghatározásában és bronzkori fém tárgyak összetételének vizsgálatában.*

*A sajátos alakú, vagy töredékes állapotban megmaradt, értékes minták biztonságos rögzítéséhez szükséges egyedi mintatartók elkészítésére szintén hordozható készüléket, egy 3D LED szkennert alkalmaztunk. Ezzel a módszerrel a tárgyak felszínének a méretéhez viszonyított 0,5-1%-os pontosságú leképezésére van lehetőség, ami az alakjuk kvantitatív összehasonlítását is lehetővé teszi. Tanulmányunkban az elmúlt évek tapasztalatait mutatjuk be.*

KEYWORDS: HANDHELD XRF, STRUCTURED-LIGHT 3D OPTICAL SCANNER, NON-DESTRUCTIVITY, PROVENANCE ANALYSIS, COMPARISON OF SURFACE-BULK COMPOSITION

KULCSSZAVAK: KÉZI XRF, STRUKTURÁLT-FÉNY OPTIKAI 3D SZKENNER, RONCSOLÁSMENTESSÉG, EREDETMEGHATÁROZÁS, FELSZÍNI-TÖMBI ÖSSZETÉTEL VIZSGÁLAT

---

\* How to cite this paper: MARÓTI, B.; SZILÁGYI, V.; HARSÁNYI, I.; KASZTOVSZKY, Zs. & SZENTMIKLÓSI L., (2020): Investigation of stone artefacts and bronze objects with portable devices (in Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XVII/3 243–252.

## Bevezetés

Az első, laboratóriumon kívüli, helyszíni mérésekre is alkalmas hordozható XRF készülékek az 1980-as évek elején jelentek meg, és elsősorban urán analízisére használták erősen radioaktív tartályok, valamint talajok esetén (Seyfarth & Kaiser 2013). A radioaktív sugárforrással működő, proporcionális számláló detektorral felszerelt műszerek tömege akkor még 30 kg volt, beleértve az elektronikát és egyéb tartozékokat is. A napjainkban elterjedt, pisztolyszerű kialakítású kézi XRF készülékek 2002-ben jelentek meg, a detektorok és a röntgensövek miniaturizációjának, a folyékony nitrogén-hűtést felváltó Peltier-elemek megjelenésének, valamint a több órán keresztül üzemképes akkumulátoroknak (Pozsgai 2006) köszönhetően, átlagos tömegük 1,5 kg. Elsődleges felhasználásuk fémhulladék válogatása roncsstelepeken, üzemcsarnokokban elhelyezett csővezetékek és egyéb, fémből készült komponensek ötvözettypusának pontos azonosítása volt (Seyfarth & Kaiser 2013).

Ma közel tíz gyártó különféle alkalmazási területekre optimalizált kézi XRF készülékei közül választhatunk. Az eszköz egyszerű kezelésének, szállíthatóságának és teljes roncsolásmentességének köszönhetően az archeometriai kutatások területén is növekvő fontossággal bír. Kézi XRF készüléket sikerrel alkalmaztak kerámiák petrográfiai csoportosításának megerősítésére (Burley & Dickinson 2010), eredet-meghatározására (Speakman et al. 2011, Ashkanani & Tykot 2013, Hunt & Speakman 2015), kerámiák mázas, vagy festett díszítésének elemzésére (Biton et al. 2014), valamint ásatáson előkerült kerámiatöredékek helyszíni, gyors mérésére (Bonizzoni et al. 2011). Felhasználása kiterjed továbbá üvegek nyersanyagának azonosítására (Kaiser & Shugar 2013), obszidián kőeszközök eredet-meghatározására (Milić 2014, Riebe 2019), bronzok ötvözettypusának vizsgálatára (Šatović et al. 2013), valamint hamisított tárgyak kiszűrésére (Rózsa et al. 2019). 2013-ban a Leuven University Press gondozásában megjelent *Handheld XRF for Art and Archaeology* című kötet átfogóan mutat be számos alkalmazási területet (Shugar & Mass 2013).

Magyarországon a Természettudományi Kutatóközpontban (lásd, ugyanezen kötet, May 2020), az Atommagkutató Intézetben (<https://hslab.atomki.hu/infrastruktura/>), a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontban (lásd, ugyanezen kötet, Mozgai et al. 2020), valamint az Energiatudományi Kutatóközpontban (EK) is található egy-egy kézi XRF készülék.

Az EK Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratóriuma (NAL) 2011 végén szerezte be az InnovX (jelenleg Olympus) Delta Premium típusú

kézi XRF készülékét, mellyel fémötvözetek és geológiai eredetű minták, tárgyak vizsgálhatók. Laboratóriumunk mindennapi gyakorlatában a kézi XRF készüléket a neutronos módszerek kiegészítőjeként használjuk. Gyorsaságának köszönhetően mind a PGAA, mind az NAA vizsgálatok előtt lehetőség van a minták előszűrésére, például bronzok ötvözőinek és fő szennyező elemeinek meghatározására. Hideg nyalábban történő mérés során mindig keletkezik radioaktív Cu-64 ( $T_{1/2} = 12,7$  óra). Termikus neutronos besugárzás esetén a főként nyersanyagérből származó, de esetenként ötvözőként adagolt arzén és antimon radioaktív nuklidjaival is számolnunk kell (As-76,  $T_{1/2} = 26,2$  óra; Sb-122,  $T_{1/2} = 2,7$  nap; Sb-124,  $T_{1/2} = 60$  nap). Az azonosított alkotóelemek ismeretében a besugárzási idő hossza, illetve az off-line mérések pontosabban tervezhetők, valamint becslést tudunk adni a keletkező radioaktivitás lecsengésének idejéről, és a visszaszállítás várható időpontjáról, amely múzeumi, kiállításban szereplő tárgyak esetén elengedhetetlen.

A tavalyi évben egy 3D LED szkennelvel bővült a NAL műszerparkja, amellyel a vizsgálandó tárgyak formájának és fotorealisztikus textúrájának vizualizációjára, ezzel együtt pedig a pontos alakjának, méreteinek digitális megjelenítésére is lehetőség adódik. Kis méretének, könnyű szállíthatóságának köszönhetően az értékes régészeti leletek akár a múzeumok gyűjteményében is vizsgálhatók.

Az Archeometriai Műhelyben 3D megjelenítési technikák alkalmazási lehetőségeiről korábban is közöltek tanulmányt, amelynek célja a felszín formáját geometriai sokszögekkel (általában háromszögekkel) közelítő, csúcsokból, élékből és lapokból álló 3D alakzat (mesh) pontosságának ellenőrzése, valamint jadeitit kőeszközök sűrűségének meghatározása volt, NextEngine lézer szkennelvel készített 3D modell és tömegmérés segítségével (T. Biró et al. 2014).

Jelen tanulmány összegzi a NAL-nak az XRF készülékkel szerzett nyolc éves-, illetve a frissen beszerzett LED szkennelvel nyert első tapasztalatait. Emellett a roncsolásmentes 3D képalkotó és elemanalitikai módszerek kombinálásával elérhető eredményeket mutatja be néhány esettanulmányon keresztül.

## A hordozható eszközök bemutatása

### Kézi XRF készülék

A Delta Premium típusú kézi XRF műszer ródium anódos, 4 W teljesítményű röntgensövel felszerelt, 40 kV gyorsítófeszültséggel üzemel. Peltier hűtésű szilícium drift detektorával (SDD) nagy másodpercenkénti számlálási sebesség mellett (10-50 000 cps) is jó energiafelbontás érhető el

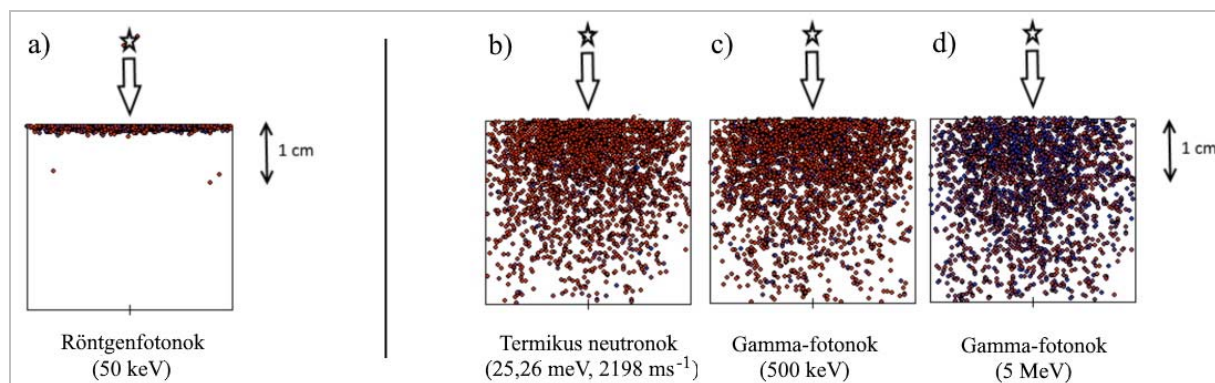
(csúcs félértékszélessége (FWHM) 5.95 keV mangán  $K_{\alpha}$  energián 154 keV)

(<https://www.olympus-ims.com/en/delta-premium/>).

A készülék gyári alap mérési üzemmódja az ötvözetek azonosítására szolgáló Alloy Plus, ezen kívül nemesfémek azonosítására alkalmas bővítménnyel, valamint könnyűelem mátrixú minták (kőzetek, talajok) mérésére szolgáló kalibrációval is rendelkezik (Mining Plus, Soil). A kézi XRF gerjesztő energiája 40 keV, ezért a báriumnál nagyobb rendszámú elemeknek a K-vonalai nem, csak az L- vagy M-vonalai jelennek meg a spektrumban, melyek esetenként átfednek kisebb rendszámú elemek K-vonalaival ([https://xdb.lbl.gov/Section1/Table\\_1-2.pdf](https://xdb.lbl.gov/Section1/Table_1-2.pdf)). Ez félreazonosításhoz, hamis pozitív eredményekhez vezethet, így a készülék körültekintő használatához szükséges a kezelő röntgenspektroszkópiában való alapszintű jártassága.

Beltéri bronztárgyak, szobrok esetén - amelyek felületén nem képződött vastag korróziós réteg - a kézi XRF eredményei esetenként jól reprezentálják a térfogati átlagösszetételt, de a felszint borító,

25-30  $\mu\text{m}$ -nél vastagabb patina torzíthatja a XRF-fél kapott eredményeket (Šatović et al. 2013). Korróziós termékekkel borított, illetve restaurált tárgyak esetén ezért figyelembe kell venni a röntgenfotonok behatolási mélységét. Az **1. ábra** MCNP Monte Carlo szimuláción keresztül mutatja be a különböző részecskék behatolását réz hengerbe. A kép jól szemlélteti, hogy 50 keV energiájú röntgennyaláb kb. 100  $\mu\text{m}$  mélységig hatol a réz anyagába, de ezen információs mélység esetén nem szabad figyelmen kívül hagyni a detektálni kívánt elemek karakterisztikus energiáit sem (réz és cink esetén 8-9,6 keV, ólom L-vonalai 10-13 keV, ón és antimon K-vonalai pedig 25-30 keV energiájúak), melyek csak pár tíz mikrométeres mélységből érkezve detektálhatók. Ezzel szemben a PGAA mérés során a magreakcióban résztvevő behatoló neutronok, illetve a tárgyból kilépő, nagyobb energiájú gamma fotonok nagy áthatoló képességűek, így a tárgy 10-20 mm-es mélységéből is nyerhetünk információt. A két módszer jól kiegészíti egymást, az eredmények közös értelmezésével további következtetések vonhatók le a tárgyak állapotával kapcsolatban.



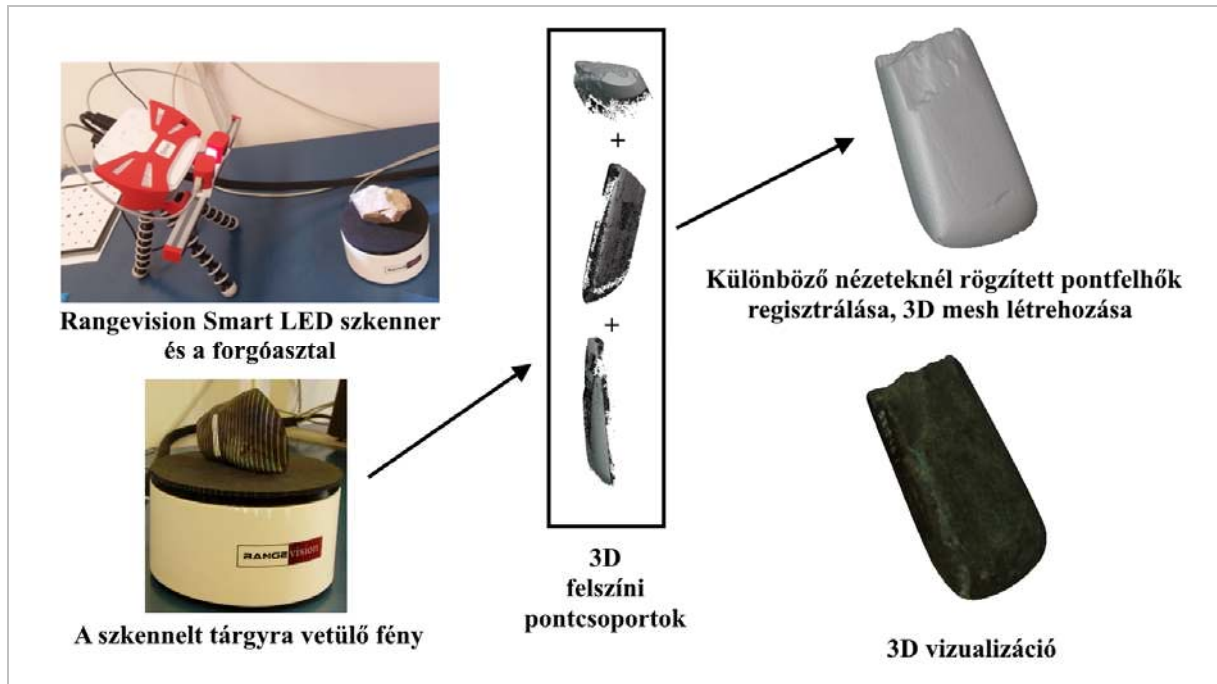
**1. ábra:** Különböző részecskék a) 50 keV energiájú, karakterisztikus röntgenfotonok, b) termikus neutronok, c) 500 keV energiájú gamma-fotonok, d) 5 MeV energiájú gamma-fotonok behatolása tiszta réz mátrixba. A csillag jelöli a sugárforrást (MCNP6 vizualizáció, Maróti 2018 nyomán)

**Fig. 1.:** Penetration of a) 50 keV X-ray photons b) thermal neutrons c) 500 keV gamma-photons d) 5 MeV gamma-photons into pure copper matrix. The star symbol indicates the position of the radiation source. (MCNP6 visualization, based on Maróti 2018)

### 3D LED szkennер

A RangeVision SMART strukturált-fény optikai 3D szkennер (<https://rangevision.com/en/>, <https://3dee.hu/termek/range-vision-smart/>) segítségével pár centiméterestől körülbelül 1 méteres tárgyak felszínének leképezésére van lehetőség, az elérhető felbontás beállítástól függően 0,12-0,40 mm. A tárgyat a készülékhez tartozó TS-12 típusú forgóasztalra helyezve, a minta alakjának bonyolultságától függően több oldalról szkenneljük, majd a különböző nézetekből rögzített felszíni

pontadatokat (egy-két millió pontból álló felszíni pontfelhő) egymáshoz illesztjük, majd ezután az eszköz saját képfeldolgozó szoftverével (ScanCenter NG 2020.1) létrehozzuk a 3D felszíni mesh-t (**2. ábra**). Ingyenesen hozzáférhető programokkal a tárgyak 3D valósághű, digitális modelljeit vizualizálhatjuk, s azokon különböző műveleteket végezhetünk (<https://www.meshlab.net/>, <https://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html>), melyeket a későbbiekben (**4. ábra**) bemutatunk.



**2. ábra:** A 3D LED szkennelés menetének bemutatása

**Fig. 2.:** The process of the 3D LED scanning

### ***Kézi XRF eredmények, esettanulmányok, a módszer korlátai***

Kutatásaink során a kézi XRF módszer más, nagyműszeres módszerekkel történő összehasonlítását és az archeometriai provenienciavizsgálatokban való alkalmazhatóságát régészeti obszidián kőszeközök potenciális nyersanyagainak teszteltük (Kasztovszky et al. 2017). 75 db európai (kárpáti és mediterrán) geológiai nyersanyagmintát vizsgáltunk a kézi XRF, illetve PGAA és NAA módszerekkel (az NAA módszert csak 17 mintán alkalmaztuk). Vizsgálataink alapján az archeometriai analitikai gyakorlatban bevált (Riebe 2019), a kézi XRF módszerrel kimutatható elemekkel (Rb, Sr, Zr) történő csoportosítás hatékonysága megközelíti a PGAA alapú (elsősorban a Ti, B, Cl elemekre támaszkodó) obszidián diszkrimináció mértékét, a szardíniai és méloszi altípusokon kívül minden esetben. Ez annak ellenére igaz, hogy a kézi XRF nem ad nagy pontosságú abszolút koncentrációértékeket, illetve több főelemet nem (pl. Na), vagy csak kis érzékenységgel (pl. Si, Al) képes detektálni. Kémiai összetétel alapú összehasonlításra és kemometriai módszerekkel történő csoportosításra azonban kiválóan alkalmas.

Bronzok eredetének pontos meghatározására az elemi összetétel önmagában nem elég, ám egyes nyomalkotók előfordulása közvetetten utalhat bizonyos érc típusokra, amelyekből a nyersanyag származhat (Czajlik 2012, Merkl 2010). A régészeti

kontextus nélküli, leletkörnyezetükből kiszakított, olykor csempészett tárgyak eredetiségének igazolásához az elemanalitikai vizsgálatok fontos kiegészítő információt szolgáltathatnak. Az adott kor technológiai információinak ismeretében lehetőség van a hamisítványok kiszűrésére.

2015-ben kézi XRF mérésekkel részt vettünk a szolnoki Damjanich János Múzeumba került, műgyűjteményi tulajdonban található kínai *hu* típusú fémedény vizsgálatában (Hoppál 2015). Az XRF eredmények azt mutatták, hogy a szakirodalomban fellelhető, korabeli, ónbronzzal (ónbronzzal, 7 tömeg%-nál kisebb ólomtartalommal) párhuzamokkal ellentétben a tárgy anyaga sárgaréz. A roncsolásmentes elemanalitikai vizsgálatokkal egyidejűleg a tárgy feliratainak alapos vizsgálata is zajlott, amelynek során megállapították, hogy az írásjelek készítése hanyag munkára utal, és ez önmagában kizárja a tárgy eredetiségét, i. e. V. századnál jóval későbbi készítést feltételez. A külső jegyek vizsgálata, illetve a kézi XRF segítségével kapott kémiai összetétel adatok közös értelmezése alapján kijelenthető, hogy a tárgy hamisítvány, amely a IX-X. századnál később készülhetett (Hoppál 2015).

Hasonlóan az előző példához, a következő esettanulmány fő célja is az eredetiség igazolása volt. A Határrendészet 2014-ben egy szerb állampolgártól lefoglalt csempészett műtárgy eredetvizsgálatára Szathmári Ildikót és Tarbay Gábort kérte fel a Magyar Nemzeti Múzeumból.

A tárgy 50 cm átmérőjű, kerekded, 1 mm vastag fémlemez, melynek felületén szabad szemmel is kivehető kalapálásnyomok, valamint díszítések is láthatók. A makro- és mikroszkópos vizsgálatok mellett a tárgyról 2016-ban roncsolásmentes röntgen- és neutronradiográfiás felvételek is készültek. Kézi XRF készülékkel több, mint száz pontban végeztünk méréseket rajta, hogy a javított és több helyen pótoltt üst lemezeit minél pontosabban jellemezhesük. A röntgenes képalkotás és a felszín díszítő motívumainak mikroszkópos vizsgálata alapján bebizonyosodott, hogy a tárgy kalapálással készült és dombornyomással díszített. Párhuzamai alapján a feltehetően a Balkán területéről származó, késő bronzkorra, kora vaskorra datálható tárgy (ca.1400/1300-1000/900 BC) eredeti. Az XRF eredmények segítségével megerősítést nyert, hogy több fázisban, különböző összetételű lemezekkel javították (szegeccseléssel, fecskefarok illesztéssel) (Tarbay et al. 2017).

A régészeti bronzok felülete, néhány kivételesen jó állapotban megőrzött leletet leszámítva a földben töltött hosszú idő miatt mindig korróziós termékekkel borított, vagy korábbi, sokszor dokumentálatlan restaurátori munkák nyomát viselik. Ezért a kézi XRF adatok értelmezése során mindig tekintettel kell lennünk a módszer korlátos behatolási mélységére. Az előforduló fő patinatípusokat és képződési körülményeiket korábban részletesen ismertették (Robbiola et al. 1998, Sánta 2011). Metallurgiai okokból a régészeti bronzok belső szerkezete is heterogén lehet, ezért a tárgyak egészére nem kellően reprezentatív mérési eredmények félrevezetőek lehetnek (Szabó et al. 2019, Sánta 2011). Amennyiben a mintavételezés, tárgyak roncsolása nem megengedett, egyaránt szükség van felszíni és tömbi eredményt adó mérésekre, s a kapott adatok megfelelő interpretációjára.

Korábbi tanulmányokkal egybehangzóan (Szabó 2010, Szabó et al. 2019, Sánta 2011), az évek során számos alkalommal tapasztaltuk, hogy az XRF-fel bronz- és rézkori tárgyak felületén mért ötvözőanyag koncentráció (pl. ón) nagyobb volt, mint a PGAA-val mért *bulk* eredmény. A füzesabonyi bronzkori tell telepről származó (Szathmári 2017) bronztűk, vésők, szegecsek, lándzsahegyek XRF és PGAA ön-eredményei között 15-50% eltérést is tapasztaltunk (Maróti et al. 2017, Maróti 2018). A felszíni XRF eredmények jobban szórtak azon tárgyak esetén, amelyekben nagyobb klórtartalmat mértünk PGAA-val, ez jelenleg is tartó korróziós folyamatokra utalhat (Kasztovszky et al. 2010).

A szerbiai Kikinda mocsárból előkerült bronzkori lándzsahegy elemzése során is rendkívül nagy különbséget tapasztaltunk az XRF-fel és PGAA-val mért önkonzentráció értékek között. A lándzsahegy foglalat részénél a *bulk* ön mennyisége is elérte a 19 tömeg%-ot, amely csaknem kétszerese a két másik pozícióban mértnek. A neutrontomográfiás vizsgálatokkal megjelenítettük a körülbelül 1 mm vastag, felszíni módosult réteget (Tarbay et al. 2018). Az ön megnövekedett koncentrációját feltehetően a réz szelektív kioldódása okozhatta (Robbiola et al. 1998).

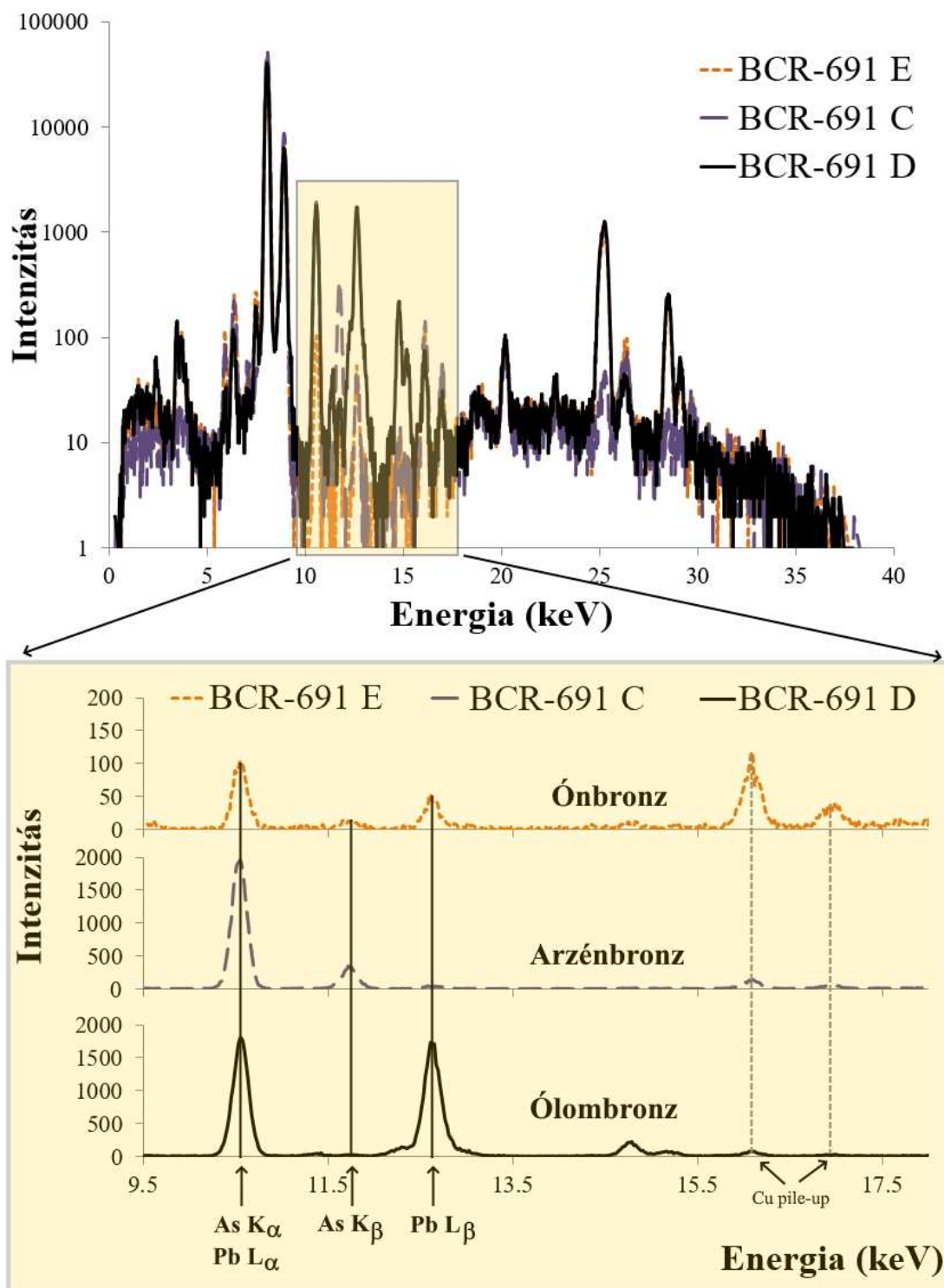
2019-ben a Hadtörténeti Múzeumban egy ismeretlen lelőhelyről származó, vaskori bronz lándzsahegyet vizsgáltunk. A tárgy sima, egyenletes, patinával borított részén, valamint a restaurátor által megtisztított részén is végeztünk kézi XRF méréseket. A lándzsahegy korróziós termékektől megtisztított felületén  $10,5 \pm 0,3$  tömeg% óntartalmat,  $2,9 \pm 0,2$  tömeg% ólmot és  $0,71 \pm 0,02$  tömeg% antimont mértünk, míg a patinás felületen az ón és antimon 40%-kal, az ólom mennyisége pedig 100%-kal többnek adódott (Maróti & Horváth 2019). A tárgy megfelelő jellemzéséhez és eredetének megállapításához további vizsgálatokra és összehasonlító anyagra van szükség.

A bronzok analízise során a kézi röntgenspektrométerek hátránya a kis behatolási mélység mellett, hogy ötvözetű üzemmódban az ólom L-vonalaival való átfedés miatt nem azonosítják az arzént (Maróti et al. 2018, Maróti 2018), amely a felhasznált érc típusra jellemző, fontos szennyezőként lehet jelen bronzokban (Merkl 2010). A **3. ábra** három, hitelesített rézötvözetű minta (BCR-691, öt különböző összetételű rézötvözetű érméből álló referencia mintasor; Ingelbrecht et al. 2001) spektrumán keresztül mutatja be az ólom és arzén egymás mellett való meghatározási nehézségének okait. A referenciaanyagok ólom- és arzéntartalmát az **1. táblázat** tartalmazza.

**1. táblázat:** A három rézötvözetű referenciaminta hitelesített arzén és ólomtartalma (tömeg% (= wt%), Ingelbrecht et al. 2001).

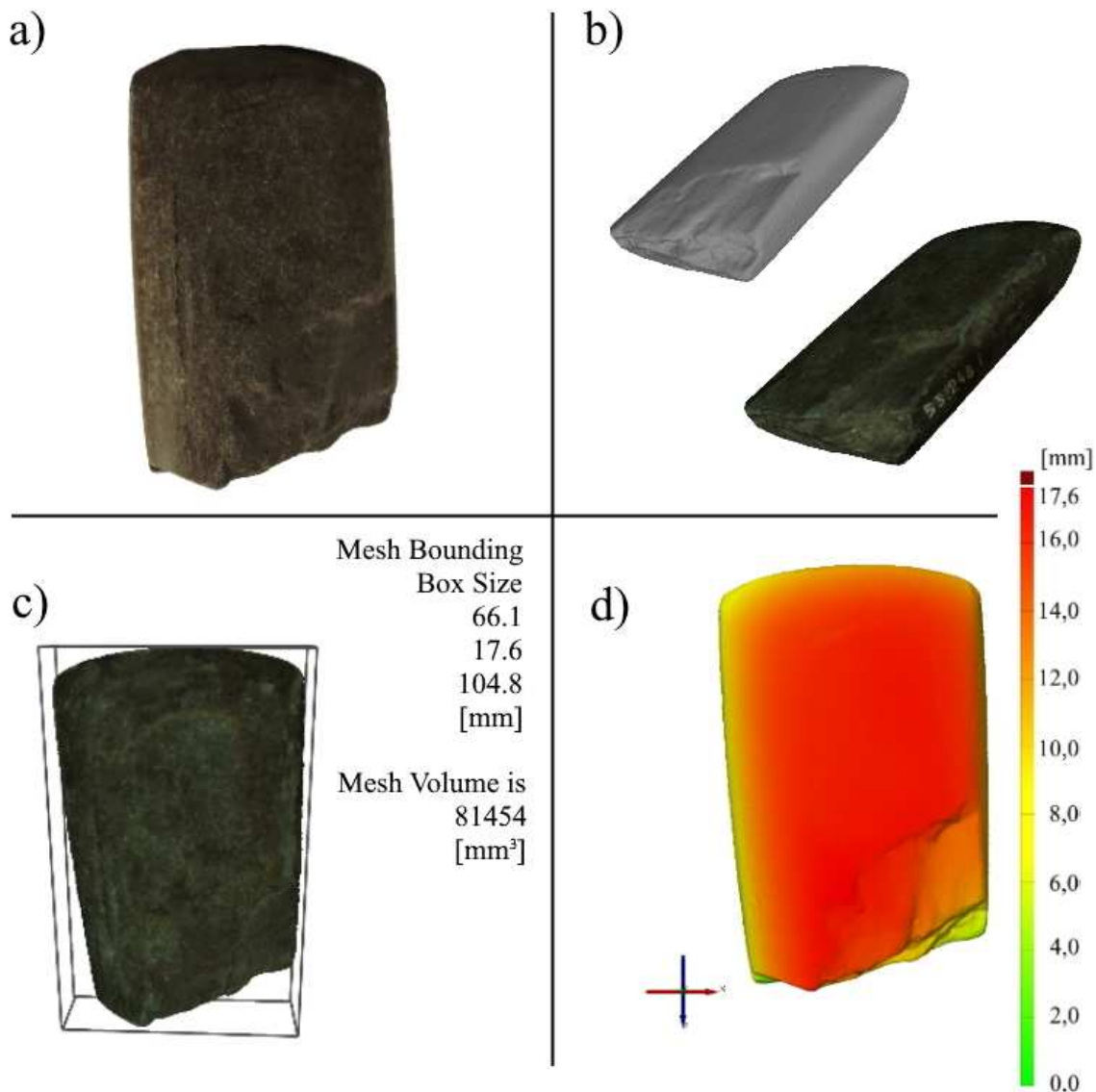
**Table 1.:** The certified arsenic and lead content of three copper-alloy reference material (weight%, wt%) (Ingelbrecht et al. 2001).

BCR-691	C		D		E	
	wt%	±	wt%	±	wt%	±
As	4,60	0,27	0,285	0,022	0,194	0,02
Pb	0,18	0,01	9,2	1,7	0,204	0,018



**3. ábra:** Három különböző ólom- és arzéntartalmú rézötvözet energiadiszperzív röntgenspektruma (felső kép), valamint a kiemelt középső energiatartomány, az arzén K-, illetve az ólom L-vonalaival (alsó kép). A legfelső spektrum intenzitástengelyének skálázása eltér a többitől, mert ebben az esetben az ólom és arzéntartalom is kicsi, 0,2 tömeg% körüli mennyiség.

**Fig. 3.:** Energy-dispersive X-ray spectra of three copper alloys containing different amount of lead and arsenic (upper image), and the highlighted middle energy range with K and L lines of arsenic and lead, respectively (lower image). Please note that in case of the upper spectrum the scaling of the y-axis is different due to the low arsenic and lead content (cca. 0.2 weight%).



**4. ábra:** Amfibolitból készült neolitik szórványlelet (Kereskényi et al. 2020) a) fényképe, b) a csiszolt kövésőről készült texturált és textúra nélküli 3D *mesh*, c) *bounding box* és a tárgy pontos méretei (<https://www.meshlab.net/>), d) a tárgyról készült vetületi vastagságtérkép (<https://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html>)

**Fig. 4.:** a) photo, b) textured and untextured mesh, c) bounding box and the exact sizes (<https://www.meshlab.net/>) and d) projected thickness map (<https://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html>) of the amphibolite polished flat chisel stray find from the Neolithic (Kereskényi et al. 2020)

A PGAA kimutatási határai ón és ólom esetén kedvezőtlenebbek, mint az XRF módszerrel, 0,3-2 tömeg%-nál kisebb mennyiségben nem kvantifikálhatók. Az arzén azonban PGAA, illetve *in-beam* aktivációs analízis módszerrel (Révay et al. 2015), megfelelő detektálási technikákat alkalmazva akár 60 ppm mennyiségben is kimutatható (Maróti et al. 2018).

#### ***A 3D LED szkennerek alkalmazási lehetőségei***

Az elemanalízis roncsolásmentessége mellett fontos kritérium a kulturális örökség ingó emlékeinek

biztonságos rögzítése a mérések során. Amennyiben a tárgy sérülékeny, rögzítése a rendelkezésre álló mintatartó keretekkel nem biztonságos, úgy a LED szkennerekkel nyerhető felületi pontosság segítségével lehetőség van egyedi mintatartók tervezésére, modellezésére. A mérést megelőzően a mintatartót a tárgyról készült 3D nyomtatott replika segítségével tesztelhetjük (Szentmiklósi et al. 2019). Az IPERION-CH projekt keretében, szinkrotronos ionnyaláb-mérőhelyek esetén nem sík tárgyfelszínek elemi térképezését is sikerült megvalósítani a tárgyak előzetes 3D szkennelésével, valamint

mintapozicionáló tervezésével (Calligaro et al. 2020). A módszer más nagyberendezések esetén is alkalmazható, az előzetes szkennelés és egyedi mintatartók készítése, mérési koordináták és pozicionálás előzetes beállítása a nyalábidó jobb kihasználtságát eredményezi.

A tárgyról LED szkennelvel készült felszíni pontfelhőkön (*mesh*) végezhető további mérések szemléltetésére egy, a közelmúltban publikált csiszolt kővésőt választottunk (Kereskényi et al. 2020, **4. ábra**). A kőeszköz felszíni textúrával, vagy anélkül történt szkennelése után virtuálisan távolságmérést tudunk végezni bármely két pontja között, meg tudjuk határozni a modell térfogatát, a tömege ismeretében a sűrűségét, illetve a kívánt irányba befogatva egy úgynevezett *bounding box* segítségével a lelet pontos befoglaló méreteit. A tárgy vetületi vastagságát színek segítségével ábrázolhatjuk, ez az egyes kőeszközök alakjának alaposabb összehasonlítását teszi lehetővé. A kiválasztott látómezőre való kalibrálást követően a mintákat egymás után szkennelhetjük, újrakalibrálásra csak a szkennel elmozdulása esetén van szükség. Az adott eszközzel egy expozíció 4-7 másodperc, így a tárgy bonyolultságától függően a teljes szkennelés harminc, az adatfeldolgozás körülbelül tizenöt percet vesz igénybe. A mintánkénti 45-60 perces digitalizálási idő az öt-hat évvel ezelőtt elérhető technikával összehasonlítva lényegesen rövidebb (5-11 óra / tárgy; T. Biró et al. 2014), de egy nagyobb, több tíz, több száz tárgyból álló leletcsoport 3D szkenneléséhez ennél nagyobb teljesítményű, ipari 3D szkennereket célszerű alkalmazni, amelyekkel akár 10 µm térbeli felbontás és 0,2 másodperc expozíciós idő is elérhető.

Kiemelt fontosságú műkincsek esetén, amelyeken felszíni és tömbi roncsolásmentes vizsgálatokat egyaránt tervezünk, az eredmények későbbi, közös értelmezése során hasznos adalékként szolgálhat, ha a mérési pontok helyeit a leletről készült 3D vizualizáción is megjelöljük.

### Összefoglalás

A kézi XRF készülék és hordozható LED szkennel a mindennapok során neutronos méréseink fontos kiegészítésül szolgálnak. Az XRF készüléket legtöbb esetben a minták előzetes csoportosítására, illetve a felaktiválódási kockázat becslésére alkalmazzuk, de több régészeti probléma során a tömbi PGAA és felszíni XRF eredmények együttes értelmezéséből is fontos következtetéseket sikerült levonnunk. Az egymást kiegészítő vizsgálatokkal számos tudományos együttműködésben vettünk részt. A 3D LED szkennel segítségével nem csak a tárgyak alakjának digitalizálására, hanem egyedi mintatartók készítésére is van lehetőség. A bemutatott eszközök a hazai és nemzetközi

együttműködésben végzett archeometriai kutatások rendelkezésére állnak.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a közös munkákért és együttműködésért a BTK Régészettudományi Intézetének, a Magyar Nemzeti Múzeumnak, a Hadtörténeti Múzeumnak és a Szolnoki Múzeumnak. Külön köszönjük Kiss Viktóriának, Tarbay János Gábornak és Szathmári Ildikónak a Lendület projekt keretében végzett kutatásokat, valamint Kereskényi Erikának (Herman Ottó Múzeum) az amfibol kővéső szórványlelet közléséhez való hozzájárulását. A tanulmány részben a K\_17 pályázati program NKFIH K124068 projekt támogatásával valósult meg. A tanulmány létrejöttét Szentmiklósi László MTA Bolyai János kutatási ösztöndíja is támogatta, amit ezúton is köszönünk.

### Irodalomjegyzék

- ASHKANANI, H.J. & TYKOT, R.H. (2013): Interregional Interaction and Dilmun Power in the Bronze Age: A Provenance Study of Ceramics from Bronze Age Sites in Kuwait and Bahrain Using Non-Destructive pXRF Analysis. In: ARMITAGE, R.A., BURTON, J.H. (eds.) *Archaeological Chemistry VIII*, Washington, D.C., American Chemical Society, 245–267.
- BITON, R.; GOREN, Y. & GORING-MORRIS, A.N. (2014): Ceramics in the Levantine Pre-Pottery Neolithic B: evidence from Kfar HaHoresh, Israel. *Journal of Archaeological Science* **41** 740–748.
- BONIZZONI, L.; COLOMBO, C.; FERRATI, S.; GARGANO, M.; GRECO, M.; LUDWIG, N. & REALINI, M. (2011): A critical analysis of the application of EDXRF spectrometry on complex stratigraphies. *X-Ray Spectrometry*, **40**, 247–253.
- BURLEY, D.V. & DICKINSON, W.R. (2010): Among Polynesia's First Pots. *Journal of Archaeological Science* **37** 1020–1026.
- CALLIGARO, T.; AREAN, L.; PACHECO, C.; LEMASSON, Q.; PICHON, L.; MOIGNARD, B.; BOUST, C.; BERTRAND, L.; SCHOEDER, S.; THOURY, M.; ROSTA, L.; SZENTMIKLÓSI, L.; FÜZI, J.; LÁSZLÓ, Z. & HEIRICH, V. (2020): A new 3D positioner for the analytical mapping of non-flat objects under accelerator beams. *Nuclear Instruments and Methods B* **467** 65–72.
- CZAJLIK, Z. (2012): *A Kárpát-medence fémnyersanyag-forgalma a későbronz-korban és a vaskorban*. Talentum könyvek, ISSN 2063-7837, Budapest, 172 pp.
- HOPPÁL, K. (2015): Az utánzás arcai: Egy kínai bronzedény eredetének nyomában Szolnokon. *TISICUM: Jász-Nagykun-Szolnok Megyei*



*Múzeumok Évkönyve XXIV* Damjanich János Múzeum, Szolnok, 127–146.

HUNT, A.M.W. & SPEAKMAN, R.J. (2015): Portable XRF analysis of archaeological sediments and ceramics. *Journal of Archaeological Science* **53** 626–638.

INGELBRECHT C.; ADRIAENS A. & MAIER E. A. (2001): BCR information reference materials, The certification of As, Pb, Sn and Zn (mass fractions) in five copper alloys, Report EUR 19778/1 EN (Certification report). <https://crm.jrc.ec.europa.eu/p/40455/40466/By-material-matrix/Metals-alloys-ores/BCR-691-COPPER-ALLOYS-As-Pb-Sn-and-Zn/BCR-691>

KAISER, B. & SHUGAR, A. (2013): Glass analysis utilizing handheld X-ray fluorescence. In: SHUGAR, A. N. & MASS, J. L. eds., *Handheld XRF for Art and Archaeology*. Leuven University Press, Leuven, [muse.jhu.edu/book/24930](https://muse.jhu.edu/book/24930).

KASZTOVSZKY, Zs.; SZILÁGYI, V. & SAJÓ, I. (2010): Neolitikus rézgyöngyök vizsgálata Polgár-Csőszhalom lelőhelyről - előzetes eredmények. [Scientific investigation of Neolithic copper beads from Polgár-Csőszhalom - Preliminary results], *Archeometriai Műhely* VII/2 137–140.

KASZTOVSZKY, Z.; MARÓTI, B.; HARSÁNYI, I.; PÁRKÁNYI, D. & SZILÁGYI, V. (2018): A comparative study of PGAA and portable XRF used for non-destructive provenancing archaeological obsidian. *Quaternary International* **468** 179–189.

KERESKÉNYI, E.; SZAKMÁNY, Gy.; FEHÉR, B.; HARSÁNYI, I.; SZILÁGYI, V.; KASZTOVSZKY, Zs. & TÓTH, M. (2020): Archaeometrical results related to Neolithic amphibolite stone implements from Northeast Hungary. *Journal of Archaeological Science: Reports* **32** 1–18.

MARÓTI, B.; HARSÁNYI, I. & KASZTOVSZKY, Zs. (2017): Non-destructive analysis of bronze objects from Füzesabony-Öregdomb. *Communicationes Archaeologicae Hungariae* (2017) 81–84. [https://mnm.hu/sites/default/files/cah\\_2017.pdf](https://mnm.hu/sites/default/files/cah_2017.pdf)

MARÓTI, B. (2018): Non-destructive analysis of metals and alloys using prompt gamma activation analysis and complementary methods. *Közöletlen PhD dolgozat*. Eötvös Loránd Tudomány-egyetem, Hevesy György Kémia Doktori Iskola DOI: 10.15476/ELTE.2018.146 <https://edit.elte.hu/xmlui/handle/10831/42101> [Accessed: 12th June 2020] p. 139.

MARÓTI, B. & HORVÁTH, G. (2019): Egy bronz lándzsahegy XRF vizsgálata a Hadtörténeti Múzeum gyűjteményéből (Gyűjteményi Munka).

*Hadtörténeti Múzeum Értesítője* **19** Hadtörténeti Múzeum, Budapest, 211–218.

[http://m.militaria.hu/uploads/files/29902500\\_1585831558.pdf](http://m.militaria.hu/uploads/files/29902500_1585831558.pdf) [Accessed: 12th June 2020]

MARÓTI, B.; RÉVAY, Zs.; SZENTMIKLÓSI, L.; KLESZCZ, K.; PÁRKÁNYI, D. & BELGYA, T. (2018) Benchmarking PGAA, in-beam NAA, reactor-NAA and handheld XRF spectrometry for the element analysis of archeological bronzes. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **317** 1151–1163. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-5990-2>

MAY, Z. (2020): Tíz év a hordozható XRF társaságában, azaz egy archeometriai utazás története / Ten years using portable XRF. Our story of a journey in archaeometry, *Archeometriai Műhely* **XVII/3** 229–242.

MERKL, M.B. (2010): Bell Beaker metallurgy and the emergence of fahlore-copper use in Central Europe. *Interdisciplinaria Archaeologica* **1** 19–27. <http://iansa.eu/papers/IANSA-2010-01-02-merkl.pdf> [Accessed: 12th June 2020]

MILIĆ, M. (2014): PXRF characterisation of obsidian from central Anatolia, the Aegean and central Europe. *Journal of Archaeological Science* **41** 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.08.002>

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

POZSGAI, I. (2006): Szupravezető Röntgen-detektorok. *Fizikai Szemle*. **2006/4**, p. 109. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0604/pozsgai0604.html>

RÉVAY, Zs.; KUDĚJOVÁ, P.; KLESZCZ, K.; SÖLLRADL, S. & GENREITH C. (2015): In-beam activation analysis facility at MLZ, Garching. *Nuclear Instruments and Methods A* **799** 114–123.

RIEBE, D.J. (2019): Sourcing Obsidian from Late Neolithic Sites on the Great Hungarian Plain: Preliminary p-XRF Compositional Results and the Socio-Cultural Implications. *Interdisciplinaria Archaeologica* **X/2** 113–120.

ROBBIOLA, L.; BLENGINO, J.-M. & FIAUD, C. (1998): Morphology and mechanisms of formation of natural patinas on archaeological Cu–Sn alloys, *Corrosion Science* **40** 2083–2111.

RÓZSA, Z., TÓTH, Sz. & MAY, Z., (2019): Preliminary archaeometric studies and results of fake denars from Friesach found in the inheritance

of a community in the Árpád-era dealing with money exchange, *Archeometriai Műhely* **XVI/1** 57–62.

SÁNTA, G. (2011): Complex study of bronze objects from kszider and tumulus period – composition, phases and corrosion, *Archeometriai Műhely* **VIII/4** 305–320.

SEYFARTH, A. & KAISER, B. (2013): History of Handheld XRF. *Bruker, First Newsletter*, <http://cdn-ci22.actonsoftware.com/acton/cdna/2655/f-01ff/0/1> [Accessed: 12th June 2020]

SHUGAR, A. N. & MASS, J. L. (2013): Handheld XRF for Art and Archaeology. Leuven: Leuven University Press, [muse.jhu.edu/book/24930](http://muse.jhu.edu/book/24930).

SPEAKMAN, R.J.; LITTLE, N.C.; CREEL, D.; MILLER, M.R. & IÑÁÑEZ, J.G. (2011): Sourcing ceramics with portable XRF spectrometers? A comparison with INAA using Mimbres Pottery from the American Southwest. *Journal of Archaeological Science* **38** 3483–3496.

ŠATOVIĆ, D.; DESNICA, V. & FAZINIĆ, S. (2013): Use of portable X-ray fluorescence instrument for bulk alloy analysis on low corroded indoor bronzes. *Spectrochimica Acta Part B* **89** 7–13

SZABÓ, G. (2010): Practical and ethical issues of archaeometallurgic research. *Archeometriai Műhely* **VII/1** 111–122.

SZABÓ, G.; BARKÓCZY, P.; GYÖNGYÖSI, Sz.; KASZTOVSZKY, Zs.; KÁLI, Gy.; KIS, Z.; MARÓTI, B. & KISS, V. (2019): The possibilities and limitations of modern scientific analysis of Bronze Age artefacts in Hungary, *Archeometriai Műhely* **XVI/1** 1–12.

SZATHMÁRI, I. (2017): On the metallurgy of the Füzesabony Culture. Bronze finds and casting moulds from the Füzesabony Bronze Age tell settlement. *Communicationes Archaeologicae Hungariae* 57–78.

SZENTMIKLÓSI, L.; MARÓTI, B.; KIS, Z.; JANIK, J. & HORVÁTH, L.Z. (2019): Use of 3D mesh geometries and additive manufacturing in neutron beam experiments. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **320** 451–457 <https://doi.org/10.1007/s10967-019-06482-0>

T. BIRÓ, K.; SZABÓ, L.M.; SZENTMIKLÓSI, L.; KOROM, Cs. & SALAMON, I. (2014): 3D visualisation and multidisciplinary analytical techniques on cultural heritage objects from the collection of the Hungarian National Museum. *Archeometriai Műhely* **XI/4** 243–250.

TARBAY J. G.; KIS Z. & MARÓTI B. (2017): The bottom of a looted cauldron. Part I. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **68** 219–240.

TARBAY, J. G.; MARÓTI, B. & KIS, Z. (2018): Introducing the spear project: The tale of the Late Bronze Age spearhead with wooden shaft from the Marshland of Kikinda, Serbia, *Journal of Archaeological Science: Reports* **21** 268–274.

#### Internetes források

Csontoktól, bronzoktól és telepektől a társadalomig: Vándorlások és társadalmi változások multidiszciplináris kutatása a bronzkori Magyarországon (Kr. e. 2500–1500) c. Lendület projekt [http://mobilitas.ri.btk.mta.hu/?page\\_id=1084&lang=hu](http://mobilitas.ri.btk.mta.hu/?page_id=1084&lang=hu) [Accessed: 12th June 2020]

DELTA Premium Handheld XRF Analyzer <https://www.olympus-ims.com/en/delta-premium/> [Accessed: 12th June 2020]

GOM Inspect, Software for 3D Measurement Data <https://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html> [Accessed: 12th June 2020]

MeshLab <https://www.meshlab.net/> [Accessed: 12th June 2020]

HSLab–Örökségtudományi Laboratórium, Új Infrastruktúra – A GINOP Projekt keretében érkező eszközök <https://hslab.atomki.hu/infrastruktura/>

RangeVision SMART 3D scanner. <https://rangevision.com/en/> [Accessed: 12th June 2020]

RangeVision SMART 3D scanner, forgalmazói honlap. <https://3dee.hu/termek/range-vision-smart/> [Accessed: 7th July 2020]

X-ray Data Booklet [https://xdb.lbl.gov/Section1/Table\\_1-2.pdf](https://xdb.lbl.gov/Section1/Table_1-2.pdf) [Accessed: 12th June 2020]

# A HORDOZHATÓ XRF ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI RÓMAI EZÜSTTÁLAK ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATÁBAN

## POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF THE USE OF HANDHELD XRF IN THE ARCHAEOLOGICAL STUDY OF ROMAN SILVER PLATTERS\*

MOZGAI, Viktória<sup>1\*</sup>; BAJNÓCZI, Bernadett<sup>1</sup>; MAY, Zoltán<sup>2</sup> & MRÁV, Zsolt<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

<sup>2</sup>Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, 1117 Budapest, Magyar Tudósok körútja 2.

<sup>3</sup>Magyar Nemzeti Múzeum, 1088 Budapest, Múzeum körút 14–16.

E-mail: [mozgai.viktoria@csfk.mta.hu](mailto:mozgai.viktoria@csfk.mta.hu)

### Abstract

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

### Kivonat

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

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

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

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

## Bevezetés

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

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

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

## Vizsgált tárgyak

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

### A Seuso-kincs táljai

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

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



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

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

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

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

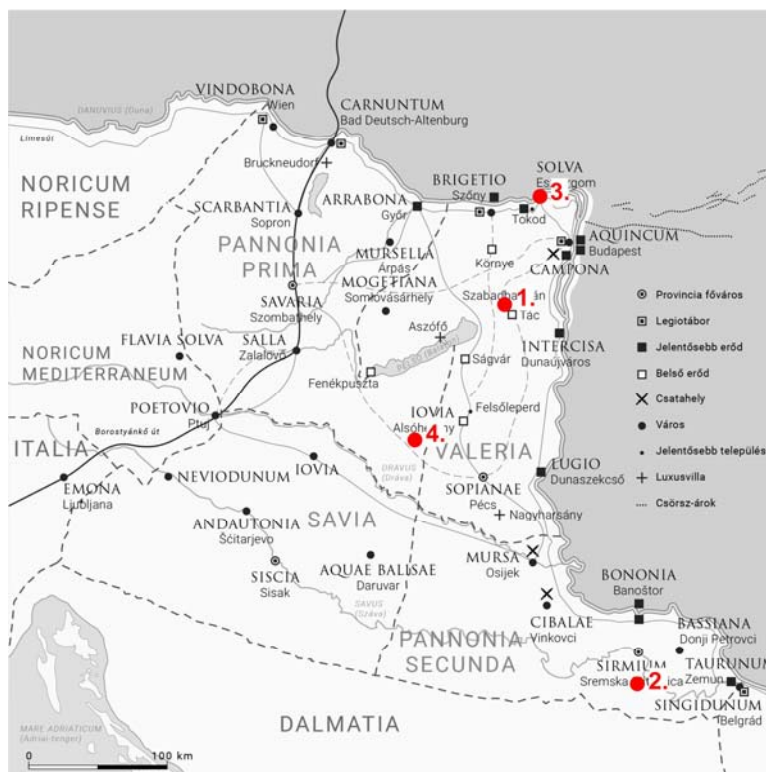
Ezüsttárgy	Átmérő	Tömeg	Díszítések	Készítés ideje (i. sz.)	Elrejtés ideje (i. sz.)
Seuso-tál	70,5 cm	8,9 kg	vésés, poncolás, aranyozás, niello	4. század	4. század utolsó harmada–5. század eleje
Geometrikus tál	64,2 cm	7,2 kg	vésés, poncolás, aranyozás, niello	4. század	4. század utolsó harmada–5. század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

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

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

**A Száva medrében talált tálak**

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

**2. ábra:**

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

**Fig. 2.:**

Findspots of the analysed silver platters.

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

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

### Az esztergomi Licinius tálak

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

### Tányér Nagyberki-Szalacskáról

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

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

### Módszertan

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

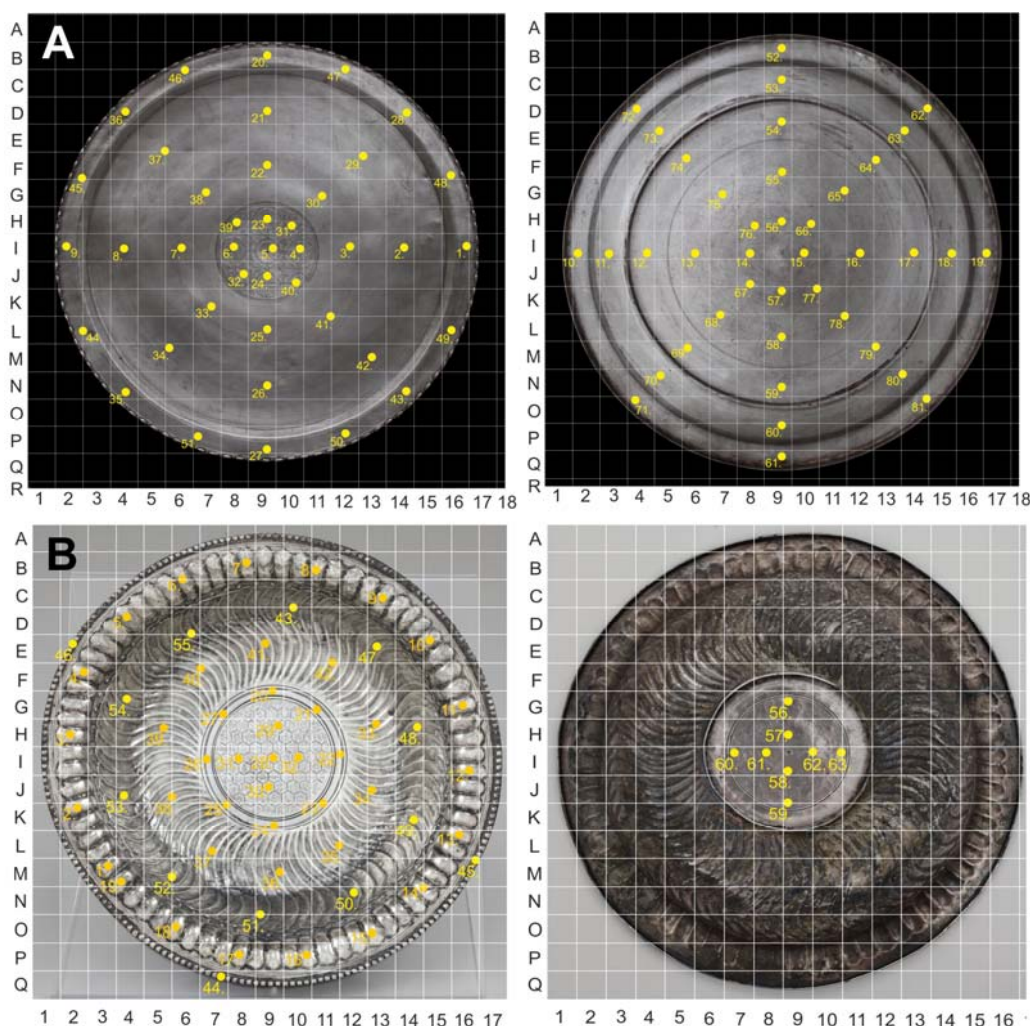
Méréseinkhez Thermo Scientific Niton X13t GOLDD+ típusú hordozható (kézi) XRF készüléket alkalmaztunk. Mérési körülmények: energiadiszperzív LDD detektor, 50 kV Ag anód, választhatóan 3 mm és 8 mm átmérőjű mérési terület, 40–50 másodperc mérési idő. Az elemzések során az alábbi fő-, mellék- és nyomelemek mennyiségét határoztuk meg: Ag, Cu, Au, Pb, Bi, Sb, Sn, Zn és Fe (kimutatási határok: ld. **2. táblázat**).

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

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

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





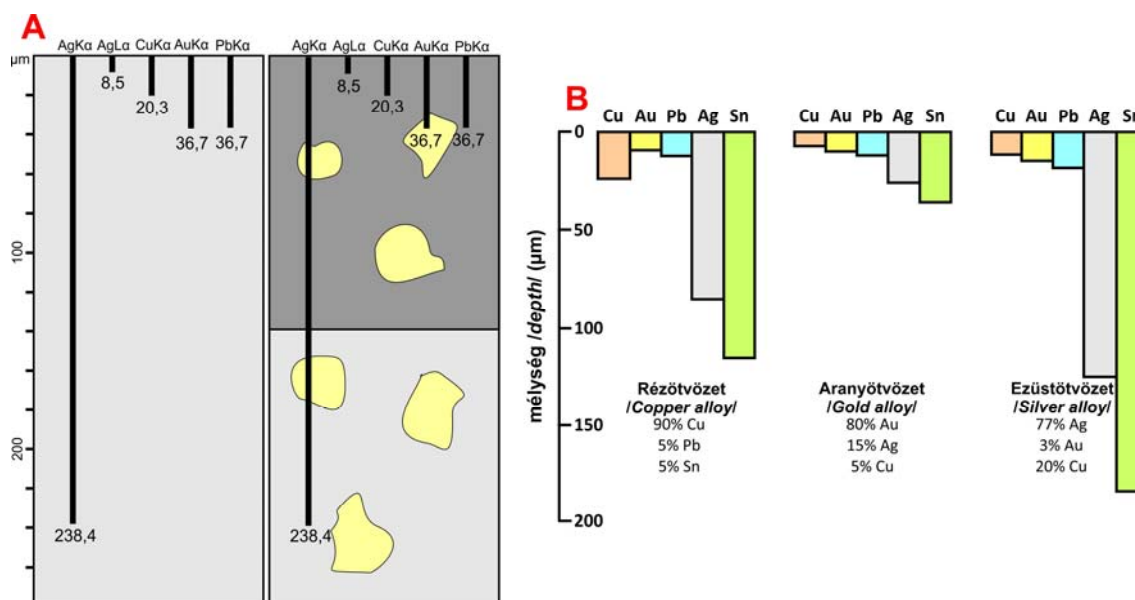
**3. ábra:** A tárgyakat előre megtervezett hálózat mentén, több pontban elemeztük. A szalagdíszes tál (A) és a mosdótál (B) példáján. A mosdótál hátlapjának erősen korrodált és karbonátos kiválásokkal borított részeit nem elemeztük (képek: Dabasi A. & Kardos J. (MNM)).

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

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

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

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



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

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

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

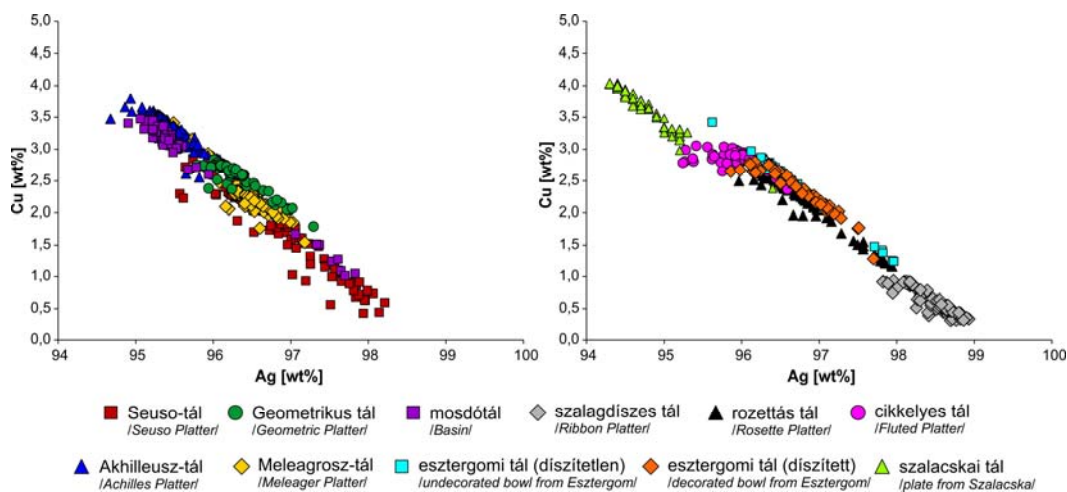
A hordozható XRF ideális és reprodukálható geometriát igényel a mérések során, azaz az elemzéshez a mérőfejjel párhuzamos, sík felület szükséges (adott analitikai távolság, adott szög miatt). A megfelelő és reprodukálható geometria hiánya akár 0,5% hibát is okozhat, ha a felület nem elég sík (Mass &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

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

## Eredmények

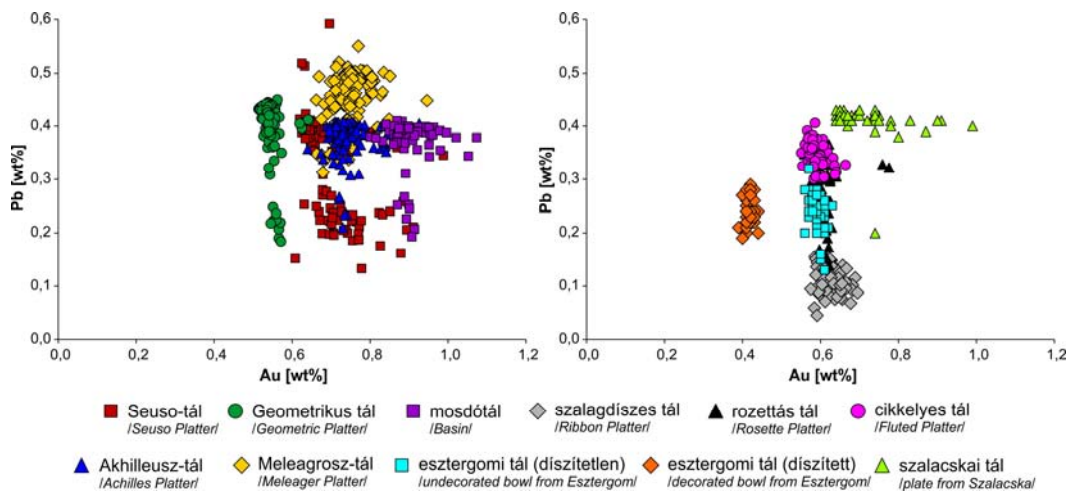
### Ezüst és réz

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



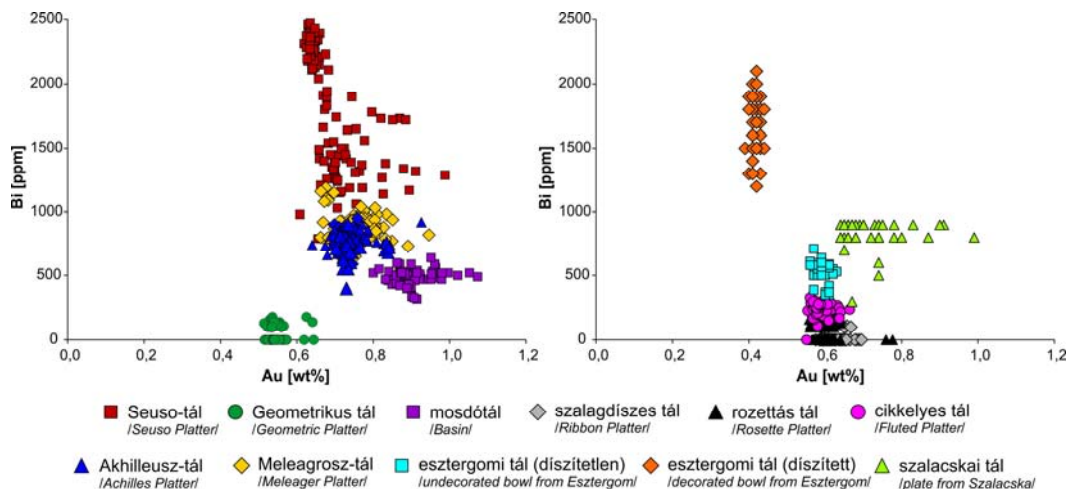
5. ábra: A vizsgált ezüsttálak ezüst- és réztartalma a hordozható XRF elemzések alapján

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



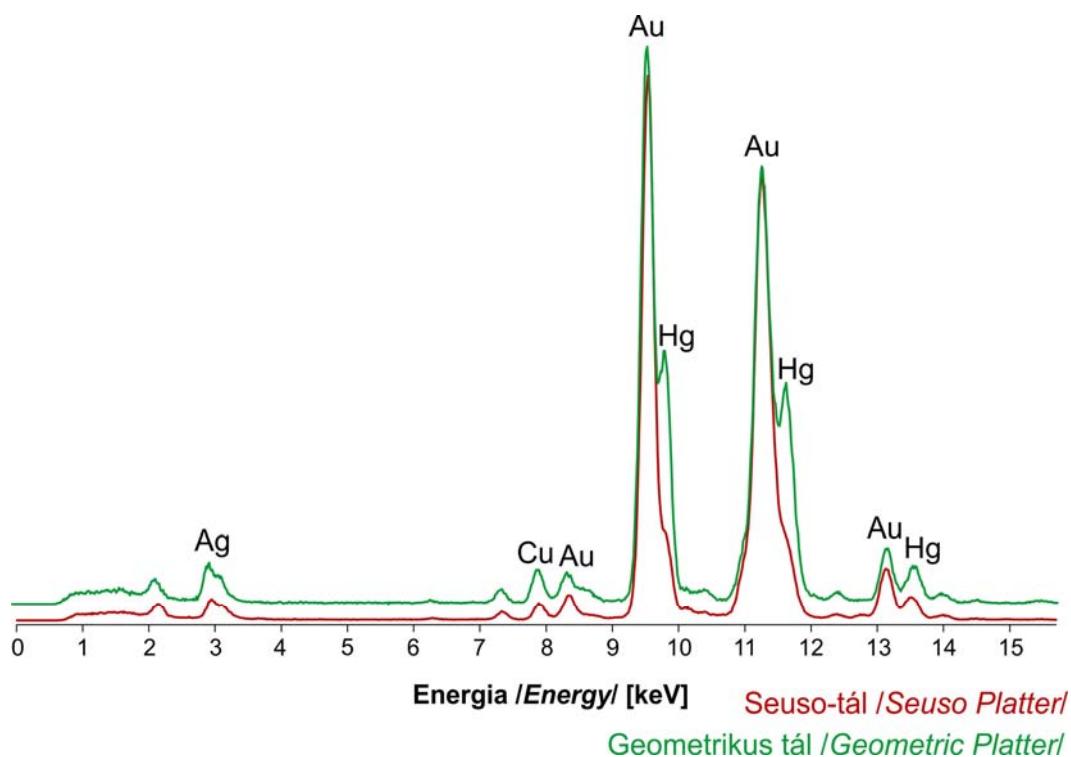
6. ábra: A vizsgált ezüsttálak arany- és ólomtartalma a hordozható XRF elemzések alapján

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



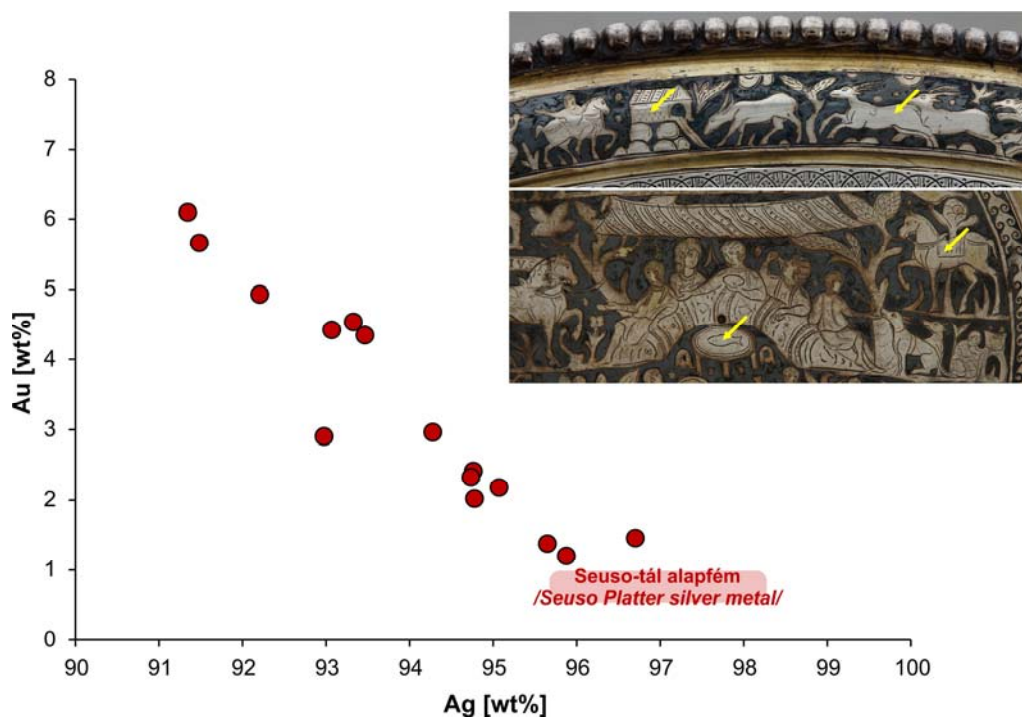
7. ábra: A vizsgált ezüsttálak arany- és bizmuttartalma a hordozható XRF elemzések alapján

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



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

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



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

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

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

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

### Arany

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

### Ólom

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

### Bizmut

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

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

### Aranyozás

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

### Értelmezés

#### Főelemek (ötvözők)

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

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

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

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

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

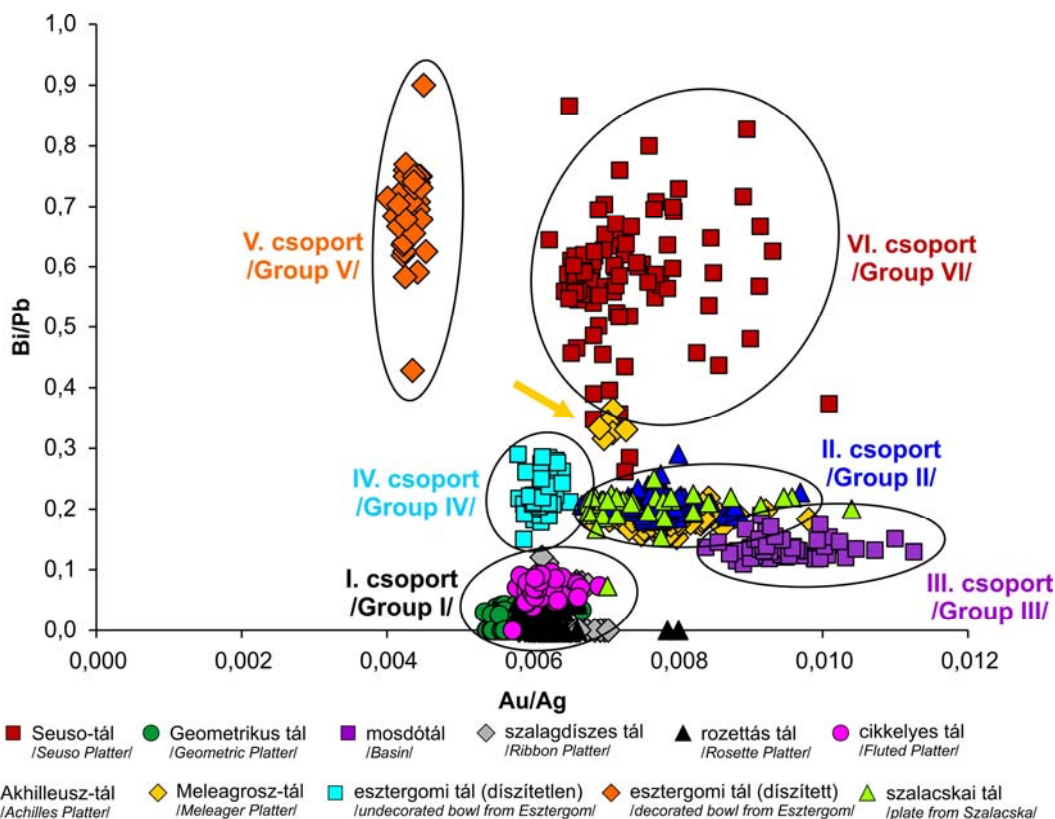
Nem tapasztaltunk eltérést a tálak fő tömegének, talpgyűrűjének és gyöngyös peremeinek kémiai összetétele közt. Geometriai korlátok miatt azonban nem volt lehetőségünk elemezni a talpgyűrűk illeszkedési helyét forrasztás nyomait kutatva, így ezzel a módszerrel nem zárható ki, hogy bár egyazon összetételű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

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

#### Mellék- és nyomelemek (szennyezők)

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

A római időkben az ezüst legfőbb forrásai az ezüsttartalmú ólomérc (galenit – PbS, anglesit – PbSO<sub>4</sub>, cerusszit – PbCO<sub>3</sub>) voltak (Tylecote 1962; Forbes 1971). Az ércfeldolgozási eljárás során az ezüstercet pörkölték, megolvasztották, majd kupellálták. A kupellálással az ezüstöt nagyon hatékonyan meg tudták tisztítani a különböző szennyező elemektől (főleg az arzéntől, antimontól, óntól, vastól és cinktől, kevésbé hatékonyan a réztől, aranytól és bizmuttól). Az *illóelemek* (antimon, arzén, higany, ón és cink) a kupellálás során eltávoznak az ezüsből (Pernicka 2014; L'Héritier et al. 2015), azonban viszonylag nagy mennyiségben lehetnek jelen a természetesen (akár több %) (Pernicka 2014). Az illóelemek hiánya (kimutatási határ alatti mennyisége) a tálakban arra utal, hogy készítésükhöz kupellált ezüstöt használtak.



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

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

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

A *bizmut* jó geokémiai indikátorelem a tárgyak anyagát képező ezüst származási helyének meghatározására, mivel mennyisége nem változik jelentős mértékben a kupellálás során (Pernicka & Bachman 1983; Pernicka 2014; L'Héritier et al. 2015). Az ún. „száraz ércek” (argentit/akantit–Ag<sub>2</sub>S, klórgirit – AgCl, pirargirit – Ag<sub>3</sub>SbS<sub>3</sub>, proustit – Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub>) vagy a természetesen

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

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

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

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

### Aranyozás

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

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

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

### Összegzés

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

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



peremi jelenetein egykori, ma már nem látható aranyozás nyomát.

### **Köszönetnyilvánítás**

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

### **Irodalomjegyzék**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- MAJOR, B. & TÜRK, A. szerk., *Relationes rerum: Régészeti tanulmányok Nagy Margit tiszteletére*. PPKE, Archaeolingua, BTM, Budapest, 209–223.
- MRÁV, Zs. & DÁGI, M. (2014): Az ezüst bűvöletében – A Seuso-kincs. *Magyar Régészet* 2014. nyár: 1–9.
- NIEMEYER, B. (2018): *Römische Silberschätze. 150 Jahre Hildesheimer Silberfund. Archäologie in Deutschland, Sonderheft 13* Theiss, Darmstadt. 112 pp.
- ODDY, A. (1981): Gilding Through the Ages – An Outline History of the Process in the Old World. *Gold Bulletin* 14/2 75–79.
- ODDY, W. A. (1988): The gilding of Roman silver plate. In: BARATTE, F. & DUVAL, N. eds., *Argenterie romaine et byzantine: actes de la table ronde, Paris 11-13 octobre 1983 Archéologie de l'antiquité tardive*. De Boccard, Paris, 9–21.
- ODDY W. A. (1991): Gilding: an outline of the technological history of the plating of gold on to silver or copper in the Old World. *Endeavour, New Series* 15/1 29–33.
- ODDY, A. (1993): Gilding of metals in the Old World. In: La NIECE, S. & CRADDOCK, P. eds., *Metal Plating and Patination – Cultural, Technical and Historical Developments*. Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, 171–181.
- ODDY, A. (2000): A History of Gilding with Particular Reference to Statuary. In: DRAYMAN-WEISSER, T. ed., *Gilded Metals – History, Technology and Conservation*. Archetype Publications, London, 1–19.
- PAINTER, K. (1990): The Seuso Treasure. *Minerva* 1/4 4–11.
- PARDINI, L.; EI HASSAN, A.; FERRETTI, M.; FORESTA, A.; LEGNAIOLI, S.; LORENZETTI, G.; NEBBIA, E.; CATALI F.; HARITH, M. A.; DIAZ PACE, D.; ANABITARTE GARCIA, F.; SCUOTTO, M. & PALLESCHI, V. (2012): X-Ray Fluorescence and Laser-Induced Breakdown Spectroscopy analysis of Roman silver denarii. *Spectrochimica Acta Part B* 74-75 156–161.
- PARREIRA, P. S.; APPOLONI, C. R.; LOBO VIEIRA, R. M.; SCORZELLI, R. B.; Le CORRE, L. & GUERRA, M. F. (2009): Precious metals determination in ancient coins by portable ED-XRF spectroscopy with a <sup>238</sup>Pu source. *ArchéoSciences – Revue d'archéométrie* 33 313–318.
- PERNICKA, E. (2014): Possibilities and limitations of provenance studies of ancient silver and gold. In: MELLER, H. H.; RISCH, R. & PERNICKA, E. eds., *Metals of power – Early gold and silver – Part I*. Halle (Saale), 153–164.
- PERNICKA, E. & BACHMANN, H. G. (1983): Archäometallurgische Untersuchungen zur antiken Silbergewinnung in Laurion – III. Das Verhalten einigen Spurenelemente beim Abtreiben des Bleis. *Erzmetall* 36 592–597.
- PIROS, R. Á.; MOZGAI, V. & BAJNÓCZI, B. (2020a): Hun kori lószerszámos leletgyűttesek roncsolásmentes archeometriai vizsgálatának új eredményei. *HADAK ÚTJÁN – A népvándorláskor fiatal kutatóinak XXIX. konferenciája, konferenciakötet* (in press).
- PIROS, R. Á.; MOZGAI, V. & BAJNÓCZI, B. (2020b): New investigations made on the 5<sup>th</sup>-century AD horse harnesses from Untersiebenbrunn (Austria). *Proceedings of the Archeometallurgy in Europe 2019 (Monographies Instrumentum at Editions Mergoil)* (in press).
- SÁNCHEZ, E. P. & LANSING MAISH, S. (2014): The Hidden Lives of Ancient Objects: Conserving the Berthouville Treasure and Four Missoria. In: LAPATIN, K. ed., *The Berthouville Silver Treasure and Roman Luxury*, Getty Publications, Los Angeles CA, 107–125.
- SHACKLEY, M. S. (2012): Portable X-ray Fluorescence Spectrometry (pXRF): The Good, the Bad, and the Ugly. *Archaeology Southwest Magazine* 26/2 1–8.
- SZATHMÁRI, I.; MARÓTI, B.; TARBAY, J. G. & KISS, V. (2019): A Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményéből származó bronzkori arany hajkarika leletek vizsgálata. In: BARTOSIEWICZ, L.; T. BIRÓ, K.; SÜMEGI, P. & TÖRŐCSIK, T. szerk., *Mikroszkóppal, feltárásokkal, mintavételezéssel, kutatásokkal az archeometria, a geoarcheológia és a régészet szolgálatában. Tanulmányok Ilon Gábor régész 60 éves születésnapjára*. Geolitera, SZTE TTIK Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged, 291–315.
- SZENTHE, G.; MOZGAI, V.; HORVÁTH, E. & BAJNÓCZI, B. (2019): Hun kori áldozati leletgyűttes Telki határából – előzetes jelentés. *Magyar Régészet* 2019 tavasz: 9–19.
- TATE, J. (1986): Some problems in the analysing museum material by non-destructive surface sensitive techniques. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 14 20–23.
- TYLECOTE, R. F. (1962): *Metallurgy in Archaeology*, Edward Arnold Publishers, London, 368 pp.
- VULIĆ, H.; DORAČIĆ, D.; HOBBS, R. & LANG, J. (2017): The Vinkovci treasure of Late Roman silver plate: preliminary report. *Journal of Roman Archaeology* 30 127–150.

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

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

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

## MOLAB: A EUROPEAN MOBILE LABORATORY ENABLING ADVANCED STUDIES IN ARCHAEOLOGY

### MOLAB: EURÓPAI MOBIL LABORATÓRIUM KIEMELKEDŐ ARCHEOMETRIAI KUTATÁSOKHOZ\*

Claudia CALIRI<sup>1</sup>; Francesco Paolo ROMANO<sup>1</sup>; Brenda DOHERTY<sup>2</sup>; Francesca ROSI<sup>2</sup> &  
Costanza MILIANI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ISPC-CNR, Via Biblioteca 4, 95124 Catania, Italy

<sup>2</sup>ISTMC-CNR, Via Elce di Sotto, 8 - 06123 Perugia, Italy

<sup>3</sup>ISPC-CNR, Via Cardinale Guglielmo Sanfelice 8 - 80134 Napoli, Italy

E-mail: [claudia.caliri@cnr.it](mailto:claudia.caliri@cnr.it)

#### Abstract

*IPERION HS (Integrating Platforms for the European Research Infrastructure ON Heritage Science) project integrates distributed national facilities of recognized excellence in Heritage Science in order to foster trans-disciplinary activities aimed to the interpretation, preservation, documentation and management of Cultural Heritage. IPERION HS offers access through three platforms: ARCHLAB, FIXLAB and MOLAB (Mobile LABORatory), to a wide range of high-level scientific instruments, methodologies, expertise, data and tools distributed in 23 countries in Europe and in the Associated Countries for advancing knowledge and innovation in the field of Heritage Science. In this paper, the MOLAB platform of IPERION HS is presented; useful information regarding the access procedure for users will be also provided. Finally, the application of one of the portable and non-invasive techniques available in the MOLAB platform employed for the study of a Caravaggio painting will be briefly reported.*

*The Hungarian version of this paper is available [here](#) (translated by Veronika SZILÁGYI)*

#### Kivonat

*Az IPERION HS projekt (Integrating Platforms for the European Research Infrastructure ON Heritage Science) európai országok elismert örökségtudományi kutatóhelyeit foglalja egy egységes pályázati rendszerbe azzal a céllal, hogy elősegítse a humán és reál tudományterületek közötti interakciót kulturális örökségünk megértése, megőrzése, dokumentálása és kezelése érdekében. Az IPERION HS három fő platformja (ARCHLAB, FIXLAB és MOLAB) révén lehetőség nyílik magas színvonalú műszerek, speciális módszerek, szakértői segítség, adattárak és adatbázisok használatára 23 európai és a pályázathoz társult egyéb országban. Tanulmányunkban az IPERION HS projekt MOLAB platformját mutatjuk be, a pályázati úton történő hozzáférés ismertetésével. Egy esettanulmány keretében Caravaggio egyik festményének a MOLAB egyik mobil és roncsolásmentes módszerével történő vizsgálatát részletezzük.*

KEYWORDS: MOLAB, IPERION HS, RESEARCH INFRASTRUCTURES, HERITAGE SCIENCE

KULCSSZAVAK: MOLAB, IPERION HS, KUTATÓHELYEK, ÖRÖKSÉGTUDOMÁNY

---

\* How to cite this paper: CALIRI, C. ; ROMANO, F. P. ; DOHERTY, B. ; ROSI, F. & MILIANI, C. , (2020): MOLAB: an European mobile laboratory enabling advanced studies in Archaeometry / MOLAB: Európai mobil laboratórium kiemelkedő archeometriai kutatásokhoz (English (original) version) XVII/3 171–176.

## *Introduction*

The tangible and intangible Cultural Heritage is a fundamental part of the European identity. Given its complexity and vastness, the study of the Cultural Heritage is a global challenge for science and the European society at large. IPERION HS (Integrating Platforms for the European Research Infrastructure ON Heritage Science) that started at April 2020 has been approved as a new HORIZON 2020 project for European research infrastructures (E-RIHS PP, Striova & Pezzati 2017, Bertrand et al. 2020). IPERION HS integrates distributed national facilities of recognized excellence in Heritage Science and connects researchers in the Humanities and Natural Sciences that work in the major research centres in heritage science, outstanding research institutes, prestigious research laboratories, conservation centres in heritage science and universities. The aim of IPERION HS is to foster, through a unique and sustainable plan of activities, a trans-disciplinary culture of exchange and cooperation for the interpretation, preservation, documentation and management of Cultural Heritage. IPERION HS partners have a long-term experience gained through several milestone projects supported by the EC such as Labs-TECH, Eu-ARTECH, CHARISMA, IPERION CH (see below the links to CHARISMA, DARIAH ERIC 2017, Eu-ARTECH, IPERION CH projects, Pallot-Frossard 2016a, 2016b). IPERION HS offers Transnational Access (TNA), through three platforms: ARCHLAB, FIXLAB and MOLAB, to a wide range of high-level scientific instruments, methodologies, expertise, data and tools distributed in 23 countries in Europe and in the Associated Countries for providing knowledge and innovation in the field of Heritage Science. In this paper, the MOLAB (Mobile LABORatory) platform of IPERION HS will be presented, in particular its mission, structure and access procedure. Following, a MOLAB measurements campaign carried out by applying one of the advanced techniques available on the MOLAB platform on a painting by Caravaggio will be briefly presented.

## *The MOLAB Platform of IPERION HS*

A huge part of historical European patrimony consists of monuments, sculptures, buildings and large size artworks that cannot be moved from their location. Furthermore, even in the case of movable patrimony (such as paintings, ceramics, gems, manuscripts, etc.), it could be often difficult, if not impossible, to move them to a scientific laboratory, because it implies high risks and costs connected with their transportation and often their fragility. Therefore, non-invasive studies must be necessarily carried out in-situ by using portable instrumentation. The MOLAB platform of IPERION HS offers access to a network of facilities from 10 European countries that provide, under a unified management structure, to a wide range of mobile instrumentation, analytical techniques and related expertise, to perform in-situ non-destructive measurements (Brunetti 2007, Miliani et al. 2010, Brunetti et al. 2016a, 2016b). In total, 48 advanced and integrated portable analytical techniques are available in the platform, including point analysis, 2D/3D imaging and multispectral / hyperspectral imaging. Furthermore, recently in-ground and aerial remote sensing techniques are also available for the exploration, survey and documentation of archaeological sites and monumental heritage. In **Table 1.**, we report all analytical techniques available in the MOLAB platform for users.

In many cases, the results obtained during the MOLAB access are provided in real-time; permitting an immediate discussion with users and all the collected data belongs to users for publishing and disseminating. MOLAB users are usually Heritage researchers from academy, public institutions and industry (conservation scientists, art-historians, archaeologists and restorers) who ask single or multi-technique analysis in order to investigate art-historical or archaeological aspects, such as the materials composing the artworks, the execution techniques, dating, the presence of underdrawings in paintings, etc., or aimed on the state of conservation of artworks for carrying out research on innovative methods in restoration, preservation, cleaning, etc.

**Table 1.:** Analytical techniques available in the MOLAB platform of IPERION HS**1. táblázat:** AZ IPERION HS MOLAB platformjában hozzáférhető módszerek

MULTI- /HYPER SPECTRAL IMAGING/MAPPING	2D/3D analysis	POINT ANALYSIS	REMOTE SENSING
Fluxgate Gradiometry	3D structure-light scanner and 3D laser scanners	Cytometer, DNA and RNA sequencer, luminometer lumitester, PCR and electrophoresis system	Electrical Resistivity Tomography (ERT)
Reflection VIS Hyperspectral Imaging (400-1000 Nm)	Acoustic tomography	Electrochemical impedance spectroscopy	Ground Penetrating Radar
UV-VIS Induced Fluorescence Hyperspectral Imaging (450-1000 Nm)	Digital Holographic Speckle Pattern Interferometry (DHSPI)	Hyphenate LIBS/LIF/Raman	Ground Penetrating Radar - medium and high frequency antenna
NIR Hyperspectral Imaging (900-2500 Nm)	High resolution digital microscopy	Hyphenate XRD/XRF	Laser Scanning
Macro XRF Scanning	NMR depth- profiling/relaxometry	Micro-Raman (532 nm)	Magnetic susceptibility measurements
Micro X-Ray Fluorescence Mapping (MXRF)	Optical Coherence Tomography (1960 nm)	Particle Induced X-ray Emission (PIXE)	Remote LIBS spectroscopy
XRF Confocal Mapping	Optical Coherence Tomography (850 nm)	Raman (785 & 1064 nm)	Remote Raman/LIF spectroscopy
Scanning VIS-NIR Multispectral Reflectography (395 – 2500 nm)	Optical profilometry	Total reflection mid/near- FTIR	Remote SWIR hyperspectral imaging
Imaging Methods and Scanning applications for Non-Invasive Dendrochronology	Terahertz imaging	UV-VIS fluorescence time-decay	Remote UV LIF spectroscopy
Thermography (SIRT)		UV-VIS-NIR fluorescence	Remote VIS/NIR hyperspectral imaging
UAV based - VIS Multispectral (+RGB) & IRT Imagery		UV-VIS-NIR reflectance	Remote VIS/NIR spectral imaging for large area survey
		X-Ray Fluorescence (XRF)	Soil conductivity
		XRD mapping	Soil resistivity
			UAV Photogrammetry and aerial multispectral models
			UAV-LiDAR

### ***Access to the MOLAB Platform of IPERION HS***

The access procedure to MOLAB starts with the submission of a proposal by users. Application form is available online. Applications will be evaluated with two cut-off deadlines per year. The first call is opened from 2 November 2020. During preparation phase of the proposals, the users can contact the Access Office ([access@iperionhs.eu](mailto:access@iperionhs.eu)) to discuss both the administrative and scientific issues on how to prepare the proposal. This process strongly improves user projects and gives more chances for a successful application. Those users who work in an institution/SME established in a Member State of the European Union, an EU Associated State or a developing country can require Transnational Access in a MOLAB infrastructure located in a different country. The evaluation phase of the proposals consists of a two-step process. In the first step: during the technical evaluation, the feasibility of the analysis and the coherence of the time requested for measurements will be evaluated. If users have submitted a multi-analysis proposal, its feasibility will be checked by all the scientists in charge of the selected instruments. The feasible proposals will be transferred to an independent, international Peer Review Panel (PRP) of experts who are recognised for their expertise in the field of conservation and scientific studies of Cultural Heritage. During the second evaluation, the scientific excellence, novelty and impact of the proposals are judged. The entire evaluation process is expected to be completed in a few weeks after the submission deadline. In case of both positive evaluations, the MOLAB access will be scheduled and it will be realized in general, no later than 12 months from the final evaluation. All costs of the activity will be covered by IPERION HS. Each submitted project will be of variable duration depending on the nature and complexity of the study, typically each intervention is expected to last for 7 days. At the end of the MOLAB access, users will be asked to complete post access reports and surveys within 2 weeks. Furthermore, users are requested to publish the results of IPERION HS supported projects in open access international scientific literature. A complete description of the MOLAB platform and the access procedure can be consulted on the IPERION HS website: <http://www.iperionhs.eu>.

### ***A challenging MOLAB case-study***

Many artworks such as large-dimension paintings are practically unmovable and consequently difficult to analyse. Furthermore, often their large dimensions can inhibit the analysis of the entire work for reasons due to the time restrictions available for measurements, thus the analyses are often limited to selected parts of the artwork. The advanced portable analytical techniques and innovative methodologies available in the MOLAB platform allow us to overcome these limitations and to approach numerous challenges in the study of heritage objects. Here we briefly report the study of a large dimension painting by Caravaggio entitled "Seven Works of Mercy" and located at the Pio Monte della Misericordia Museum in Naples (Italy). The study of the painting has been carried out by applying the non-invasive Macro X-ray Fluorescence (MA-XRF) imaging technique. The MA-XRF technique consists of the scanning of the painted surface by using a micrometric X-ray beam and the analysis provides the images of the chemical elements distributed on the painted surface of the samples under study. The MA-XRF technique allows us to obtain information concerning the nature and origin of raw materials used by the artist, the execution technique, the artistic process, the state of conservation of artworks and in some cases to obtain information on their authenticity. An advantage of the MA-XRF technique is that its results are "images" of easy and immediate interpretation even for users with expertise outside the scientific sectors (e.g. conservatories, archaeologists and art-historians, etc.) (Romano et al. 2017, Bicchieri et al. 2020, Cavaleri et al. 2020, Caliri et al. 2020, Nervo et al. 2020). During the MOLAB campaign focused on the study of the Caravaggio painting, a high-performance MA-XRF scanner has been employed, that is recently among the most advanced systems available in terms of lateral resolution of the images (up to 25 microns), dimensions of the analysable area (110×70 cm) and scanning speed up to 10 cm/s. The entire surface of the huge painting (3.9×2.6 m) was analysed by operating in total 25 scanning at a maximum speed of 10 cm/s and with a lateral resolution of 1 mm. In order to analyse the entire pictorial surface, a scaffold was installed in front of the painting (**Fig. 1.**) and the scanning system was assembled and disassembled during the measurements on the different scaffold floors. The entire MA-XRF analysis lasted a total of 5 working days, also including the scaffold operations.





**Fig. 1.:** MOLAB measurement campaign for the study of a Caravaggio painting at the *Pio Monte della Misericordia Museum* in Naples (Italy)

**1. ábra:** A nápolyi *Pio Monte della Misericordia Museum* Caravaggio oltárképének MA-XRF vizsgálata a MOLAB pályázati mérése keretében



**Fig. 2.:** Pb and Hg elemental maps obtained by applying the MA-XRF technique on "Seven Works of Mercy" by Caravaggio

**2. ábra:** Az MA-XRF módszerrel Caravaggio "Az irgalom hét cselekedete" című oltárképéről készült Pb és Hg elemeloszlási térképek

The elemental maps obtained have identified the pigment palette used by Caravaggio, mainly characterised by Ca, Cu, Fe and Pb based pigments. As examples, the Pb and Hg elemental maps obtained by the MA-XRF application are shown in **Fig. 2**. In addition, MA-XRF technique allowed us to study the creative process of Caravaggio, by unveiling a hidden painting of a man that was originally painted but never completed. Indeed, Caravaggio covered the figure and re-painted the same man with "other clothes" in a different figurative composition. Finally, due to the MA-XRF maps the artist painting technique could be highlighted based on the known "*tecnica a risparmio*" visible through the distribution maps of Pb, Cu and Ca.

### References

- BERTRAND, L., ANGLOS, D., CASTILLEJO, M., CHARBONNEL, B., DAVID, S., de CLERCQ, H., DUBRAY, F. & SPRING, M. (2020): D. 9.3 E-RIHS Scientific Strategy v. 1.0. *Manuscript*, European Commission. 79 p.
- BICCHIERI, M., BIOCCA, P., CALIRI, C., & ROMANO, F. P. (2020): New discoveries on Leonardo da Vinci drawings. *Microchemical Journal* **157** 104844.
- BRUNETTI, B., MILIANI, C., ROSI, F., DOHERTY, B., MONICO, L., ROMANI, A. & SGAMELLOTTI, A. (2016a): Non-invasive investigations of paintings by portable

instrumentation: the MOLAB experience. *Topics in Current Chemistry* **374/1** 10. 35 p.

BRUNETTI, B., MILIANI, C. & SGAMELLOTTI, A. (2016b): MOLAB growth, aims and results. *Technè. La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels* **43** 32–40.

BRUNETTI, B. G., MATTEINI, M., MILIANI, C., PEZZATI, L. & PINNA, D. (2007): MOLAB, a mobile laboratory for in situ non-invasive studies in arts and archaeology. In: DICKMANN, K., FOTAKIS, C., ASMUS, J.F. eds., *Lasers in the Conservation of Artworks*. Springer, Berlin, Heidelberg. 7–54.

CALIRI, C., BICCHIERI, M., BIOCCA, P. & ROMANO, F. P. (2020): In situ macro X-ray fluorescence scanning on a Leonardo da Vinci portrait. *X-ray Spectrometry special issue* 1–9. <https://doi.org/10.1002/xrs.3193>.

CAVALERI, T., BUSCAGLIA, P., CALIRI, C., FERRARIS, E., NERVO, M. & ROMANO, F. P. (2020): Below the surface of the coffin lid of Neskhonsuennekhy in the Museo Egizio collection. *X-ray Spectrometry special issue* 1–14. <https://doi.org/10.1002/xrs.3184>.

CHARISMA (Cultural Heritage Advanced Research Infrastructures: Synergy for a Multidisciplinary Approach to Conservation / Restoration), [https://cordis.europa.eu/project/rcn/92569\\_en.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/92569_en.html)

DARIAH ERIC (2017). Annual Report. <https://www.dariah.eu/wp-content/uploads/2018/12/DARIAH-Annual-Report-2017.pdf>

E-RIHS PP (The European Research Infrastructure for Heritage Science Preparatory Phase), <https://cordis.europa.eu/project/rcn/209507/factsheet/en>

Eu-ARTECH (Access, Research and Technology for the conservation of the European Cultural Heritage), [https://cordis.europa.eu/project/rcn/73812\\_en.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/73812_en.html).

IPERION CH (Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Cultural Heritage) is an ongoing project, <https://cordis.europa.eu/project/rcn/198068/factsheet/en>

MILIANI, C., ROSI, F., BRUNETTI, B. G. & Sgamellotti, A. (2010): In situ non-invasive study of artworks: the MOLAB multitechnique approach. *Accounts of Chemical Research* **43/6** 728–738.

NERVO, M., ROMANO, F. P., CALIRI, C., PICCIRILLO, A., TRIOLO, P., DEMONTE, D., GATTI, A., VERGALLO, E., CARDINALI, M. & FERRERO, M. (2020): “Costruzione del viadotto”: MA-XRF in the pictorial executive technique of

Agostino Bosia. *X-ray Spectrometry special issue* 1–10. <https://doi.org/10.1002/xrs.3161>

PALLOT-FROSSARD, I. (2016a): From CHARISMA to IPERION CH and E-RIHS: towards a European research infrastructure for heritage science. *Technè. La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels* **43** 46–49.

PALLOT-FROSSARD, I. (2016b): From Eu-ARTECH to CHARISMA: Expanding the expertise and scope of the research infrastructure. *Technè. La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels* **43** 23–25.

ROMANO, F. P., CALIRI, C., NICOTRA, P., DI MARTINO, S., PAPPALARDO, L., RIZZO, F. & SANTOS, H. C. (2017): Real-time elemental imaging of large dimension paintings with a novel mobile macro X-ray fluorescence (MA-XRF) scanning technique. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* **32/4** 773–781.

STRIOVA, J. & PEZZATI, L. (2017): The European Research Infrastructure for Heritage Science (E-RIHS). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **42** 661–664.

# ANDALUZITOS KÉTCSILLÁMÚ FEHÉR GRÁNIT ŐRLŐKÖTÖREDÉK KÖZETTANI VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI (BALATONŐSZÖD–TEMETŐI-DÜLŐ LELŐHELY)

## PETROGRAPHIC ANALYSIS OF AN ANDALUSITE-BEARING WHITE TWO-MICA GRANITE GRINDING STONE FRAGMENT (BALATONŐSZÖD–TEMETŐI-DÜLŐ SITE, HUNGARY) \*

PÉTERDI, Bálint<sup>1,\*</sup>; JÓZSA, Sándor<sup>2</sup> & VARGA, Miklós<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest

<sup>2</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Közettan-Geokémiai Tanszék

<sup>3</sup>MOL Group

E-mail: [peterdi.balint@gmail.com](mailto:peterdi.balint@gmail.com)

### Abstract

*The present study reports the results of the petrographic investigation of a grinding stone fragment, made of andalusite-bearing white two-mica granite – a raw material that unique in the archaeological site Balatonőszöd–Temetői-dűlő. This artefact belongs to the Boleraz Culture (Late Copper Age). The Boleraz Culture has independent objects in the archaeological site, beside the objects of the classic Baden Culture and the Balaton–Lasinja Culture.*

*Applying detailed petrographic methods as well as comparing literary data we concluded that the most possible source region of this raw material is – in the first place – the roundabouts of Bükkösd and the valley of Sormás stream in the Western Mecsek Mountains, where pebble-beds of the Miocene fluvial siliciclastic deposits (Szászvár Formation) appear in the surface. On the basis of petrography the Bohemian Massif and the Pleistocene pebble-beds of Palaeo-Danube at the roundabouts of Dunavarsány cannot be excluded as source region.*

### Kivonat

*Cikkünkben a Balatonőszöd–Temetői-dűlő lelőhelyről előkerült, nyersanyagát tekintve unikális andaluzitos kétc sillámú fehér gránit őrlőkő-töredék közettani vizsgálatának eredményeit mutatjuk be. Ez a lelet a késő rézkori Boleráz-kultúrához köthető, amelynek önálló objektumait is feltárták a lelőhelyen, a klasszikus Baden és a Balaton–Lasinja-kultúra objektumai mellett.*

*Részletes közettani (polarizációs) mikroszkópos vizsgálattal, valamint irodalmi összehasonlítás segítségével megállapítottuk, hogy a nyersanyag legvalószínűbb forrásterülete a Nyugat-Mecsek (elsősorban Bükkösd környékén és a Sormás patak völgyében megjelenő miocén, Szászvári Formációhoz tartozó folyóvízi kavics-összletek). Közettani alapon nem zárható ki a lehetséges forrásterületek közül a Cseh-masszívum (kristályos alaphegység) és Dunavarsány környéke (pleisztocén kavics-összlet) sem.*

KEYWORDS: LATE COPPER AGE, BOLERAZ CULTURE, GRINDING STONE, PETROGRAPHY, ANDALUSITE-BEARING GRANITE, BALATONŐSZÖD (HUNGARY)

KULCSSZAVAK: KÉSŐ RÉZKOR, BOLERÁZ-KULTÚRA, ŐRLŐKŐ, PETROGRÁFIA, ANDALUZITOS GRÁNIT, BALATONŐSZÖD

---

\* How to cite this paper: PÉTERDI, B; JÓZSA, S. & VARGA, M., (2020): Petrographic analysis of an andalusite-bearing white two-mica granite grinding stone fragment (Balatonőszöd–Temetői-dűlő site, Hungary) (In Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XVII/3 277–286.



**1. ábra:** Balatonőszöd–Temetői-dűlő. Az ásatási terület és közvetlen környezete. Készítette: Viemann Zsolt ([www.szekely-kiado.hu](http://www.szekely-kiado.hu) ortofotó háttérkép alapján, Horváth et al. 2006).

**Fig. 1.:** The archaeological site (Balatonőszöd–Temetői-dűlő) and its surroundings (by Zsolt Viemann, on the basis of the orthophoto of [www.szekely-kiado.hu](http://www.szekely-kiado.hu), Horváth et al. 2006)

### **Bevezetés, régészeti háttér, korábbi kutatások**

Balatonőszöd–Temetői-dűlő lelőhely a késő rézkori Baden-komplexum Magyarországon eddig feltárt legnagyobb és leghosszabb életű települése. A feltárt és a hozzá kapcsolódó regisztrált lelőhely együttes területe meghaladta a 20 hektárt (**1. ábra**). Északon a Boleráz-kultúra településének magja, délebbre az átmeneti és a klasszikus Baden-kultúra településének magja található. A lelőhelyen a középső rézkori Balaton–Lásinja-kultúrának és a Boleráz-kultúrának is kerültek elő önálló objektumai. A Balaton–Lásinja-kultúra és a Baden-komplexum anyaga több helyen keveredve került elő, anélkül hogy a metszetben későbbi beásás vagy bolygatás nyoma megfigyelhető lett volna. (Horváth et al. 2006, Horváth 2010)

Az ásatás során 500 kőzet-anyagú lelet került napvilágra. Ezek régészeti tipizálását Horváth Tünde végezte el (Horváth & Péterdi 2012, 2013, Péterdi & Horváth 2014).

Jelen tanulmányban a lelőhelyről előkerült egyetlen andaluzitos kétsillámú fehér gránit őrlőkö-töredék (**2. ábra**) közettani vizsgálatának eredményeit mutatjuk be. Ez a lelet a Boleráz-kultúrához köthető.



**2. ábra:** makroszkópos fotó: andaluzitos, kétsillámú, fehér gránit őrlőkö-töredék

**Fig. 2.:** macroscopic photo: andalusite-bearing white two-mica granite grinding stone fragment

A magyarországi leletanyagok archeometriai vizsgálatai során ez ideig csak kevés esetben foglalkoztak gránit nyersanyagú eszközökkel (pl. Szakmány et al. 2008; 2009; Oláh et al. 2013; Kürthy et al. 2013; Farkas-Pető et al. 2014; Starnini et al. 2015). A fenti munkákban vizsgált gránit-típusok forrásaként Regöly és Százhalombatta–Földvár lelőhelyek esetében a Velencei-hegység, Diósviszló és Kakucs–Balladomb lelőhelyek esetében a Mórággyi-rög, míg Hódmezővásárhely–Gorzsa lelőhely esetében elsősorban az Erdélyi-középhegység és a Maros-völgy, valamint a Száva-Vardar Zóna gránitjait valószínűsítették. Egyik korábban nyersanyagként vizsgált gránit-típusban sem fordul elő andaluzit (Gorzán fehér gránitot sem találtak), ahogy a fent felsorolt forrásterületeken sem ismerünk andaluzitos gránitokat a felszínen.

### **Vizsgálati módszerek**

Az őrlőkö-töredék vizsgálata során a makroszkópos (azaz szabad szemmel és kézi nagyítóval végzett) megfigyelések után a példányból készített vékonycsiszolaton részletes petrográfiai (polarizációs) mikroszkópos vizsgálatokat végeztünk. Eredményeinket magyarországi hasonló kőzetekből készült vékonycsiszolatos vizsgálatok eredményeivel, valamint irodalmi leírásokkal vetettük össze.

### **A petrográfiai vizsgálatok eredményei**

#### **Makroszkópos jellemzők:**

Az őrlőkö töredék nyersanyaga fehér színű, sárgásra málló, közép-durvaszemcsés, ekvi-granuláris kétsillámú gránit, a lelet felületén világosszürke bevonattal (**2. ábra**).

Szabad szemmel látható elegyrészek: szögletes kvarc-szemcsék, földpátok, sok fekete biotit-lemez és színtelen muszkovit-pikkelyek.

### Mikroszkópos jellemzők:

A kőzet hipidiomorf szemcsés szövetű, az egyes ásványszemcsék mérete uralkodóan 0,5-3 mm közötti. A színtelen elegyrészek túlsúlya jellemző, közülük nagyobb mennyiségben kvarc és ortoklász, kisebb mennyiségben plagioklász van jelen. Színes elegyrészei: biotit és muszkovit. Kulcsfontosságú mellékes elegyrészként andaluzitot tartalmaz. **(3a, 3d, 4a ábra)**. A kvarc-szemcsék általában kerekded, néhol szögletes alakúak, méretük 0,5-2 mm közötti, egyes szemcsék szegélyén rezorbcio, illetve szutúrás illeszkedés is megfigyelhető. **(3a, 3d, 4a ábra)**.

Az alkáli-földpátokat főként nagyméretű (0,5-3 mm-es), néhol kettős ikreket mutató, a szemcsék magjában általában szericitesedett, helyenként pertites, másutt zárványoktól zavaros képű ortoklász képviseli, alárendelt mennyiségben kisebb szemcseméretű (0,5 mm-es) keresztácsos mikroklin is megjelenik.

0,5-3 mm-es, vastag-táblás megjelenésű plagioklászok is találhatóak a kőzetben, a poliszintetikus ikresedés mellett kettős ikrek is előfordulnak.

A biotit 0,5-3 mm-es szemcseméretű, főként üde táblák formájában van jelen, alárendelten kloritosodik.

A muszkovit 0,5-2 mm közötti zegzugos megjelenésű táblákat alkot, amelyekben gyakran andaluzit-szemcsék jelennek meg, illetve a szemcsék közötti teret tölti ki **(3a, 3d, 4a ábra)**. Előfordulnak biotit-muszkovit orientált összenövés is **(5a, 5d ábra)**.

Az andaluzit 0,5-2 mm közötti méretű, nyúlt, hipidiomorf, gyakran töredezett szemcséi mindig muszkovit szegéllyel vagy nagyobb méretű, zegzugos megjelenésű muszkovit belsejében jelennek meg **(3a, 3d, 4a ábra)**. Egyes szemcséken jól látható a jellegzetes rózsaszín-barackvirágszín pleokroizmus **(4d ábra)**.

### Lehetséges forrásterületek

Andaluzitos, kétsillámú fehér gránitok a Kárpát-medencében és tágabb környezetében több helyen is előfordulnak a felszínen. A nyugat-mecseki miocén folyóvízi konglomerátumban és az Ős-Duna Dunavarsány környékéről részletesen leírt pleisztocén hordalékában is kavicsok és nagy méretű görgetegek formájában megjelenik ez a kőzettípus.

A Nyugat-Mecsekben fehér gránit kavicsok elsősorban Bükkösd környékén és a Sormás patak völgyében megjelenő miocén folyóvízi kavicsösszletekben (Szászvári Formáció) fordulnak elő (Józsa et al. 2009; Varga 2010). Makroszkópos és mikroszkópos megjelenésük (szín, szemcseméret, ásványos összetétel és szövet, pl. biotit-muszkovit összenövés) is gyakorlatilag megegyezik a vizsgált régészeti lelet anyagával (Varga 2010) **(3-5. ábra: b és e alábbiak)**. Különösen jellegzetes az andaluzit megjelenése és kapcsolódása a muszkovittal, azaz, hogy az andaluzit muszkovit szegéllyel, vagy a zegzugos megjelenésű muszkovitban jelenik meg.

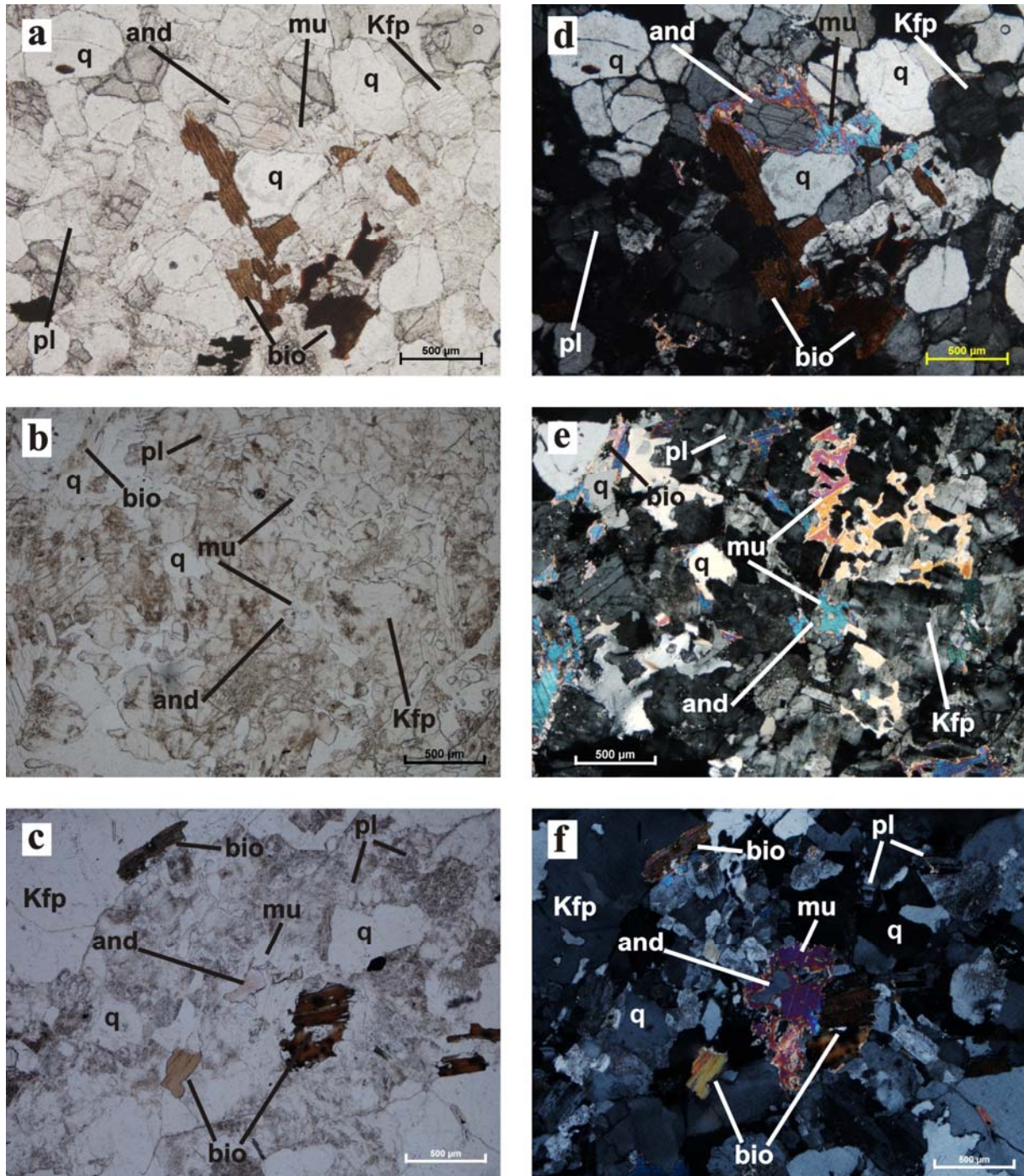
A dunavarsányi kavicsösszletben – a számtalan különböző egyéb gránittípus mellett – a régészeti lelet anyagához minden tekintetben (szín, szemcseméret, ásványos összetétel és szövet tekintetében is) nagyon hasonló **(3-5. ábra: c és f alábbiak)** andaluzitos fehér gránitok mellett kissé irányított szövetű és metamorfizálódott változatok is megjelennek (Varga 2010).

A Kárpát-medence tágabb környezetében több helyen előfordulnak szálaban álló andaluzitos gránitok, így pl. a Moldanubikum területén (a Cseh-masszívum déli részén). Makroszkópos megjelenésükben, mikroszkópos tulajdonságaikban nagyon hasonlítanak a magyarországi lelőhelyek kavicsaira, görgetegeire (D'Amico et al. 1981; Varga 2010).

### Az eredmények értékelése: a legvalószínűbb forrásterület

Mivel a különböző területek andaluzitos gránitjai egymáshoz is nagyon hasonlóak, a legvalószínűbb forrásterület kijelöléséhez figyelembe kell vennünk a régészeti lelőhelytől való távolságot és más, a régészeti lelőhelyről előkerült, már azonosított forrásterületű kőzettípusok meglétét is. Balatonöszöd–Temetői-dűlő lelőhelyhez legközelebb a Nyugat-Mecsek fehér gránit kavicsokat tartalmazó miocén konglomerátum feltárásai vannak és a lelőhelyről már azonosítottunk Mecsekből származó kőzeteket: vörös homokkővet a Jakabhegyi Formációból (Péterdi 2012), valamint alkáli bázisos telérkőzeteket (Péterdi 2011, Horváth & Péterdi 2012, 2013, Péterdi & Horváth 2014).

Mindezek alapján az andaluzitos, kétsillámú, fehér gránit örlőkő-töredék nyersanyagának legvalószínűbb forrásterülete is a Nyugat-Mecsek **(6. ábra)**.



**3a és d ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (a: 1 nikol / d: keresztezett nikolok): szöveti kép: kvarc (q), káliföldpát (Kfp), plagioklász (pl), biotit (bio), andaluzit (and) szabálytalan alakú (szemcsék közötti teret kitöltő) muszkovitban (mu). (Örlőkő-töredék)

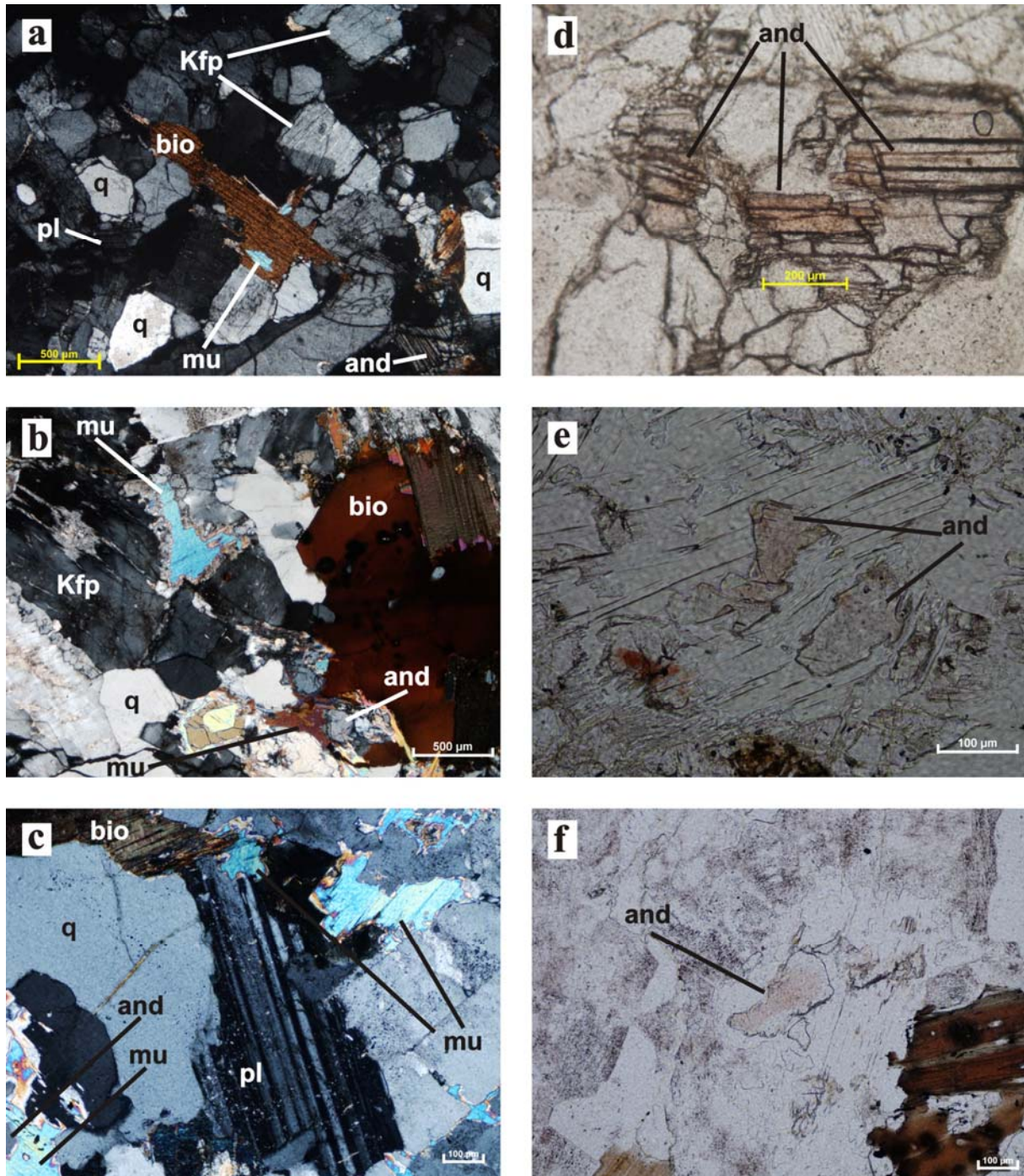
**3b és e ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (b: 1 nikol / e: keresztezett nikolok): szöveti kép: kvarc (q), káliföldpát (Kfp), plagioklász (pl), biotit (bio), andaluzit (and) szabálytalan alakú (szemcsék közötti teret kitöltő) muszkovitban (mu). (Nyugat-Mecsek)

**3c és f ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (c: 1 nikol / f: keresztezett nikolok): szöveti kép: kvarc (q), káliföldpát (Kfp), plagioklász (pl), biotit (bio), andaluzit (and) szabálytalan alakú (szemcsék közötti teret kitöltő) muszkovitban (mu). (Dunavarsány)

**Figs. 3a and d:** polarizing photomicrograph (a: plane-polarized light / d: cross-polarized light): rock texture: quartz (q), K-feldspar (Kfp), plagioclase (pl), biotite (bio), andalusite (and) in irregular shape (filling the last residual places) muscovite (mu). (Grinding stone fragment)

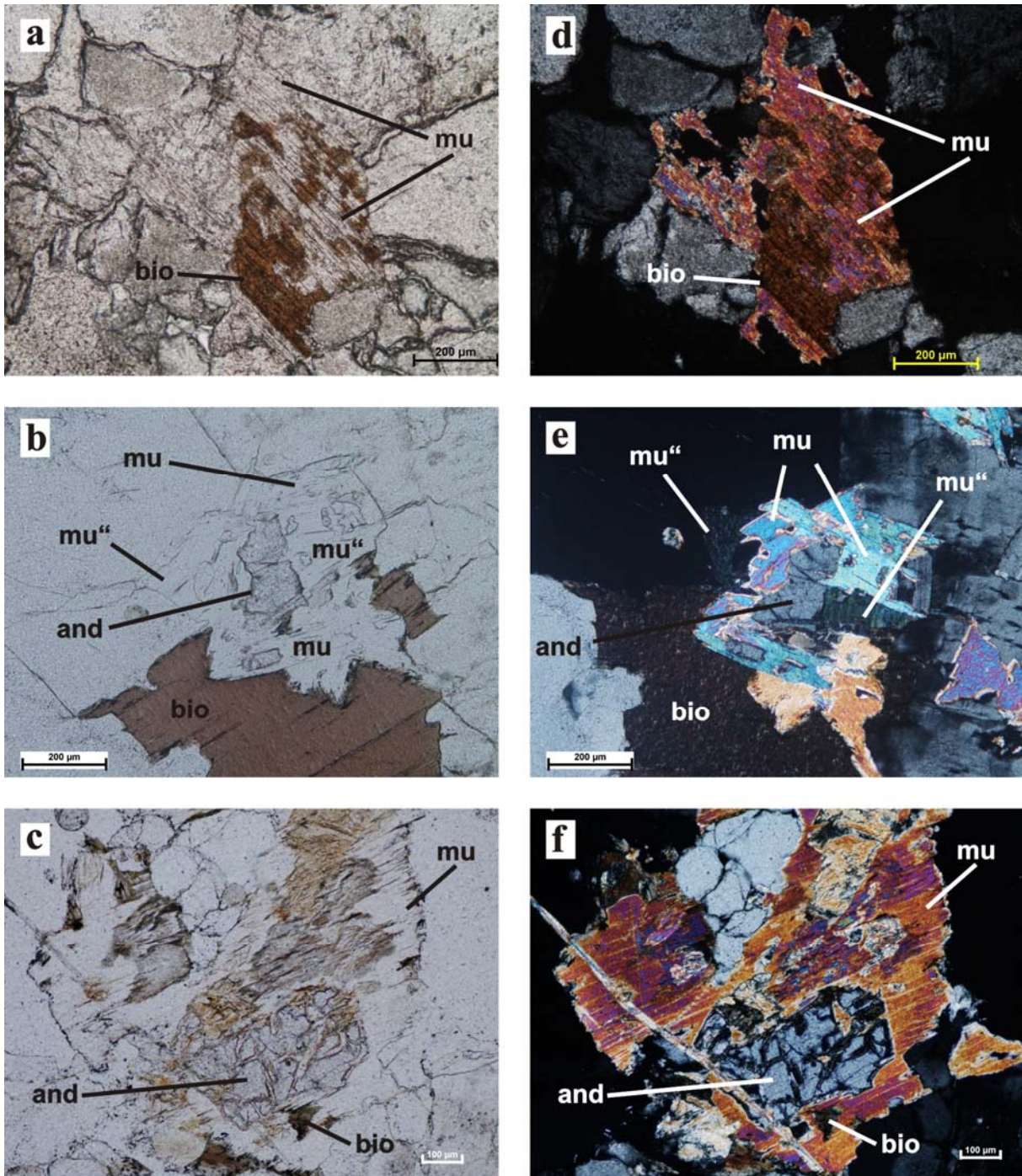
**Figs. 3b and e:** polarizing photomicrograph (b: plane-polarized light / e: cross-polarized light): rock texture: quartz (q), K-feldspar (Kfp), plagioclase (pl), biotite (bio), andalusite (and) in irregular shape (filling the last residual places) muscovite (mu). (Western Mecsek Mountains)

**Figs. 3c and f:** polarizing photomicrograph (c: plane-polarized light / f: cross-polarized light): rock texture: quartz (q), K-feldspar (Kfp), plagioclase (pl), biotite (bio), andalusite (and) in irregular shape (filling the last residual places) muscovite (mu). (Dunavarsány)



**4a** **ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (keresztezett nikolok): kvarc (q), káliföldpát (Kfp), plagioklász (pl), biotit (bio), muszkovit (mu), andaluzit (and). (Örlőkő-töredék); **4b** **ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (keresztezett nikolok): kvarc (q), káliföldpát (Kfp), biotit (bio), muszkovit (mu), andaluzit (and). (Nyugat-Mecsek); **4c** **ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (keresztezett nikolok): kvarc (q), plagioklász (pl), biotit (bio), muszkovit (mu), andaluzit (and). (Dunavarsány); **4d** **ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (1 nikol): halvány rózsaszín-barackvirágszín pleokroizmusú, hipidiomorf andaluzit-kristályok (and). (Örlőkő-töredék); **4e** **ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (1 nikol): halvány rózsaszín-barackvirágszín pleokroizmusú, hipidiomorf andaluzit-kristályok (and). (Nyugat-Mecsek); **4f** **ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (1 nikol): halvány rózsaszín-barackvirágszín pleokroizmusú, hipidiomorf andaluzit-kristály (and). (Dunavarsány)

**Fig. 4a:** polarizing photomicrograph (cross-polarized light): quartz (q), K-feldspar (Kfp), plagioclase (pl), biotite (bio), muscovite (mu), andalusite (and). (Grinding stone fragment); **Fig. 4b:** polarizing photomicrograph (cross-polarized light): quartz (q), K-feldspar (Kfp), biotite (bio), muscovite (mu), andalusite (and). (Western Mecsek Mountains); **Fig. 4c:** polarizing photomicrograph (cross-polarized light): quartz (q), plagioclase (pl), biotite (bio), muscovite (mu), andalusite (and). (Dunavarsány); **Fig. 4d:** polarizing photomicrograph (plane-polarized light): hypidiomorphic andalusite (and) crystals with light pink pleochroism. (Grinding stone fragment); **Fig. 4e:** polarizing photomicrograph (plane-polarized light): hypidiomorphic andalusite (and) crystals with light pink pleochroism. (Western Mecsek Mountains); **Fig. 4f:** polarizing photomicrograph (plane-polarized light): hypidiomorphic andalusite (and) crystal with light pink pleochroism. (Dunavarsány)



**5a és 5d ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (a: 1 nikol / d: keresztezett nikolok): biotit (bio) és muszkovit (mu) orientált összenövése. (Örlőkő-töredék)

**5b és 5e ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (b: 1 nikol / e: keresztezett nikolok): biotit (bio) és muszkovit (mu) orientált összenövése, a muszkovitban andaluzit (and). (mu''): a biotittal egyszerre kioltási helyzetbe kerülő muszkovit. (Nyugat-Mecsek)

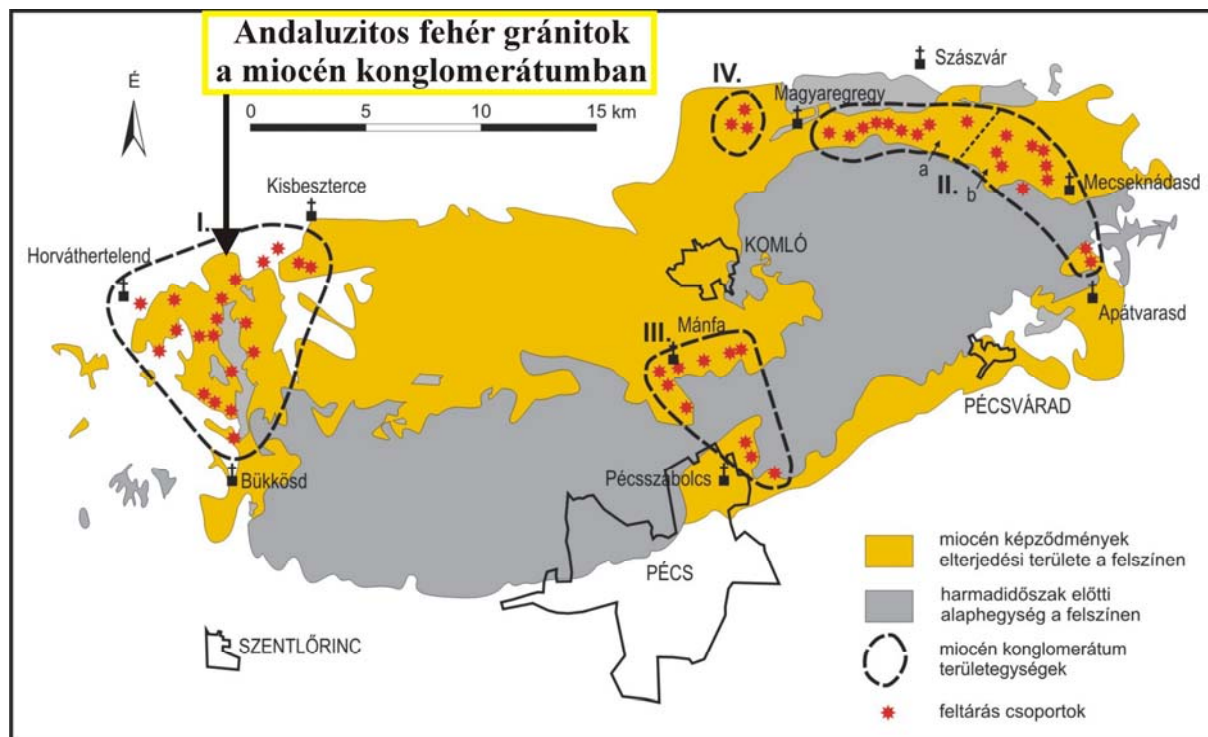
**5c és 5f ábra:** polarizációs mikroszkópos felvétel (c: 1 nikol / f: keresztezett nikolok): biotit (bio) és muszkovit (mu) orientált összenövése, a muszkovitban andaluzit (and). (Dunavarsány)

**Figs. 5a and 5d:** polarizing photomicrograph (a: plane-polarized light / d: cross-polarized light): epitaxial growth of biotite (bio) and muscovite (mu). (Grinding stone fragment)

**Figs. 5b and 5e:** polarizing photomicrograph (b: plane-polarized light / e: cross-polarized light): epitaxial growth of biotite (bio) and muscovite (mu), andalusite (and) in the muscovite. (mu''): muscovite in absence, parallel with the biotite. (Western Mecsek Mountains)

**Figs. 5c and 5f:** polarizing photomicrograph (c: plane-polarized light / f: cross-polarized light): epitaxial growth of biotite (bio) and muscovite (mu), andalusite (and) in the muscovite. (Dunavarsány)





**6. ábra:** A Mecsek-hegység vázlatos geológiai térképe (Józsa et al. 2009), módosítva: andaluzitos fehér gránit kavicsok előfordulási helye a mecseki miocén konglomerátumban.

**Fig. 6.:** Outlined geological map of the Mecsek Mountains (modified after Józsa et al. 2009): occurrences of andalusite-bearing white granite pebbles in the Miocene conglomerates.

Legend: yellow areas: Miocene formations on the surface; grey areas: pre-Tertiary formations on the surface; red stars: groups of Miocene conglomerate outcrops; territory I-IV: surface territories of the Miocene conglomerates in the Mecsek Mountains; territory I.: Miocene conglomerate outcrops with andalusite-bearing white granite pebbles.

Kőzettani alapon azonban nem zárható ki a dunavarsányi kavicsösszlet és a Cseh-masszívum területe sem (a Moldanubikum). Bár a moldanubikumi andaluzitos gránit előfordulások igen távol vannak a régészeti lelőhelytől (több, mint 300 km), pusztán emiatt ez a terület sem zárható ki a lehetséges nyersanyagforrások közül, mivel a Cseh-masszívum északi részéről származó nyersanyagból (nefritből, szerpentinből, kontakt metabázitokból) készült eszközök is előkerültek Balatonöszöd–Temetői-dűlő lelőhelyen (Péterdi 2011; Horváth & Péterdi 2012, 2013; Péterdi et al. 2014; Péterdi & Horváth 2014). A távoli származási terület mellett szólhat még, hogy ez a gránittípus egyedi nemcsak Balatonöszöd–Temetői-dűlő lelőhelyen, hanem az eddigi vizsgálatok alapján az egész Kárpát-medencében is.

### Összefoglalás

A munkánk tárgyát képező andaluzitos, kétsillámú, fehér gránit őrlőkő-töredék nyersanyagát tekintve egyedi Balatonöszöd–Temetői-dűlő lelőhely kőzetanyagú leletei között. A nyersanyagot makroszkópos és vékonycsiszolatban polarizációs mikroszkópos módszerekkel tanulmányoztuk. Makroszkópos megjelenése,

ásványos összetétele és különösen szöveti jellegzetességei (andaluzit és muszkovit jellegzetes szöveti megjelenése, biotit-muskovit orientált összenövés stb.) alapján – figyelembe véve a lehetséges nyersanyagforrások távolságát, valamint a régészeti lelőhelyről előkerült más nyersanyagok azonosított forrásterületeit is – a nyersanyag legvalószínűbb forrásterülete a Nyugat-Mecsek (elsősorban a Bükkösd környékén és a Sormás patak völgyében megjelenő kavicsösszletek). Nem zárható ki azonban a lehetséges forrásterületek közül a Dunavarsány környéki kavicsösszlet és a Cseh-Masszívum déli része (Moldanubikum) sem.

### Köszönetnyilvánítás:

Köszönetünket fejezzük ki Horváth Tündének a leletanyag rendelkezésre bocsátásáért, valamint a vizsgálatok finanszírozásában nyújtott segítségért az NKFIH/OTKA K 62874, K 100385 és K 128099 számú kutatási programjának.

**Irodalom**

D'AMICO, C.; ROTTURA, A.; BARGOSSO, G. M. & NANNETTI, M.C. (1981): Magmatic genesis of andalusite in peraluminous granites. Examples from Eisgarn type granites in Moldanubikum. *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia* **38/1** 15–25.

FARKAS-PETŐ, A.; HORVÁTH, T.; PAPP, I. & KOVÁCS-PÁLFFY, P. (2014): Archaeometric investigation of the stone tools of the Vanya Culture (Pest County, Hungary). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* **9/1** 81–94.

HORVÁTH, T.; S. SVINGOR, É. & MOLNÁR, M. (2006): Újabb adatok a baden-pécéli kultúra keletkezéséhez. *Archeometriai Műhely* (<http://www.ace.hu/am>) **III/3** 19–30.

HORVÁTH, T. (2010): Megfigyelések a középső és késő rézkori kultúrák fazekasáruin Balatonöszöd–Temetői dűlő lelőhelyen. Készítés-technikai vizsgálatok. *Archeometriai Műhely* (<http://www.ace.hu/am>) **VII/1** 51–82.

HORVÁTH T. & PÉTERDI B. (2012): Csizolt kőszerszámok, őrlőkővek, egyéb megmunkált és megmunkálatlan kőzetanyagú leletek. In: HORVÁTH T. (szerk.): *Balatonöszöd–Temetői-dűlő őskori településrészei. A középső rézkori, késő rézkori és kora bronzkori települések.* MTA BTK Régészeti Intézet, Budapest. ISBN 978-615-5254-00-0 [online] (<http://real.mtak.hu/2959>) p. 403–526.

HORVÁTH T. & PÉTERDI B. (2013): Csizolt kőszerszámok, őrlőkővek, egyéb megmunkált és megmunkálatlan kőzetanyagú leletek. In: HORVÁTH, T. & HONTI, Sz. eds., *Balatonöszöd–Temetői-dűlő (M7/S-10) lelőhely őskori településrészei: a középső rézkori, a késő rézkori és a kora bronzkori településrészek. The prehistoric settlement parts of Balatonöszöd–Temetői-dűlő: The Middle Copper Age, the Late Copper Age and the Early Bronze Age settlements.* dupla DVD, ISBN 978-615-5254-01-7 p. 403–526.

JÓZSA, S.; SZAKMÁNY, Gy.; MÁTHÉ, Z. & BARABÁS, A. (2009): A Mecsek és környéke miocén konglomerátum összletek felszíni elterjedése és a kavicsanyag összetétele. In: M. TÓTH, T. ed., *Magmás és metamorf képződmények a Tiszai Egységben.* GeoLitera, Szeged, p. 195–217.

KÜRTHY, D.; SZAKMÁNY, Gy.; JÓZSA, S. & SZABÓ, G. (2013): A regölyi kora vaskori sírhalom kőzetleleteinek előzetes archeometriai vizsgálati eredményei / Preliminary archaeological study of rock types from the Early-Iron Age mound grave in Regöly. *Archeometriai Műhely* (<http://www.ace.hu/am>) **X/2** 111–126.

OLÁH, I.; LIGNER, J.; BENDŐ, Zs.; SZAKMÁNY, Gy. & SZILÁGYI, V. (2013): Különösen gazdag kőbaltá és csizolt kőszerszám leletegyüttes előzetes vizsgálati eredményei Diósvizlőről / Preliminary results on a unique collection of axes and polished stone tools from Diósvizlő. *Archeometriai Műhely* **X/1** 67–82. (<http://www.ace.hu/am>)

PÉTERDI, B. (2011): Szerszámkövek és csizolt kőszerszámok archeometriai vizsgálatának eredményei (Balatonöszöd–Temetői dűlő lelőhely, késő rézkor, bádeni kultúra). *Közöletlen PhD-disszertáció*, ELTE TTK FFI Közettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 157 pp.

PÉTERDI, B. (2012): Balatonöszöd–Temetői dűlő rézkori lelőhely homokkő nyersanyagú kőszerszámjainak közettani és geokémiai vizsgálata. / Petrographical and Geochemical investigation of stone tools made of sandstone from the site Balatonöszöd–Temetői dűlő (Hungary). *Archeometriai Műhely* (<http://www.ace.hu/am>) **IX/4** 265–286.

PÉTERDI B. & HORVÁTH T. (2014): 3.3.9. Ground stone and other unworked stone artefacts. In: HORVÁTH, T. (Ed.): *The Prehistoric Settlement at Balatonöszöd–Temetői-dűlő. The Middle Copper Age, Late Copper Age and Early Bronze Age Occupation.* *Varia Archaeologica Hungarica XXIX.*, Archaeolingua, Budapest, 2014: 379-403. (ISBN: 978-963-9911-54-3)

PÉTERDI, B.; SZAKMÁNY, Gy.; JUDIK, K.; DOBOSI, G.; KASZTOVSZKY, Zs.; SZILÁGYI, V.; MARÓTI, B.; BENDŐ, Zs. & GIL, G. (2014): Petrographic and geochemical investigation of a stone adze made of nephrite from the Balatonöszöd–Temetői dűlő site (Hungary), with a review of the nephrite occurrences in Europe (especially in Switzerland and in the Bohemian Massif). *Geological Quarterly* **58/1** 181–192 + supplements (<https://gq.pgi.gov.pl/article/view/9361>), DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1146>

STARNINI, E.; SZAKMÁNY, Gy.; JÓZSA, S.; KASZTOVSZKY, Zs.; SZILÁGYI, V.; MARÓTI, B. & HORVÁTH, F. (2015): Lithics from the Tell Site Hódmezővásárhely-Gorzsa (Southeast Hungary): Typology, Technology, Use and Raw Material Strategies during the Late Neolithic (Tisza Culture). In: HANSEN, S.; RACZKY, P.; ANDERS, A. & REINBURGER, A. eds., *Neolithic and Copper Age between the Carpathians and the Aegean Sea; Chronologies and Technologies from the 6<sup>th</sup> to the 4<sup>th</sup> Millennium BCE.* *Archäologie in Eurasien* **31** 105–128.

SZAKMÁNY, Gy.; STARNINI, E.; HORVÁTH, F. & BRADÁK, B. (2008): Gorzsa késő neolit tell településről előkerült kőeszközök archeometriai vizsgálatának előzetes eredményei (Tisza kultúra, DK Magyarország). *Archeometriai Műhely* (<http://www.ace.hu/am>) V/3 13–25.

SZAKMÁNY, Gy.; STARNINI, E.; HORVÁTH, F.; SZILÁGYI, V. & KASZTOVSZKY, Zs. (2009): Investigating trade and exchange patterns during the Late Neolithic: first results of the archaeometric analyses of the raw materials for the polished and ground stone tools from Tell Gorzsa (SE Hungary). In: ILON, G. ed., *Óskoros Kutatók VI. Összejövetelének Konferenciakötete, Nyersanyagok és Kereskedelem, Kőszeg, 2009. március 19-21., Szombathely, ΜΩΜΟΣ VI* 363–377.

VARGA, M. (2010): Magyarországi andaluzitos gránit hömpölyök petrográfiája (Dunavarsány, Nyugat-Mecsek térségben). *Közöletlen diplomamunka*, ELTE TTK Közzétani és Geokémiai Tanszék, Budapest, 125 pp.



# NYÚLPECSENYE NYOMAI BUDAPESTI RÉGÉSZETI LELETANYAGOKBAN

## REMAINS OF HARE ROASTS IN ARCHAEOLOGICAL FINDS FROM BUDAPEST\*

BILLER Anna Zsófia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BTM Aquincumi Múzeum, H-1031 Budapest, Záhony u. 4.

E-mail: [biller.anna@aquincum.hu](mailto:biller.anna@aquincum.hu)

### Abstract

*The appearance of rabbit or hare remains in the archaeological finds, always suggests the consumption of their meat and the possibility of processing their fur or their other extensive use. In addition they are markers of the elaborate archaeological excavation work as well. Post-glacial European rabbits were missing from the fauna of Hungary, their descendants spread only as domestic rabbits imported during the Middle Ages. For this reason, lagomorph finds from earlier archaeological bone material could be coming from hares. The small number of rabbit remains from the 35 unexamined archeological excavations in Budapest between 1989-2018 allude to their meat was obtained through hunting, not from keeping around the house. Tools made from hare metapodials enrich the prehistoric finds. Due to their preferred habitat, hare remains indicate the proximity of fields. Irrespectively of eras and location, based on the short- and long bone measurements, these animals belonged to a similar size range.*

### Kivonat

*A nyúlmaradványok előkerülése a régészeti leletanyagban mindig utal a húruk és egyéb széleskörű hasznosítási módjuk mellett a prémjük feldolgozásának lehetőségére, valamint az alapos régészeti feltáró munkára is. Hazánkban az üregi nyulak illetve leszármazottaik, a házinyulak a jégkorszaki kiszorulásukat követően vélhetően csak a középkorban terjedtek el. Az addig előforduló régészeti csontanyagokból származó nyúl leletek mezei nyulakhoz köthetők. A vizsgált 35, 1989-2018. közötti budapesti régészeti feltárásból származó nyúl maradvány alacsony száma arra utal, hogy inkább vadászat révén jutottak húrukhoz, nem pedig ház körüli tartásból. A metapodiumaikból készített eszközök az őskori leletanyagot gazdagítják. Preferált élőhelyükből adódóan mezők közelségét feltételezik. A mérhető rövid- ill. hosszúcsont méretadataik alapján közel hasonló mérettartományba tartozó állatok képe rajzolódik ki Budapest területén, korszaktól és lelőhelytől függetlenül.*

KEYWORDS: EUROPEAN OR BROWN HARE, EUROPEAN RABBIT, *LEPUS EUROPAEUS*, *ORYCTOLAGUS CUNICULUS*, BUDAPEST, HUNGARY, WHITE MEAT

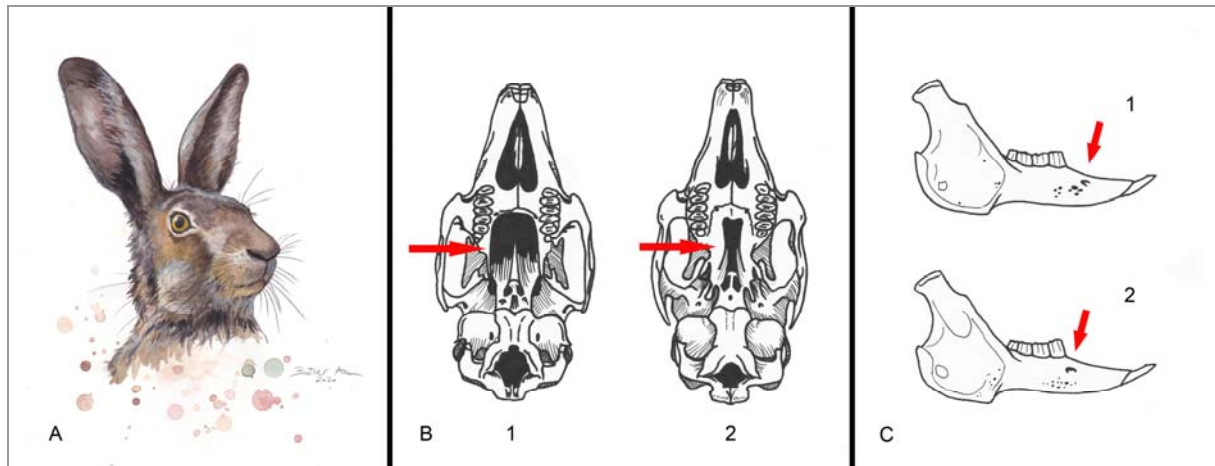
KULCSSZAVAK: MEZEI NYÚL, ÜREGI NYÚL, *LEPUS EUROPAEUS*, *ORYCTOLAGUS CUNICULUS*, BUDAPEST, NYÚLHÚS

### Bevezetés

Az emberiség húsfogyasztásában már a mezolitikumtól kezdve megjelent a mezei nyúl (*Lepus europaeus*, Pallas 1778), melynek húsa mellett prémjét is hasznosították, bizonyos korszakokban pedig a vékony kéz- vagy lábközép csontjaik (metapodiumok) felfüggesztve amulettként is szolgáltak. Széles spektrumú hasznosításuk révén gazdasági szempontok szerint a házinyulak például Matolcsi János (1975, 197.) például a több hasznú emlősök között tüntette fel a Háziállatok eredete című munkájában, nem csupán prémes állatként.

A Lagomorpha (Duplicidentata) vagy nyúlfélék rendjébe, amelybe a mezei nyúl is tartozik, rágcsálókra emlékeztető, kicsi vagy közepes méretű, szemfog nélküli formák tartoznak, a felső állkapocsban két pár metszőfoggal. Az első metszőfog állandóan növekszik, így folyamatos koptatást igényel. A hypsodont, gyökértelen fogakkal inkább aprítja, mintsem őrli az állat a táplálékát. Vétagjuk öt ujjban végződik. Az alkarcsontok elkülönülnek egymástól, de a sípcsont és a szárkapocs csont distalisan összenőttek. Valamennyi nyúlféle szárazföldi növényevő.

\* How to cite this paper: BILLER, A. Zs., (2020): Nyúlpecsenye nyomai budapesti régészeti leletanyagokban / Remains of hare roasts in archaeological finds from Budapest (in Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XVII/3 287–302.



**1. ábra:** A: Mezei nyúl portré (Illusztráció: Biller Anna Zsófia). B-C: Morfológiai különbségek a mezei nyúl (1) és az üregi nyúl (2) koponyája (B) és állkapcsa (C) között – piros nyíllal jelölve az eltérések (Illusztráció: Biller Anna Zsófia, Stohl 1981 nyomán)

**Fig. 1.:** A: European hare portrait (Illustration: Anna Zsófia Biller). B-C: Morphological differences between the skull (B) and the mandible (C) of the European hare (1) and the European rabbit (2) – the differences are indicated by red arrows (Illustration: Anna Zsófia Biller, after Stohl 1981)

Őseik a paleocénban jelentek meg, és valószínű a rágcsálók (Rodentia) állnak legszorosabb kapcsolatban. Nagyobb alagzadtságban a felső oligocénban és a pliocénban éltek. A nyúlfélék mintegy 40 genusa három családra osztható: a Mimotonidae, a Leporidae és az Ochotonidae (pocoknyúlfélék) családjára. A leggazdagabb család a Leporidae, amelybe a mezei nyúl is tartozik. A mellsőnél jóval hosszabb hátsó végtag, csökevényes kulcsont és rövid fark jellemzi. A család az eocénban jelent meg, és az Antarktiszon kívül minden földrészen elterjedt, Ausztráliában az ember segítségével (Géczy 1993, 345-346.). Az üregi nyulak a Pireneusi-félszigeten alakultak ki a késő pliocén – korai pleisztocénban (Jones 2006, 276.), az európai mezei nyulak pedig a középső-pleisztocénban (Pelletier et al. 2015, 4.).

A mezei nyulak testszíne barnásvöröses, hátsó lábaik hosszabbak a mellsőknél. Füleik hosszúak, hegyük fekete (1. ábra A), ahogy a farkuk felső része is. Az ivar meghatározása nem lehetséges a szőrzet színe vagy a testméret alapján (az év folyamán hol a hím, hol a nőstény testesebb). Ma élő nyulak mérlegelése alapján átlagos testtömegük hazánkban 3,81 kg (Faragó 2007, 250-251.), Franciaországban például 3-5 kg, míg az északi országokban akár 12 kg élősúlyúak is lehetnek (Durantel 2008, 310.). A jégkorszak előtt elterjedt faj volt Eurázsia sztyeppéin. Közép-Európából a jégkorszak idején szorult ki, és csak a felmelegedés után tért újra vissza. Napjainkban Nyugat-Európától a nyugat-szibériai síkságig és Délnyugat-Ázsiáig terjed előfordulási területe. Magyarországon a nagy, összefüggő erdőségek belsejét leszámítva szinte mindenhol előfordul. Az eredetileg sztyeppelakó, leginkább a mezei élőhelyeket előnyben részesítő mezei nyúl jól alkalmazkodott a

kultursztyeppékhez (Faragó 2009, 202.). Fűvel, lágyszárúakkal, gyökerekkel, termésekkel, fák hajtásaival és kérgével táplálkoznak (Pearson & Burton 1986, 53.). Az üregi nyúlal ellentétben a mezei nyúl magányosan él. A párzási időszakot leszámítva általában elszigetelten, jól körülhatárolható területen tartózkodik (Durantel 2008, 311.). Szaporaságuk a korai ivarérettségből, és az évi három-négy fialási ciklusból ered (február végétől/március elejétől általában szeptemberig). Valamint egy nagyon érdekes, a nyulak esetében egyedülálló tulajdonságuk is közrejátszik: a kettős vemhesség (szuperfötáció), amikor is még a vemhesség ideje alatt, annak végén megtermékenyül egy újabb petesejt a méh mirigyeiben hosszú időn át tárolódni képes hímivarsejtek révén, amelyekből az ellés után indul fejlődésnek a következő alom (Faragó 2007, 252-255.).

### Őse-e a mezei nyúl a házi nyúlaknak?

Hatalmas fülű nyúl ábrázolások több egyiptomi falfestményen, vagy akár amulettek formájában is előfordultak, ám ezekről nem eldönthető, hogy mezei, üregi vagy netán a házi nyulak kezdetén álló nyulak képi megjelenítései. Mivel a mezei nyulak befogása és fogságban tartása nem könnyű, vélhetően inkább üregi nyulak jelentek meg ezeken az ábrázolásokon. A nyulat nem csak ételként, hanem áldozati állatként is alkalmazták az egyiptomiak (Tóth 2017, 18.).

Bár a nyulat valószínű csak a kora középkorban háziastították, ennek előzményei a római korban is fellelhetők. Ekkor már tartottak nyulakat körbe kerítve, úgynevezett *leporarium*-okban, melyeket eleinte foglyul ejtett mezei nyulakkal töltöttek fel, majd később Hispaniából hozták a mezei nyulakat.



**2. ábra:**  
Nyúl alakú római kori  
fibula Budapest III.  
kerület Bécsi út 68-84.  
szám alól – SE 2013.35  
(Fotó: Biller Anna Zsófia)

**Fig. 2.:**  
Hare shape Roman fibula  
from Budapest District III  
Bécsi Street 68-84 – SU  
2013.35 (Photo: Anna  
Zsófia Biller)

Ahol kevesebb csontletük került elő, feltételezhető, hogy vadászat révén jutottak nyúlhoz, ezek a maradványok nem a nagyobb mennyiségű nyúlhússal kecsgetető fogságban tartásból származnak. A római korból is ismertek nyúlábrázolások, akár kerámiákon, *terra sigillata*kon, akár fibula formájában is. Ez utóbbira ékes példa a 2020 májusában – az Aquincumi Múzeum III. kerület Bécsi út 68-84. szám alatti feltárásából (SE 2013.35) – előkerült nyúl alakú fibula, amely leginkább mezei nyúl jegyeit mutatja hosszú füleivel és kidülledő szemével (**2. ábra**). Hazánkban nyúlcsontok esetében mezei nyúl maradványokkal kell elsősorban számolni, ugyanakkor érdemes részletesebben tárgyalni a házinyúl megjelenésének bonyolult kérdéskörét is.

Az első, valódi nyúl házasítás alapja – a jégkorszak után refugiumként megmaradt Pireneusi-félszigeti – üregi nyúl (*Oryctolagus cuniculus*, L.1758) populáció volt. Kr.e. 1100 körül (bár bizonyos nézetek szerint a Kr.e. 9. században; Irving-Pease et al 2018, 1.) a főnóciák ezeket a spanyol területeket pont ezen faj után nevezték el „Üreginyúlföld”-nek. Vagy, mivel a szirti borzokhoz hasonló állatnak vélték az azidáig nem látott nyulakat, „szirti borzok partjának” („Ishephanim”). Ebből az elnevezésből ered a római Hispánia, valamint Spanyolország neve. A legújabb kutatások szerint a házasítás egy folyamatként kell értelmezni (Irving-Pease et al. 2018, 151.). A rómaiak valószínűleg nagy becsben tartották a nyulakat, fogyasztották és exportálták is. Itáliába már a Kr.e. 1. századtól szállították őket, ahol hamar elterjedtek. Bizonyos elméletek szerint Pannonia területén már a római legiok révén is megjelent újra a jégkorszakban (Tóth 2017, 19.), a hideg szorítása miatt kipusztult üregi nyúl, amellyel akár honfoglaló őseink is találkozhattak volna, de írásos emlékek csak a 15. században említik őket. Régészeti leletanyagban nyomaikra nem lehetett ezidáig rátalálni (Tóth 2017, 19-20.). A legkorábbi Kárpát-medencei házinyúl csontlelet a visegrádi Salamon torony 16. századi rétegéből ismert. A

legrégebbi középkori leporariumokban a nyulakat félig háziállatként, félig vadként kezelték (Bökönyi 1974, 335.). A házinyúl hazai elterjedése tehát a 14-16. században, majd a következő évszázadok folyamán ment végbe. A Föld különböző részeire előbb jutott el, mint vad őse. A vad üregi nyulat például a 19. században honosították meg Magyarországon (Matolcsi 1975, 198-199.). Európában a nyúltenyésztés a 19. század folyamán lendült fel, főként a mind gyakrabban előforduló sertéspertis idején, valamint a kialakuló igény révén, miszerint az emberek egyre inkább szerették volna a közelükben tudni aranyos házikedvenceiket (Tóth 2017, 22.).

Az üregi nyúl házasítása a Pireneusi-félszigeten ment végbe a kora középkorban, majd innen terjedt Franciaországon át Németország felé. A régészeti, a történelmi és a genetikai adatok mind arra utalnak, hogy az Európában elterjedt nyulak francia területekről származnak (Irving-Pease et al. 2018, 10.) Az üregi nyúl első megtelepítése Németországban az üregi nyúlnak 1149-ben, Corvey bencés kolostor lapinariumában történt (Farágó 2007, 261-262.). Nem tudni pontosan, hogy Németország területéről mikor kezdett tovább terjedni a nyúltartás, de 1235-ben már biztosan voltak üregi nyulak az angol szigeteken (Farágó 2007, 262.), sőt, a kisebb, Dél-Anglia partjához közeli szigeteken (Drakes-sziget, Scilly-sziget) már valószínű 1135. óta (Irving-Pease et al 2018, 5.). IV. Henrik a 14. században egy csak nők számára fenntartott nyúl vadász területet létesített (Morton 2006, 145.). A 16. században I. Erzsébet királynőnek pedig volt egy nyúlkertje is. A nyúltartás gyors terjedésének egyik oka az volt, hogy a szopós nyulak engedélyezett böjti eledelnek számítottak (Farágó 2007, 262.), a kolostorokban például étkezés céljára és a prémjükért is tartottak nyúlkolóniákat (Morton 2006, 145.).

A mezei nyulak brit szigetekre jutását korábban a Kr.u. 1-2. századra tették, azonban a legújabb kutatások szerint, néhány Hampshire és

Hertfordshire területén lévő dél-angliai régészeti lelőhelyről származó mezei nyúl maradvány radiokarbon kormeghatározása alapján úgy tűnik, már a Kr.e. 5-3. században megérkeztek a nyulak (és a tyúk is) a szigetre. Viszont a római korig szinte biztos, hogy nem fogyasztották őket, mivel a britek szerint isten ellen való vétek volt megenni őket, feldolgozásukra utaló nyomok sem fordultak elő a római korig a maradványaikon. Akkor válhattak táplálékforrássá, amikor gyakoriságuk megnőtt. A rómaiak távozása utáni időszakban a nyulak száma erősen megfogyatkozott Britanniában, így ritkaságuk révén ismét „isteni rangra” emelkedtek. A 13. századtól pedig már az üregi nyúl töltötte be a mezei nyúl szerepét a húsfogyasztásban (Sykes 2020).

Nyugat-Európában a 14-15. században a városiasodással és a polgárság megerősödésével vált széles körben elterjedté egy átmeneti forma, amely az üregi nyúlra emlékeztetett, de testméretben, szaporaságban már a házinyúlra hasonlított. A hajózás révén jutottak el ezek a kezdeti formák különféle távolibb szigetekre is, mint például 1418-ban portugál hajósok révén Porto-Santo szigetére, vagy az újkor hajnalán Amerikába, Új-Zélandra, Dél-Afrikába, Ázsiába. Ausztráliai betelepítésük katasztrofális hatással volt az ottani ökoszisztémára, ahol a táplálék letarolása miatt több kengurufaj is a kihalás szélére sodródott (Tóth 2017, 21.).

A mezei nyúl tehát a házinyúlnak (*Oryctolagus domesticus*, Erxleben 1777) nem őse. A házinyúl az üregi nyúltól származik. A két vad alak egymással nem párosítható. A mezei nyúl nagyobb testű, nyúlánkabb, csonttani elkülönítése mégis igen nehéz az üregi nyúlétól. A koponyán megfigyelhető némi eltérés: a mezei nyúl szájpaplási része jóval nyitottabb, mint az üregi nyúlé, illetve az állkapcsukon az üregi nyúl esetében közel van a foramen nutriticum az alsó fogsorhoz, míg a mezei nyúl esetében P<sub>1</sub> távolságnyra (Bartosiewicz 2006, 129-130.; **1. ábra B-C**). Ezek az eltérések abból adódnak, hogy míg az üregi nyúl a föld alatt él és oda rejtőzik veszélye esetén, a mezei nyúl a felszínen, nyílt terepen kell, hogy megvédje magát. Emiatt látására (kidülledő szemekre) és menekülés esetén nagyobb tüdőkapacitásúra, és így intenzív légzésre van szüksége, melyet elősegít orrának és koponyájának garati részének szélesebb volta. Valamint néhány postcranialis vázelemen – mint lapockán, karcsonton, orsócsonton, singcsonton, medencén, combcsonton és sípcsonton – figyelhető meg kisebb eltérés a két faj között (Callou 1997, 7-11.).

### **A nyúl vadászata**

A legutolsó jégkorszak végén az emberek kezdtek a kisebb testű emlősök, így a nyulak vadászata felé fordulni. Ez a nagyemlős fauna számának

csökkenése miatt következhetett be, melynek oka egyrészt az éghajlat változása lehetett, másrészt a nagyvadak túlvadászata (Jones 2006, 275.).

A növénytermesztés kialakulásával a nyulak az emberek szemében idővel kártevőkké léptek elő, mivel megdézsmálták a termést. A római korban az üregi nyulakról írta Strabón (Auer 1977, 175-176.), hogy „*Kártékony állataik nincsenek, kivéve a földbe lyukat vájó nyulacskákat, amelyeket tengeri nyulaknak is neveznek, ezek ugyanis ártanak a növényeknek és magvaknak, amennyiben elrágják a gyökereket; ezek majdnem az egész Ibériában elvannak terjedve egészen Massaláig s a szigeteket is háborgatják.*” A nyulakhoz hasonlóan kártékonyak ítélt egereket és kígyókat is igyekeztek irtani túlszaporodásuk esetén. Időnként bekötözött szájú vadmacskákat engedtek az állatok üregeibe, hogy azok karmaikkal kihúzzák vagy kiűzzék az állatokat, amelyeket az emberek utána befoghattak (Auer 1977, 175.).

Már a római korból, a Kr.e. 1. századból vannak arra adatok, hogy háziasított vadászgörénnyel vadásztak üregi nyúlra. Így szabályozták például a Baleár-szigeteken a nyúl szaporulatot. A 12. századtól a vadászgörény tartása és a vele folytatott vadászat a nemesek előjogává vált. Manapság a vadászgörényes nyúl vadászatot – mivel kegyetlen mérszárulásnak számít és nem megfelelően alkalmazva egy adott területen kiirthatja a teljes nyúlállományt – csak ott folytatnak, ahol már kártékonyak ítélik a nyulak mennyiségét és ténykedését (Durantel 2008, 287.). Módja lehet a görénnyel történő megugrasztást követően a kilövés sörétes fegyverrel majd a nyúl tetemek begyűjtése vadászkutyákkal. Nyulakat vadászmadarakkal is el lehet ejteni, vagy megugrasztás után elevenen elfogni (Farág 2009, 479-480.). Mivel a mezei nyulak nem üregekbe húzódnak, hanem a termőföldeken, a barázdák között, vagy a növényzetben megbújva lapulnak, éjszakáznak, ezért az ő elfogásukhoz napjainkban is más módszereket alkalmaznak, mint az üregi nyulak esetében. Ilyen a cserkelő-, hajtó- és körvadászat, illetve a vadászkutyás vadászat (Durantel 2008, 304-308.). A legtöbb mai vadász ez utóbbi módját tartja az egyetlen méltó mezei nyúl vadászati technikának, és vélhetően a lőfegyvereket megelőző korszakokban is ez a módszer lehetett a leggyakoribb. A vadászkutyák és a ragadozó madarak alkalmazása az apróvadak vadászatában már az ókortól kezdve ismert.

### **A nyúl hasznosítása**

A mai házinyúl hasznosítása esetén megfigyelhető, hogy az állatnak minden porcikáját fel lehet dolgozni. Prémje, húsa, vére, belei, fülei, lábai, csontjai, trágyája mind hasznosíthatók valamire. A vére és a belei például állati takarmányozásra is, a belek nagy mértékű szakitószilárdaságuk miatt pedig



akár varrófonalként is használhatók. A csontot lisztte is lehet örölni, és baromfi takarmányul szolgálhatnak. A házinyúl trágyája igen tápanyagdús. Jobb, mint a ló vagy szarvasmarha trágya (Tóth 2017, 105-113.).

A régészeti korokban húruk, prémjük és csontozatuk biztosan felhasználásra került. Erről tanúskodnak az ásatások során előkerült nyúlmaradványok. Az írásos forrásokkal rendelkező római korból fennmaradt, az 1. századból származó, Marcus Gavius Apiciusnak tulajdonított latin nyelvű római kori szakácskönyv – amely számos nyulból készült receptet is tartalmaz – tanúsítja, hogy előszeretettel fogyasztottak nyulat. Apicius szerint például „*A legjobb faszírozott pávából készül, ha a kemény bőre puhára sült. A második legjobb a fácánból, a harmadik a házinyulból, a negyedik a csirkéből, az ötödik a szopós malacból készült húsgombóc.*” (Orlovsky 2003, 47.) Vélhetően mezei, üregi vagy házinyulból is készülhettek az ételek, földrajzi területtől és hozzáféréstől függően.

A római kultúra fontos részét képezte az írásbeliség és a művészetek mellett a higiénia és a gyógyítás. Meghonosításában a katonaságnak jelentős szerep jutott. Az orvosságok között különféle állapotokból nyert szerek is szerepeltek. Ezekről az állatoknak nagy tisztelettel adózó C. Plinius Secundus (Kr.u. 23/24 – 79.) írt *Naturalis Historia* – Természettudomány c. munkájában, melyben a nyúl különböző részeinek hasznosítását is leírta. Orvosságként használták a nyúl véré, agyvelőjét, belső szerveit (ivarszervek, szív, máj, vese, tüdő), hímivarsejtjeit (=”oltóanyagát”), szőrét, csontját, akár hamuként is, por alakban, lábát, faggyúját, trágyáját, még akár embriójukat is. Szemléltetésül következzen néhány példa a nyulak hasznosításáról Plinius könyvéből (Hoffmann 2013, 41-62.):

„*IL.178. ... Az bizonyos, hogy a farkas ürülékében gyakran találhatók csontok, ezeknek felköve ugyanaz a hatása, úgyszintén a nyúl oltóanyagának a fülbe öntése fülfájás ellen. Ezek fejének a hamuja fogpor is. Nárdust hozzáadva mérsékli az erős szájszagot is. 179. Egyesek inkább egér fejének a hamuját akarják hozzákeverni. A nyúl oldalában található egy körömhöz hasonló csont; ezzel javasolják megkarcolni fájdalom esetén a fogakat. ...*” (Hoffmann 2013, 47.)

„... 194. A vért köpöket gyógyítja a szarvasagancs hamuja, a nyúl oltóanyaga egyharmad dénár mennyiségben samosi földdel és mirtuszborral, italként. Ugyanennek (a nyúlnak) a trágyájának a hamuja borral, este italként használ az éjszakai köhögésre, a nyúl szőrével való füstölés kihozza a tüdőből a nehéz lerakódásokat (excretatio). ...” (Hoffmann 2013, 49-50.)

„... 199. A gyógyító eljárás addig tart, amíg a beteg azt nem érzi, hogy a meleg a lágyékáig elért,

azután a kezét bekenik hagymával, úgyszintén a lágyékot magával a trágyával és mézzel. Az ilyen fájdalomnál javasolják lenyelni a nyúl heréjét. Isíásznál, megmelegített marhatrágyát tesznek fel levelekben, vesefájdalmaknál nyúlvesét nyersen vagy enyhén megfőzve kell lenyelni úgy, hogy a fogakhoz ne érjen. Azt állítják, nem kap hasfájást az, aki nyúl bokáját hordja magánál. ...” (Hoffmann 2013, 50.)

„... 213. A régi nyúlvese borban kihajtja a köveket. ...” (Hoffmann 2013, 53.)

„... 242. A rákos sebeket (carcinomata) gyógyítja a nyúl oltóanyaga azonos mennyiségű kaprival borba szórva, ...” (Hoffmann 2013, 58.)

„... 248. Az asszonyoknál jelentős a nyúl felhasználása (is). Az anyaméhnek jót tesz italban a szárított nyúltüdő, folyásokra a nyulmáj samosi földdel, vízzel, italként, méhlepényre a nyúl oltóanyaga, – előzőleg tartózkodni kell a fürdéstől – , felkenve is jó sáfránnyal és hagyma levél, gyapjában betéve kihajtja az elhalt magzatot. Ha a nyúl méhét ételként fogyasztják, úgy tartják, fiúk fogannak, ugyanígy hat a nyúlhere és a nyúl oltóanyaga is, a nyúl méhéből kivett magzat pedig azoknak, akik a szülés reményét feladták, a termékenységét újból visszaállítja. 249. A mágusok állítják, hogy a nyulembrió a férfiaknak örültséget okoz, a fiatal asszonyoknak kilenc szem nyultrágya úgy hat, hogy az emlők mindig feszesen álljanak. Ugyanezért kenik fel az oltóanyagát mézzel, a véré pedig oda, ahol vissza akarják növesztetni a haját. ...” (Hoffmann 2013, 59.)

„... LXXIX. Caro úgy gondolta, hogy a nyúlnak ételként való fogyasztása altató hatású; a közvélemény azt tartotta, hogy kilenc napig kellemes külsőt ad, sőt egy frivo tréfa is volt, aminek egy ilyen vélekedésnél kellett lennie valamilyen alapjának. ...” (Hoffmann 2013, 61.)

Bornemisza Anna (idézi: Lakó 1983, 123-125.) 1680-ra keltezett, a kora újkori konyhaművészetről szóló szakácskönyvében számos különleges állatfaj felhasználása mellett a nyúlhús is terítékre került. Receptjeiben az agyvelőt, a májat, a tüdőt, a szívet, a gégét, vért egyaránt használták a hús mellett az ételek elkészítéséhez. Az alábbi recept jó példája a széleskörű hasznosításnak:

„5. Végy nyulvért. Tüdejét, máját fonnyaszd meg vízben. Hadd hüljön meg. Vagdald meg aprón új szalonnával s jószagú fívekkel. Tégy vereshagymát, sáfránt, borsot s egy néhány tyúkmony-székit belé: töltsd meg a nyulat véle. Süsd meg, végy vért, tehénhús-levet s reszelt kenyeret. Főzd meg együtt. Verd által, csináld meg borssal, gyömbérrel, fahajjal s sáfránnyal, hadd forrjon fel. Édesen avagy savanyún csinálhatod, s mikor feladod a sült nyulat, töltsd alá: igen úri éték” (Bornemisza 1680, idézi Lakó 1983, 123.).

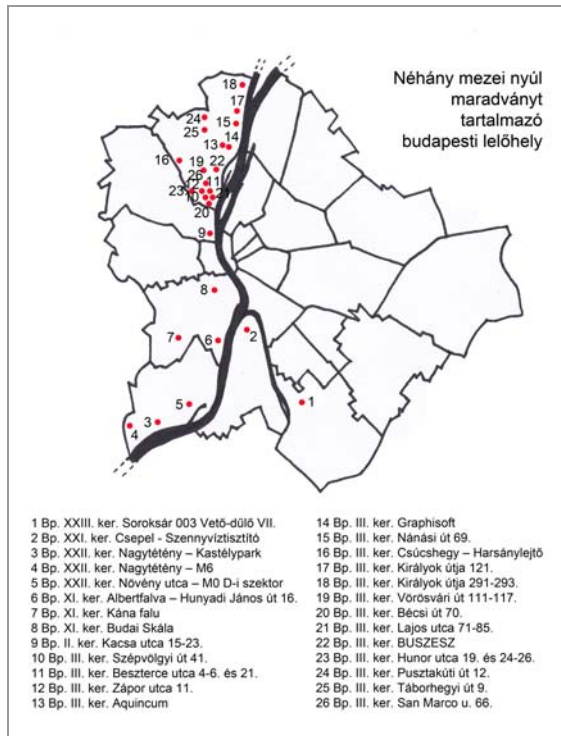
**1. táblázat:** Néhány budapesti régészeti lelőhely mezei nyúl maradványainak korszakonkénti bontás**Table 1.:** Some European hare remains of archaeological site from Budapest

Lelőhely / Korszak	?	ősor	neolitikum	középső neolitikum (Zselliz)	NEOLITIKUM ÖSSZESEN	rézkor	késő rézkor (Baden)	RÉZKOR ÖSSZESEN	kora bronzkor (Harangedényes - Csepel-csoport)	középső bronzkor (Válya)	késő bronzkor (Úrnaméz)	BRONZKOR ÖSSZESEN	kora vaskor (Hallstatt)	késő vaskor (kelta)	késő vaskor (kora-kelta - La-Tène B-C)	késő vaskor (kelta - LT C)	késő vaskor (LTD)	VASKOR ÖSSZESEN	római	kora római (kelta/római)	római kor (2-3. század)	szarmata	császárkor	késő római	RÓMAI KOR ÖSSZESEN	avar	Árpád kor	középkor	KÖZÉPKOR ÖSSZESEN	újkor	modern kor	ÖSSZESEN	
Bp. III. ker. Aquincum – Polgárvaros - Peristy-Enyvfőző																			9													9	
Bp. III. ker. Aquincum – ELMŰ																																1	
Bp. III. ker. Aquincum - MHSZ Lófer																																2	
Bp. III. ker. Aquincum - Polgárvaros - D-i várósfal - MHSZ udvar	4																															4	
Bp. III. ker. Beszterce u. 4-6.																																1	
Bp. III. ker. Harsánylejtő													1																			1	
Bp. III. ker. Királyok útja 291.	17																															5	
Bp. III. ker. Királyok útja 293.	7																															25	
Bp. III. ker. Vörösvári út 111-117.																																13	
Bp. III. ker. Kacsa utca 15-23.																																1	
Bp. III. ker. Bécsi út 70.	1																															2	
Bp. III. ker. Beszterce u. 21.	1																															1	
Bp. III. ker. San Marco u. 66.																																11	
Bp. III. ker. Budaújlak - Lajos u. 71-85. III/10																																17	
Bp. III. ker. BUSZESZ 2017.	2	2																														1	5

## 1. táblázat, folyt.

Table 1., cont.

Leőhely / Korszak	?	őskor	neolitikum	középső neolitikum (Zseliz)	NEOLITIKUM ÖSSZESEN	részkor	késző részkor (Baden)	RÉZKOR ÖSSZESEN	kora bronzkor (Harangdedényes - Csepel-csoport)	középső bronzkor (Válya)	késző bronzkor (Urnmezős)	BRONZKOR ÖSSZESEN	kora vaskor (Hallstatt)	késző vaskor (kelta)	késző vaskor (kora-kelta - La-Tène B-C)	késző vaskor (kelta - LT C)	késző vaskor (LTD)	VASKOR ÖSSZESEN	római	kora római (kelta/római)	római kor (2-3. század)	szarmata	császárkor	késző római	RÓMAI KOR ÖSSZESEN	avar	Árpád kor	középkor	KÖZÉPKOR ÖSSZESEN	újkor	modern kor	ÖSSZESEN	
Bp. III. ker. Hunor u. 19.	1																	1	9														10
Bp. III. ker. Pusztakúti út 12.														1																			1
Bp. III. ker. Szépvölgyi út 41.																				3													3
Bp. III. ker. Táborhegyi út 9.	3																																3
Bp. III. ker. Zápor u.11.																				1													1
Bp. III. ker. Hunor u. 24-26.	2																																2
Bp. III. ker. Királyok útja 121., - Kossuth L. ÚP.58.																																	1
Bp. III. ker. Graphisoft																				1													1
Bp. III. ker. Harsány/lejtő 2012.		20							2	2	17							10	27														36
Bp. III. ker. Harsány/lejtő 2013.																																	11
Bp. III. ker. Nánási út 69.				4	4																												4
Bp. XI. ker. Albertfalva - Hunyadi János u. 16.																																	2
Bp. XI. ker. Kána falu	1	1																															2
Bp. XI. ker. Skála	1	2						5	5						1			1	5														14
Bp. XI. ker. Skála – Lejáró																																	1
Bp. XXI. ker. Csepel – Szennyviztisztító	4								1	1																							4
Bp. XXII. ker. Nagytéreny - Kastélypark BKISZ 3/1.	3																																3
Bp. XXII. ker. Nagytéreny M6 szektor																	1																1
Bp. XXII. Nővény utca, M0 D-í szektor			9	9																													9
Bp. XXIII. ker. Soroksár 003 Vető-dűlő VII.																																	13
<b>Összesen</b>	<b>47</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>33</b>	<b>53</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>78</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>236</b>	



**3. ábra:** A cikkben szereplő, mezei nyúl csontokat tartalmazó budapesti régészeti lelőhelyek (Illusztráció: Biller Anna Zsófia)

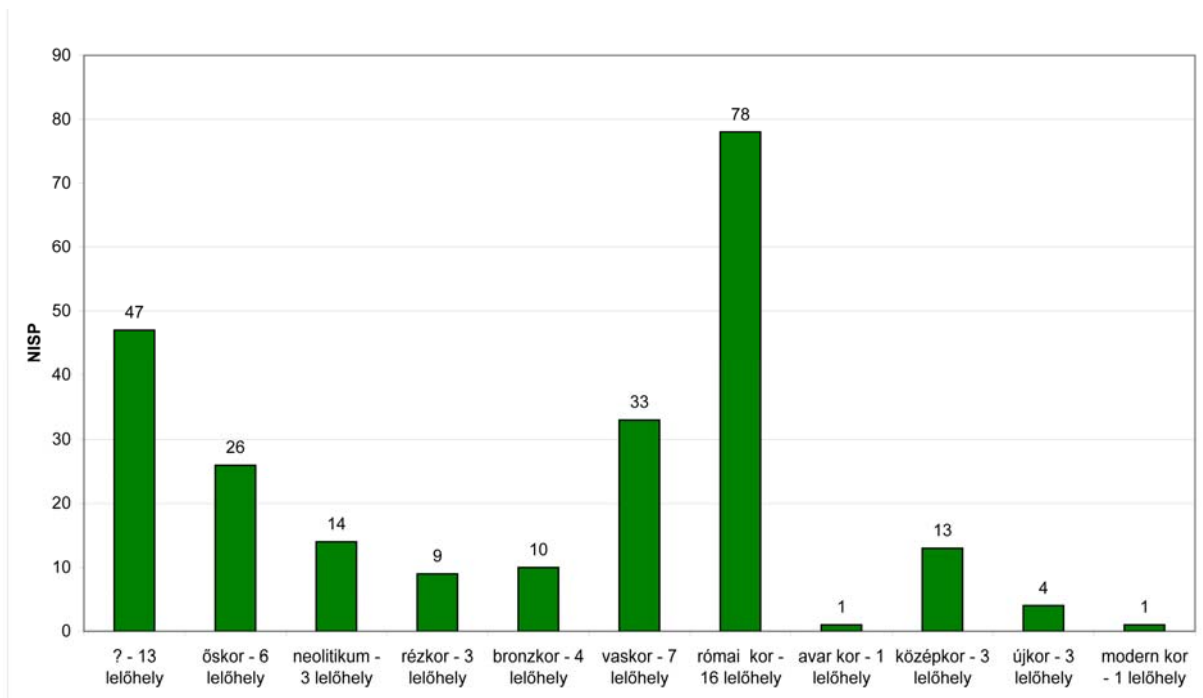
**Fig. 3.:** The archaeological sites of Budapest from this paper which containing hare bones (Illustration: Anna Zsófia Biller)

Gyógyhatást is tulajdonítottak némely nyúlból készült fogásnak, akárcsak a római korban:

„20. Mikor az nyulat elfogták, s fias volt, azokat is megnyúztam, megsütöttem. Az véreből feketelevet csináltam, és az sült alatt adtam. Főve is jók az olyan apró nyúlsüldők. Az nyulat megsütheted, és mozsárban megtörheted. Kappanlével főzd meg, s verd által az szitán: igen jó éték beteg embernek.” (Bornemisza 1680, idézi Lakó 1983, 125.)

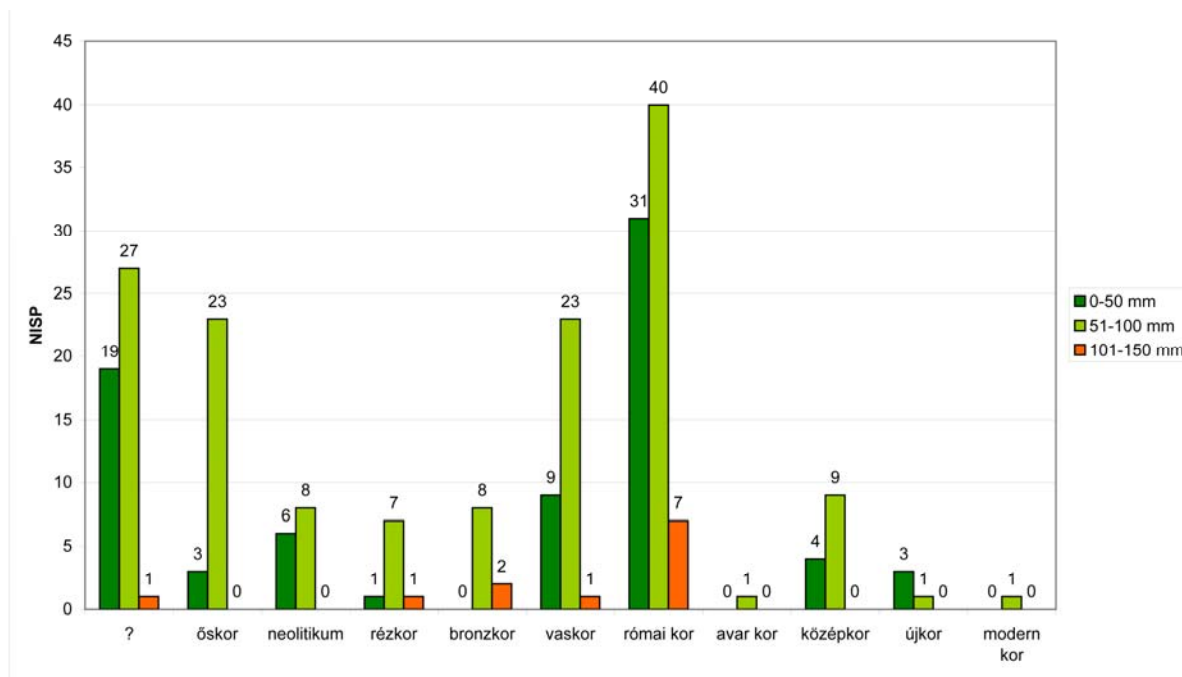
**Budapest nyulai**

Az utóbbi években (1989-2018.) a Budapesti Történeti Múzeum Aquincumi Múzeumának munkatársai által feltárt, és általam archaeozoológiai szempontok szerint is vizsgált számos budapesti lelőhelyek közül 35 feltárásból származtak mezei nyúl maradványok (NISP=236), a középső neolitikumtól (Kr.e. 5. évezred) kezdve egészen az újkorig (**1. táblázat; 3-4. ábra**). Ezek többsége (NISP=78) a római korra keltezhető. A jelen tanulmányban szereplő leletanyagok feldolgozottságuk miatt kerültek a vizsgálat középpontjába, és azon lelőhelyekről származtak, amelyeket a múzeumi munkám során dolgoztam fel, és amelyek tartalmaztak mezei nyúl csontokat. Ezen lelőhelyek egy kivételével a budai oldalon helyezkedtek el.



**4. ábra:** Mezei nyúl csontok Budapest különböző korú régészeti lelőhelyeiről

**Fig. 4.:** European hare remains from different archaeological sites of Budapest



**5. ábra:** Mezei nyúl maradványok töredékossza  
**Fig. 5.:** Length of the hare bone remain fragments



**6. ábra:** Mezei nyúl medence vágásnyomokkal a Budapest III. kerület San Marco utca 66. számú lelőhelyről – SE 03 (Fotó: Biller Anna Zsófia)

**Fig. 6.:** Hare pelvis with cut marks from Budapest District III San Marco Street 66 – SU 03 (Photo: Anna Zsófia Biller)

A nyúlcsontok az állat méretéből adódóan igen apró leletek, könnyen sérülhetnek is a talajban eltöltött idő során. Előkerülésük a vizsgálandó leletanyagokban a régészeti feltárás alapos voltára is utal. A tanulmányban vizsgált budapesti nyúlleletek 64 %-a 51-100 mm közötti mérettartományba esett, 32 %-uk 50 mm alatti, és csupán 5 %-uk volt 101-150 mm közötti (**5. ábra**). A néhány mérhető rövid- ill. hosszúcsont alapján közel hasonló mérettartományba tartozó állatok képe rajzolódik ki, korszakoktól és lelőhelytől függetlenül (**2. táblázat**).

A nyúlcsontok gödrökből, gödörházakból, lakógödrökből, gödörkomplexumokból, hulladékgödrökből, agyagnyerő gödrökből, házból, méhkas alakú gödrökből, műhelygödrökből, rétegből, árokból, planírozásból, útrétegből, fal maradványok közül, kemenceomladékból, rétegekből, betöltésből, beásásból, nyésésből kerültek elő. A maradványok felszínén megfigyelhető tafonómiai folyamatok nyomai (teljes vizsgált mezei nyúl csontanyag 13,6 %-a) főként a talajban eltöltött idő alatt keletkeztek (réz okozta elszíneződés, gyökérnyomok, a talaj kémhatásának roncsoló hatása). Az égésnyomok utalhatnak sütésre-főzésre, a ragadozó okozta rágásnyomok pedig az eltemetés előtt a felszínén eltöltött időre (**3. táblázat**).

Patológiás elváltozás a 236 maradvány közül csupán a III. kerületi Királyok útja 293. lelőhely egy kérdéses korszak besorolású objektumából előkerült orsó- és singsonton volt megfigyelhető, diszlokációs törés és csontburjánzás formájában.

A csontok felszínén nyúzás vagy nagyobb darabokra történő aprítás/ bárdolás nyoma nem volt. Azonban többszöri vagdosás nyomát meg lehetett figyelni egy esetben, a San Marco u. 66. lelőhelyről származó egyik nyúl medence töredékén (SE03 - réteg; **6. ábra**). A feldarabolásra utaló leletek alacsony száma adódhat abból, hogy a nyulat – kisebb testméretéből eredően – akár

egyben is elkészíthették, bár több ízben szerepel például Apicius szakácskönyvében a kicsontozott nyúl is (Orlovsky 2003, 103.). A nyom nélküli filézés akár a magas szintű konyhatechnikában jártasság jele is lehetett. Nyúzás esetén a lábvégek és a fej környékén lehetne esetleg nyoma a bőr eltávolításának, amennyiben mélyebben ható vágásokkal végezték azokat. A nyúzás során azonban csak minimális esetben szabad kést használni, hogy el lehessen kerülni a gerezna sérülését (Tóth 2017, 105.). A legjobb minőségű a téli bundájú nyulak gereznája (Grün 1998, 101.).

**2. táblázat:** Ép mezei nyúl hosszúcsont méretek mm-ben von den Driesch (1976) nyomán

**Table 2.:** Whole European hare longbones measurements in mm (Driesch 1976)

Vágrész	Korszak	Lelőhely	Teljes hossz (GL)	Legnagyobb szélesség (GB)	Prox.szélesség (BP)	Prox.mélység (DP)	Diaph.szélesség (SB)	Diaph.mélység (SD)	Dist.szélesség (DB)	Dist.mélység (DD)
humerus	középső bronzkor	Bp. III. ker. Királyok útja 291.	114		21	23	8	7	14	11
	kora vaskor (Ha)	Harsánylejtő 2012.	111		17	21	7	7	13	10
radius	késő rézkor (Baden)	Bp. XI. ker. Skála	125		10	7	6	4	11	6
metacarpus II	római kor	Beszterce u. 4-6. 2005.	35		5	7	3	3	6	4
femur	római kor	Bp. III. Budaújlak - Lajos u. 71-85. III/10	138		28	13	10	8	22	23
	római kor	Albertfalva - Hunyadi János u. 16.	132		30	13	10	8	21	19
tibia	szarmata	Soroksár 003 Vető-dűlő VII.	91		14	14	6	4	12	7
			91		14	14	6	4	12	7
metatarsus III	római kor	Bp. III. Hunor u. 19. 2016-2017.	58		6	10	5	4	7	6
metatarsus V			52		7	8	4	4	5	5
		Bp. III. San Marco u. 66.	51		9	8	4	4	6	5
metatarsus IV	neolit	M0 D-i szektor, Bp. XXII. Növény utca	57		6	8	4	4	7	6
	középső bronzkor	Bp. III. ker. Királyok útja 291.	59		6	8	4	4	6	6
		Bp. III. ker. Királyok útja 291.	58		5	8	4	3	5	5
	római kor	Bp. III. San Marco u. 66.	58		6	9	5	4	7	6
metatarsus II	modern kor	Bp. III. Beszterce u. 21.	58		6	9	5	5	7	5
astragalus	neolitikum	M0 D-i szektor, Bp. XXII. Növény utca	33	13						
calcaneus	kora vaskor (Ha)	Harsánylejtő 2012.	36							
	római kor	Bp. III. Hunor u. 19. 2016-2017.	35	10						
	római kor	Bp. III. San Marco u. 66.	38	14						

A budapesti lelőhelyekről előkerült mezei nyúl csontok száma egyik lelőhelyen sem haladta meg a 40-et, így valószínű, hogy nem lehetett még a római korban sem nagyon házkörüli tartásukról beszélni, hanem inkább vadászat révén juthattak nyúlhúshoz. A maradványok testrégiókénti megoszlása az egyes korszakokban (7. ábra), de lelőhelyenként tekintve is (8. ábra), és hogy a húsból gazdag testrégiókból származó csontok száma volt a legmagasabb, jól szemlélteti, hogy elsődlegesen húsból vadászták vagy ölték le őket. A szárazvégtagok és a fejtájéki csontok előkerülése utalhat a prémhasznosításra a bőrben maradó csontok jelenléte révén. A húsból szegény régiókat képviselő apró kéz- illetve lábtőcsontok, valamint az ujjpercek előkerülésének esélye iszapolás nélkül igen csekély.

Az életkor meghatározására alkalmas maradványok eloszlás alapján a kifejlett állatok maradványainak száma volt általában több, a vaskor kivételével, ahol a fiatalabb egyedek csontjai kerültek elő nagyobb számban (4. táblázat). Ugyanakkor fontos szem előtt tartani, hogy a nyulak korának és nemének meghatározása igen nehéz. A nemek közötti méretkülönbség nem jelentős, bár előfordul, hogy a nőstények valamivel nagyobbak (Bartosiewicz et al. 2013, 81.). A hosszúcsontok csontvégei (*epiphysisei*) aránylag korán, négy hónapos koruk előtt összezsugorodnak (Bartosiewicz et al. 2013, 80.), így elképzelhető, hogy az életkor táblázatban szereplő *adultus* oszlop maradványai között is szerepelt esetleg *subadultus* korú egyed maradványa.

### 3. táblázat: A nyúlcsontok felületén megfigyelhető elváltozások

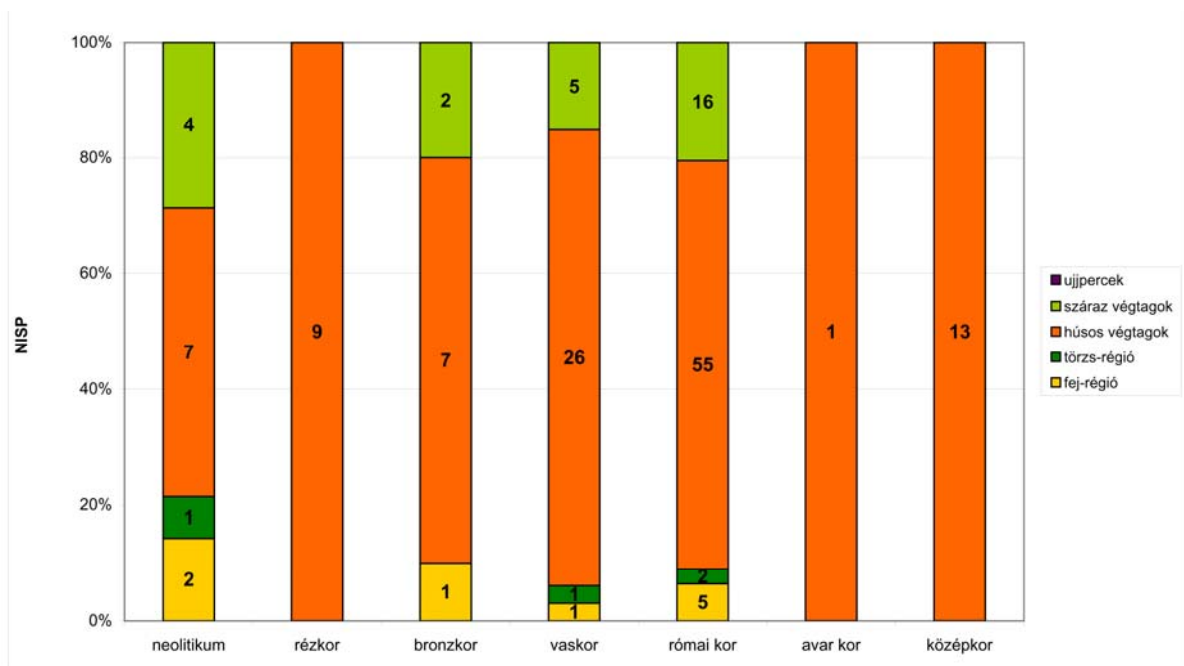
**Table 3.: Taphonomic, pathological modification and traces of manufacturing on the surface of hare bones**

	?	őskor	neolitikum	középső bronzkor (Vatya)	kora vaskor (Ha)	késő vaskor	római kor	római kor (2-3. század)	szarmata	késő római	középkor	újkor	modern kor	Összesen
<b>Erózió/Tafonómia</b>														
égett					1									1
barnára égett							5							5
rágás (húsevő)						1		1						3
réz okozta elszíneződés								1						1
kevés gyökérmnyom	4		1				4	1	1		2		1	14
sok gyökérmnyom	2						2			2		1		7
savas talaj							1							1
<i>Összes elváltozás</i>	7		1		1	1	9	3	1	2	2	1	1	32
<b>Patológias elváltozás</b>														
csontburjánzás	2													
<b>Feldolgozás nyomai</b>														
vágás							1							1
megmunkálás - ár			1											1
megmunkálás - amulett		2		1										3

**4. táblázat:** A mezei nyúl maradványok életkor szerinti eloszlása

**Table 4.:** Age distribution of the hare bone remains

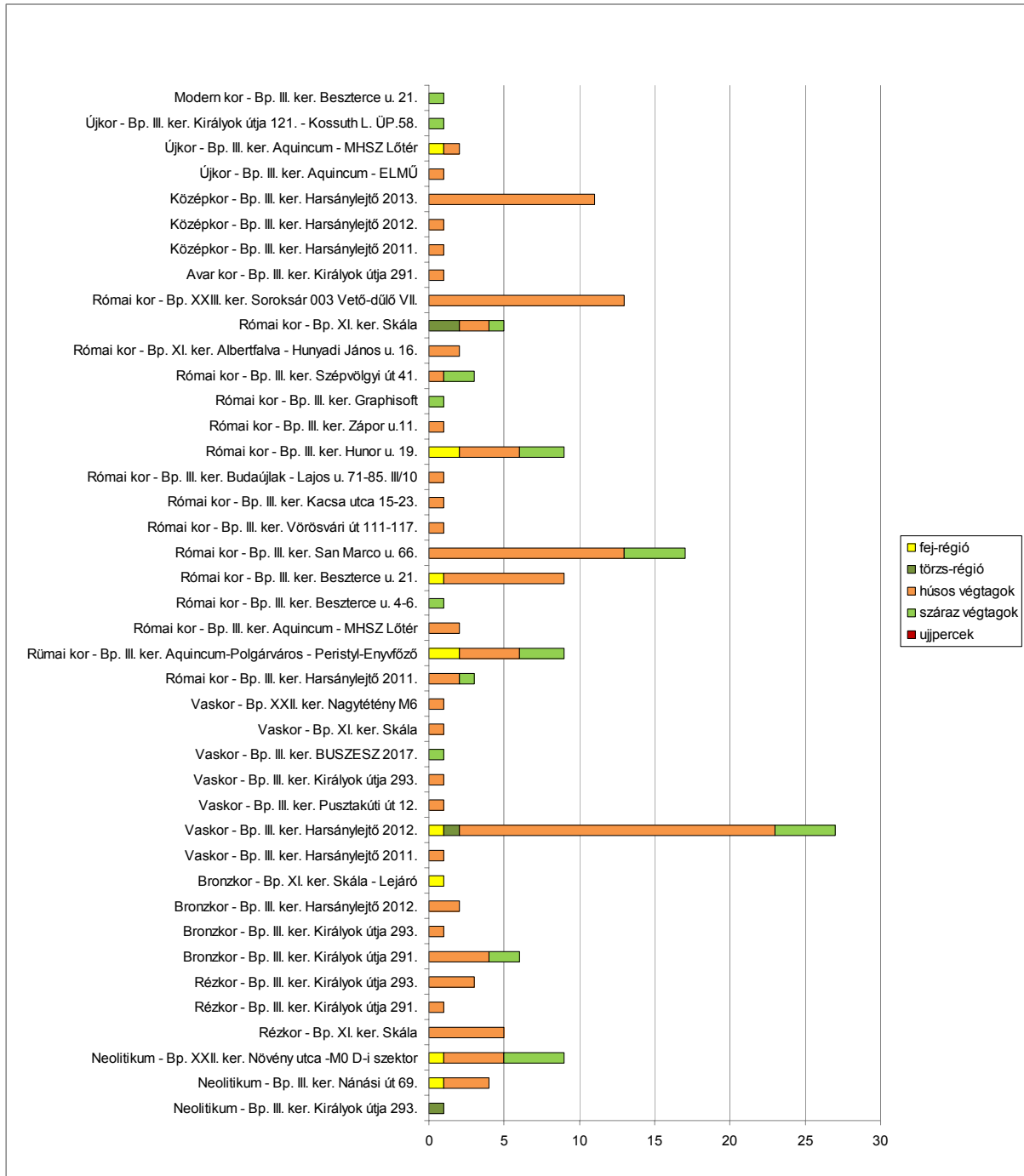
	foetus	neonatus	juvenilis	subadultus	adultus	maturus	kérdéses
neolitikum	0	0	2	1	0	0	11
rézkor	0	0	0	0	5	0	4
bronzkor	0	0	0	0	6	0	4
vaskor	0	0	20	0	6	0	7
római kor	0	0	3	11	31	0	33
avar kor	0	0	0	0	0	0	1
középkor	0	0	1	0	5	0	7



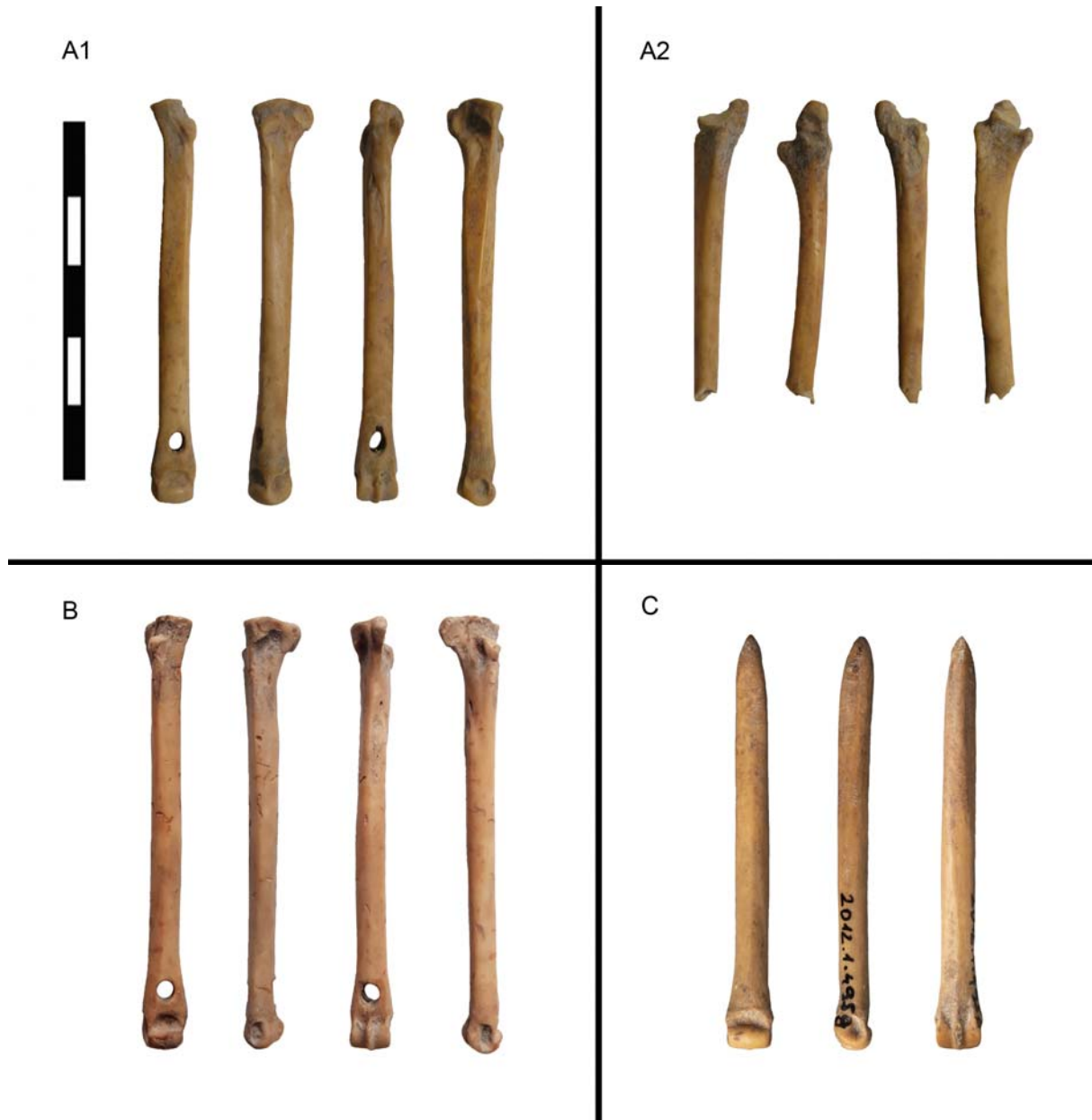
**7. ábra:** A mezei nyúl maradványok testrészei szerinti eloszlása az egyes korszakokban

**Fig. 7.:** Body part distribution of the European hare remains in the different archaeological ages





**8. ábra:** Budapesti lelőhelyek mezei nyulainak testrégiók szerinti megoszlása az egyes korszakokban  
**Fig. 8.:** Body part distribution of European hare from some archaeological sites of Budapest



**9. ábra:** A: A1: Függő mezei nyúl IV. lábközépcsontjából Budapest III. kerület BUSZESZ 2017. lelőhelyről – SE 1067; A2: Törött függő mezei nyúl V. lábközépcsontja Budapest III. kerület BUSZESZ 2017. lelőhelyről – SE 1067 (Fotó: Biller Anna Zsófia). B: Függő mezei nyúl IV. lábközépcsontjából Budapest III. kerület Királyok útja 291. lelőhelyről – 22. objektum (Fotó: Biller Anna Zsófia). C: Ár mezei nyúl metapodiumból Budapest XXII. kerület Növény utcai feltárásból – 1056. objektum (Fotó: Szilágyi Nóra)

**Fig. 9.:** A: A1: Pendant made from European hare metatarsal IV from Budapest, District III BUSZESZ 2017. – SU 1067; A2: Broken pendant made from European hare metatarsal V from Budapest, District III BUSZESZ 2017. – SU 1067 (Photo: Anna Zsófia Biller). B: Pendant made from European hare metatarsal IV from Budapest, District III Királyok Street 291 – SU 22 (Photo: Anna Zsófia Biller). C: Awl carved from European hare metapodium from Budapest, District XXII – SU 1056 (Photo: Nóra Szilágyi)

A nyúl kéz- illetve lábközép csontokat, azon belül is a lábközépcsontokat (*metatarsusokat*) előfordult, hogy eszközök alapanyagául használták. Készítettek belőlük amuletteket vagy függőket, valamint árat. A függők készítésének szokása a bronzkorban és a népvándorlás korban egyaránt fellelhető. A középső bronzkori Vátya kultúra egyik

jellemző tárgyai voltak a distalis epiphysisük felett dorso-plantarisan átfúrt nyúl (és kutya) metapodiumok például Százhalombatta-Földváron (Choyke et al. 2004, 187.), vagy a Budapesttől délkeletre fekvő Kakucs-Turján lelőhelyen is (Gál 2018, 124-125.). Hasonló módon átfúrt kisemlős lábközépcsont függők kerültek elő avar kori

sírokból is, például Kiskörös-Vágóhíd lelőhely LXXIV. sírjából egy kislány csipőcsontja mellől. Az utóbbi lelet arra utal, hogy a nyolc felfűzött mezei nyúl lábközépcsontról egy derékon hordott tarsolyban lehetett. Valamint Alattyán-Tulát 161. számú női sírjából, ahol kutyafele metapodiumokkal vegyítve fordultak elő nyúl metapodiumok, valószínű nyakláncként felfűzve. A mancsokból származó apró csontok a nyúl feldarabolásakor félreterelhetők lehettek eszközkészítés céljából, bár lehúsolás nyomai nem látszódnak se a párhuzamként bemutatott, se a budapesti lelőhelyekről előkerült maradványokon. Lehetséges az is, hogy az állatnak tulajdonított speciális jelentéstöbblet miatt (ami adódhat a gyorsaságából, szaporaságából, termékenységhöz kapcsolódásából, közvetítő szerepéből ember és túlvilág, vagy ember és ember között) akár kifejezetten amulett készítés céljából ölték le, áldozták fel az állatokat. Érdekes kérdés az is, hogy abban az esetben, ha több függő kerül elő egyszerre egy helyen, akkor az ehhez szükséges csontmennyiséget vajon egyszeri leölés alkalmával halmozták-e fel, vagy többszöri, tudatos gyűjtés eredményei (Bartosiewicz et al. 2014, 325-332.).

A Bp. III. kerület – BUSZESZ 2017-es ásatásából (SE 1067,2 - gödör) származó ép nyúl IV. (méretei: 56x9x4x7 mm) és törött V. metatarsus (méretei: 8x4 mm) egyazon egyed maradványai lehettek (**9. ábra A1-2**). Bár csupán annyi tudható róluk, hogy egy őskori gödörből származtak, párhuzamaik alapján valószínű, hogy a középső bronzkorra keltezhetők. A IV. metatarsus distalis epiphysise felett dorso-plantárisan kialakított 3 mm átmérőjű furatának szélének – valószínű fonal okozta – kopottsága, és a felszínének fényessége alapján hosszabb ideig lehetett felfüggesztve használva. Kísérleti régészeti eredmények alapján úgy tűnik, hogy viselés során először csak a felszín fényesedik fel, majd csak évek múlásával következik be a furatok kikopása (Bartosiewicz et al. 2014, 329.). A törött V. metatarsus felülete is fényes volt, és mintha a törési felületnél lyuk íve látszódná. Feltételezhető a két csont összetartozása, egy függőként alkalmazása. A Bp. III. kerület – Királyok útja 291. lelőhely középső bronzkori gödréből (22/1. objektum) származó függő szintén IV. metatarsusból (méretei: 58x8x3 mm) készült. Felülete igen fényes, de a distalis epiphysis feletti dorso-plantárisan átfúrt 2 mm átmérőjű lyuk pereme még kevéssé kopott, és látszik, hogy valószínű kőeszközzel alakították ki (**9. ábra B**). A XXII. kerületi Növény utcai feltárásból (1056. objektum - gödör) egy metatarsusból készült ár (méretei: 58x7x5 mm) került elő, melynek diaphysisének proximalis fele lekerekített, tompa hegyben végződik. A diaphysis keresztmetszetében szögletesre csiszolt (**9. ábra C**).

## Következtetések

A hazai archaeozoológiai leletanyagban a nyúlfélék közül egészen a középkorig mezei nyúllal számolhatunk. A mezei nyúl csontok száma általában kevés az egyes régészeti lelőhelyeken, ahogy a vizsgált 35 leletanyag esetében is, de aránylag rendszeresen jelentek meg minden régészeti korszakban, és mindenféle objektum típusban megtalálhatók voltak. A mezei nyúl maradványok alacsony száma a vadászatukat feltételezi, s nem ház körüli tartásukat. Az őskorban, amikor a vadászat még jelentősebb szerepet töltött be az ételmezésben, a nyúlhús kiegészítő táplálék lehetett, míg a későbbi korszakokban a vadászat egyre inkább az úri elfoglaltságok körébe került.

A vizsgált budapesti nyúlmaradványok méretükből adódóan hasonló testméretű állatokra utalnak minden régészeti korszakban. A maradványok felszínén főként a talajban eltöltött idő nyomai voltak megfigyelhetőek, patológiás elváltozás alig. Darabolásra utaló nyomok száma egy esetben volt megfigyelhető, ami eredhet abból, hogy a kisebb testű nyulakat egyben készítették el, vagy az izületek mentén bontották szét őket. A nyulak hasznosítása igen széleskörű volt már a régészeti korokban is: az étkezésem túl csonteszközök, gyógyhatású készítmények, ruhaneműk alapanyagául szolgáltak, valamint figurális ábrázolások ihletői is voltak.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton is köszönöm Bartosiewicz Lászlónak (Stockholm University) és Gál Erikának (BTK Régészeti Intézet) a hasznos irodalom ajánlásokat, Bárány Annamáriának (Magyar Nemzeti Múzeum), aki szakmai és fordításbeli észrevételekkel látott el. Vámos Péternek (BTM Aquincumi Múzeum), aki hozzájárult a San Marco utcai nyúl alakú fibula rövid bemutatásához, valamint Szilágyi Nórának (BTM Aquincumi Múzeum), aki egyik – nyúl metatarsusból készült ár – tárgyfotóját rendelkezésemre bocsátotta.

## Irodalom

- AUER, K. (1977): STRABÓN: Geographika. Szerk.: Auer Kálmán, ford.: Dr. Földy József, lektor: Dr. Balázs János. *Gondolat Könyvkiadó*, Budapest. III.2.6. 175-176.
- BARTOSIEWICZ, L. (2006): Régen volt háziállatok. Bevezetés a régészeti állattanba. *Bibliotheca Archeologica*, L'Harmattan Kiadó, Budapest 124-130.
- BARTOSIEWICZ, L.; KOVÁCS ZS. E. & FARKAS, B. (2013): Pass the skeleton key... Animals in an Early Copper Age inhumation burial from Pusztataksony-Ledence I, Hungary. In:

- STARNINI, E. ed., Unconformist Archaeology. Papers in honour of Paolo Biagi. *BAR International Series* **2528** 77–88.
- BARTOSIEWICZ, L.; BILLER, A. Zs. & CHOYKE, A. (2014): Középvár nyúlláb függők a Magyar Nemzeti Múzeum Gyűjteményéből. In: ANDERS, A.; BALOGH, Cs. & TÜRK, A. eds., *Avarok Pusztái – Avarum Solitudines*. Martin Opitz Kiadó, Budapest. *Opitz Archaeologica* **6** MTA BTK MÖT Kiadványok 2. 325–335.
- BÖKÖNYI, S. (1974): History of Domestic Mammals in Central and Eastern Europe. *Akadémiai Kiadó*, Budapest 335.
- CALLOU, C. (1997): Diagnose différentielle des principaux éléments squelettiques du lapin (genre *Oryctolagus*) et du Lièvre (genre *Lepus*), en Europe occidentale. In: *Fiches D'Ostéologie Animale Pour L'Archéologie*. Série B: Mammifères. Valbonne-Sophia Antipolis 3–20.
- CHOYKE et al. (2004): Levels of social identity expressed in the refuse and worked bone from Middle Bronze Age Százhalombatta-Földvár, Vátya culture, Hungary. In: O'DAY, S. J.; ERVYNCK, A. & van NEER, S. W. eds., *Behaviour behind bones: The Zooarchaeology of Ritual, Religion, Status and Identity*. Oxford 177–189.
- DRIESCH, VON DEN A. (1976): Das Vermessen von Tierknochen aus vor- und frühgeschichtliche Siedlungen. Institut für Paläoanatomie, Domestikationsforschung und Geschichte der Tiermedizin der Universität München, München.
- DURANTE, P. (2008): A vadászat enciklopédiája. *Alexandra Kiadó*, Pécs 287-311.
- GÁL, E. (2018): Preliminary results concerning the Middle Brone Age (Vátya culture) bone tools from Kakucs-Turján, Central Hungary. In: JAEGER, M.; KULCSÁR, G.; TAYLOR, N. & STANIUK, R. eds., *Kakucs-Turján, a Middle Bronze Age multi-layered fortified settlement in Central Hungary. Studien zur Archäologie in Ostmitteleuropa / Studia nad Pradziejami Europy Środkowej* **18** 119–136.
- GRÜN, P. (1998): A házinyúl. Háztáji állattartás. *Hogyl Editio Kiadó*, Budapest 101.
- IRVING-PEASE, E.K.; LAURENT, L.A.F.; SYKES, N.; CALLOU, C. & LARSON, G. (2018): Rabbits and the specious origins of domestication. *Trends in Ecology & Evolution. March 2018*, **33/3** 149–152. Kiegészítő cikk: Supplementary Material. Online verzió: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.12.009>.
- JONES, E. L. (2006): Prey choice, mass collecting, and the wild European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Journal of Anthropological Archaeology* **25** 275–289.
- FARAGÓ, S. (2007): Vadászati állattan. *Mezőgazda Kiadó*, Budapest, 250-262.
- FARAGÓ, S. (2009): Magyar vadász enciklopédia. *Totem Kiadó*, Budapest, 202.; 479-480.
- GÉCZY, B. (1993): Ősállattan. Vertebrata paleontologia. *Tankönyvkiadó*, Budapest, 345-346.
- HOFFMANN, ZS. (2013): C. PLINIUS Secundus: Naturalis Historia. Természetráj XXVIII-XXXII. könyv – Orvosságok állatokból. *Quintus Kiadó*, Szeged MMXIII. 41-62.
- LAKÓ, E. (1983): Bornemisza Anna szakácskönyve 1680-ból. *Kriterion Könyvkiadó*, Bukarest 123-125.
- MATOLCSI, J. (1975): A háziállatok eredete. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest, 197.; 198-199.
- MORTON, D. B. (2006): A nyulak és a rágcsálók viselkedése. In: JENSEN, P. szerk., *A háziállatok etológiája. Mezőgazda Kiadó*, Budapest, 145.
- ORLOVSZKY, G. (2003): Marcus Gavius Apicius: Szakácskönyv a római korból. ORLOVSZKY G. szerk., *Enciklopédia Kiadó*, Budapest 47-103.
- PEARSON, B. & BURTON, J. A. (1986): Emlősállatok. *Gondolat Kiadó*, Budapest 53.
- PELLETIER, M.; COCHARD, D; BOUDADI-MALIGNE, M.; CROCHET J.-Y.; BOURGUIGNON, L. (2015): Lower Pleistocene leporids (Lagomorpha, Mammalia) in Western Europe: New data from the Bois-de-Riquet (Lézignan-la-Cèbe, Hérault, France). *Comptes Rendus Palevol 2015. 1–15*. Online verzió: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crpv.2015.03.009>
- STOHL, G. (1981): Emlős háziállatok. Budapest, Akadémiai Kiadó. *Fauna Hungariae* **XII/5** 115.
- SYKES, N. (2020): Brown hares and chickens were treated as “gods” not food when they arrived in Britain, research shows. Online: [http://www.exeter.ac.uk/news/research/title\\_78759\\_0\\_en.html](http://www.exeter.ac.uk/news/research/title_78759_0_en.html) (utolsó megtekintés: 2020.05.18.)
- TÓTH, Zs. (2017): A magyar óriásnyúl. *L'Harmattan Kiadó*, Budapest 18-22.; 105-113.

# THE EFFECT OF ANTHROPOGENIC ACTIONS ON THE WEATHERING OF POROUS BUILDING STONES – EXAMPLES FROM THE AUSTRIAN CONSERVATION PRACTICE\*

## EMBERI TÉNYEZŐK PORÓZUS ÉPÍTŐKÖVEKRE GYAKOROLT HATÁSA – PÉLDÁK AZ OSZTRÁK RESTAURÁTORI GYAKORLATBÓL

Farkas PINTÉR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Scientific Laboratory, Federal Monuments Authority Austria, Arsenal 15/4, A-1030 Vienna, Austria

E-mail: [farkas.pinter@bda.gv.at](mailto:farkas.pinter@bda.gv.at)

### Abstract

*Constantly changing environmental conditions, along with anthropogenic impacts result in new problems regarding the conservation of building stones. Based on examples from Austria, the present paper introduces the influence of mineral composition and microstructure, as well as the effect of environmental and anthropogenic parameters on the alteration of porous building stones. Although the weathering behaviour of stones is primarily determined by natural factors, the results showed that the effect of not properly conducted maintenance and conservation activities may also accelerate or even induce weathering. Examples concerning inadequate stone consolidation methods, inaccurate application of cement-based building materials, the removal of sacrificial layers and the ill-considered use of water repellent treatments are discussed. The results based on different methods of microscopy showed that the above-mentioned interventions may increase the damaging potential of freeze-thaw cycles, hygric and thermal dilatation and salt-induced corrosion. Consequently, instead of general, long-term solutions regular monitoring and fast interventions are key parameters to preserve cultural heritage in the future.*

### Kivonat

*A folyamatosan változó környezeti paraméterek és antropogén tényezők hatásának együttes következményeként új problémák jelentek meg az építőkövek állagmegőrzésében. Jelen tanulmány az ásványos összetétel, mikroszerkezet, valamint a környezeti és emberi tényezők porózus építőkövek károsodására gyakorolt hatását mutatja be ausztriai példák alapján. Habár a kőzetek mállását elsősorban természetes tényezők irányítják, a tapasztalatok azt mutatják, hogy a nem megfelelően kivitelezett restaurálási és karbantartási munkálatok szintén felgyorsíthatják, vagy akár maguk is előidézhetik a károsodásokat. A károsodási jelenségeket a nem megfelelően kivitelezett kőszilárdítás, a cementes építőanyagok helytelen használata, az áldozati rétegek eltávolítása és a hibásan alkalmazott hidrofób kezelés témaköreiből vett példák segítségével mutatjuk be. Mikroszkópos vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a fenti tevékenységek növelhetik a fagyáskár, a hőmérséklet vagy nedvesség hatására fellépő dilatáció, valamint a sókiválás okozta korrózió károsító hatásait. Következésképpen, az általános és hosszútávú megoldások helyett a folyamatos monitorozás és a gyors beavatkozás elengedhetetlen feltételei kulturális örökségünk jövőbeni eredményes megővésének.*

KEYWORDS: STONE WEATHERING, MICROSTRUCTURE, FLAKING, DAMAGING SALT, MICROSCOPY

KULCSSZAVAK: KÖZETMÁLLÁS, MIKROSZERKEZET, LEVELES ELVÁLÁS, KÁROSÍTÓ SÓ, MIKROSKÓPIA

### Introduction

Natural stone has been one of the oldest and most frequently used building materials of mankind. The large variety of stones allowed numerous architectural applications and sculptural works all over the world forming a significant part of our cultural heritage.

After quarrying, an exposed stone surface comes to imbalance with its environment; chemo-physical processes start up and the stone slowly begins to weather. As a consequence, secondary products may form, the stone disintegrates on a micro- and later also on a macroscopic level, or its surface gets stained.

\* How to cite this paper: PINTÉR, F., (2020): The effect of anthropogenic actions on the weathering of porous building stones – examples from the Austrian conservation practice, *Archeometriai Műhely* XVII/3 303-316.

The rate and way of weathering is first and foremost related to the mineralogical composition, micro- and macrostructure of the stone and external factors (e.g. climatic parameters, air quality, exposure, etc. ICOMOS-ISCS 2008). In this relation, urban areas have a significantly higher impact on the rate of weathering, compared to the less inhabited regions. Therefore, the anthropogenic impact on building stones became one of the most significant damaging factors in the last century and was extensively discussed by several authors (e.g. Weber et al. 1984, Siegesmund & Ruedrich 2011). On the other hand, due to strict environmental regulations the emission of exhaust gases (mainly SO<sub>2</sub>) has also significantly decreased in the last decades (EEA 2016). Consequently, the formation of some secondary products such as gypsum crusts, being one of the most frequently observed stone decay phenomena in the 20<sup>th</sup> century, almost entirely disappeared in the last decades. Nevertheless, secondary sulphates, originating from other sources (e.g. construction materials, soil solutions, etc.) are still meaningful factors in stone deterioration even if the damaging role of sulphur oxides in the air was partly taken over by NO<sub>x</sub> (EEA 2016), favouring the formation of nitrate salts in mineral building materials.

Additionally, our built cultural heritage is also facing new challenges worldwide. Impacts of the global climate change (Adams 2008) on monuments are already traceable and their effects will, in the future, increasingly influence the condition and state of preservation of historical buildings and sculptures. Therefore, in order to obtain reliable and sustainable solutions for problems and processes related to stone alteration, consistent research and interdisciplinary co-operation are of outmost importance.

In Austria approx. 200 different types of rocks, predominantly of sedimentary and metamorphic origin, were used as building stones in the last two millennia. Some of the raw materials have been quarried since Roman times and many were used in the 19<sup>th</sup> and early 20<sup>th</sup> centuries in the former Austro-Hungarian Empire, or shipped abroad (Huber & Stingl 2014). A large number of these stones is thus characteristic for different regions and shapes the appearance of the so-called architectural landscapes (Huber & Stingl 2014).

Due to the rich Austrian cultural heritage (i.e. more than 35.000 listed monuments) investigation of building stone decay has a long tradition in the country (e.g. Kieslinger 1932, Weber et al. 1984, Rohatsch 2005a). Additionally, the know-how

resulting from the scientific investigation and restoration of a large number of monuments since the post-war period allows for a better understanding of the advantages and disadvantages of different conservation techniques. Based on this experience the research of the weathering of building stones in Austria started to focus in the past 15 years on types of damage resulting from the application of incompatible building materials, coatings, or the inadequate use of conservations techniques (Nimmrichter 2007). This paper aims to present some characteristic examples of various porous building stones of sedimentary origin, sampled from historical monuments in East Austria and to demonstrate how mineral composition, microstructure and environmental impacts, along with the anthropogenic factors, contribute to their degradation.

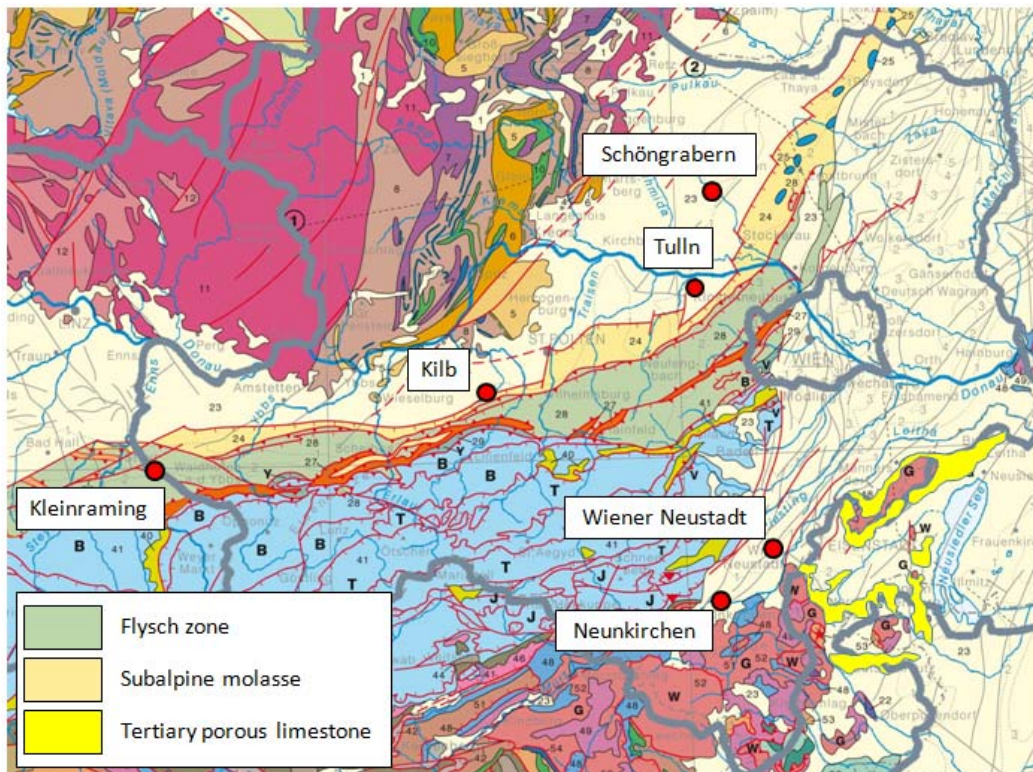
### ***Sampling and methods***

The presented samples (**Table 1.**) were selected from six sacral objects situating in East Austria (**Fig. 1.**) and investigated in the frame of interdisciplinary conservation projects under the supervision of the Federal Monuments Authority Austria between 2013 and 2019. After sampling, all samples were dried and embedded in epoxy resin. Depending on the size of the samples thin or polished sections were prepared and analyzed by polarized light (Zeiss AXIOScope A1) and/or scanning electron microscopy (SEM, Zeiss EVO15, acceleration voltage 20 kV). Spot analyses and element mappings in the SEM were executed with an energy dispersive X-ray spectrometer (EDS, Bruker Quantax XFlash, Bruker Esprit software). Observations regarding the water repellent property were performed after Wendler (2011); micrographs were taken by a Leica DFC420 stereo microscope.

### ***Results and discussion***

#### **Weathering processes of flysch and molasse sandstone**

Most sandstone types of great historical importance, used at construction works in the north-eastern part of Austria, belong to the Rhenodanubian Flysch Zone (RFZ). The zone is situated in the northern foreland of the Northern Calcareous Alps (**Fig. 1.**) and composed mainly of siliciclastic sediments (i.e. claystone, sandstone, conglomerate) produced by subaquatic sediment gravity flows, the so-called turbidites (Tollmann 1980, Schwaighofer 2003).



**Fig. 1.:** The geological setting of Northeast Austria and the sampling sites of this study (modified after Egger et al. 1999)  
**1. ábra:** Északkelet-Ausztria geológiai felépítése a mintavételi helyek megjelölésével (Egger et al. 1999 után módosítva)

**Table 1.:** Sampling sites and petrographic characteristics of the samples (q: quartz, fsp: feldspars)

**1. táblázat:** Mintavételi helyek és a minták közettani jellemzői (q: kvarz, fsp: földpátok)

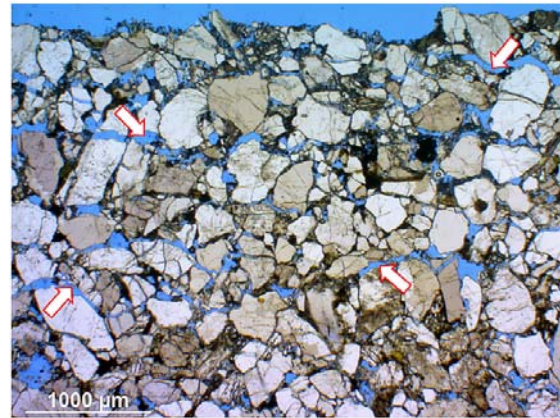
Sample	Origin	Object / Position / Sample	Stone type
KR	Kleinraming, Upper Austria	Parish church / belfry, buttress / stone slab	<i>grain supported subarkose</i> (q>>fsp>mica + rock fragments in traces; coarse secondary calcite cement >5%)
TU	Tulln, Lower Austria	Ossuary / north façade / stone ashlar	<i>grain supported subarkose</i> (q>>fsp>mica + rock fragments in traces, opaque minerals [pyrite, limonite]; coarse secondary calcite cement in traces)
SG	Schöngrabern, Lower Austria	Parish church / south façade, footing / stone ashlar	<i>grain to matrix supported subarkose</i> (q>>fsp>mica; coarse secondary dolomite cement >10%)
KB	Kilb, Lower Austria	Parish church / spire / stone ashlar	<i>grain supported subarkose</i> (q>>fsp>mica + rock fragments in traces; coarse secondary calcite cement ~5%)
WN	Wiener Neustadt, Lower Austria	Sacral column / pinnacle / stone slab	well-sorted <i>biocalcarenite</i> , grainstone with low amount (<2%) of siliciclastic detritus. Fossil content: mainly calcareous algae and foraminifers
NK	Neunkirchen, Lower Austria	Holy Trinity column / stone figure	

Different types of sandstone have been excavated for centuries in this region, especially in Land Salzburg, Upper and Lower Austria, but some of the most important former quarries are situated in the Wienerwald (Vienna Woods) near the capital. Archaeological excavations revealed that the so-called “Wienerwald Sandstone” was already used by the Romans nevertheless the opening of the large sandstone quarries was related to the extensive construction activities in Vienna in the late 19<sup>th</sup> century (Huber & Stingl 2014). Other historically relevant types of sandstone can be found in the Molasse Zone north of the RFZ (Fig. 1.). While molasse sandstone was also used at the construction of several historical buildings in the northern and central part of Austria, due to its limited surface occurrences and often poorer quality, it only had an ancillary importance compared to the flysch type (Huber & Stingl 2014, Rohatsch 2005b). Molasse sandstone was predominantly quarried in Vorarlberg (the so-called Bregenzerwald glauconite sandstone) and in a few places in the foreland of the Northern Calcareous Alps in Land Salzburg, as well as in Upper and Lower Austria (Rohatsch 2005b, Huber & Stingl 2014).

The flysch and molasse sandstone types in this study are medium to coarse-grained, moderately to well-sorted and mostly grain supported subarkose (Fig. 2.), in the case of some molasse types they have partly matrix supported microstructure (Fig. 3., Table 1.). Besides the main components (quartz, alkali feldspars and a few siliceous rock fragments), muscovite/biotite mica and opaque minerals (pyrite, iron-oxide, etc.) are minor but characteristic constituents. Except for the Wienerwald Sandstone (sample TU), where non-swelling clay minerals were also observed in minor amounts, all investigated types are free of fine-grained matrix components. Sparitic calcite or dolomite cement of secondary origin was found in each sample in variable quantities (~1 to 10%). The total porosity of the different types varies between 5 and 14%. Weathering phenomena mostly occur as flaking and scaling, parallel or sub-parallel to the surface. In some cases a granular surface disintegration was also observed.

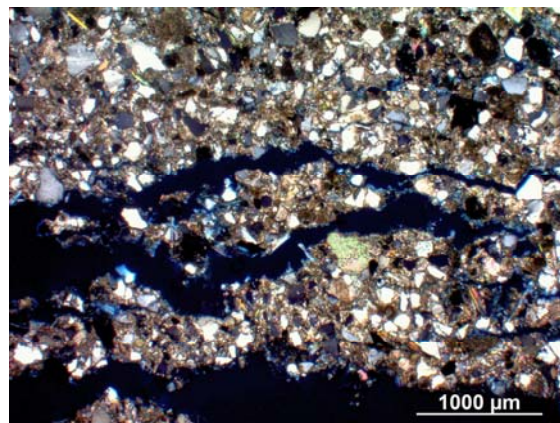
#### The effect of freeze-thaw disintegration along mica flakes - sample KR, Kleinraming

In the sample KR a disintegrated zone was observed in a depth of 2 to 4 mm characterized by a crack system running sub-parallel to the outer surface. This crack pattern can indicate various degradation processes such as freeze-thaw cycles, salt degradation, or hygric/thermal dilatation.



**Fig. 2.:** Characteristic textural appearance of flysch sandstone (subarkose) from Lower Austria (sample TU, 1N). Arrows show microcracks formed due to weathering processes.

**2. ábra:** Alsó-ausztriai flis homokkő (szubarkóza) jellegzetes szöveti képe (minta TU, 1N). A nyilak a mállás során kialakult mikrorepedéseket jelölik.

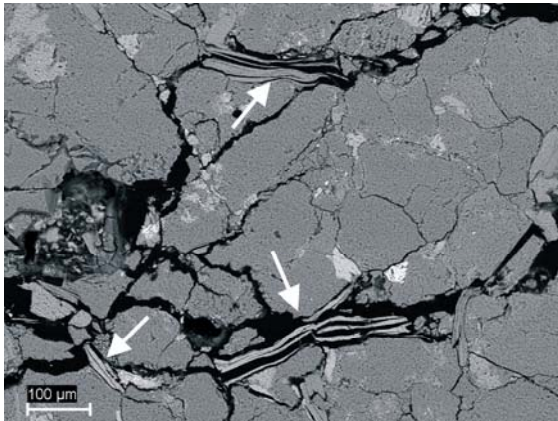


**Fig. 3.:** Characteristic textural appearance of molasse sandstone (subarkose) with large amount of secondary sparitic dolomite cement (sample SG, Lower Austria, +N).

**3. ábra:** Alsó-ausztriai molassz homokkő (szubarkóza) jellegzetes szöveti képe nagy mennyiségű másodlagos dolomitcementtel (minta SG, +N).

While the existence of damaging salts in the cracks could be excluded as a reason for the damage (Pintér 2018), sheet silicates (i.e. muscovite mica) exhibiting flaking lamellae were frequently observed in or in the vicinity of microcracks (Fig. 4.).





**Fig. 4.:** Formation of microcracks in the vicinity of mica lamellae (arrows) due to freeze-thaw damage (sample KR, SEM-BSD).

**4. ábra:** Csillámok (nyilak) környezetében fagyási károsodás hatására kialakult mikropedések (KR minta, SEM-BSD)

Consequently, the observed degradation pattern was clearly ascribed to physical processes, where no salt crystallization took place. Fine-grained flysch sandstones frequently show high affinity for hygric dilatation, a result of a certain amount of swelling clay minerals (Rohatsch 2003, Ban 2014), but in the present sample only mica was observed, thus the role of swelling clay minerals could also be excluded.

Based on the combined investigation of damaged samples and a local inspection at the object, it can be stated that the reason for the damage was a consequence of incorrect water draining on the façade and subsequent freeze-thaw cycles. The role of infiltrating water was also suggested by a thin calcium carbonate precipitation layer on the surface of the investigated stone slab.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  leached from cement-based joint mortars in the vicinity of the investigated slab and precipitated and carbonated on the stone's surface also suggests the intensive impact of moisture on the façade where the damage was observed. Finally, intergranular microcracks indicate the relatively weak bounds between the sandstone grains, where mica grains acted as additional weak zones in the stone texture in two different ways. First, the weak bounds between the mica lamellae may favour the formation of cracks due to higher capillary suction compared to their vicinity and, secondly, highly acute mica wedges can be effective nucleation sites for ice crystallization (Campbell et al. 2017). Therefore, microporosity conducted the moisture from the surface into the stone's interior, where, predominantly in the vicinity of mica crystals, due to freeze-thaw attack crystallization pressure provoked the formation of microcracks and thus the loosening of the stone's structure.



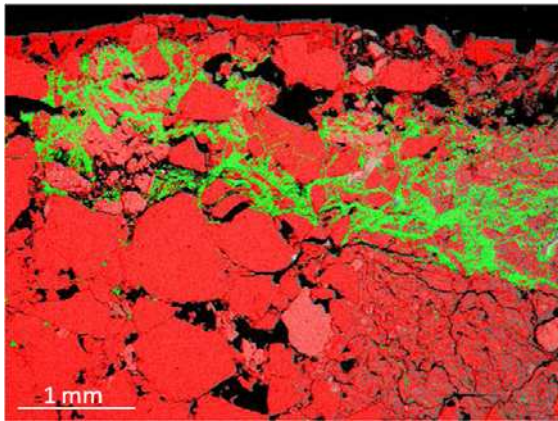
**Fig. 5.:** Characteristic weathering pattern, granular surface disintegration and back weathering of the Wienerwald (flysch) Sandstone on the north façade of the Ossuary in Tulln, Lower Austria (picture courtesy J. Nimmrichter).

**5. ábra:** A Wienerwald (flis) Homokkő jellegzetes mállási képe (felületi szemcsekipergés és anyagvesztés) a tullni Csontház északi homlokzatán (kép: J. Nimmrichter)

#### Effects of permanent moisture and repeated consolidation treatments – sample TU, Tulln

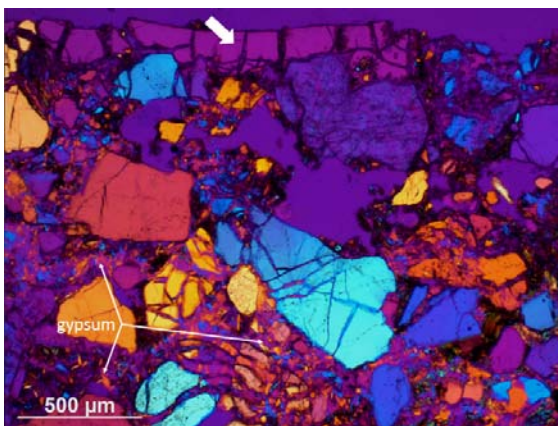
Macroscopic appearance of the stone ashlar of the Romanesque ossuary in Tulln, Lower Austria, one of the most significant objects made from the Wienerwald Sandstone, showed granular disintegration and back weathering (Fig. 5.). Although this sandstone type (Table 1.) is characterized by high porosity and a more variable mineralogical composition, the microscopic degradation pattern is very similar to that of the sample KR and is characterized by cracks running sub-parallel to the outer surface (Fig 2.).

Although the pores and cracks are partly filled with gypsum up to a depth of 1.5 to 2.0 mm (Figs. 6 and 7.), a characteristic salt crust could not be detected on the surface. Careful investigation of the sample revealed that the pores and cracks in the sub-surface zones contain silica gel, indicating a stone consolidation treatment using an ethyl silicate consolidant (Fig. 8.). The first application of ethyl silicate at the object - and simultaneously in Austria - was performed during the 1970s (Nimmrichter 2007). Since then the consolidation has been repeated on different parts of the object in five different conservation campaigns (Ban 2014). In the analyzed sample at least two generations of silica gel with different water content could be observed, due to their different grey values in the backscattered electron images.



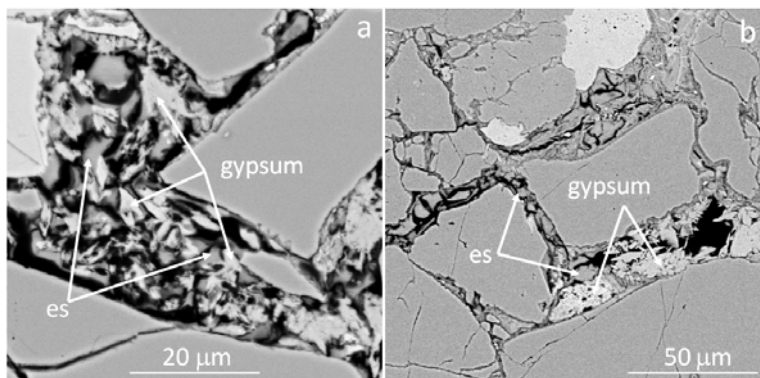
**Fig. 6.:** Cracked subsurface zone (red: Si = quartz, feldspar, etc.) filled with gypsum (S: green) in the sandstone sample TU. SEM element mapping

**6. ábra:** A TU homokkő minta (piros: Si = kvarc, földpát, stb.) repedezett felszín alatti zónája gipszkitöltéssel (S: zöld). SEM elem térkép



**Fig. 7.:** Cracked subsurface zone covered with a thick layer of silica gel (thick arrow) on the surface indicating a former consolidation. Partly cracked grains are filled with gypsum (sample TU, +N, λ plate)

**7. ábra:** Egy korábbi kőszilárdításra utaló vastag kovagél-réteg a repedezett kőzetszövet felszínén. A részben repedezett ásványzemcsékben gipsz figyelhető meg. (TU minta, +N, λ segédlemez)



**Fig. 8.:** Silica gel (es = ethyl silicate) situating between gypsum crystals (a) and calcium sulphate growing on the surface of the silica gel precipitations (b) indicating the formation of gypsum before and after consolidation, respectively (sample TU, SEM-BSD image)

**8. ábra:** Szilikagél (es) kiválások között (a) és felületein (b) található kalcium-szulfát kristályok, amelyek a gipszesedés kőszilárdítás előtti, ill. utáni létrejöttére utalnak (TU minta, SEM-BSD kép)

The spatial distribution of gypsum and silica gel showed that in some areas gypsum crystals are covered by the silica gel (**Fig. 8a**) and in other, mostly deeper zones hypidiomorphic calcium sulphate grew on the surface of the consolidant (**Fig. 8b**).

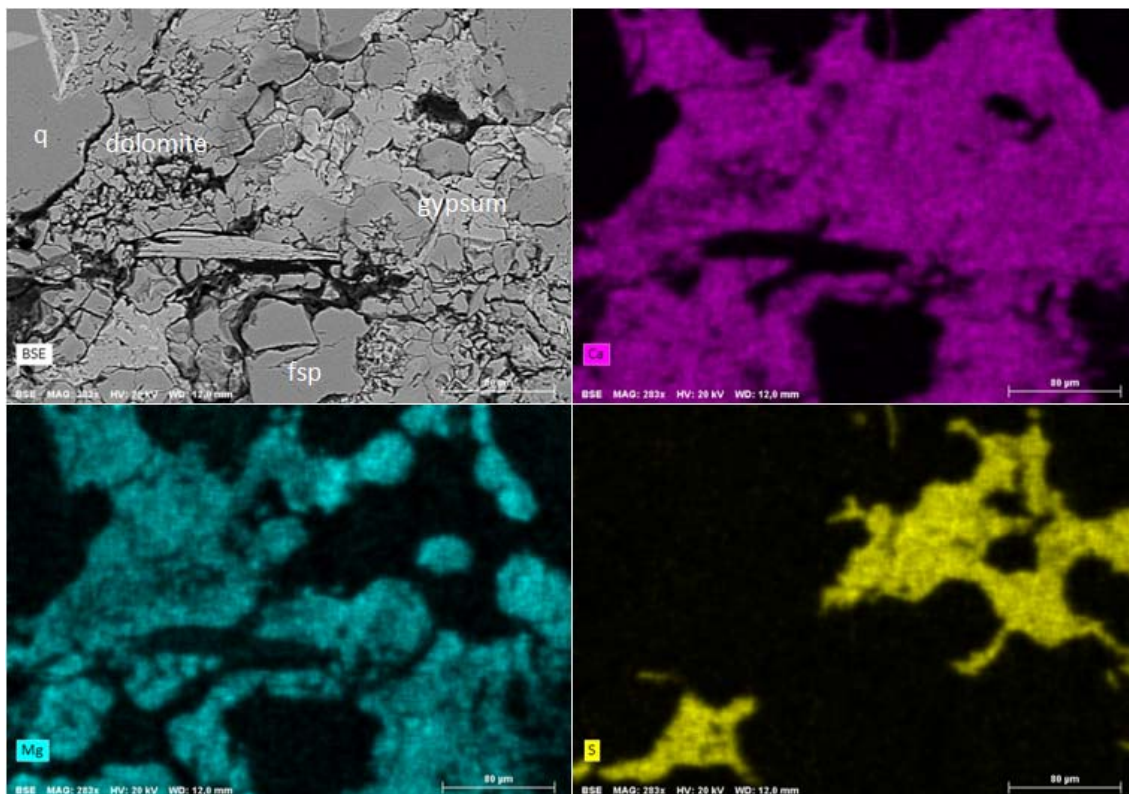
Regarding the degradation processes the following explanation can be offered. The size, shape and distribution of mineral grains result in a fine capillary network of pores with fairly uniform pore openings. In this system the moisture penetrates the sandstone by precipitation, condensation in the pore space, seasonal dew point shift, etc., causing that the stone can never completely dry out. On the one hand, this leads to an increasing sensitivity to freeze-thaw-cycles. Furthermore, soluble mineral components can diffuse over a long period either from the stone itself, or from masonry mortars, but also from airborne dust settling on the stone surface. Due to dissolution and precipitation cycles, secondary mineral phases (e.g. gypsum) appear in the sub-surface zones and form a barrier layer. Consequently, micro- to millimetre thick layers detach parallel to the surface (Ban 2014) or cause granular disintegration. Additionally, consolidation activities have also contributed to the formation of new damages in the observed sample. Figure 7 shows a thick, cracked layer of silica gel on the surface; different consolidant generations can be traced up to a depth of several millimetres, but their frequency drastically decreases below 2 mm. This phenomenon suggests the so-called over-consolidation of the outer zones of the stone that occurs when the consolidant migrates back to the surface due to evaporation of the solvent (i.e. ethanol) and also poorly executed post-treatment of the surface (Nimmrichter 2007). While some of the microcracks in the sub-surface zones filled with the consolidant, massive joints in the deeper zones free of any silica gel suggest that they formed after the consolidation (Pintér 2016). Although silica gel does not completely fill the pores in the consolidated parts of the stone, it notably altered the microporosity properties in the sub-surface zones.



**Fig. 9.:** Flaking of molasse sandstone due to thermal/hygric dilatation and/or freeze-thaw cycles on the footing of the Parish church in Schöngrabern, Lower Austria (image courtesy J. Nimmrichter)

**9. ábra:** Molassz homokkő lemezés elválása hőmérséklet vagy nedvesség hatására fellépő dilatáció és/vagy fagyási kár következtében (Schöngrabern, Alsó-Ausztria, kép: J. Nimmrichter)

The measurement of the dynamic modulus of elasticity and water uptake also indicated large differences between sub-surface and deeper zones (Ban 2014) confirming the microscopic observations. The role of gypsum is, however, not completely clear in provoking the damages. Since it was found both coated with silica gel and growing on top of the consolidant (Fig. 7a-b), it is assumed that its formation took place prior and after the ethyl silicate treatment, respectively. In this special case the precipitation of gypsum and multiple application of stone consolidant resulted in a dense outer zone, where the altered capillary porosity favoured the subsequent accumulation of gypsum. The existence of cracks free of any sulphate corrosion products and consolidant formed below this dense zone (Fig. 6.) suggest that the last stage of the stone decay was provoked by freeze-thawing. Additionally, the dissolution-precipitation and subsequent crystallization of gypsum could provoke elevated degradation on the micro level.



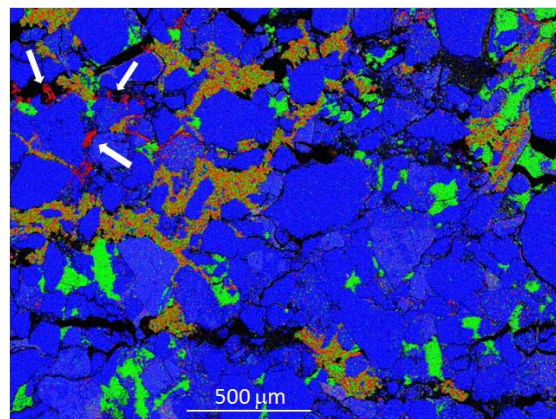
**Fig. 10.:** SEM-BSD image shows the main mineral components, while EDS mapping proves the correlation between the elements Ca (magenta) and S (yellow) indicating the presence of gypsum in the microcracks. Mg (cyan) only correlates with Ca showing the presence of dolomite cement in the stone (sample SG)

**10. ábra:** SEM-BSD kép alapján látható fő ásványi alkotók az SG mintában. Az EDS elemterképezés, a Ca (magenta) és S (sárga) közötti korrelációt bizonyítva, gipsz jelenlétére utal, míg a Mg (világos kék) csak a kalciummal korrelál, ami a dolomitcementet mutatja (SG minta)

### Effects of the removal of sacrificial layers – sample SG, Schöngrabern

Another typical sandstone degradation phenomenon was observed in the Romanesque parish church in Schöngrabern, Lower Austria. Flaking of stone ashlars, especially on exposed edges (Fig. 9.) up to a depth of 1.0 cm, indicated prolonged weathering processes. Salt analyses based on ion chromatography, IC (Pintér 2019a) indicated the presence of calcium and magnesium sulphate salts. Detailed microscopic analyses confirmed that in the damaged sample a crack system sub-parallel to the outer surface existed. SEM-EDS also proved the presence of sulphates up to a depth of approx. 2.5 mm, where only gypsum was detected. Although microcracks and joints are completely filled with calcium sulphate, the dolomite cement seemed to be completely intact (Fig. 10.), suggesting that the sulphate salts were not directly formed by the reaction of  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  and  $\text{SO}_4$  ions, otherwise magnesium sulphate would also have crystallized in the cracks. Thus, magnesium measured in the sample by IC originated from the sparitic dolomite binder of the stone leached out from the bulk sample during the elution in the laboratory.

The formation of cracks seems not to be connected directly with the crystallization of gypsum, which is also suggested by joints free of any secondary salts. The most probable explanation for the primary damages was thermal- and/or hygric dilatation induced stresses and subsequent loss of cohesion and not the formation of calcium sulphate. This theory is also supported by previous observations and research on the conservation history of the object (Nimmrichter 2007). Thus, the first damages have already been observed in the 19<sup>th</sup> century, when lime-based renders and coatings, the so-called protective sacrificial layers, were completely removed from the walls. Consequently, the yellowish-brown sandstone surface, especially on the east and south façades, could absorb more heat that provoked an increased thermal dilatation. Furthermore, the removal of the lime coating that acted as a buffer zone, created a direct contact between the stone surface and its surroundings, allowing a higher moisture uptake through capillary suction. Additionally, the crystallization of crack-filling gypsum caused a denser outer layer of several millimetres thickness (Fig. 9.). The lower porosity and stiffness of this crust increased the effect of thermal and hygric dilatation as well as freeze-thaw cycles and thus a more intense degradation of the stone, especially in exposed zones (Fig. 9.). In the 1990s and 2000s successful applications of lime-based coatings proved that even porous building stones of low weathering resistance can be protected by simple solutions (Ban et al 2018).



**Fig. 11.:** SEM-EDS element mapping of sample KB (Kilb, Upper Austria). Between the silicate mineral grains (Si: blue), calcite cement (Ca: green) and gypsum (green [Ca] and red [S]) are visible. Red areas (arrows) suggest the presence of sulphate phases free of Ca (i.e. alkali sulphates).

**11. ábra:** A KB (Kilb, Felső-Ausztria) minta SEM-EDS elem térképe. A szilikát ásványok (Si: kék) között kalcit cement (Ca: zöld) és gipsz (Ca: zöld + S: piros) figyelhető meg. A piros részek (nyilakkal jelölve) kalciummentes szulfát fázisok (alkáli-szulfátok) jelenlétét valószínűsítik.

Nevertheless, continuous maintenance and repair of damages are the prerequisites of a long-term protection of sensible stone surfaces (Nimmrichter 2007).

### Degradation due to contact with cementitious materials – sample KB, Kilb

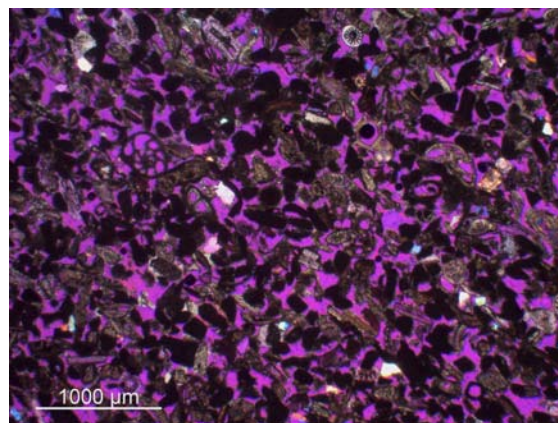
Contrary to the previous examples, the flysch sandstone from Kilb (sample KB) shows the effect of salt corrosion on a porous building stone. The rock type that was used at the construction of the spire of the parish church in Kilb has very similar composition and microstructure to that of Kleinraming (Table 1.).

Similarly to the previous examples, this sandstone exhibits the common degradation pattern; microcracks run sub-parallel to the outer surface, their way of propagation mostly follows the silica grain boundaries and coarse calcite cement also clearly distinguishable from the detrital grains (Fig. 11.). SEM-EDS spot analyses and element mapping indicated the presence of sulphate salts (Fig. 11.), where besides gypsum alkali sulphates were also detected (Fig. 11.). Furthermore, the distribution pattern of sulphates is different from that of the samples TU and SG. In the sample KB the microcracks are not completely filled with the newly formed sulphate products, but rather form isolated clusters (Fig. 11.). This distribution pattern is similar to that of the calcite cement, indicating the direct formation of gypsum from calcite with subsequent degradation of the stone. The large amount of alkalis, also proved by IC (Pintér 2013),

suggests the impact of Portland cement-based materials. Due to static considerations the spire was reinforced with a concrete ring beam in the mid-20<sup>th</sup> century, being in direct contact with the sandstone ashlars. The massive concrete structure affected the weathering of the stone in two different ways. First, the movement of moisture in the masonry is blocked and redirected by the less porous concrete, leading to an increased water load in the building stone. Secondly, water mobilizes and transports soluble components (i.e. alkalis, sulphates) from the cementitious construction material. Consequently, mineral solutions penetrate the stone substrate where dissolved sulphate and alkali ions react with the calcite of the sandstone, as well as directly crystallize from the solution. Subsequent crystallization pressure causes flaking and granular disintegration, followed by a massive material loss on the surface. Although the sample originates from the inner side of the belfry, damaged openings allowed for moisture (i.e. rain and snow) to directly enter the tower. Additionally, low temperatures in the winter months may have contributed to damages due to freeze-thaw cycles.

#### Weathering processes of porous limestone and calcarenite

In the vicinity of Vienna and the eastern part of Austria the most important building stones are Neogene calcarenite and porous, soft limestone types of diverse geological formations. The most significant historical quarries are situated southeast of the capital in the Leitha Mountains between Lower Austria and Burgenland. In this region excavated stones predominantly belong to the Middle Miocene (Badenium) Leithakalk Formation and to occurrences containing Sarmatian detrital limestone and calcarenite types (Rohatsch 2005b). Some of the quarries (e.g. St. Margarethen in Burgenland) were already operated in Roman times in the 1<sup>st</sup> century AD, but the reactivation of their use in construction dated back to the 11<sup>th</sup>-12<sup>th</sup> centuries, whereby monasteries, churches and castles were primarily built from this stone material (Rohatsch 2005b). From the late Middle Ages until the beginning of the 20<sup>th</sup> century, a large number of significant objects, such as the St. Stephen cathedral in Vienna, the Castle of Schönbrunn or the cathedral of Wiener Neustadt have been erected, using this type of stone. Especially in the late 19<sup>th</sup> century, during the so-called Vienna Ringstrasse period with its profane and sacred presentation buildings, numerous stone quarries experienced a renewed and final bloom (Seemann & Summesberger 1998).



**Fig. 12.:** Characteristic textural appearance of Tertiary biocalcarenite from the Leitha Mts., Lower Austria/Burgenland. The components are predominantly made up of calcareous algae and foraminifera fragments and a few detrital quartz grains. The high porosity is highlighted by the magenta colour (+N,  $\lambda$  plate)

**12. ábra:** Lajta-hegységi harmadidőszaki mészhomokkő jellegzetes szöveti képe. Fő komponensek: mészvázú alga és foraminifera, illetve kevés detritális kvarc. Magenta: pórusok (+N,  $\lambda$  segédlemez)

In general, most of the Neogene calcarenite types exhibit high (i.e. 10 to 20%) porosity, and depending on the geological facies and subsequent lithification, they have low to moderate strength. Consequently, many lithotypes exhibit a low resistance against freeze-thaw cycles and salt damage (Rohatsch 2005b).

The most characteristic and intensively researched (Rohatsch 2005a) degradation pattern of porous limestone is the formation of dark, massive gypsum crusts on the surface and subsequent weakening as well as disintegration of the microtexture below the crust (Farkas et al 2018).

Since the air pollution-induced formation of gypsum became almost negligible in the last decades, the following selected examples show partly unexpected problems caused by conservation interventions at the objects.

#### Degradation due to over-consolidation – sample WN, Wiener Neustadt

The 21 meters high Gothic stone column, the so-called “Spinnerin am Kreuz”, in Wiener Neustadt was built using at least six different sedimentary and magmatic rocks, where the porous limestone and calcarenite variations from Burgenland and Lower Austria dominate the monument (Pliessnig & Mozdoniewicz 2019).

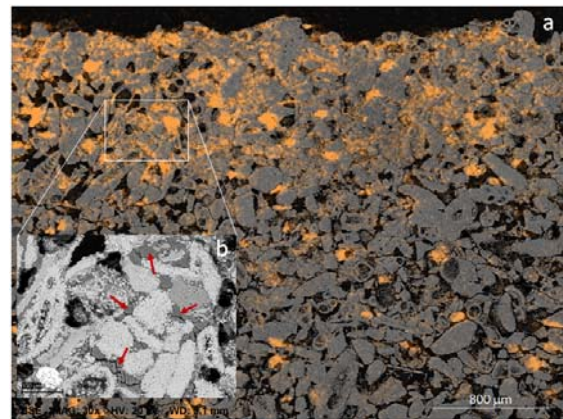


**Fig. 13.:** Weathering of porous biocalcarenite at the Spinnerin am Kreuz, Wiener Neustadt, Lower Austria (sample WN; picture: Pliessnig & Mozdyniewicz 2019).

**13. ábra:** Porózus biokalkarenit mállása. Spinnerin am Kreuz, Bécsújhely, Alsó-Ausztria (WN minta, kép forrása: Pliessnig & Mozdyniewicz 2019)

The zone where the sample was taken from is connected to the 19<sup>th</sup> century renovation activities. The stone is a porous calcarenite made predominantly up of the fragments of calcareous algae (Figs. 12. and 14.) and foraminifera originating from one of the historical quarries on the northwestern slopes of the Leitha Mts. Although these fine-grained sedimentary rocks were used as significant sculptor stones, their low resistance against weathering has been known for centuries.

The damaged stone surface of the 19<sup>th</sup> century renovation was first treated in the 1990s with ethyl silicate consolidants. After approx. 20 years of service life scaling of the already treated surface was observed (Fig. 13.). Although the influence of damaging salts has been excluded by laboratory analysis (Pintér 2019b), detailed microscopic analysis revealed a very heterogenous distribution of the consolidant (Fig. 14a). While in the sub-surface areas (up to a depth of 1 to 1.5 mm) large amount of precipitated silica gel was detected, deeper zones contained the consolidant only sporadically (Fig. 14a). Surprisingly, and also very atypically for ethyl silicate consolidants, many pores were completely filled with silica gel (Fig. 14b). Furthermore, microcracks in a depth of 2 to 2.5 mm indicated a weak zone between the outer and inner parts of the stone. The above described phenomenon is a clear evidence for the over-consolidation of a surface; a common problem in case of not properly executed treatments.



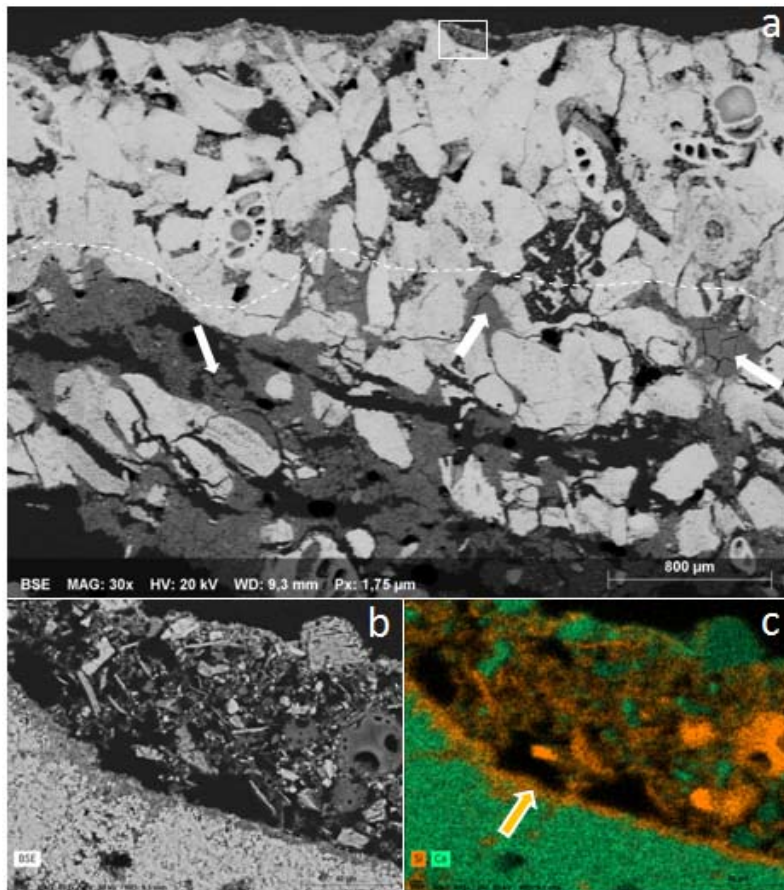
**Fig. 14.:** SEM-BSD image and element mapping of sample WN. Ochre areas (a) show the distribution of Si (i.e. mostly silica gel and some quartz). Si enrichment in the subsurface zones indicates the enrichment of silica gel as an evidence of over-consolidation of the surface (b, arrows)

**14. ábra:** A WN minta SEM-BSD felvétele és Si-eloszlási térképe. Az okker részek a Si (zömében kovagél és némi kvarc) eloszlását mutatják (a). A Si-ban gazdag felszín alatti zóna nagy mennyiségű kovagél jelenlétére (b, nyilak) és a felszín túlszilárdítására utal

It happens when the consolidant migrates back towards the surface as a consequence of too fast evaporation resulting from inadequate curing. The fluid ethyl silicate concentrates in the sub-surface zone and after the evaporation of ethanol the solid silica gel remains back in large quantities in the pores below the surface. In this case, atypically for an ethyl silicate consolidation, many pores also became completely filled with the gel provoking not just an over-consolidated outer zone, but also a barrier for moisture migration. Degradation happens, when the moisture enters the stone from the back and cannot leave through the surface. Finally, water retention can cause frost damage in winter, which also happened in the case of the stone column “Spinnerin am Kreuz”.

#### Effects of improper water repellent treatment – sample NK, Neunkirchen

Despite several interventions in the last decades on the Holy Trinity Column in Neunkirchen, Lower Austria, different parts exhibited massive flaking and scaling in the mid 2010s. The most affected parts are made of porous calcarenite composed predominantly of microfossil fragments. This Middle Miocene facies can be found in several historical stone quarries on the western side of the Leitha Mts. (Rohatsch 2005b).

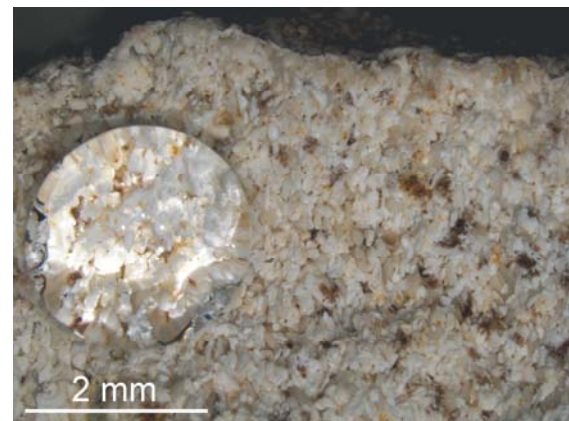


**Fig. 15.:**  
SEM-BSD image and element mapping of sample NK. Arrows show crack- and pore-filling secondary salt and dust deposits, the dotted line indicates the approx. depth of penetration of the water repellent agent (a). The surface is coated with a silicon resin-based slurry (b). Element mapping (Ca [calcite]: green, Si: orange) indicates the presence of a thin water-repellent layer on the top of the substrate (c, arrow)

**15. ábra:**  
Az NK minta SEM-BSD felvétele és Si-eloszlási térképe. (a) A nyílak a repedés- és póruskitöltő termékeket, a szaggatott vonal a hidrofóbizáló szer feltételezhető behatolási mélységet mutatja. (b) A felszínen egy szilikonalapú bevonat található. (c) Az elemeloszlás (Ca [kalcit]: zöld, Si: narancs) a kőfelszínt bevonó hidrofób rétegre utal (nyíl)

*In situ* observations indicated the formation of thin flakes on the surface suggesting a hard and impermeable outer zone. The back side of the detached stone is marked by a massive crack system filled with a mixture of damaging salts and fine dust washed into and deposited in the crack (**Fig. 15a**). The dominance of calcium, alkalis and sulphur in the EDS spectra (Linke 2016) suggests the presence of gypsum and alkali sulphates as secondary products. Additionally, the surface is covered with a 50 to 100  $\mu\text{m}$  thick coating (i.e. protecting layer), where high amounts of lightweight silica filler and a binder rich in Si indicates the use of silicon resin-based slurry (Linke 2016). The pores between the surface and the crack system are almost completely free of any secondary products, suggesting that a barrier for moisture and salt solutions exists several millimetres below the surface. Careful element mapping (**Fig. 15a**) showed the presence of finely distributed Si in the microporosity up to a depth of 2 mm. Also, between the stone and the coating a 5 to 10  $\mu\text{m}$  thin silicon-rich layer was detected (**Fig. 15b-c**). Enrichment of Si in the porosity refers either to the use of ethyl silicate consolidant (see samples TU and WN), or the use of a silan/siloxane-based water-repellent agent, or the combination of both.

Since characteristic silica gel deposits could not be observed, the detected Si enrichments were interpreted as a tracer of a hydrophobic treatment.



**Fig. 16.:** Water droplet test performed on the broken surface of sample NK. Due to large contact angles (i.e. hydrophobic treatment) the water droplet cannot penetrate the pores (stereo microscopy)

**16. ábra:** Vízcepp-teszt az NK minta törött felületén. A megnövekedett nedvesítési szög (hidrofób kezelés) következtében a vízcepp nem tud a pórusokba behatolni (sztereomikroszkópos kép)

To control this assumption, a simple water droplet test was performed on the fresh broken surface of the sample. The water droplet on the broken surface (**Fig. 16.**) caused by a large (i.e.  $>90^\circ$ ) contact angle, proved the hydrophobic property of the stone up to a depth of 3 mm. The basic idea behind a hydrophobic treatment is to protect a porous mineral material from infiltrating moisture. Normally, a hydrophobic system works properly if there is no other way for the water to penetrate the stone than the outer (treated) surface. Nevertheless, moisture may enter the objects from different directions and sources (Ban et al. 2018). Additionally, a water repellent treatment works in both directions, thus it does not only prohibit the infiltration of e.g. meteoric water, but also act as a barrier for outward moisture movement. The

outwards migrating water, containing in most cases dissolved salts, stays behind the hydrophobic horizon and the evaporation takes place at the hydrophobic barrier below the surface. Subsequent crystallization of mineral components forms damaging salts and crystallization pressure causes delamination or flaking of the substrate. Additionally, the increased accumulation of moisture favours freeze-thaw damages in winter (Nimmrichter 2007, Nimmrichter & Linke 2008). The consequences of the inadequate use of hydrophobic treatment on porous building stones are well-known phenomena (Nimmrichter 2007, Ban et al. 2018) and represent one of the most intensely researched topics among restorers and conservation scientists.

**Table 2.: Appearance and cause of weathering in the studied sandstone types**

**2. táblázat: A mállás megjelenési formái a vizsgált homokkő változatokban**

Sample	Macroscopic weathering phenomenon	Cause of degradation at the macro / micro scale
KR	scaling in mm thick layers	improper drainage, PC joint mortars / effect of freeze-thaw cycles + mineralogy
TU	scaling in mm thick layers / granular disintegration	repeated stone consolidation / reduction of porosity in the sub-surface zones + effect of freeze-thaw cycles and subsequent salt damage
SG	scaling in mm to cm thick layers	removal of historical sacrificial layers / effect of freeze-thaw cycles at micro scale + formation of gypsum
KB	scaling and granular disintegration	use of structural concrete element / effect of damaging salts and freeze-thaw cycles
WN	scaling in mm thick layers	improper application of stone consolidation / reduction of porosity in the sub-surface zones + effect of freeze-thaw cycles
NK	scaling in mm thick layers	application of water repellent treatment / reduction of water permeability + damage due to salts and freeze-thaw cycles

## Conclusions

In the present paper the weathering characteristics of historically significant porous sedimentary rocks (i.e. subarkose and biocalcarenite types) from Austria were investigated using different methods of microscopy. The selected examples (**Table 2.**) focused on the weathering processes and subsequent damages caused by the combination of natural and anthropogenic interventions (i.e. maintenance, conservation activities, etc.). Based on the results the following conclusions can be drawn:

- mineralogical composition and physical properties (i.e. low to medium hardness and high porosity) determine a low to moderate resistance against physical weathering processes in the investigated stones;
- the weathering phenomena result in flaking or, rarely, granular disintegration in the case of both rock types;
- the presence of mica in the subarkose may intensify the effect of frost damage by forming effective nucleation sites for ice crystallization due to highly acute mica wedges. Additionally, due to excellent cleavability, mica crystals may also form weak zones in the stone;
- the use of ethyl silicate consolidants may alter the capillary properties of the sandstone, which in combination with gypsum dissolution and re-crystallization processes, induces a dense outer layer. Subsequent freeze-thaw-cycles below the dense outer layer will increasingly execute their damaging effect;



- although gypsum of secondary origin was observed in many samples, its role as the primary cause for the damage could not be confirmed in most cases. Examples from a sandstone containing coarse dolomite cement and gypsum, but no magnesium sulphate as a sulphation product, suggest that gypsum did not form by the direct chemical reaction of SO<sub>4</sub> ions and carbonate minerals of the stone;
- the removal of porous, mineral sacrificial layers (i.e. lime coats) from the surface of a sandstone sensitive to thermal/hygric dilatation, resulted in increased formation of cracks and disintegration of the texture;
- integration of Portland cement-based (structural) elements into a masonry made of sandstone resulted in changing the direction of moisture movement and increasing the water load in the porous stone. Additionally, soluble salt components were also mobilized from the cementitious materials and transported to the porous stones, provoking salt damages;
- inaccurately executed stone consolidation frequently causes the so-called over-consolidation of the substrate's surface. In extreme cases this leads to an outer zone of low permeability as shown in the case of a porous biocalcarene. Subsequent frost damage may cause severe flaking of the surface;
- the use of a water repellent treatment may also cause damages when not executed thoroughly. Especially soft and porous limestone types are exposed to secondary damages due to hydrophobic coatings or flooding with water repellent agents. Moisture migrating behind the hydrophobic surface/zone causes damage due to salt crystallization and/or freeze-thaw cycles;
- examples showed that besides mineralogical composition and microstructure of the stones as well as natural weathering processes, not properly planned and executed maintenance and conservation activities can also accelerate or even provoke damages. Therefore, instead of aspiring to find long-lasting solutions, regular examination and fast interventions are of utmost importance to keep historic monuments in a good condition in the future.

### Acknowledgements

The author thanks Johann Nimmrichter and Matea Ban for their support in providing information about the conservation activities at the objects as well as Marta Guzowska for her critical comments and suggestions for improvement on the manuscript.

### References

- ADAMS, J. (2008): Global Climate Change: Every Cultural Site at Risk? In: PETZET, M. & ZIESEMER, J. (eds.) *Heritage at Risk - ICOMOS world report 2006/2007 on monuments and sites in danger* 194–195.
- BAN, M. (2014): Bericht zu der wissenschaftlichen Bearbeitung des Probenmaterials vom Tullner Karner, Wiener Straße 20 in Tulln an der Donau (NÖ), unter Einbeziehung der im Juli 2013 entnommenen Bohrerkerne, sowie Interpretation dieser in Kombination mit den vor Ort durchgeführten Untersuchungen und Beobachtungen. *Unpublished research paper, Federal Monuments Authority Austria* 36 p.
- BAN, M., BESELER, S., MILCHIN, M., NIMMRICHTER, J., ROHATSCH, A., WEBER J. (2018): Leitfaden. Schlämmen in Restaurierung und Denkmalpflege, 49 p.  
[https://bda.gv.at/fileadmin/Dokumente/bda.gv.at/Publikationen/Richtlinien/Richtlinien/Leitfaden\\_Schlamm\\_27.2.2018.pdf](https://bda.gv.at/fileadmin/Dokumente/bda.gv.at/Publikationen/Richtlinien/Richtlinien/Leitfaden_Schlamm_27.2.2018.pdf)
- CAMPBELL, J.M., MELDRUM, F.C., CHRISTENSON, H.K. (2017): Observing the formation of ice and organic crystals in active sites. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America* **114/5** 810–815.
- EGGER, H., KRENMAYR, H.G., MANDL, G.W., MATURA, A., NOWOTNY, A., PASCHER, G., PESTAL, G., PISTOTNIK, J., ROCKENSCHAUB, M., & SCHNABEL, W. (1999): *Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich 1:1500000*. Geologische Bundesanstalt, Wien
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - EEA (2016): Air quality in Europe – 2016 report. *EEA Report No 28/2016* 83 p.
- FARKAS, O., SIEGESMUND, S., LICHA, T., TÖRÖK, Á. (2018): Geochemical and mineralogical composition of black weathering crusts on limestones from seven different European countries. *Environmental Earth Sciences* **77** 211–230.
- HUBER, A. & STINGL, K. (2014): STEINSichten, Kartause Mauerbach - Die Bau- und Dekorsteinsammlung der Wiener Weltausstellung von 1873. *Bundesdenkmalamt* 71p.
- ICOMOS-ISCS (2008): Illustrated glossary on stone deterioration patterns, *ICOMOS International Scientific Committee for Stone*, 86p.  
[https://www.icomos.org/publications/monuments\\_and\\_sites/15/pdf/Monuments\\_and\\_Sites\\_15\\_ISCS\\_Glossary\\_Stone.pdf](https://www.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf)
- KIESLINGER, A. (1932): *Zerstörungen an Steinbauten, ihre Ursachen und ihre Abwehr*. - Leipzig und Wien, Deuticke. 346 p.

- LINKE, R. (2016): The Holy Trinity Column in Neunkirchen, Lower Austria. *Unpublished laboratory report of the Federal Monuments Authority Austria*, No. BDA-00462.obj/0002-NÖ/2016 10 p.
- NIMMRICHTER, J. (2007): Evaluierung von Konservierungsmaßnahmen an steinernen Denkmälern in Österreich. In: DIEKAMP, A. ed., *Naturwissenschaft und Denkmalpflege*, Innsbruck 245–262.
- NIMMRICHTER, J. & LINKE, R. (2008): Evaluation of Hydrophobisation on Compact Limestone and Calcareous Tuff with Negative Result - Case Studies. In: LUKASZEWICZ, J.W. & NIEMCEWICZ, P. eds., *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 2008 15 - 20. September, Torun, Poland, Vol. II*, 1019–1025.
- PINTÉR, F. (2013): The Parish church in Kilb, Lower Austria. *Unpublished laboratory report of the Federal Monuments Authority Austria*, No. 37.011/5/2013, 3 p.
- PINTÉR, F. (2016): The Ossuary in Tulln, Lower Austria. *Unpublished laboratory report of the Federal Monuments Authority Austria*, No. BDA-08500.obj/0002-NÖ/2016, 11p.
- PINTÉR, F. (2018): The Parish church in Kleinraming, Upper Austria. *Unpublished laboratory report of the Federal Monuments Authority Austria*, No. BDA-11867.obj/0002-OÖ/2018, 4p.
- PINTÉR, F. (2019a): The Parish church in Schöngrabern, Lower Austria. *Unpublished laboratory report of the Federal Monuments Authority Austria*, No. BDA-00154.obj/0008-NÖ/2019, 12p.
- PINTÉR, F. (2019b): The “Spinnenrin am Kreuz” in Wiener Neustadt, Lower Austria. *Unpublished laboratory report of the Federal Monuments Authority Austria*, No. BDA-11342.obj/0003-NÖ/2019, 7p.
- PLIESSNIG, M. & MOZDYNIEWICZ, M. (2019): Die Spinnerin am Kreuz in Wiener Neustadt. Bestand, Zustand und Restaurierungskonzept. *Unpublished research document*, Vienna, 45 p.
- ROHATSCH, A. (2003): Prüfung von Werkstein. In: SCHWAIGHOFER, B. & EPPENSTEINER W. eds., *Nutzbare Gesteine von Niederösterreich und Burgenland – Gesteine: Gewinnung & Verarbeitung*, IAG BOKU, Wien 63–72.
- ROHATSCH, A. (2005a): Neogene Bau- und Dekorgesteine – charakteristische Schadensbilder und Schadensursachen. In: SCHWAIGHOFER, B. & EPPENSTEINER W. eds., *Nutzbare Gesteine von Niederösterreich und Burgenland – Gesteine: Gewinnung & Verarbeitung*, IAG BOKU, Wien 77–86.
- ROHATSCH, A. (2005b): Neogene Bau- und Dekorgesteine Niederösterreichs und des Burgenlandes. In: SCHWAIGHOFER, B. & EPPENSTEINER W. eds., *Nutzbare Gesteine von Niederösterreich und Burgenland – Gesteine: Gewinnung & Verarbeitung*, IAG BOKU, Wien, Wien 9–56.
- SCHWAIGHOFER, B. (2003): Die geologischen Einheiten Niederösterreichs und des Burgenlandes. In: SCHWAIGHOFER, B. & EPPENSTEINER W. eds., *Nutzbare Gesteine von Niederösterreich und Burgenland – Gesteine: Gewinnung & Verarbeitung*, IAG BOKU, Wien 11–22.
- SEEMANN, R., SUMMESBERGER, H. (1998): *Wiener Steinwanderwege – Die Geologie der Großstadt*. Verlag Christian Brandstätter, Vienna-Munich 179 p.
- SIEGISMUND, S., RUEDRICH, J. (2011): Monuments under threat: environmental impact, preservation strategies and natural stone recourses. *Environmental Earth Sciences* **63** 1413–1414.
- TOLLMANN, A. (1980): Geology and tectonics of the Eastern Alps. *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* **34** 197–255.
- WEBER, J., VENDL, A., PASCHINGER, H. & RICHARD, H. (1984): Untersuchungen über den Einfluß von Luftschadstoffen auf die chemische Verwitterung von Naturbausteinen. - *Wiener Berichte über Naturwissenschaften in der Kunst* **1** 239 – 257.
- WENDLER, E. (2011): Einfache Prüfmethode zur Zustandserfassung an Bauwerken – Bewertung und Abgrenzung sinnvoller Einsatzbereiche. In: ARNOLD, B. ed., *Einfache, zerstörungsfreie Prüfverfahren*, *Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums* **26** 10–17.

## KÖZLEMÉNYEK

\*

**IPERION HS felhívás**

Kedves Kollégák!

Örömmel jelentjük, hogy 2020. november 2-án meghirdetésre kerül az IPERION HS európai uniós program felhívása rövidtávú nemzetközi kutatói látogatásokra (Trans-National Access) örökségtudományi (archeometriai) témakörben. ARCHLAB, MOLAB és FIXLAB platformokon lehet pályázatokat benyújtani.

Bár a szabályok szerint a kutatók, ill. kutatócsoportok csak más országok kutatóintézeteibe pályázhatnak, a magyar kollégák számára is érdemes böngészni a lehetőségeket a külföldi laborokba és archívumokba, továbbá ún. mozgó laboratóriumok szolgáltatásait igénybe venni (MOLAB).

Természetesen a jelen járványügyi helyzetben a kutatók utazása nem lehetséges, reméljük ez előbb-utóbb javulni fog. Bizonyos esetekben "távérésekre" is lesz lehetőség, azaz a pályázó elküldheti a mintáit az adott laborba mérésekre.

A részletek iránt érdeklődők forduljanak hozzánk bizalommal, illetve további információt találnak az <http://www.iperionhs.eu/> honlapon.

A magyar IPERION HS csapat nevében,  
üdvözlettel:

*Kasztovszky Zsolt*

Energiatudományi Kutató-központ, Budapest

E-mail: [kasztovszky.zsolt@energia.mta.hu](mailto:kasztovszky.zsolt@energia.mta.hu)

**Megjelentek a UISPP XVIII. Kongresszusának archeometriai szekciójában előadott prezentációk publikációi**

Nagy szakmai érdeklődés mellett zajlott 2018-ban, a UISPP (Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques - International Union of Prehistoric and Protohistoric Sciences) 18. világkongresszusán a szerves anyagok archeometriai kutatásainak legújabb eredményeiről szóló szekció, „Archaeometry of prehistoric and protohistoric stone, metal, ceramics and glass” címmel. A párizsi Sorbonne egyik központi épületében megrendezett egész napos anket az egyhetes kongresszus egyik legnagyobb szekciója volt (20 szóbeli előadás és 9 poszter) és a címével megegyező elnevezésű UISPP komisszió vezetői szervezték, illetve vezették le.

Mint minden UISPP-hez kötődő tudományos rendezvény esetén, ezúttal is lényeges kérdés volt a prezentációk publikálása. Hosszas szervező munka és egyeztetések után, illetve a lektorálási procedúrát követően, a pozitívan elbíralt kéziratok a Materials and Manufacturing Processes c. szakfolyóirat (Q1, IF/2019:3.046) 2020. évi 13. számában jelentek meg:

<https://www.tandfonline.com/toc/lmmp20/35/13>

A folyóirat hivatalos szerkesztősége mellett ennek a speciális archeometriai számnak a társzerkesztői Alessandra Giumlia-Mair, az említett UISPP komisszió titkára és Török Béla, a komisszió elnöke. Az itt publikált 15 tudományos írás között néhány olyan is van, amelyek az archeometriai UISPP komisszió 2017-ben, Pavia-ban megtartott “Latest Results and Examination Methodologies of Pre- and Protohistoric Inorganic Materials II” című anketjén hangoztak el.

**A tartalom:**

Archaeometry of fire aided limonite mining in the Avas-Tüzköves (Miskolc, NE-Hungary) Paleolithic silica source (Ferenc Kristály, Zoltán H. Tóth, Árpád Ringer, and Béla Török)

The role of SiO<sub>2</sub> and silica-rich amorphous materials in understanding the origin of uncommon archaeological finds (Ferenc Kristály and Béla Török)

Resin-coated beads in Iberian Late Prehistory (3rd–2nd millennia BCE) (C. P. Odriozola, J. A. Garrido-Cordero, J. Daura Luján, and M. Sanz)

Fluorite and translucent beads in Iberian Late Prehistory (J. A. Garrido-Cordero, C. P. Odriozola, A. C. Sousa, and V. S. Gonçalves)

Material study of green stone artifacts from a Teotihuacan complex (M.D. Manrique-Ortega, A. Mitrani, E. Casanova-González, G. Pérez-Ireta, M.A. García-Bucio, I. Rangel-Chávez, V. Aguilar-Melo, O.G. de Lucio, J.L. Ruvalcaba-Sil, N. Sugiyama, and S. Sugiyama)

Production of Pottery from Esfandaghe and Jiroft, Iran, late 7th - early 3rd Millennium BC (Mohammadamin Emami)

Effects of sample processing on XRF results from archaeological pottery (Przemysław Niedzielski, Michał Krueger, and Dirk Brandherm)

Archaeometric studies in pre-colonial guarani ceramic production (Taquari, Brazil) (Pierluigi Rosina, Susane Antonioli, Sara Garcês, Vítor Gaspar, Sérgio Klamt, André Luís Ramos Soares, Negar Eftekhari, Maria Nicoli, and Carmela Vaccaro)

Archeometric characterization of indigenous LBA/EIA pottery from SW Iberia (Michał Krueger, Violeta Moreno Megías, and Dirk Brandherm)

Silver and silvery alloys in Early Minoan IB Crete (Alessandra Giunlia-Mair, Susan C. Ferrence, Philip P. Betancourt, and James D. Muhly)

Looking for copper ores in the southern central Alps (Marco Tizzoni)

Late Bronze Age archaeometallurgical hoards surveys from France (1350 to 800 BCE) (Kévin Costa, Patrice Brun, and Benoit Mille)

Late Bronze Age Metal Exploitation and Trade: Sardinia and Cyprus (Serena Sabatini and Fulvia Lo Schiavo)

Bronze Age/Iron Age cauldrons with cross-attachments or Kreuzattaschenkel (Alessandra Giunlia-Mair and Maria Pia Riccardi)

Ironworking slags from Late Iron Age sites in Hungary - composition, microstructure and function (Béla Török and Ferenc Kristály)

*Török Béla*

Miskolci Egyetem

## Az Archeometriai Műhely 2020 XVII. évfolyam 1-3 számainak lektorai voltak:

\*

Bácskay Erzsébet, régész, Budapest

Bárány Annamária, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Botár István, Csiki Székely Múzeum, Csíkszereda

Bartosiewicz László, Osteoarchaeological Research Laboratory, Stockholm University, Sweden

Dúzs Krisztina, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Gherdán Katalin, ELTE Ásványtani Tanszék., Budapest

Gyarmati János, Néprajzi Múzeum, Budapest

Hajnal Zsuzsa, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Hoppál Krisztina, Selyemút Kutatócsoport, Távolkeleti Intézet, ELTE, Budapest

Horváth Tünde, régész, Universität Wien

Ilon Gábor, régész, Mesterháza

Kasztovszky Zsolt, Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

Kiss Viktória, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet, Budapest

Költő László, régész, Kaposvár

Lencz Balázs, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Maróti Boglárka, Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

May Zoltán, Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, Budapest

Mihály Judit, MTA Kémiai Kutatóközpont, Budapest

Mráv Zsolt, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Szabó Géza, régész, Szekszárd

Szakmány György, ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Budapest

Szikszai Zita, ATOMKI, Debrecen

Szilágyi Veronika, Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

Tóth Endre, régész, Budapest

T. Biró Katalin, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Tóth Csaba, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Vándor László, régész, Zalaegerszeg

**Table 1.:** Analysed silver vessels (7 platters, 1 basin, 2 bowls and 1 plate) from the collection of the Hungarian National Museum

Silver object	Diameter	Weight	Decorations	Date of manufacture (AD)	Date of burial (AD)
Seuso Platter	70.5 cm	8.9 kg	carving, punching, gilding, niello	4 <sup>th</sup> century	last third of the 4 <sup>th</sup> century–beginning of the 5 <sup>th</sup> century
Geometric Platter	64.2 cm	7.2 kg	carving, punching, gilding, niello	4 <sup>th</sup> century	last third of the 4 <sup>th</sup> century–beginning of the 5 <sup>th</sup> century
Meleager Platter	69.4 cm	8.6 kg	embossing, punching, carving	last third of the 4 <sup>th</sup> century–beginning of the 5 <sup>th</sup> century	last third of the 4 <sup>th</sup> century–beginning of the 5 <sup>th</sup> century
Achilles Platter	72 cm	11.8 kg	embossing, punching, carving	last third of the 4 <sup>th</sup> century–beginning of the 5 <sup>th</sup> century	last third of the 4 <sup>th</sup> century–beginning of the 5 <sup>th</sup> century
Basin	45.2–46.8 cm	2.5 kg	embossing, punching, carving	4 <sup>th</sup> century	last third of the 4 <sup>th</sup> century–beginning of the 5 <sup>th</sup> century
Ribbon Platter	52 cm	3.485 kg	carving, punching	first half–middle of the 4 <sup>th</sup> century	first half–middle of the 4 <sup>th</sup> century
Rosette Platter	43.5 cm	1.907 kg	carving, punching	first half–middle of the 4 <sup>th</sup> century	first half–middle of the 4 <sup>th</sup> century
Fluted Platter	41.5 cm	1.428 kg	carving, punching	first half–middle of the 4 <sup>th</sup> century	first half–middle of the 4 <sup>th</sup> century
bowl from Esztergom 1	18.1 cm	0.317 kg	-	around 317	first third of the 4 <sup>th</sup> century
bowl from Esztergom 2	19.2 cm	0.318 kg	carving, punching	around 317	first third of the 4 <sup>th</sup> century
plate from Szalacska	24–24.2 cm	0.451 kg	-	3 <sup>rd</sup> century	second half of the 3 <sup>rd</sup> century–beginning of the 4 <sup>th</sup> century

**Table 2.:** Elemental composition of the front and back sides of the analysed silver vessels and the detection limit of each element. Ag, Cu, Au, Pb are given in wt%, Bi is given in ppm.

Silver objects	No. of analysed points	Ag	Cu	Au	Pb	Bi
Detection limits		~400 ppm	~150 ppm	~50 ppm	~150 ppm	~100 ppm
<b>Seuso-platter</b>						
front	57	95.6–97.6	1.1–2.9	0.6–0.9	0.2–0.5	790–2470
back	48	95.6–98.2	0.4–3.0	0.6–1.0	0.1–0.6	970–1940
<b>Meleagrosz-Platter</b>						
front	112	95.5–97.2	1.5–3.4	0.7–0.9	0.3–0.6	650–1190
back	33	96.2–96.8	2.0–2.3	0.7–0.8	0.3–0.5	590–950
<b>Akhilleusz-Platter</b>						
front	88	94.9–96.2	2.6–3.8	0.6–0.9	0.3–0.4	620–920
back	33	94.7–96.0	2.8–3.7	0.7–0.8	0.2–0.4	400–900
<b>Geometric Platter</b>						
front	67	95.8–96.3	2.4–2.8	0.5–0.6	0.4–0.5	0–180
back	42	96.1–97.3	1.8–2.7	0.5–0.6	0.2–0.4	0–140
<b>Basin</b>						
front	55	94.9–95.9	2.6–3.5	0.8–1.1	0.3–0.4	430–640
back	8	97.1–97.8	1.0–1.7	0.9	0.2–0.3	320–430
<b>Ribbon Platter</b>						
front	51	97.8–98.8	0.3–0.9	0.6–0.7	0.1–0.3	0–120
back	30	98.2–98.9	0.3–0.9	0.6–0.7	0–0.2	0–140
<b>Rosette Platter</b>						
front	43	96.0–96.5	2.4–2.7	0.6	0.3–0.4	0–190
back	40	96.5–97.9	1.2–2.5	0.6–0.8	0.1–0.3	0–200
<b>Fluted Platter</b>						
front	46	95.2–96.6	2.4–3.1	0.6	0.3–0.4	0–330
back	5	95.9–96.4	2.5–2.9	0.6–0.7	0.3	170–280
<b>undecorated bowl from Esztergom</b>						
front	12	96.1–98.0	1.2–3.0	0.6	0.1–0.2	350–600
back	34	95.6–97.9	1.3–3.4	0.6	0.2–0.3	390–710
<b>decorated bowl from Esztergom</b>						
front	12	95.9–97.7	1.3–2.8	0.4	0.2–0.3	1200–2100
back	32	96.4–97.5	1.8–2.8	0.4	0.2–0.3	1300–1900
<b>Plate from Szalacska</b>						
front	24	94.3–95.2	3.2–4.0	0.6–0.7	0.4	300–900
back	25	94.6–96.4	2.4–3.8	0.7–1.0	0.2–0.4	500–900

**Table 3.:** Elemental composition of the contemporaneous silver platters and bowls. The results are given in wt%. <sup>1</sup>Hughes & Hall 1979; Lang et al. 1977; Lang & Hughes 2016; <sup>2</sup>Cowell & Hook 2010; <sup>3</sup>Lang et al. 1984; <sup>4</sup>Doračić et al. 2015; Vulić et al. 2017; <sup>5</sup>Hughes & Hall 1979; <sup>6</sup>Hook & Callewaert 2013; <sup>7</sup>Lang 2002; <sup>8</sup>Hughes & Hall 1979; <sup>9</sup>Mozgai et al. 2017; present study.

Treasure find	Method	No. of analysed objects	No. of analysed points	Ag	Cu	Au	Pb	Bi
Mildenhall <sup>1</sup>	XRF	12	83	94.3–97.6	0.3–3.7	0.4–2.5	0.2–1.2	-
Hoxne <sup>2</sup>	XRF	5	9	95.0–98.0	0.7–3.2	0.2–0.6	0.7–1.5	0–0.1
Kaiseraugst <sup>3</sup>	XRF	3	9	96.4–98.6	1.0–2.1	0.3–0.9	0.1–0.8	-
Vinkovci <sup>4</sup>	PIXE	22	23	89.1–97.8	1.2–7.7	0.7–2.3	0.3–1.6	0–0.3
Esquiline <sup>5</sup>	XRF	6	8	94.7–96.5	2.1–3.7	0.6–1.0	0.6–0.8	-
Coleraine <sup>6</sup>	XRF	13	13	93.8–97.5	1.2–4.6	0.4–1.3	0.3–1.0	-
Carthage <sup>7</sup>	XRF	7	21	94.3–97.7	1.9–4.5	0.4–0.8	0.2–0.7	-
Water Newton <sup>8</sup>	XRF	4	4	94.0–95.7	3.3–4.6	0.7–0.8	0.2–0.7	-
Seuso <sup>9</sup>	XRF	5	543	94.7–98.2	0.4–3.8	0.5–1.1	0.1–0.6	0–0.25
river bed of Sava	XRF	3	215	95.2–98.9	0.3–3.1	0.6–0.8	0–0.4	0–0.03
Esztergom <sup>9</sup>	XRF	2	90	95.6–98.0	1.2–3.4	0.4–0.6	0.1–0.3	0.04–0.21
Szalacska <sup>9</sup>	XRF	1	49	94.3–96.4	2.4–4.0	0.6–1.0	0.2–0.4	0.03–0.09