

## MEGEMLEKEZÉS ÉRI ISTVÁN RÓL

### COMMEMORATION: ISTVÁN ÉRI

#### SÁRKÖZY GABRIELLA

Magyar Nemzeti Múzeum, 1088 Budapest, Múzeum krt.14-16.

E-mail: [gabisarkozy@yahoo.com](mailto:gabisarkozy@yahoo.com)

1983-ban kerültem a Központi Múzeumi Igazgatóság Könyves Kálmán körúti részlegéhez könyvtárvezetőnek. Főnököm Éri István volt, akivel azután szinte haláláig nagyon jó kapcsolatban maradtam. A részleg igazgatóhelyetteseként közvetlenül irányította a könyvtár munkáját, a restaurátorok napi tevékenységét, a restaurátorképzést, de ugyanolyan fontos volt számára a módszertani munka, a Tájak Korok Múzeumok mozgalom szervezése, a különböző kiadványok szerkesztése, a restaurátorok és a múzeumi népművelők konferenciáinak szervezése, a nemzetközi szervezetekkel való kapcsolattartás.

Mielőtt rátérnék életútjának ismertetésére, szeretném néhány személyes emlékemet felidézni. Éri István sokoldalú személyisége nagyon sokunkra hatott. Korának úttörője volt, sokrétű tevékenységének szinte minden területén újat alkotott. Számomra nagyszerű érzés volt mellette dolgozni. A hagyományos könyvtári teendők mellett új, érdekes feladatokkal bízott meg - kiadványszerkesztés, fordítások, cikkírás, szervezési munkák – ezek, ha sokszor nagy erőfeszítést is igényeltek, de az ő lelkesedése, munkatempója rám is átragadt, és a magaslatokba repített. Átélttem vele a jól végzett munka örömét, kezembe foghattam munkám tárgyi bizonyítékait, jóleső érzéssel nyugtázhattam egy-egy konferencia, előadás sikerét.

Ezt a sosem lankadó érdeklődését haláláig megőrizte, azok a munkák, amelyek az ő kezdeményezésére születtek, tovább éltek, és ezeknek a sorsát nyomon követte. Szívén viselte az általa kialakított és gazdagított muzeológiai- és restauratori szakkönyvtár, az általa elindított Múzeumi Hírlevél és a Magyar Múzeumok folyóirat sorsát, de ott volt a restaurátorok konferenciáin, naprakész volt a hazai múzeumi élet eseményeiben. Rendszeres tanácsaival, újabb és újabb ötleteivel mindvégig segítette munkánkat.

Életútjának ismertetéséhez forrásként szolgált számomra a Műemlékvédelem című folyóirat 2009-ben megjelent harmadik száma, amelyben volt kollégái köszöntötték nyolcvanadik születésnapján, ismertették régész-muzeológus pályáját, Kaiser László interjú-kötete Éri István életéről, valamint a Pulszky Társaság által rendezett megemlékezésen elhangzott beszédek.

Éri István Pécsen született 1929. március 5-én. Ott kezdte iskoláját a Ciszteri Rend Nagy Lajos Gimnáziumában. Tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karán folytatta 1947-1952 között. Még az egyetemen választotta szakmájának a muzeológiát és a középkorkutatást, amelynek egész további életét szentelte.

Egy kis kitérő után - 1949-52 között a Budapesti Kénsavgyár vegyipari szakmunkása volt - 1952-ben került a Magyar Nemzeti Múzeumba, ahova a középkori régészet megújulása csábította. 1958-ig dolgozott itt, és így emlékezett ezekről az évekről: „... az eltöltött hat és fél éves időszak egy részét nyugodtan nevezhetném „egyetemi éveimnek” is. Más része azonban a bizonyítás és helykeresés időszaka volt.”

Pár év alatt a régész- és muzeológus mesterség minden oldalával megismerkedett. Első saját ásatásait 1954-ben a kisvárdai, 1955-ben, pedig a nagyvázsonyi várban kezdte meg. Ezek révén került kapcsolatba a műemléki régészettel, és így került 1959-ben az Országos Műemléki Felügyelőség Tudományos Osztályára régésznek. Nagyvázsonyban jelentős tudományos és műemléki kivitelező műhelyt hozott létre. 1960-ban mindkét vár ásatása sajnálatos módon félbeszakadt.

1961-ben a veszprémi Bakonyi Múzeum, majd 1962-től - a Veszprém megyei múzeumi szervezet kialakítása révén - a Veszprém Megyei Múzeumi Igazgatóság vezetője lett.

A következő években népes és erős szervezetté fejlesztette a megyei múzeumi hálózatot. Új múzeumokat, kiállítóhelyeket, tájházakat hozott létre. Munkájának köszönhetően az ország művészeti életének egyik meghatározó központjává váltak a tihanyi apátság épületében rendezett tárlatok. Egy Józsefnek Badacsonyban önálló emlékmúzeumot alapított. Megyei múzeumigazgatóként sokat tett a Balaton-felvidék középkori romjainak kutatása és helyreállítása érdekében is.

Elindította a megyei múzeum évkönyveinek kiadását, számos katalógust és egyéb szakmai ismeretterjesztő kiadványt jelentetett meg.

Az országban elsőként a Veszprém megyei régészeti topográfia négy terjedelmes kötete jelent meg 1966-

1972 között az Akadémiai Kiadónál. A topográfia összeállítását az MTA Régészeti Intézetével közösen végezték a megyei múzeumi szervezet munkatársai, Éri István vezetésével, aki a második kötet szerkesztőjeként és szerzőként is részt vállalt a munkában.

A Magyar Tudományos Akadémia 1972-ben létrehozta a Dunántúl északi felére kiterjedő hatáskörrel a Veszprémi Akadémiai Bizottságot (VEAB). A Bizottság tudományos munkájának, működési feltételeinek biztosításáért Éri István, mint megyei múzeumigazgató igen sokat tett. A Településtörténeti (később Történelmi, majd Történettudományi) Szakbizottság alapító elnökeként két olyan munkacsoportot vitt be a VEAB-ba, amelyeket korábban a Bakonyi Múzeum égisze alatt már megszervezett és működtetett. Az egyik a középső- és újkori helytörténettel foglalkozó történészeket, levéltárosokat, régészeket és az amatőr kutatókat fogta össze. A másik munkacsoport tagjai, az egész országra kiterjedően, a céhes kézművesiparral foglalkoztak. Ez utóbbi munkacsoport elnökeként sokat tett a kézművesipari kutatások eredményességéért, komoly szerepe volt abban, hogy 1975-1976-ban elkészült a kétkötetes „A magyar céhes kézművesipar forrásanyagának katasztere”.

A rendszeresen megrendezett országos és nemzetközi kézművesipar-történeti szimpóziumokon elhangzott előadásokat az ő ösztönzésére és hathatós közreműködésével nyomtatott formában kiadták. A IX. konferencia anyaga előbb csak válogatásban jelenhetett meg, a kimaradt tanulmányok többsége a „Tanulmányok a kézművesipar történetéből” című kötetben (1999) látott napvilágot. A számvetés jegyében rendezett, az első három évtized eredményeit összegző X. Kézművesipar-történeti Szimpózium (2001) idején a munkát már 28 kötet (mintegy 8200 oldal terjedelemben) reprezentálta.

Háttérintézmény hiányában a konferenciaszervezés, kötet-szerkesztés összetett és költséges feladatát a Munkabizottság egymagában nem tudta felvállalni, ezért 1998-tól csak országos tanácskozásokat szerveztek. 2000 tavaszán a Munkabizottság új vezetőket választott, akik a helyzetet felmérve úgy látták, csak akkor lehet tovább folytatni a megváltozott viszonyok közepette a munkát, ha keresik az összefogást mindazokkal, akik fontosnak tartják a kézműves kulturális örökség ügyét. Ezt a célt szolgálta és szolgálja napjainkban is a 2002. március elején közhasznú egyesületként megalakított Magyar Kézművesipar-történeti Egyesület.

Múzeumigazgatási tapasztalatait 1974-től a Múzeumi Restaurátor- és Módszertani Központ (MRMK) igazgatójaként, majd ennek 1982-es átszervezése után 1989-ig a Központi Múzeumi Igazgatóság igazgatóhelyetteseként kamatoztathatta, most már országos szinten. Ebben az időszakban vált

háromszintűvé a restaurátorképzés (szakmunkás, technikus, felsőfokú), harminc év alatt félezernél több szakembert indított el a pályán. A tehetséges tanítványok közül került ki a későbbi tanári gárda jelentős része. A restaurálás nemcsak kézügyesség, művészi érzék dolga, hanem tudományos munka is. Ezt az összetett folyamatot a több mint harminc éve megjelenő Múzeumi Műtárgyvédelem (1991-től Műtárgyvédelem) évkönyv tanulmányai bőségesen illusztrálják. Éri István rengeteget tett e kiadvány rendszeres megjelenéséért, ösztönözte a restaurátorokat és a területen tevékenykedő más szakembereket a publikálásra. Nemzetközi jelentőségűvé váltak az 1976-1989 között kétfévente, Veszprémben megrendezett nemzetközi restaurátor szemináriumok. Ez a kelet-nyugati kapcsolatrendszer egyik csatornája volt. Nemcsak Európából, hanem a világ más részéből is jöttek múzeumi szakemberek, restaurátorok, múzeumi vezetők. A szemináriumok előadásait tartalmazó kötetek idegen nyelven is megjelentek. Ezek cserepéldányokként szolgáltak, így sikerült korszerű külföldi szakirodalmat szerzeményezni a könyvtár számára. A módszertani osztályok munkája is jelentősen fejlődött. A korábban a kiállításrendezés, műtárgyfotózás sőt a közművelődés terén szerzett gyakorlata és tapasztalata is segítette megtalálni a kapcsolatot a múzeumi fényképészekkel, kiállításrendezőkkal, majd a később csatlakozó múzeumi népművelőkkel is. Megszervezte a múzeumi fotósok képzését, önképzését. Fotópályázatokat rendezett, díjakat osztott e terület legjobbjainak. Sokat tett a kiállításrendezés fejlesztéséért is. Munkatársaival Zebegényben egy-kéthetes kurzusokat szervezett, sor került egy jól sikerült nemzetközi szemináriumra is Veszprémben.

Működése vége felé honosodott meg egy új foglalkozási ág a múzeumokban: a raktár kezelésével foglalkozó szakembereké. Az ő képzésükre is indított szaktanfolyamokat, amelyek mind a mai napig folytatódnak.

Az 1970-es évek közművelődési törvénye jótékonyan hatott a muzeológusok korábban nehezen leplezhető, arisztokratikus elzárkózottságának oldására. A múzeumi népművelők átvették a tárlatvezetések nehéz feladatát, később már javaslatokat is tettek a kiállítások közérthetőbbé tételére. A múzeumi közművelődés területén egyre nagyobb számban tevékenykedők – diplomás tanárok, múzeumpedagógusok – a nagyobb múzeumokban, megyei szervezetekben már önálló osztályba szerveződtek. Természetes volt, hogy az MRMK rendszeres konferenciák formájában megszervezze szakmai tapasztalatcseréjüket.

Ugyancsak az MRMK feladatai közé tartozott a múzeumi működési normatívák kidolgozása. Két-három év alatt – a számítógépre vitt adatbázisok elemzése alapján – közreműködésével elkészült egy miniszeri rendelet-tervezet. Ez irányadó lett volna a

megyei tanácsoknak a Pénzügyminisztériummal folytatott múzeumi költségvetési tárgyalások során. Kudarcként élte meg a minisztériumi vezetőkkel együtt, amikor az országos múzeumigazgatói tanácskozáson a múzeumi vezetők egy része elutasította a tervezetet. A rendszerváltozás után százszor visszasírták a vidéki igazgatók ezt a normatívát.

Az intézmény feladatául kapta az új múzeumi létesítmények működési engedélyének a kiadását is.

1979-ben alapította a már említett, 28 évet élt Múzeumi Hírlevelet. Ezt a havonta megjelenő, a múzeumi élet legfontosabb eseményeit bemutató folyóiratot térítésmentesen küldték el minden múzeumba és kiállítóhelyre, de tájékozódhattak belőle a sajtó munkatársai, közintézmények is. A lap küldetése volt, hogy a legkisebb település múzeumaiban is hírt kapjanak a főváros és az ország más múzeumainak jelentős eseményeiről, az új jogszabályokról, szakmai kiadványokról itthonról és külföldről. A Számítógép és Múzeum című rovatban kollégáival éveken át agitált a korszerű, az Egyesült Államokban és Nyugat-Európában már alkalmazott múzeumi nyilvántartási és tudományos munkamódszer hazai alkalmazása mellett. Külföldi tapasztalatai alapján és az ún. „céhkataszter” elkészítésével már 1971-ben, a Múzeumi Közleményekben felvetette a témát. Sajnos az egységes rendszert mind a mai napig nem sikerült kialakítani.

Éri István külföldi kapcsolatainak kiépítésével is óriási hasznot hozott az általa irányított intézménynek és az egész hazai múzeumügynek. 1974-ben négyhónapos UNESCO ösztöndíjjal a külföldi múzeumok nyilvántartási rendszereit, illetve a restaurátorképzés módszereit tanulmányozta. Európa számos országába jutott el, hatalmas mennyiségű könyvet, brosúrát gyűjtött és hozott haza, mellyel megalapozta az MRMK szakkönyvtárának külföldi anyagát. Útja során számos szakemberrel alakított ki jó munkakapcsolatot, ezek révén megismerkedett a nemzetközi szervezetekkel, amelyeknek azután az MRMK is tagja lett. Így került kapcsolatba az ICCROM-mal, (a római székhelyű Nemzetközi Restaurátor Központtal), illetve az ICOM-mal, a Múzeumok Nemzetközi Tanácsával. A tanulmányút tapasztalatai alapján került sor a hazai nemzetközi restaurátor szemináriumok megszervezésére. 1975-től magyar nyelvű összefoglalókat készített és adott ki munkatársai közreműködésével az általa hazahozott szakirodalomból és a megrendelt külföldi szakfolyóiratok cikkeiből: egyet a muzeológia, egy másikat a számítógépes múzeumi nyilvántartás és egy harmadikat a restaurálás témaköréből. A Figyelőnek csaknem húsz száma jelent meg, távozása után sajnos ez a munka sem folytatódott.

Az ICOM tagság hozadéka lett egy újabb vállalkozás is, a Dictionarium Museologicum című, húsznyelvű muzeológiai szótár szerkesztésének és megjelentetésének tíz évre elnyúló (1986 őszeig tartó) munkája, amelynek irányítója szintén Éri István volt.

Sokat tett az iparrégészet intézményes formáinak megteremtéséért, valamint a természettudományos módszerekkel történő műtárgykutatás, az archeometria hazai megismertetéséért és elterjesztéséért.

A Liszt Ferenc Múzeum 1980 júliusában, Sopronban országos iparrégészeti tanácskozást rendezett. A tanácskozás résztvevői Éri István és Heckenast Gusztáv javaslatára elfogadták a MTA VEAB Történelmi Szakbizottságának keretében egy újabb, az ún. Iparrégészeti Munkabizottság megalakításának a tervét, a soproni Liszt Ferenc Múzeum régészeti részlegével, mint a munkabizottság székhelyével. A régészek és természettudományos kutatók, műszaki szakemberek információ-cseréjét biztosította az ugyanebben az évben már felálló munkabizottság lapja, az Iparrégészet Tájékoztató.

1982. augusztusában Dr. Bakos Miklós a Veszprémi Vegyipari Egyetem tanára tett javaslatot Éri Istvánnak, mint a Történelmi Szakbizottsága elnökének egy Archeometriai Munkabizottság megalakítására a Szakbizottságon belül. Az új munkabizottság feladatául a magyarországi archeometriai kutatások összefogását, koordinálását jelölte meg. A VEAB döntéshozó testülete 1982. nov. 19.-i ülésén hozott határozatot arról, hogy megalakítja az Archeometriai Munkabizottságot. Az alakuló ülésre 1983. januárjában került sor Veszprémben. Ekkorra 21 tagot számlált a csoport, az ország minden tájáról fizikusok, kémikusok, geológusok jelentkeztek, hogy részt vesznek a munkában. Az új munkabizottság ugyanez év őszén lépett ki a nyilvánosság elé kétnapos ankét keretében, amelynek címe „Mit tud nyújtani az archeometria a régészetnek?” volt. Az Archeometriai Munkabizottság szoros együttműködésben tevékenykedett a már korábban alakult Iparrégészeti Munkabizottsággal, annak tájékoztató kiadványát 1983-tól - kibővített tartalommal - Iparrégészeti és Archeometriai Tájékoztató címen adták közre.

Éri István a VEAB elnökségi tagjaként, a Történettudományi Szakbizottság elnökeként 1996-ig tevékenykedett, de a Kézművesipar-történelmi Munkabizottságnak – haláláig - tiszteletbeli elnöke maradt.

A Központi Múzeumi Igazgatóság igazgatóhelyetteseként 1989-ben ment nyugdíjba.

1989-től 2001 decemberéig a Tájak Korok Múzeumok Egyesület ügyvezető elnöke volt.

A Tájak Korok Múzeumok (TKM), mint egy komplex közművelődési program/mozgalmat 1975-

ben került az MRMK-hoz. Ehhez a kezdeményezéshez, mely a természeti értékek, műemlékek és múzeumok fokozottabb látogatására ösztönzött, hiányoztak a megfelelő keretek, feltételek, szabályrendszer. Ennek megteremtése, a munka megszervezése Éri István és a TKM lelkes kis csapatának érdeme volt. Két évvel később az országos Múzeumi és Műemléki Hónap első napján már megkezdődhetett a nagy népvándorlás. A mozgalom virágzása idején a múzeumok és műemlékek látogatottsága hihetetlen mértékben nőtt, és jó irányba lehetett befolyásolni a magyarok országjáró kedvét. A mozgalom életben tartásához nagyban hozzájárultak az 1978-tól, német mintára készült TKM füzetek, amelyek a természeti értékekről, múzeumok kiállításairól és műemlékekről szóltak. Éri István a kezdetektől felelős kiadóként gondozta a füzeteket, amelyekből működése idején több száz jelent meg. Az új kihívásoknak eleget téve 1985-ben a TKM Egyesületté alakult.

A TKM egyesület élén a füzetek kiadása mellett hasonló szemléletű, egyszerre népszerű és tudományos igényű, ám nagy lélegzetű kötetek kiadásába is belefogott. Sajnos még mielőtt kiteljesedhetett volna új kiadói tevékenysége, 2001-ben a TKM Egyesülettől váratlanul távozni kényszerült, ami máig ható súlyos vesztesége a hazai tudományos ismeretterjesztés világának.

Éri István nevéhez fűződik a Pulszky Társaság Magyar Múzeumi Egyesület megalapításának kezdeményezése. 1990-ben az új egyesület alelnöke, 1996-1998 között elnöke lett. 1995-ben létrehozta a Magyar Múzeumok című folyóiratot, amelyben az aktuális kérdések mellett a magyar múzeumügy múltját is feltárta és figyelemmel fordult a nemzetközi múzeumi világ felé. Sajnos meg kellett érnie, hogy a folyóirat, tizennégy év után, nyomtatott formában már nem jelenik meg.

2001 után továbbra is töretlen erővel dolgozott. Visszatért élete első nagy vállalkozásához, a nagyvázsonyi várásatáshoz. Újabb, fiatalokból álló csapatot szervezett régi munkatársának, Sedlmayr János építésznek a közreműködésével, a negyven évvel korábban félbe maradt ásátás, a leletanyag-feldolgozás, a kőtárrendezés és a műemléki helyreállítás folytatására. Az újonnan meginduló kutatómunka tudományos eredményei valóban impozánsak voltak, de bemutatásuk, a vár tervezett helyreállítása és kiállításainak felújítása már elakadt. Önzetlen lelkesedése az ügy iránt kevésnek bizonyult a más érdekekkel vívott harcban.

Élete utolsó éveit szakmája múltjának kutatásának szentelte. Aligha volt nála a magyar muzeológia terén szélesebb látókörű, mélyebb ismeretekkel rendelkező ember. Írásaiban, előadásaiban, de baráti beszélgetéseiben is az a cél vezette, hogy fiatalabb

kollégáinak átadja azt a tudást és tapasztalatot, amit hosszú élete során megszerzett.

Budapesti munkálkodását 1987-ben az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, Kiváló munkáért jelvényrel tüntette ki. Már nyugdíjasként, a TKM-beli munka és főleg tudományszervező munkássága elismeréseként 1994-ben a Magyar Köztársasági Érdemrend Kiskeresztjét kapta. 1999-ben 70. születésnapját ünnepelte a szakma, röviddel utána a Magyar Műemlékvédelemért díj és Göncz Árpád köztársasági elnök aranyérme következett. 2001-ben Veszprém Megye Érdemrendjével tüntették ki. Emellett számos oklevelet, emlékérmét kapott, a Veszprémi Akadémiai Bizottságtól 1996-ban, a Pulszky Társaságtól 2004-ben.

2009. november 7-én 80 esztendőskorában halt meg.

Éri István mikszáthias történeteiből 2005-ben egy „jó merités” vált közkinccsé Kaiser László újságírónak köszönhetően. Az „Egy apróhirdetésen vett régész emlékezése” címmel megjelent életinterjújáról ekképp nyilatkozott Éri: „Beszélgetéseink abból az alaphelyzetből indultak ki, hogy mire jutott élete során egy botcsinálta régésznek indult, de aztán – működése határain belül – ide-oda kapkodó ember. Az elmesélt történetekből ki-ki megítélheti, hány irányba indultam el, hányszor kerültem zsákutcába. De ezek a látszólagos „csödök” újból és újból magukban hordoztak másfajta, mondhatni magasabb rendű lehetőségeket, szinte tálcán kínálva azokat.”

2001-ben, a számvetés jegyében megrendezésre került X. Kézművesipar-történeti Szimpóziumon Szulovszky János, a Magyar Kézművesipar-történeti Egyesület elnöke felkérte Éri Istvánt az ülés nyitó beszédének megtartására. Mondandóját ezekkel a szavakkal zárta: „A megemlékezés szó egy kicsit szíven ütött. Mert ha mi felolvassunk a kiadványaink erre az alkalomra megjelent tartalommutatója nyomán azok nevét, akik szerzőként szerepeltek, akkor egy hosszú halotti névsor felsorolása kerekedne belőle! Hajdani munkatársaink egy része már máshonnan szemléli ennek a X. szimpóziumnak az eseményeit. Azt hiszem, az a legmértőbb megemlékezés, ha azt mondjuk – és azt is hisszük –, hogy ők is örülnek, hogy így, de együtt vagyunk...”

Szulovszky János szavaival zárom megemlékezésemet:

„Kedves István, immár Te is csatlakoztál a kézművesipar-történészek grémiumának égi asztaltársaságához. Amikor mi, itt-maradtak újabb és újabb közös szakmai feladataink érdekében ezután összeülünk, tudjuk, hogy Te, úgy is, mint a Kézművesipar-történeti Munkabizottság örökös tiszteletbeli elnöke, a mi együttlétünk okán együtt örvendezel égi asztaltársaságod többi tagjával.

Emléked őrizzük. Nyugodj békében!”



# AZ ARCHAOMETALLURGAI KUTATÁSOK GYAKORLATI ÉS ETIKAI KÉRDÉSEI

## PRACTICAL AND ETHICAL ISSUES OF ARCHAOMETALLURGIC RESEARCH

### SZABÓ GÉZA

Wosinsky Mór Múzeum, Szekszárd

E-mail: [kaladea@freemail.hu](mailto:kaladea@freemail.hu)

#### **Abstract**

*Archaeology has made use of the opportunities provided by science and technical research to solve historical problems since the first third of the 19th century. Today, the rapidly growing amount of data and the variety of opportunities for testing archaeological samples has increased the proportion and significance of specialized interdisciplinary research more strongly than ever before.*

*In parallel with the emergence of technical opportunities, besides the many tasks, there is an increased responsibility incumbent on the researchers. The followings are going to review the path made by archaeometric research so far and practical and ethical issues considered to be the most important in the present situation from the perspective of an archaeologist examining archaeological metal finds in the daily practice. During archaeometallurgic research, four basic problems have emerged, requiring attention and possibly urgent solution, of which the first two are more professional, while the other two are more methodical, ethical issues:*

- *Over the past decades through the development of new technical tools, methods of measurement are not consistent with the measured results of previous research data; (Fig. 1)*
- *Even in today's modern circumstances, there is a clear difference in data obtained by the same devices in different labs; (Fig. 2)*
- *there are some studies, which appear to stand only for themselves, where no philosophy can be found in the background, but the measurements are simply desultory, or at least not perfectly designed;*
- *Experiments and results of the tests can in many cases not be tracked, and in this way, these are not available for scientific research, or only in a limited form.*

*Raising these fundamental issues are particularly important because better designed experiments create an opportunity for a more efficient operation even under tight financial conditions, and on the other hand, because it is considered to be a primary objective to avoid unnecessary moving, possibly destroying ancient artifacts. It would be greatly aided by a wide-spread practice, that a single sample would be taken for subsequent examination from each metal find even before the restoration, from where it causes the smallest damage, but gives a good representation of the object, and is suitable for the testing of material structure and composition. This would possibly avoid further damage resulting from investigation the artworks. A similar register as already available for archaeological finds, would make it possible to lend these samples, further facilitating accessibility for the scientific community. Until this optimal situation is reached, however, it should be regarded as essential to revert the results of measurement to the institute preserving the objects, and data are added to the register.*

*Review of the results of previous research clarifies, that data measured by different processes can only be compared with criticism. While designing new experiments, it is a professional and ethical responsibility to take into account the metallographic regularities of the raw material and method of preparation of the concrete object. It would be advisable to develop a uniform sampling protocol, a global register of samples and experimental results, and determining the scope of finds requiring archaeometallurgic examination.*

#### **Kivonat**

*A régészet a történeti problémák megoldása érdekében már a 19. század első harmadától élt a természettudományi és műszaki kutatások eredményei nyújtotta lehetőségekkel. Napjainkra a rohamosan gyarapodó adatok mennyisége, a vizsgálati lehetőségek sokfélesége minden korábbinál erőteljesebben megnövelte a szaktudományok határterületein mozgó, specializálódott interdiszciplináris kutatások arányát és jelentőségét. A technikai lehetőségek fejlődésével párhuzamosan az új feladatok mellett fokozott felelősség hárul a kutatókra. Az alábbiakban az archeometriai kutatások által bejárt utat és a jelen helyzetben legfontosabbnak tartott gyakorlati és etikai kérdéseket tekintjük át a fémvizsgálatokat végző régész muzeológus szemszögéből.*

*Az archeometallurgiai kutatások során alapvetően négy, sürgős megoldást, odafigyelést igénylő problémakör körvonalazódott, melyekből az első kettő inkább szakmai, míg a további kettő inkább metodikai, etikai kérdés:*

- *az elmúlt évtizedekben bekövetkezett technikai fejlődés révén az új eszközökkel, mérési módszerekkel mért eredmények nincsenek összhangban a korábbi kutatások adataival; (1. ábra)*
- *még a mai modern körülmények között azonos eszköztípusokkal mért adatok között is eltérő eredményeket tapasztalhatunk laboronként; (2. ábra)*
- *előfordulnak olyan, öncélúnak tűnő vizsgálatok, amelyeknél a háttérben nem kutatásfilozófiai megfontolások állnak, hanem a mérések egyszerűen csak ötletszerűek, módszertanilag végiggondolatlanok;*
- *a vizsgálatok és az eredmények sok esetben nem követhetők nyomon, így a tudományos kutatás számára nem, vagy csak korlátozottan elérhetőek.*

*Ezen alapvető kérdések felvetését egyrészt azért tartjuk fontosnak, mert a jobban tervezett, célszerűbb vizsgálatok a szűkös anyagi feltételek között is lehetőséget teremthetnek egy jobb hatásfokú működésre, másrészt mivel műtárgyról van szó, elsődleges szempontnak tekintjük a leletek felesleges mozgatásának, esetleg roncsolásának elkerülését. Ezt nagymértékben elősegítené, ha gyakorlattá válna, hogy még a fémlelet restaurálása előtt olyan egyszerű mintát tegyenek felre a későbbi vizsgálatok számára, amely esztétikai szempontból nem okoz a műtárgyon sérülést, ugyanakkor jól reprezentálja a tárgyat, és alkalmas az összetétel mellett az anyagszerkezet vizsgálatára is. Ezzel megszűnne a műtárgy további vizsgálati roncsolása. A leletekhez hasonlóan nyilvántartott minták kölcsönözhetőségével pedig jelentősen kiszélesedhetnek a további vizsgálati lehetőségek. Ezen optimális helyzet eléréséig azonban alapvetőnek kell tekinteni, hogy a mérési eredmények visszajussanak a tárgyakat őrző intézménybe, az adatok pedig bekerüljenek a nyilvántartásba.*

*Az eddigi kutatás eredményeinek áttekintése alapján egyértelmű, hogy a különböző eljárásokkal mért adatokat csak megfelelő forráskritikával lehet együttesen értékelni, összehasonlítani. Az újabb vizsgálatok tervezésénél pedig már szakmai-etikai felelősség is figyelembe venni az alapvető, a konkrét tárgy alapanyagát, készítési módját érintő metallográfiai törvényszerűségeket. A továbbiakban az összehasonlíthatóság érdekében célszerű lenne egy egységes mintavételi rend kidolgozása, a minták nyilvántartását, mérési eredmények tárolását szolgáló eljárásrend kialakítása, a vizsgált elemek körének megállapítása.*

KEYWORDS: LATE BRONZE AGE, ARCHAOMETALLURGY, SURFACE TIN ENRICHMENT, HISTORY OF ARCHAOMETRIC RESEARCH

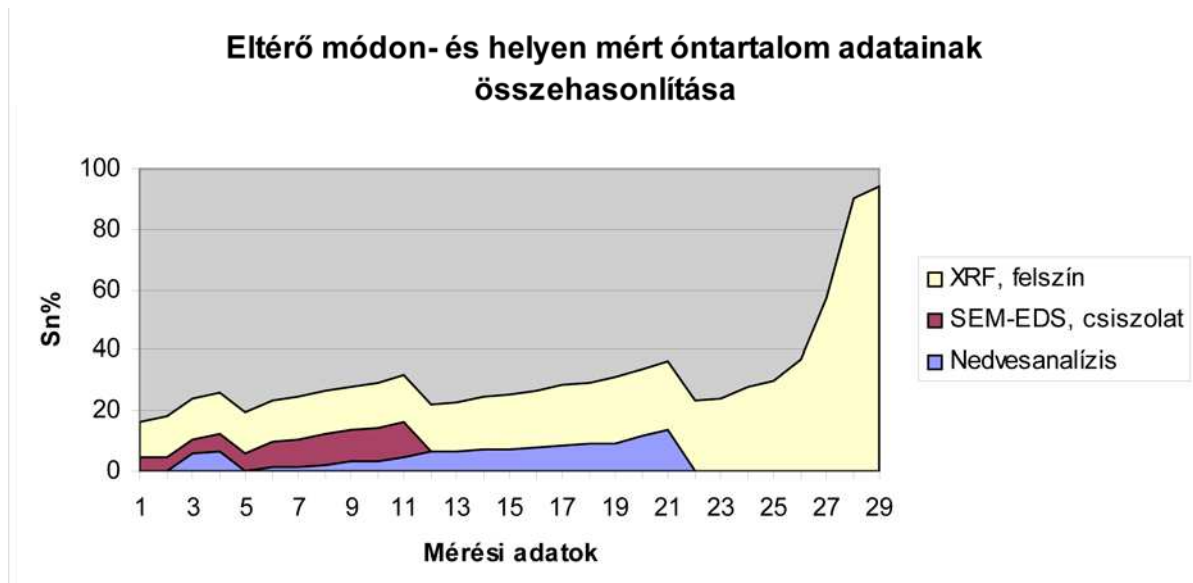
KULCSSZAVAK: KÉSŐ BRONZKOR, ARCHAOMETALLURGIA, FELÜLETI ÓNDÚSULÁS, ARCHAOMETRIAI KUTATÁSTÖRTÉNET

A régészet a történeti problémák megoldása érdekében már a 19. század első harmadától élt a természettudományi és műszaki kutatások eredményei nyújtotta lehetőségekkel. Napjainkra a rohamosan gyarapodó adatok mennyisége, a vizsgálati lehetőségek sokfélesége minden korábbinál erőteljesebben megnövelte a szaktudományok határterületein mozgó, specializálódott interdiszciplináris kutatások arányát és jelentőségét. A technikai lehetőségek fejlődésével párhuzamosan az új feladatok mellett fokozott felelősség hárul a kutatókra. Az alábbiakban az archeometriai kutatások által bejárt utat és a jelen helyzetben legfontosabbnak tartott gyakorlati és etikai kérdéseket tekintjük át a fémvizsgálatokat végző régész muzeológus szemszögéből.

A mind több – de a gyűjteményekben őrzött műtárgyak mennyiségéhez viszonyítva összességében még mindig csekély számú – leletet érintő interdiszciplináris vizsgálatok eredményeinek értékelését nehezíti, hogy az

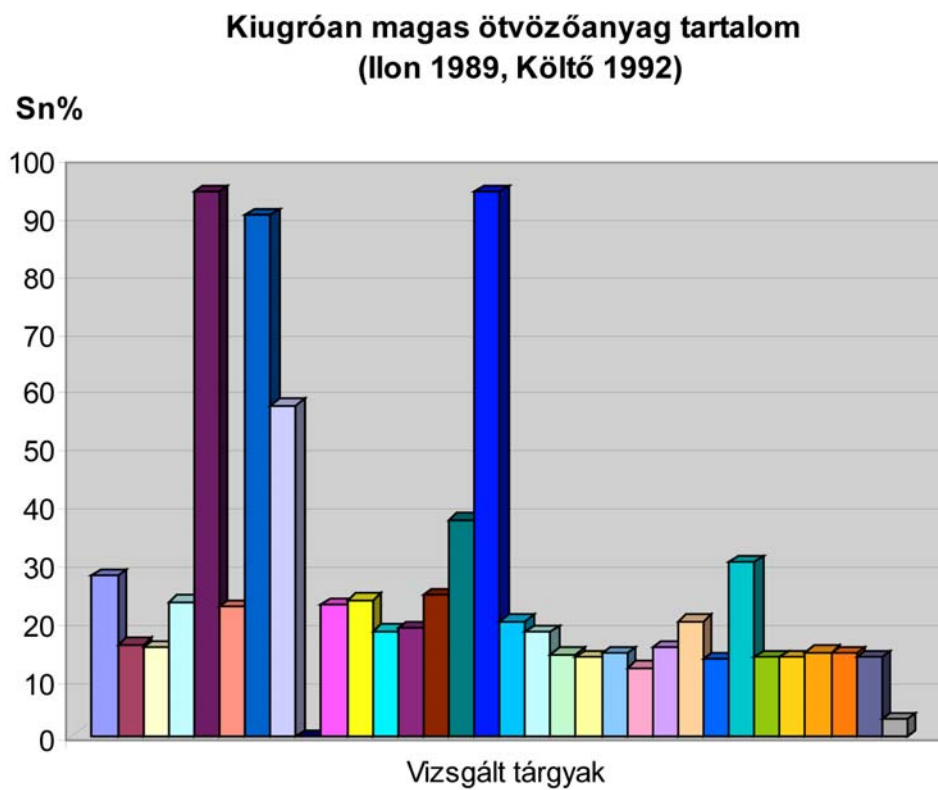
általánosan megszokott, a technikai, technológiai jellegű megfigyeléseket gyakran teljesen mellőző tárgyleírások nem adnak elégséges információt. Az irodalmi adatok látszólagos bősége ellenére is előfordul, hogy egy-egy konkrét kérdés megválaszolása során olykor kevés, az érintett kutatás során jól használható adatra bukkanunk. A műszeres vizsgálatok esetében – az anyagiakon túl – sokszor problémát jelent, hogy azokat nem a régészet speciális kérdéseinek megválaszolására, hanem valamely más szakterület igényének megfelelően fejlesztették ki. Különösen a fém tárgyaknál kézenfekvő, hogy egészen mások a problémák, a lehetőségek és a módszerek az ipari termelésben felmerülő gyakorlati kérdések és a több ezer évig földben rejlő régészeti tárgyak esetében.

Hazánkban az elmúlt közel másfél évszázad során számos, különböző eszközökkel és módszerekkel végzett anyagvizsgálat történt. Ezek többnyire egyetlen, az anyagösszetétel szempontjából feltett kérdésre keresték a választ.



**1. ábra:** Az eddigi mérési eredményeknél jelentős eltérés figyelhető meg a különböző eszközökkel mért ötvözőanyag tartalom arányaiban. Az eltérés alapvető oka a mintavétel módjának helytelen megválasztására vezethető vissza

**Fig. 1.:** There is a clear difference between results of measurements on alloying material content with different methods. This difference is caused mainly by improper selection of sampling site.



**2. ábra:** A magyarországi mérések egy része hosszú időn át olyan kiugróan magas ötvözőanyag tartalmat mutatott, ami már nem magyarázható a nemzetközi gyakorlatban elterjedt felszíni-, illetve felszínközeli mintavételi rendből eredeztethető eltérésekkel sem

**Fig. 2.:** Hungarian measurements showed outstandingly high content of alloying materials, which can not be explained only by differences originating from the internationally wide-spread sampling strategy, concentrating only on the surface of the finds

Így fordulhatott elő, hogy a vizsgálatok módszertani szempontból nem tűntek eléggé átgondoltak, a kapott mérési adatok egyoldalúak voltak, s mindez végső soron a már meglévő adatok értékelését is nehezítette. Ez a gyakorlat sajnos, még ma is megfigyelhető. Az archeometallurgiai kutatások során alapvetően négy, sürgős megoldást, odafigyelést igénylő problémakör körvonalazódott, melyekből az első kettő inkább szakmai, míg a további kettő inkább metodikai, etikai kérdés:

az elmúlt évtizedekben bekövetkezett technikai fejlődés révén az új eszközökkel, mérési módszerekkel mért eredmények nincsenek összhangban a korábbi kutatások adataival; **(1. ábra)**

még a mai modern körülmények között azonos eszköztípusokkal mért adatok között is eltérő eredményeket tapasztalhatunk laboronként; **(2. ábra)**

előfordulnak olyan, öncélúnak tűnő vizsgálatok, amelyeknél a háttérben nem kutatásfilozófiai megfontolások állnak, hanem a mérések egyszerűen csak ötletszerűek, módszertanilag végiggondolatlanok;

a vizsgálatok és az eredmények sok esetben nem követhetők nyomon, így a tudományos kutatás számára nem, vagy csak korlátozottan elérhetőek.

Ezen alapvető kérdések felvetését egyrészt azért tartjuk fontosnak, mert a jobban tervezett, célszerűbb vizsgálatok a szűkös anyagi feltételek között is lehetőséget teremthetnek egy jobb hatásfokú működésre. Másrészt, mivel műtárgyokról van szó, elsődleges szempontnak tekintjük a leletek felesleges mozgatásának, esetleg roncsolásának elkerülését.

A fentiek miatt tekintettük a továbblépés előfeltételének olyan teljes körű elemzések következtetéses alkalmazását az 1990-es évektől, amelyek a régészeti tárgyakon megfigyelhető felszíni jelenségekből indulnak ki. Ezen kutatások legfontosabb jellemzője, hogy az anyagszerkezet- és anyagösszetétel-vizsgálatok eredményein keresztül a keménységmérések, ásatási megfigyelések, valamint a régészeti kísérletek adatait is felhasználva komplex módon vizsgálják a dunántúli urnamezős kultúra bronzművességének alapvető strukturális kérdésein túl az egyes tárgytypusok előállításának, használhatóságának problémakörét is. (Szabó 1993, 1999a) Az ily módon kapott eredmények a többoldalú számbavétel következtében arra is alkalmasak, hogy ezen adatokhoz viszonyítva újraértelmezzük, szükség esetén korrigáljuk az elmúlt évtizedek vizsgálati eredményeit. Ehhez kiindulópontnak tekinthető és számos tanulsággal szolgál a

fémművesség nemzetközi és hazai kutatástörténetének vázlatos áttekintése.

A régészeti kutatások az elmúlt két évszázadban talán a mainál is szorosabban kapcsolódtak a természettudományos vizsgálatokhoz. Egy-egy új eljárás bevezetése, egy-egy új összefüggés felismerésének az ipar területén történő gyakorlati alkalmazása sokszor a régészeti tárgyak vizsgálatával párhuzamosan zajlott, vagy nem ritkán éppen a földből előkerült tárgyak vizsgálata vezetett új eredményekre. Az osztrák, eredetileg nyomdász, Alois von Beck Widmannstatten például 1820-ban egy meteorit csiszolatán figyelte meg a jellegzetes, azóta róla elnevezett kristályos szerkezetet. Ő volt egyébként az első, aki fémekről csiszolatokat készített. (Dennis 1963, 321-331.) A mikroszkópot fémek vizsgálatára az angol Robert Hook használta először 1663-ban. (Smith 1960, 91.) A fémek szövetszerkezetének jobb vizsgálati lehetőségét csak két évszázad múltán oldotta meg Henry Clifton Sorby, aki 1863-ban szintén egy meteorit krisztallitszerkezetének vizsgálata során dolgozta ki a fémcsiszolatok készítésének ma is alkalmazott eljárását. (Smith 1960, Smith 1963.) A savakkal maratott csiszolatokról – ismét csak elsőként – mikrofelvételeket is készített. (Smith 1960, Fig. 85-88.) A fémek kémiai analizésére már 1774-ban végezett vizsgálatokat a svéd Sven Rinman, de ennek széleskörű gyakorlati alkalmazására csak a 19. század utolsó harmadában került sor. A réz-ön ötvözet teljes olvadási görbét 1897-ben C. T. Heycock és F. H. Newille határozta meg, az első világháború előtt, 1912-ben pedig már a röntgensugár segítségével végeztek elemzéseket. (Smith 1963, 238., 244.) Így a 20. század elejére gyakorlatilag kialakult a fémművesség kutatásának ma is használt szinte teljes eszköztára – mikroszkópi csiszolatok készítése, preparálása és fotózása, mikrokeménység mérés, a kémiai elemzések mellett a spektrometriai vizsgálatok –, amelyek bár folyamatosan finomodnak az újabb és újabb eszközök bevezetésével, gyökeres változást nem jelentettek a vizsgálatok menetében.

A magyar kutatás az első világháborúig témánk szempontjából is az európai élvonalba tartozott. Az első készítésestechnikai elemzéseket a hársashegyi bronzok vizsgálata alapján 1850 nyarán Szabó József végezte el. Ezek eredményei szerint a három megvizsgált tárgy – "sarlókép görbített vályús lemez, lúdtoll vastagságú rudacs, egy lándzsának hegye" – anyaga alapvetően réz, amelyhez néhány százalék ónt adva kaptak bronzot az egykori mesterek. (Kubinyi 1861, 111.) Az eredmények alapján Kubinyi Ferenc, pontosítva Érdy János, Kiss Ferenc és Ipolyi Arnold megjegyzéseit használja a "bronzkori" kifejezést, a bronz ötvözőelemeként pedig – a magyar régészeti szakirodalomban először – az ónt említi. (Kubinyi

1861, 81-82.) A hazai szakirodalomban a lipői kard kapcsán ekkor találkozunk az első hamisítási esettel is. Rómer Flóris a kard markolatának alakjára vonatkozóan tesz ugyan néhány kritikai észrevételt, a sárgaréz markolatú, ólommal forrasztott kardot Majláth Béla is majd csak a tárgy anyagának alaposabb megvizsgálása után tudja elkülöníteni a régészeti tárgytól. (Rómer 1868, Majláth 1870, Majláth 1870/a) A hazai és az európai régészeti gyakorlatban továbbra is a formai jegyek vizsgálata állt előtérben, de megnőtt a fémtárgyakon végzett természettudományos vizsgálatok száma. A Nemzeti Múzeum például Loczka József személyében "múzeumi vegyész" alkalmazott, aki 1885-ben megvizsgálta a frissen előkerült kurdi – a korabeli szóhasználattal élve – "kazán"-t és az egyik "ciszta"-t. (Wosinsky 1886) Loczka József Szabó József több mint harminc évvel korábbi vizsgálataitól eltérően nemcsak az ötvözet összetételét, hanem százalékos arányát is pontosan meghatározta. (Loczka 1885, 1885a, 1889) Ezen első, nagy precizitású hazai nedvesanalitikai eredmény szerint a leleteket tartalmazó "kazán" 81,46 % rezet és 4,57 % ónt tartalmazó ötvözete viszonylag magas, 13,95% ólomtartalmú volt (Loczka 1885.), míg a megvizsgált "ciszta" 88,68% rezet, 11,44% ónt tartalmazó ötvözete a bronz átlagos arányainak felelt meg. (Loczka 1885a. 281) Loczka az egyébként kalapálással előállított bronzlemezről készített tárgyakat "öntvény"-ként említette, és szerinte a friss törésfelületen megfigyelt érdes, hamuszürke felület erős oxidációról is árulkodott. (Loczka 1885) Loczka több mint húsz, később közreadott bronztárgy analízisének eredményei (Loczka 1889) és Hampel József óriási anyaggyűjtése (Hampel 1886-96) a magyarországi bronzkori fémművesség kutatásában is új fejezetet nyitott.

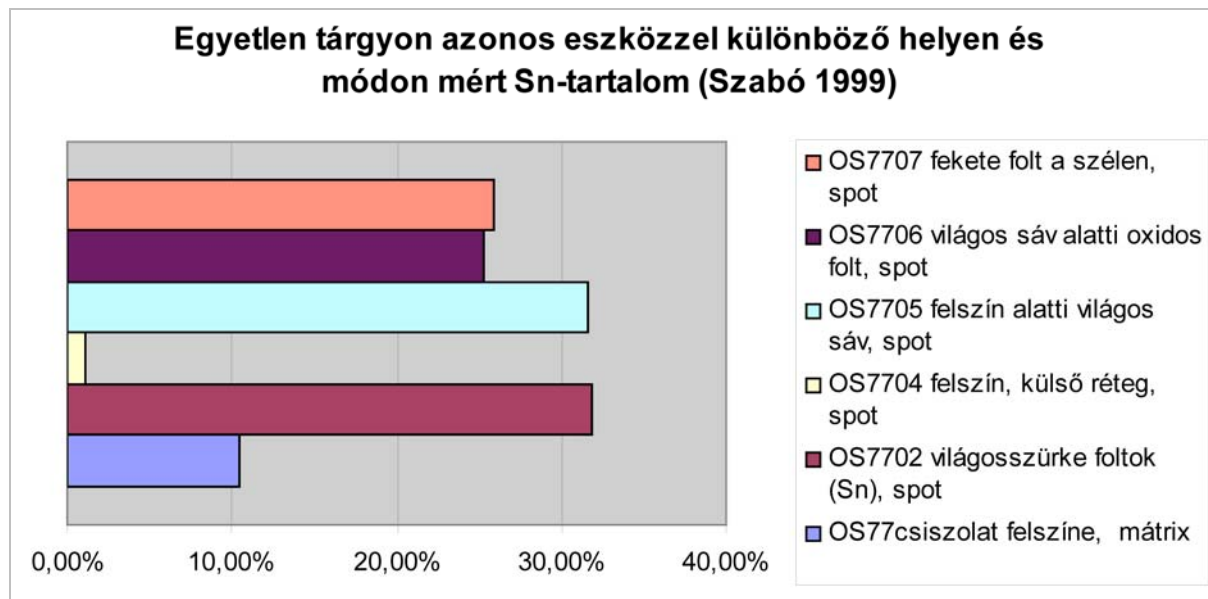
A századforduló után publikációiban Miske Kálmán elsősorban a velemi leletek alapján, de gyakorlatilag az egész addig előkerült bronzanyag ismeretében rendszerezte a bronzkori fémművesség kutatásában addig elért eredményeket. (Miske 1907. 24-30., 1912, 1913) Az egyes munkafolyamatok értékelését nagymértékben megkönnyítette, hogy számos esetben maga is végzett régészeti kísérleteket. (Miske 1907. 22.) Nagyfokú anyagismeretének alapját Otto Kröhke és főként Otto Helm anyagvizsgálatai jelentették. (Miske 1901, 1929, 81.; Szabó 1999 341-343.) Ugyancsak az analízisek egyik eredményeként vázolta fel a bronz előállításához szükséges nyersanyagok és késztermékek cseréje során egész Európát behálózó távolsági kereskedelmet. (Miske 1907, 30-42.)

A második velemi kincsleletet nem az idős Miske, hanem a következő fél évszázad bronzkor kutatásának meghatározó egyénisége, Mozsolics Amália ismertette. (Mozsolics 1941) Ő volt az, aki Szegedy Emillel 1953-ban Magyarországon először spektrumanalízissel elemzett késő bronzkori kocsialkatrészeket. (Szegedy 1954) Az egyes tárgyak készítési helyének pontosabb meghatározása miatt egyre inkább előtérbe került a nyomelemek vizsgálatának szükségessége is (Szegedy 1957), és a szerző számos bronztárgy elemzése mellett a bronz készítéséhez szükséges érc kohászati feldolgozásának egyes lépéseire is kitért. A nagyállói és a telekoldali leletek értékelése során Mozsolics Amália már Hegedűs Zoltán metallográfiai vizsgálatainak eredményeire is támaszkodhatott. Az összetétel elemzésekor és a csiszolatok – ma is használatos – vas-kloriddal történő maratásakor a szerzők különösen nagy figyelmet szenteltek a késő bronzkori tárgyak egy részénél megfigyelhető magas vastartalomnak. (Mozsolics-Hegedűs 1963) Bár a jelenségre egyértelmű magyarázatot nem találtak, az tűnt a legvalószínűbbnek, hogy azt az ércfeldolgozás során a nem megfelelő vastalanítás idézte elő. (Mozsolics & Hegedűs 1963) A hatvanas évektől, kötődve – ha csak rövid időre is – a tárgyak nagyszabású spektrumanalízis vizsgálatainak nemzetközi programjához (Junghans et al. 1975), Mozsolics Amália munkássága révén az első eredményeket az ópályi, a nyírbéltelki, a hajdusámsoni és a kosziderpadlási lelethorizont tárgyairól Franz és Eckehart Schubert adta közre. (Schubert & Schubert 1963, 1967)

Az 1980-as évek második felétől a hazai kutatóintézetek, egyetemi tanszékek mind szélesebb körű bekapcsolódásával a gyakoriságot és az eszközök változatosságát illetően egyaránt új fejezet nyílt a műtárgyak természettudományos vizsgálatában.

Fekete Mária például a celldömölk-izsákfai raktárlelet anyagösszetétel vizsgálatát végeztette el (Fekete 1986), Ilon Gábor Pápa környéki feltárásai leletanyagának természettudományos vizsgálata során pedig a legmodernebb eszközöket használó, szinte az egész országot és számos szakterületet átfogó csapat alakult ki. (Varga 1992, Varga et al 1989) A neutron aktivációs analízissel és Mössbauer-spektroszkópia alkalmazásával vizsgált kerámiatárgyak mellett a fémleletek röntgenemissziós (Költő & Kis Varga 1992), majd lézer-mikrospektrokémiai elemzésére is sor került. (Bakos & Borszéki 1989) A góri ásatáson előkerült ingot öntőmintájának (Ilon 1992) nagyműszeres vizsgálatához már pásztázó elektronmikroszkópot használtak, amely nagy felbontású és mégis nagy mélységű kép ad. (T. Biró 1995)





**3. ábra:** Az ötvözőanyag dúsulásának EDS-vizsgálata a velemi fűzfalevél alakú csüngőn. A felszínre hőkezeléssel kicsapatott ón egykor rendkívül sima felületet és ezüstös színt adott a tárgynak. Az eredeti felszínt elfedő korróziós rétegben az Sn-tartalom eloszlása egyenetlen, általában magas (OS7707), de egészen alacsony (OS77004) is lehet. (BRVEL 77. csiszolat, Savaria Múzeum, 54.512.266. ltsz.)

**Fig. 3.:** EDS examination of alloying material enrichment in the willow-leaf shaped pendant from Velem. Tin precipitated to the surface gave extraordinarily smooth and silvery texture to the objects. In the corrosion layer covering the original surface, the distribution of tin is uneven, usually high (OS7707), but in can be fairly low as well (OS77004). (BRVEL 77. segment, Savaria Múzeum, 54.512.266.)

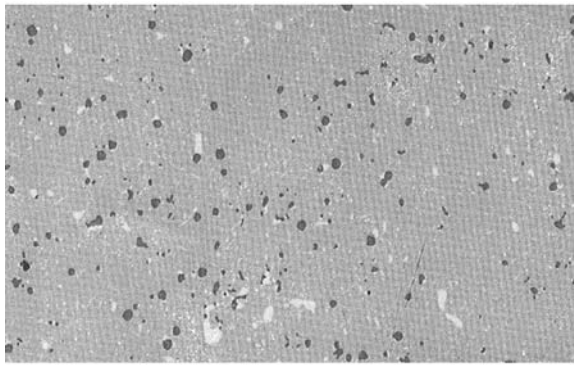
Ezzel közel egy időben az újabb velemi ásatásokon talált öntölepenyek elemzésénél az erős nagyítású képek készítésével párhuzamosan a kiegészítő lehetőségeknek köszönhetően (SEM-EDS) már az anyagösszetétel vizsgálatokra is sor került (Czajlik et al. 1995) Ezeket a kutatásokat jól kiegészítették a főként Tolna megyei leletek és ásatási megfigyelések alapján végzett régészeti kísérletek, valamint a legmodernebb természettudományos eszközök és eljárások segítségével a késő bronzkori fémművesség kevésbé vizsgált, anyagszerkezeti változásokat okozó technikai ismereteit, technológiai eljárásait feltáró széles körű vizsgálatok. (Szabó 1993, 1994-95, 1996; Nacsa 1990) Ennek keretében például a hazai késő bronzkori fémművesség kutatása során először került sor az anyagösszetétel- és anyagszerkezet-vizsgálatok mellett a fém tulajdonságairól lényeges információt szolgáltató keménység megállapítására. (Szabó 1999, 2002, 486.)

Napjainkra már az örökségvédelmi intézményekben is megjelentek a legmodernebb eszközök, így napi gyakorlattá váltak a természettudományos vizsgálatok. Intézmények közötti vagy nemzetközi együttműködések keretében pedig még a legspeciálisabb elemzések is elérhetővé váltak. Kutatási lehetőségeink elméletileg azonosak a világ

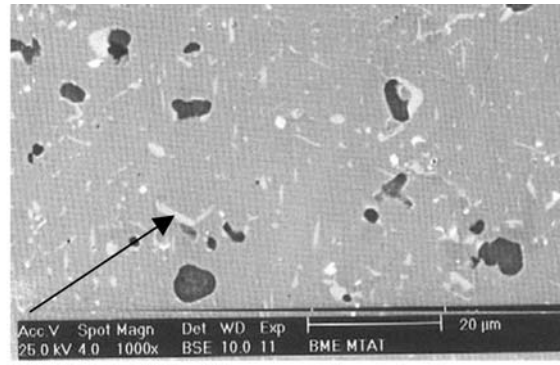
fejlettebb régióival – korlátainkat elsősorban a szerényebb anyagi háttér jelenti.

Mint a fentiekből látható, a magyar kutatás lehetőségeit tekintve a világháborúkat követő megtorpanás után csak az 1960-as évektől kezdett lassan magához térni, a rendszerváltozás körüli évektől egyre gyorsuló ütemben zárkózva fel a nemzetközi tudományos élethez. A kutatási eredményeket, a mérési adatokat tekintve azonban megállapítható, hogy míg az első világháború előtt a nemzetközi eredményekkel való párhuzamosság volt a jellemző, az 1980-90-es évektől a bronzknál a felszíni- vagy felszínközeli mintavételi gyakorlat széleskörű elterjedésének köszönhetően az ötvözőanyagtartalom mérési eredményeinek egyébként is nemzetközi szinten megfigyelhető egyre emelkedő szintje mellett az újabb magyar elemzések értékei különösen kiugróan magas adatokat szolgáltattak. (Költő & Kis Varga 1992, Költő 1996, Szabó 1998) **(2. ábra)** A kérdéskört a kora- és középső bronzkori nyersanyagbeszerzés lehetőségeinek vizsgálata kapcsán legutóbb Kiss Viktória tekintette át. (Kiss 2009)

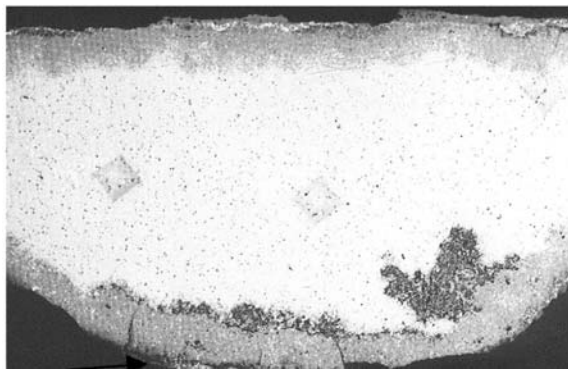
Az eddig eredmények rövid bemutatása után a bevezetőben felvázolt négy problémakör megválaszolása is könnyebbnek tűnik.



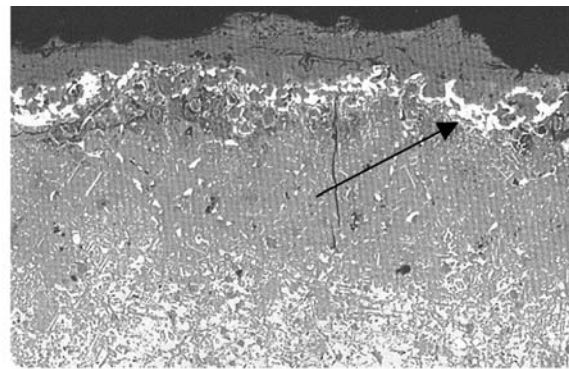
BRVEL77 csüngő alapanyaga



BRVEL7702 világosszürke foltok



BRVEL7704 felszín, külső réteg



BRVEL7705 felszín alatti világos sáv

**4. ábra:** A BRVEL77 minta csiszolatának SEM képei a vizsgált területekkel

**Fig. 4.:** SEM images of the sample BRVEL77. segment

Az, hogy az elmúlt évtizedekben bekövetkezett technikai fejlődés révén az új eszközökkel, mérési módszerekkel mért eredmények nincsenek összhangban a korábbi kutatások adataival, nem magyarázható történeti, régészeti okokkal, az eltérő nyersanyaglelőhelyekkel – legalábbis erre mutatnak az azonos tárgyakon eltérő módszerekkel mért eltérő eredmények. (3. ábra) Az elemzett adatok összessége arra utal, hogy a vizsgálatokkal összefüggő módszertani okok (a vizsgálat módja, eszköze, a mintavétel helye), a metallográfiai törvényszerűségek, a korróziós folyamatok döntően befolyásolhatják a kapott vizsgálati eredményt. (Szabó 2002, 486-487.) Így különösen fontos kérdés, hogy a tárgy egészét reprezentáló átlagolt, vagy csak kisebb területét érintő vizsgálati eredményről van-e szó. (4. ábra, 1-2. táblázat) Ez különösen szembeütő, ha a korai nedvesanalitikai eljárással vizsgált tárgyakról és a hatvanas években tömegesen elterjedt, a roncsolásmentesség érdekében a felületről, vagy felületközeletről vett, spektrometriai módszerekkel elemzett mintákról kapott eredményeket vetjük össze: szembeötlő az ötvözőanyag arányának látszólagos emelkedése. (1. ábra) A kutatás korai időszakában kémiai úton, a hagyományos nedvesanalitikai eljárásnak köszönhetően a tárgyak nagyobb

területét érintő mintavétel miatt átlag értéket adtak, míg a későbbi mérések a technológia fejlődésével párhuzamosan a tárgyak mind kisebb részterületeire korlátozódtak. A különböző nagy energiájú sugárnyalábokkal végzett mérések a műtárgyvédelmi érdekeknek megfelelően inkább csak a felületet érintették, a legmodernebb eszközök és technológiák pedig grammnyi minták töredékéből is lehetővé teszik az összetétel meghatározását, s ebből következően a rácsszerkezet egyetlen kristallitjának mérését is. Márpedig régóta ismert, hogy egyes bronztárgyak felületén ónbő réteg figyelhető meg. (Meeks 1986) Az pedig éppen a magyar kutatás eredményei közé tartozik, hogy sikerült bizonyítani: a bronztárgyakon a felület közelében és a felszínen megfigyelt ötvözőanyag dúsulás összefügg a megmunkálás módjával. (Szabó 1998) (5-6. ábra) Sajnos még ma is előfordul, hogy ezt a körülményt figyelmen kívül hagyják a vizsgálatok megtervezése során.

Mint az köztudott, az egyre modernebb vizsgálati eljárások mind kisebb tömegű minták vizsgálatát teszik lehetővé. Ez különösen a több, különböző összetételű fázissal rendelkező fémek nem homogén szerkezetű ötvözeteti esetében okozhat gondot.



**1. táblázat:** A velemi késő bronzkori fűzfalevél alakú csüngő EDS- vizsgálatának eredményei - BRVEL74, BRVEL77 minta EDS-vizsgálata

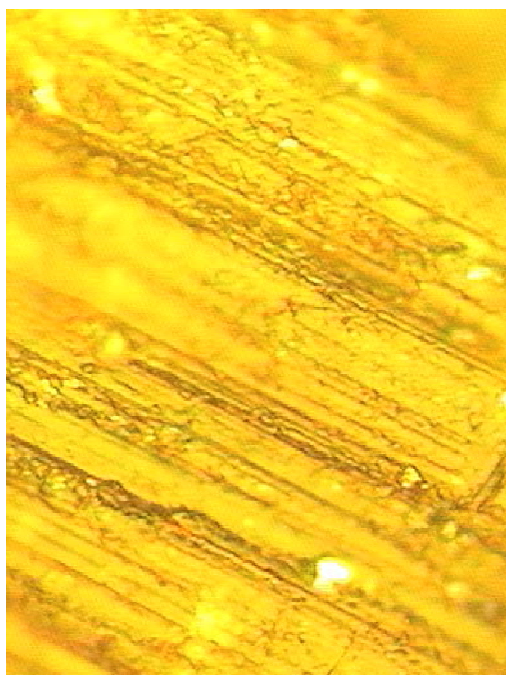
**Table 1.:** EDS examination of the willow-leaf shaped pendant from Velem - Samples BRVEL74, BRVEL77

OS7401			OS77ALAP		OS7702		OS7703			
„keiftu” alapanyaga (mátrix)			As szemcse		csüngő alapanyaga (mátrix)		világosszürke foltok (Sn)		sötétszürke foltok (S, Fe)	
Elem	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%
C K										
O K			9.62	33.00						
As K			74.30	54.44	0.80	0.71	1.14	1.12		
Si K	0.94	99.06			0.60	1.40				
S K					0.71	1.45			22.92	36.57
Ni K					1.56	1.75	15.49	19.43	0.29	0.25
Sn L					10.43	5.77	31.90	19.43		
Sb L			3.22	1.45						
Cl K										
Fe K					0.47	0.55			12.36	11.32
Cu K	99.58	0.42	12.85	11.11	85.44	88.38	51.47	59.65	64.42	51.86
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

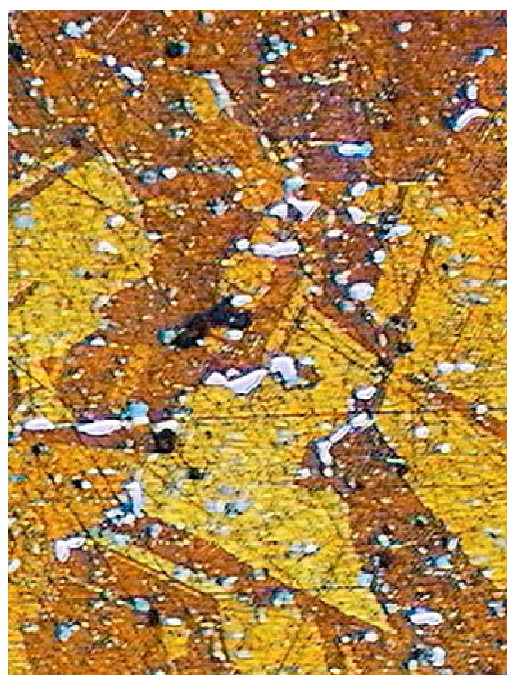
**2. táblázat:** A velemi késő bronzkori fűzfalevél alakú csüngő EDS- vizsgálatának eredményei - BRVEL77 minta felszínközeli rétegeinek EDS-vizsgálata

**Table 2.:** EDS examination of the willow-leaf shaped pendant from Velem - Sample BRVEL77 near-surface layers

OS7704			OS7705		OS7706		OS7707	
felszín, külső réteg			felszín alatti világos sáv		világos sáv alatti oxidos folt		fekete folt a szélénél	
Elem	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%
C K								
O K	4.66	15.86			8.67	29.19	7.33	24.39
AsL					1.40	1.01	1.94	1.38
AlK					0.67	1.34	1.87	3.69
SiK	0.56	1.19	0.49	1.27	0.91	1.74	0.64	1.22
P K					0.25	0.43		
S K	2.13	3.62			0.46	0.77	1.45	2.40
NiK			5.60	7.01	0.84	0.77	1.44	1.30
SnL	1.10	0.51	31.60	19.58	25.27	11.47	25.94	11.64
SbL								
ClK	0.44	0.68			1.39	2.11	6.07	9.12
FeK	0.44	0.43			1.41	1.36	1.32	1.26
CuK	90.67	77.81	62.31	72.13	58.75	49.82	52.01	43.60
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>



Velem, BRVEF77a 50x. Csüngő, ónozott felszín



Velem, BRVEL77c 100x. Csiszolat, megmunkált, hőkezelt szövetszerkezet nyomaival

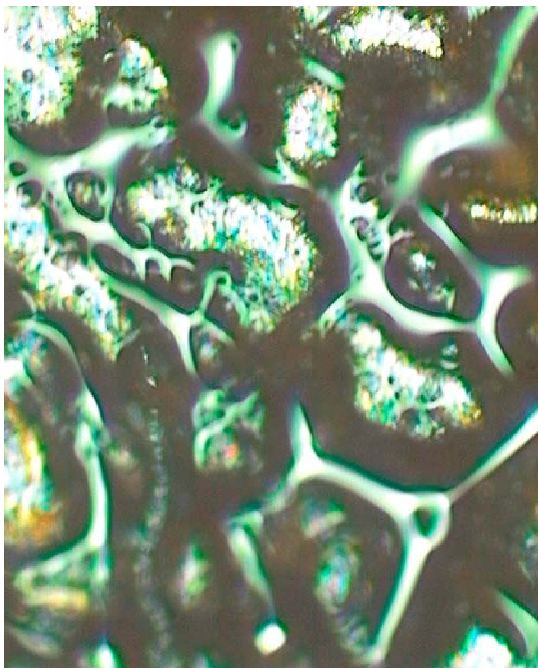
**5. ábra:** A velemi csüngő felszínén jól látható az óndús felületi réteg, csiszolati képén pedig a kialakulásához vezető hőkezelésre utaló ikerkristallitok ((BRVEL84 csiszolat, Savaria Múzeum, 54.508.21.)

**Fig. 5.:** The tin-rich superficial layer can be clearly seen on the surface of the willow-leaf shaped pendant from Velem, as well as the twinned crystallites, which point to the annealing, which points to the enrichment. (BRVEL84 segment, Savaria Múzeum, Inv. nr. 54.508.21.)

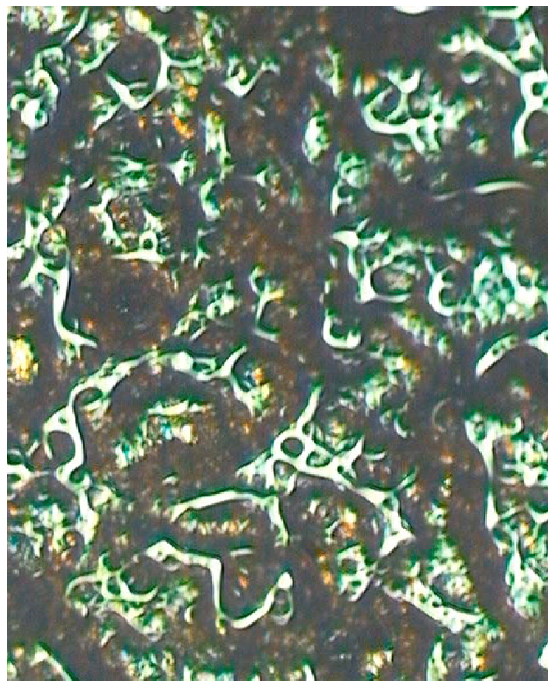
Addig, amíg például az arany és az ezüst ötvözetek kétkomponensű, szilárd oldatot képező rendszer, amelyben a két fém korlátlanul elegyedik egymással, és szilárd fázisát elegykristályok alkotják, a bronz ettől teljesen eltér. A réz és ón ötvözetek az egyik legbonyolultabb, a szennyezőanyagokra érzékenyen reagáló rendszer, amelynek az egyes, különböző összetételű fázisok a hőmérséklet változásával párhuzamosan alakulnak. Például az *alfa-fázis* az ónnak rézben való szilárd oldata, melynek telítési határa 799 °C-on 25,5 %, 520 °C-on 15,8 %, 520 °C alatt pedig lecsökken 14 %-ra. Ha a hidegen erősen alakított alfa-fázisú ötvözeteket 200-300 °C-on hosszú ideig, több napig hevítik, akkor a szilárd oldatból az ón-epszilon-fázisként majdnem maradéktalanul elkülönül. A *béta-fázis*  $Cu_3Sn$  elektronvegyület, mely hűlés közben 586 °C-on eutektoidosan alfa+gamma-fázisokká alakul át. A *gamma-fázis* még pontosan nem ismert, feltehetően a béta-fázis rendezett rácsú változata. A *delta-fázisnak* a mikroszkóp alatt látható világos szürkés-kék  $Cu_{31}Sn_8$  elektronvegyülete kb. 32,6 % ónt tartalmaz. A delta-fázis 350 °C-on még átalakul ugyan alfa+epszilon-fázisok elegyévé, azonban ez az átalakulás rendkívül lomha, a gyakorlatban nem

megy végbe, így a legfeljebb 30-32 % óntartalmú ötvözetek 520 °C-on kialakuló szövete változatlanul megmarad. Ezért a régészeti gyakorlatban használatos bronzokban általában az alfa+delta-eutektoid az egyetlen, az alfa-fázison kívül található szövetelem. A béta-fázisú, 20-30% körüli ötvözőanyagot tartalmazó bronzokat ritkán, tulajdonságainak megfelelő speciális célokra használták. A béta bronzok jellegzetesen aranyszínűek, melyeket gyakran hangszerknél is használnak. A Kárpát-medence késő bronzkori leleteire nem jellemzőek e tárgyak, inkább India és Thaiföld területén gyakoriak, s ehhez a csoporthoz tartozik az iszlám fehérbronz, a "safidruy" is. A még magasabb, 35 % körüli óntartalmú "speculum" pedig a tükrök kedvelt alapanyaga volt a római korban. A történelmi háttér ismeretében a 20-30 % körüli óntartalomra utaló adat sok esetben a szakterület kutatójában már eleve gyanút kell, hogy ébresszen.

A mai modern körülmények között azonos eszköztípusokkal mért adatok között is laboronként eltérő eredményeket tapasztalhatunk. Nehezíti az eredmények összevetését már az is, hogy a vizsgált elemek csoportja, illetve azok száma is eltérő.



Regöly-Veravár (21.), fibula. BRBRONZF24a 100x



Regöly-Veravár (77.), tük. BRBRONZF16a 50x

**6. ábra:** Az ötvözőanyag dúsulása a felszínen hőkezelt tárgyaknál már viszonylag kis nagyításon is jól megfigyelhető

**Fig. 6.:** Enrichment of the alloying material on the annealed objects' surface is already apparent at low magnifications

Ráadásul az eltérő mintavételi módszerek mellett időnként még a vizsgálati eszközök eltérő kalibrálása, és így a mért értékek különbözősége is megfigyelhető. Szinte lehetetlen a mérési eredmények történeti szempontú feldolgozása, ha azok a vizsgálati módszerek korlátai miatt nem hasonlíthatók össze, nem elemezhetőek nemzetközi szinten. A publikációkban gyakorlatilag abszolút értéként feltüntetett, valójában egészen szűk korlátok között értelmezhető összetételadatok a régészek többsége számára megtévesztőek.

A magyar kutatás egyik erőssége kezdetektől fogva az volt, hogy a természettudományos vizsgálatok eredményeit – a leginkább az angolszász területekre jellemző gyakorlattól eltérően – következetesen a társadalmi, gazdasági, technikátörténeti folyamatokba beágyazva, a történettudományi háttér jobb megvilágítására használta fel. Az okok között szerepelhetett persze a viszonylag kevés – de a szűkös anyagiak kényszere miatt végiggondoltabb, célzottabb – vizsgálati lehetőség is. Mára a tömegessé váló anyagvizsgálatok háttérben már nálunk sem mindig látható a vizsgálatot indukáló történeti probléma, a következetesen végiggondolt kutatási, mintavételi terv. Egyre gyakoribbak az öncélúnak tűnő vizsgálatok, ahol a háttérben nem kutatásfilozófiai megfontolások állnak, hanem a mérések egyszerűen csak ötletszerűek, módszertanilag

végiggondolatlanok. Mások például a nyomelemeken alapuló eredetvizsgálat lehetőségei a kora bronzkorban és a fémeket már többszörösen újraolvasztó késő bronzkorban. Ugyanígy felesleges lehet a tömegtermékek azonos szempontú vizsgálata: nem sok eredmény várható például a késő bronzkori telepek többségén gyakran a helyben összegyűjtött töredékekből előállított sarlók, tokosbalták vagy tük összetételének elemzésétől.

A vizsgált tárgy által felvetett kérdésekhez érdemes megkeresni a minden tekintetben kielégítő választ biztosító vizsgálati módszereket és eszközöket – de sokszor célszerűbbnek tűnik a felvetett kérdés megválaszolásához a vizsgálati módszert, eszközt, tárgyat együttesen kiválasztani. Lehet, hogy a kezünkben lévő lelet alapján megfogalmazódó kérdésre egy másik, hasonló típusú, de például láthatóan gyártási hibás vagy sérült példány vizsgálta alapján könnyebben kaphatunk választ.

A kutatás eredményességét jelentősen befolyásolja az is, hogy a vizsgálatok és az eredmények sok esetben nem követhetők nyomon, így azok a tudományos kutatás számára nem, vagy csak korlátozottan elérhetőek. A mérési eredményeket, a vizsgálati metodikai részleteit többnyire a kutatók őrzik, az adatok egy részét beépítik publikációikba. Alig fordul elő azonban, hogy a műtárgy leírókartonján szerepeljenek ezek a fontos adatok.



Ráadásul gyakori, hogy egy-egy kiemelt műtárgyat hasonló szempontokból többször is megvizsgálunk. Ennek természetesen megvan az az előnye, hogy kontrollálják a korábbi eredményeket, azonban optimális esetben ezt úgy is el lehetne érni, hogy elegendő lenne még a lelet restaurálása előtt olyan egyszerű mintát venni, amely esztétikai szempontból nem okoz a műtárgyon sérülést, ugyanakkor jól reprezentálja a tárgyat, és alkalmas az összetétel mellett az anyagszerkezet vizsgálatára is. Természetesen készítéstechnikai szempontból még egy egyszerűnek tűnő öntött régészeti lelet készítésének, megmunkálásának, esetleges későbbi sérüléseinek, javításainak figyelembevételével több mintavételi pontra is szükség lehet.

Ezzel megszűnne a műtárgy további vizsgálati roncsolása. A leletekhez hasonlóan nyilvántartott minták kölcsönözhetőségével pedig jelentősen kiszélesedhetnének a további vizsgálati lehetőségek.

### Felhasznált irodalom

BAKOS M. & BORSZÉKI J. (1989): Későbronzkori fémleletek lézermikrospektrokémiai vizsgálatának eredményei. *Acta Musei Papensis* 2, 33-37.

CZAJLIK Z. - MOLNÁR F. - SOLYMOS K. (1995): Angaben zu der spätbronzezeitlichen Metallroh-materialversorgung am Velem/St.-Veit-Berg, Westungarn. *ARCHÖST* 6/2, 30-35.

DENNIS, W.H. (ed.) (1963): A Hundred Years of Metallurgy. London.

FEKETE M., (1986): A celldömölk-izsákfai késő bronzkori raktárlelet röntgendiffrakciós vizsgálata. *IRAMTO* VI/1. 5.

HAMPEL J. (1886-96): *A bronzkor Magyarhonban*. I-III. Budapest.

ILON, G. (1992): Keftiubarren ingot from an Urn-grave Culture settlement at Gőr-Kápolnadomb (C. Vas) *ActaArchHung* 44, 239-259.

JUNGHANS, S. - SANGMEISTER, E. - SCHRÖDER, M. (1975): *Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Katalog der Analysen Nr. 1-22000*. Berlin.

KISS V. (2009): A fém nyersanyag-felhasználás kérdései a Dunántúl kora és középső bronzkorában. *MQMOΣ* VI, 197-212., Szombathely.

KÖLTŐ L. & KIS VARGA M. (1992): A Pápai Helytörténeti Múzeum néhány későbronzkori leletének röntgenemissziós analitikai vizsgálata. *Acta Musei Papensis* 3-4, 81-84.

KÖLTŐ L. (1996): Néhány nagy antimontartalmú bronzkori tárgy röntgenemissziós analízise. X-ray emission analysis of some bronze objects of high antimony content, *Acta Musei Papensis* 6, 83-88.

Ezen optimális helyzet eléréséig azonban alapvetőnek kell tekinteni, hogy a mérési eredmények visszajussanak a tárgyakat őrző intézménybe, az adatok pedig bekerüljenek a nyilvántartásba.

Az eddigi kutatás eredményeinek áttekintése alapján egyértelmű, hogy a különböző eljárásokkal mért adatokat csak megfelelő forráskritikával lehet együttesen értékelni, összehasonlítani. Az újabb vizsgálatok tervezésénél pedig már szakmai-etikai felelősség is figyelembe venni az alapvető, a konkrét tárgy alapanyagát, készítési módját érintő metallográfiai törvényszerűségeket. A továbbiakban az összehasonlíthatóság érdekében célszerű lenne egy egységes mintavételi rend kidolgozása, a minták nyilvántartását, mérési eredmények tárolását szolgáló eljárásrend kialakítása, a vizsgált elemek minimális körének megállapítása.

KUBINYI F. (1861): Magyarországon talált kő- és bronzkori régiségek. *ArchKözl* 2, 81-113.

LOCZKA J. (1885): A kurdi etruszk bronzkazán vegyelemzése. *AE* 19, 149.

LOCZKA J. (1885a): Kurdi ciszták vegyelemzése. *AE* 19, 280-281.

LOCZKA J. (1889): Hazai bronzkori tárgyak vegyelemzése. *Math. Tt. Ért.* 275-291.

MAJLÁTH B. (1870): A lipői szép kard. *AE* 4, 17-18.

MAJLÁTH B. (1870a): Még egyszer a lipői szép kard. *AE* 4, 271-272.

MEEKS, N. D. (1986): Tin-rich Surfaces on Bronze. Some Experimental and Archaeological Considerations, *Archaeometry* 28., 133-162.

MISKE K. (1907): *Velem Szt.vidi őstelep*. I. Wien.

MISKE K. (1912): Bronzkori typologia. I. *Múzeumi és Könyvtári Értesítő* 6, 77-97.

MISKE K. (1913): Bronzkori typologia. II. *Múzeumi és Könyvtári Értesítő* 7, 8-24.

MISKE, K. (1929): Bergbau, Verhüttung und Metallbearbeitungswerkzeuge aus Velem - St. Veit (Westungarn). *WPZ*, 81-94.

MOZSOLICS A. & HEGEDŰS Z. (1963): Két nagyállói bronzlelet és a telekoldali bronzlelet vizsgálata. - Zwei Depotfunde von Nagyálló (Kom. Szabolcs-Szatmár) und die spektographische Untersuchung einiger Bronzen von Telekoldal. *AE* 90, 252-262.

MOZSOLICS A. (1941): A második velemi kincslelet. - La seconde trouvaille de bronze de Velemzentvid. *Dunántúli Szemle* 5, 257-263.

- NACSA M. (1993): Korong alakú bronzkori övdísz készítési technológiája. *Tisicum* 115-126.
- RÓMER F. (1868): A Liptó sz.-Ivánban... *AE* **1**, 148-149.
- SCHUBERT, E. & SCHUBERT, F. (1963): Spektralanalytische Untersuchungen von Hortfunde von Ópályi und Nyírbéltelek. *ActaArchHung* **19**, 82-83.
- SCHUBERT, E. & SCHUBERT, F. (1967): Spektralanalytische Untersuchungen von Hort- und Einzelfunden der Periode B III. In: *Mozsolics A.: Bronzefunde des Karpatenbeckens*. Bp. 185-203.
- SMITH, C. S. (1960): *A history of metallography*. Chicago.
- SMITH, C. S. (ed.) (1963): *The Sorby centennial symposium on the history of metallurgy*. New York-London-Paris.
- SZABÓ G. (1993): Fémmegmunkálási nyomok a Regöly-Veravár késő bronzkori leletegyüttes tárgyain. *Wosinsky Mór Múzeum Évkönyve* **18**, 169-224.
- SZABÓ G. (1994): A kárpát-medencei késő bronzkori sisakok készítésének problémái egy újabb lelet alapján. Probleme der Herstellung Spätbronzezeitlichen Helme im Karpatenbecken. (In: *A kőkortól a középkorig*. Szerk.: Lőrinczy Gábor) Szeged. 219-227.
- SZABÓ G. (1994-95): Északi bronztárgyak - vagy északi technológia a Kárpát-medencében? *AE* 121-122, 79-87.
- SZABÓ G. (1996): The manufacture and usage of Late Bronze Age rings: two new ring hoards. In: *Studien zur Metallindustrie im Karpatenbecken und den benachbarten Regionen*. (ed.: T. Kovács) Budapest.
- SZABÓ G. (1999): Adatok a velemi késő bronzkori ónbronzoak archaeometallurgiai vizsgálataihoz. *Savaria* **24/3**, 329-357.
- SZABÓ G. (1999a): A késő bronzkori fémművesség és technikai kultúra a Kárpát-medencében. *Közöletlen PhD dolgozat*. Műszaki Egyetem, Budapest.
- SZABÓ, G. (1998): Evaluation of Late Bronze Age Carpathian tinbronzes based on alloying content. In: *Archaeometrical research in Hungary II*. Költő, L. & Bartosiewicz, L. (eds.), 159-173, Kaposvár-Veszprém-Budapest
- SZABÓ, G. (2002): Archaeometallurgical investigation of the LBA bronze objects in the Carpathian basin. *Archaeometry* **98**. *BAR Int. Ser.* **1043 (II)**, 481-490.
- SZEGEDY E. (1954): Laboratornűj analiz bronzovüh vtulok kolesz galstatsszkovo vremeni. Spektralanalytische Untersuchung spätbronzezeitlicher Radnabenverkleidungen. *ActaArchHung* **7**, 15-16.
- SZEGEDY E. (1957): Die Metalltechnologie der Depotfunde von Alsónémedi und Pusztaszentkirály. *ActaArchHung* **8**, 157-163.
- T. BIRÓ, K. (1995): Litchic implements of Gőr, NW Hungary; evidence of stone casting moulds production: preliminary results. *ASMOSIA* **3**, 51-56.
- VARGA I. - MOLNÁR ZS. - NAGYNÉ CZAKÓ I. - ILON G. (1989): Németbánya későbronzkori kerámiái a természettudományos vizsgálatok tükrében. *Acta Musei Papensis* **2**, 39-48.
- VARGA I. (1992): Késő bronzkori üveggyöngy Bakonyjákóról. *Acta Musei Papensis* **3-4**, 97-99.
- WOSINSKY M. (1886): *Etruskische Bronze-Gefässe in Kurd*. Budapest.

**TÁRGY – INFORMÁCIÓ – ÉRTÉK****OBJECT – INFORMATION – VALUE**

DÚZS KRISZTINA &amp; LENCZ BALÁZS

Magyar Nemzeti Múzeum, Műtárgyvédelmi és Restaurátor Főosztály, 1088. Budapest, Múzeum krt. 14-16

E-mail: [kriszta.duzs@ace.hu](mailto:kriszta.duzs@ace.hu)**Abstract**

*The article presents the process of conservation/restoration, for material analysis experts working in the field of archaeometry, summarizing the most significant analysis techniques, which are already accepted in the practice of restoration. This overview might contribute to the appropriate, sequential planning of the different analytical methods, providing a more effective way of cooperation, by sharing and processing our results.*

**Kivonat**

*Cikkünkben a restaurálás / konzerválás folyamatát szeretnénk bemutatni az anyagvizsgálatokat archeometriai szempontból végző kollégák számára, összefoglalva azokat a legjelentősebb vizsgálati technikákat, amelyek már "utat találtak" a restaurátor munka gyakorlatába. Ez az áttekintés segítséget nyújthat ahhoz, hogy az anyagtudományi vizsgálatokat megfelelően ütemezve, a műtárgy számára optimális módon és időben tehessük meg, és még jobban tudjunk egymás eredményeire támaszkodni.*

KEYWORDS: ARCHAEOLOGY, SCIENTIFIC ANALYSIS, PRESERVATION, CONSERVATION, RESTORATION

KULCSSZAVAK: ARCHEOMETRIA, ANYAGVIZSGÁLAT, MEGŐRZÉS, KONZERVÁLÁS, RESTAURÁLÁS

**Bevezetés**

Egy – egy tárgy konzerválását minden esetben a műtárgy maga határozza meg. Éppen ezért egy restaurátor munkája azzal kezdődik, hogy a rábízott leletekről, műkincsekről, azok alapanyagáról illetve készítése technikájáról a lehető legtöbb és legpontosabb információt összegyűjtse. Régészeti leletek esetében segítséget kaphat az ásató régésztől, más műtárgyak esetében, a művészettörténésztől vagy a tulajdonostól kapott információkra támaszkodhat. A szakmai ismeretek, tapasztalatok mellett egyre inkább számíthat a különböző műszeres vizsgálatokat végző szakemberekre is.

**A restaurátor munka és az ezzel kapcsolatos anyagvizsgálatok**

Az első adat, amivel egy restaurátor az adott tárggyal kapcsolatban találkozik, mindig a bekerülés módja, illetve körülményei és a leletek (vagy műalkotások) kora. Ásatáson előkerült, földdel, korróziós termékkel vagy egyéb szennyezőanyaggal fedett tárgyak esetében az ásató régésztől kapott információkra támaszkodva kezdhet el építkezni a kezeléssel kapcsolatban. Például, fémek esetében a felületeken lévő korrózió színéből nagy biztonsággal következtethetünk az alapanyagra, de a szennyeződés alatt esetlegesen megbújó díszítésekről mit sem tudhatunk. Nem ásatásból (pl. gyűjteményekből, hagyatékból stb.) bekerülő tárgyak esetében kicsit könnyebb a helyzet, bár a teljes képet itt sem láthatjuk át elsőre.

A restaurátori etika egyik alapelve, hogy a műtárgyak kezelése során az állapottól és a szennyeződéstől függően a legkíméletesebb módszertől és anyagtól kezdve haladunk az agresszívabb eljárások felé. Első lépésként a szakember optikai módszerekkel vizsgálja meg a műtárgyat. Ez a tapasztalati ismereteken alapuló szemrevételezésen keresztül a mikroszkópos felvételeken át a videomikroszkópos - endoszkópos analízisig terjed; változatos és sokféle lehetőséget foglal magában.

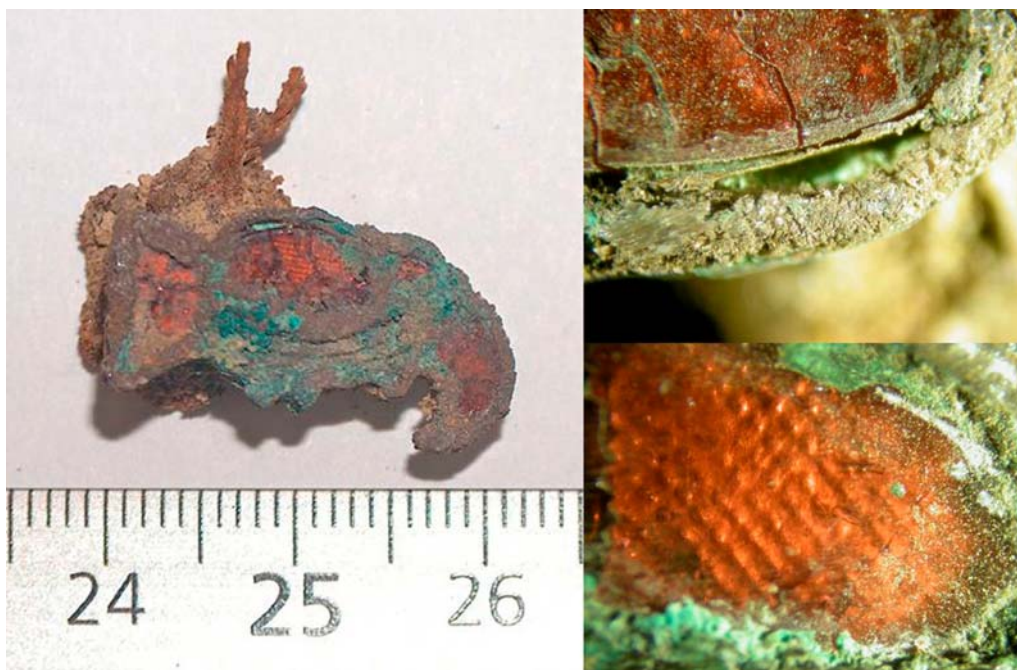
Általánosságban, a következő elemzési módszer a sorban a tárgyak megrentgenézése. Az összetett, több anyagtypust tartalmazó fémtárgyak esetében a különböző díszítő berakások eltérő sugárelnyelésből következtethetünk azok anyagára. A díszítés létezését és annak formáját nagy biztonsággal tudjuk megerősíteni egy röntgenfelvétel alapján, ami a kezelése elkezdeséhez komoly segítséget nyújthat. Minden egyes restaurátor műhely számára elérhető és alkalmazható vizsgálati módszer a mikroanalitika, ahol anyagspecifikusan, kémiai módszerekkel megerősítést kaphatunk a feltételezéseink szerint a tárgyat alkotó egyes elemekre vonatkozóan.

A következő olyan roncsolásmentes vizsgálati módszer, amit reményeink szerint egyre több helyen lehet majd elérni, de jelenleg csak kiemelt esetekben van módunk alkalmazni - külső partnercégek, intézmények segítségének igénybevételevel – az a kézi röntgenspektroszkópi (XRF, X-Ray Fluorescence Spectroscopy) vizsgálat.



**1. ábra:** A fibula helyzete a sírban, valamint a tárgy restaurálás közbeni illetve a restaurálás utáni állapota (MNM, Tiszagyenda, Lakhatom, ásató régész: Hajnal Zs.)

**Fig. 1.:** The position of the fibula in the grave; the condition of the object during and after conservation (HNM, Tiszagyenda, Lakhatom, archaeologist: Zs. Hajnal)



**2. ábra:** A madár alakú, ékkő berakásos fibula képe, illetve az almandinkő és a bronz foglalat között elhelyezkedő arany lemez, kb. 20x nagyításban (MNM, Tiszagyenda, Lakhatom, ásató régész: Hajnal Zs.)

**Fig. 2:** Picture of the bird-shaped, jewel inlaid fibula, and the gold foil located between the almandin stone and the bronze casing (approx. 20X magnification), (HNM, Tiszagyenda, Lakhatom, archaeologist: Zs. Hajnal)



Az így kapott eredmények már az egyes alkotóelemeket tekintve is sokkal pontosabb adatokkal szolgálhatnak számunkra. Lehetőségünk van, partnerintézményeken keresztül, számos olyan nagyműszeres vizsgálatot is igénybe venni, ami helyhez, illetve speciális erőforrásokhoz van kötve. Az ilyen elemzések eredményei szolgáltatják a legpontosabb adatokat, ezeket azonban csak a legkiemeltebb munkáknál, illetve nagyobb kutatási témákhoz kapcsolódva tudjuk elvégeztetni. Ilyen például az MTA Páztázó Elektronmikroszkópos Laboratóriumával régóta fennálló együttműködésünk (Tóth 2009).

Alapvető hangsúlyt kell fektetnünk a kezelések, a restaurátori beavatkozások előtti mintavételekre, melyek "tisztá" eredményt szolgáltatnak. Bármilyen kezelés előtt célszerű lenne minden olyan mintát levenni a tárgyról, ami a további kutatások szempontjából fontos lehet, lényeges információt hordozhat. Az anyagvizsgálatok többsége bizonyos fokú anyagvesztéssel jár, a kiemelt rész a tárgyból eltűnik, vissza nem állíthatóvá válik, illetve csak a pontos megelőző dokumentációkban kereshető vissza. A megtervezetlen, átgondolatlan mintavételek esetében újbóli, ismételt anyagvételre lehet szükség, amely tovább roncsolhatja a műtárgyat. Alaposan meg kell fontolni minden esetben, hogy az adott minta segítségével milyen információkat szeretnénk kinyerni tárgyból, és azok megszerzéséhez milyen módszereket kell igénybe vennünk.

Ezeket a mintákat tudatosan, megtervezett módon kellene gyűjteni, tárolni, valamint egy megfelelő kísérőadatokkal, dokumentációval ellátott mintabázisban őrizni, hogy későbbi kutatások során ismét használhatóak legyenek. A kiállítások megépítésével párhuzamosan a felhasznált installációs anyagokból is érdemes lenne mintákat venni, valamint a műtárgyak állapotáról pontos fényképes dokumentációt készíteni, esetleg a több alkotó elemből vagy anyagból álló tárgyakból referencia mintát elkülöníteni. Az esetlegesen előforduló későbbi károsodások esetében ezen adatok alapján könnyebben azonosíthatóak lennének a romlást okozó körülmények, anyagok.

Az adatbázisban összegyűjtött már levett mintákat és vizsgálati eredményeket a későbbiekben hozzáférhetővé kell tenni a kutatók számára. A gyűjteménybe helyezett mintákkal a tárgyakat nem tesszük ki újabb megpróbáltatásnak, mintavételnek és a levett minták sem enyésznek el.

A Magyar Nemzeti Múzeum abban a szerencsés helyzetben van, hogy van egy már meglévő, erre a célra létrehozott szakgyűjteménye, az Archeometriai Gyűjtemény, ami jelenleg még nagyon kezdeti fázisban létezik (Biró 2008).



**3. ábra:** Gepida övcsat (Tiszagyenda-Búszerző, s:1199, ásató régész: Kocsis L.) Az övcsat restaurálás előtti állapota, középen a tárgyról készített röntgen felvétel és a gepida csat restaurálás utáni állapota. (Röntgen felvétel: Hutai G., MNM)

**Fig. 3.:** Gepidic belt buckle (Tiszagyenda-Búszerző s:1199, archaeologist: L. Kocsis). The condition of the belt buckle before conservation, X-ray photo and the object after conservation (X-ray by: G. Hutai, HNM)

Egyelőre kevés anyagot foglal magába, de leltári (számítógépes) adatbázis formájában a már a meglévő tartalom hozzáférhető a szokásos kutatási engedélyekkel. Törekvéseink szerint az itt tárolt minták és eredmények száma egyre több lehet,

köszönhetően az egyes szakterületen dolgozóknak, akik az általuk elvégzett munka eredményeivel gazdagabbá tehetik a gyűjteményt.

### **Esettanulmányok**

#### **Gepida fibula, Tiszagyenda-Lakhatom**

Az ásatáson földből előkerült tárgyak kezelése előtt nem minden alkalommal végzünk műszeres vizsgálatokat az alapanyag és a díszítés anyagának meghatározására. A tárgyak felületén látható korrózió színe, textúrája információt adhat mindkettőről. Bizonyos esetekben a tárgyak kora, tárgytipusokra jellemző ismeretek, korábbi tapasztalatok alapján is következtethetünk az alapanyagra illetve a lehetséges díszítményekre, inkrusztációkra.

A Magyar Nemzeti Múzeum tiszagyendai megelőző feltárásán (ásató régész: Hajnal Zsuzsanna) kiemelkedő jelentőségű fémtárgyak kerültek elő. Ezeket óvatos mechanikai tisztítással szabadítottuk meg a korróziótermékektől. **(1-2. ábra)**

#### **Gepida övcsat, Tiszagyenda-Búszerző**

A földből előkerült, szennyező anyaggal vastagon borított tárgyak esetében felmerülhet a gyanú, hogy a tárgy esetleg díszített, berakott, stb. A tisztítás megkezdése előtt célszerű megbizonyosodnunk, hogy a korróziós réteg alatt valóban megbújnak-e

esetleges díszítmények. Így jártunk el az ugyancsak a tiszagyendai lelőhelyről származó (ásató régész: Dr. Kocsis László) gepida övcsat esetében.

A röntgen vizsgálatok segítségével pontosabb képet kaphatunk a díszítmények anyagáról, mintázatáról, ezáltal jóval precízebben tudjuk kibontani a tárgyat, elkerülve az eredeti felszín nagymértékű károsítását. A **3. ábrán** látható a csat kezelés előtti állapota, középen a tárgyról készített röntgen felvétel, majd a csat restaurálás utáni állapota.

#### **Avar kori bronz korsó, Budakalász**

Bizonyos tárgyak esetében mind az alapfém, mind a díszítmények összetétele már ismert, de további kérdések is felmerülhetnek a készítéstechnikával és korábbi restaurálásokkal, esetleg korabeli javításokkal kapcsolatban. A budakalászi temetőből előkerült díszített bronzedényt többször is restaurálták. A korsó újratezelése, tisztítása során lehetőségünk nyílt a tárgyat modernebb eszközökkel megvizsgálni. A készítéstechnikára utaló eddig rejtett nyomokat jó eredménnyel kutathatjuk üvegszál-optikás rendszer segítségével. Több különböző anyagtypusból álló díszítések esetében az egyes alkotóelemek azonosítására bevált módszernek számítanak a gyors és egyszerűen alkalmazható mikroanalitikai vizsgálatok. Jelen esetben az összetevők pontosabb mennyiségi és minőségi meghatározásához kézi XRF készüléket használtunk. **(4. ábra)**



**4. ábra:** 1, Avar kori díszített bronz edény, Budakalász (PMMI 93.2.1.) 2, A készítés technikájára utaló nyomok a korsó belső felületén, száloptikás eszköz segítségével készített digitális felvételen 3, a díszítő elemek összetételének vizsgálata kézi XRF készülékkel vizsgálata (Maly Z. vizsgálata, MTA-GKKI)

**Fig. 4.:** 1, Decorated vessel from the Avar Age, Budakalász (PMMI 93.2.1.) 2, Marks referring to the manufacturing techniques, on the inner surface of the vessel (by fiberoptical digital imaging) 3, Examination for the composition of the decoration elements by handheld XRF analyzer (by Z. Maly, MTA-GKKI)





**5. ábra:** A bronzváza díszítő elemeinek kézi XRF készülékes vizsgálata (Jakab A. vizsgálata, Greenlab Kft. )

**Fig. 5.:** Examination of the decoration elements by handheld XRF analyzer (by A. Jakab, Greenlab Kft. )



**6. ábra:** Japán bronzváza, 19. század, (Vasvári Pál Múzeum, Tiszavasvári). Hagyományos röntgen felvétel a váza szerkezetéről és fémberakásiról (Röntgen felvétel: Hutai G., MNM)

**Fig. 6.:** Japanese bronze vase, 19<sup>th</sup> c. (Vasvári Pál Museum, Tiszavasvári), Traditional X-ray image from the structure and the inlays of the object (X-ray by: G. Hutai, HNM)

### Japán bronzváza, 19. század (Vasvári Pál Múzeum, Tiszavasvári)

Távol-keleti fémtárgyak esetében gyakran alkalmaztak és alkalmaznak ma is különleges ötvözeteket és patinázási eljárásokat. Az európai tárgyak kezelése során szerzett tapasztalatok félrevezetőek lehetnek az alapfém és a díszítmények anyagának vizuális megítélése során, ezért tanácsos a kezelése megkezdése előtt pontos anyagösszetétel vizsgálatot végezni (**5-6. ábra**). Ennek ismeretében lehet csak a lehető legkíméletesebb módszerrel kezelni az adott felületeket, melynek során mindig alapvető szempont az eredeti felület-kezelések által létrehozott patinaréteg megőrzése. Ebben az esetben a kézi XRF vizsgálat kiválóan alkalmazható a felületen lévő több kisebb, különböző anyagú fémberakás azonosítására, és ezáltal az optimális kezelés meghatározására. Röntgen felvételek segítségével pontosan be lehet azonosítani a vékony korróziós rétegek alatti, szabad szemmel nem látható díszítmény-elemeket, melyeknek ismerete nagy segítséget jelentett a kíméletes, lokális kezelések megtervezésénél.

### Japán sisak. (Hopp Ferenc Kelet-Ázsiai Művészeti Múzeum) (**7. ábra**)

A tárgy állapotának felmérése során szeretnénk volna megismerni a készítés dátumát és a készítő mestert. Az erre utaló jelölések a legtöbb japán sisak esetében



**7. ábra:** 19. századi japán sisak, Hopp Ferenc Kelet-Ázsiai Művészeti Múzeum

**Fig. 7.:** 19th c. Japanese helmet, Ferenc Hopp Museum of Eastern Asiatic Art

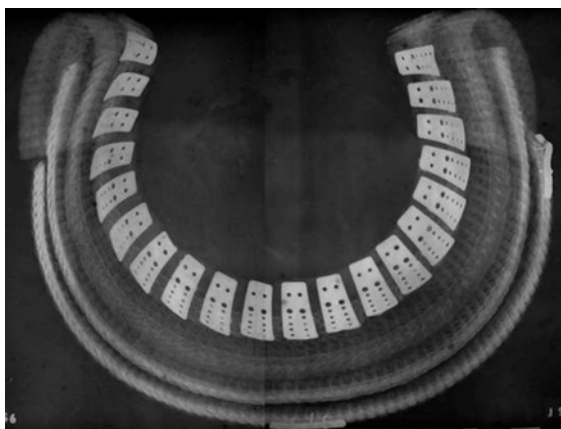


**8. ábra:** Előzetes feltáró vizsgálat a sisak belsejéről, hordozható videoszókp segítségével

**Fig. 8.:** Preliminary examination on the inner surface of the helmet by mobile videomicroscope

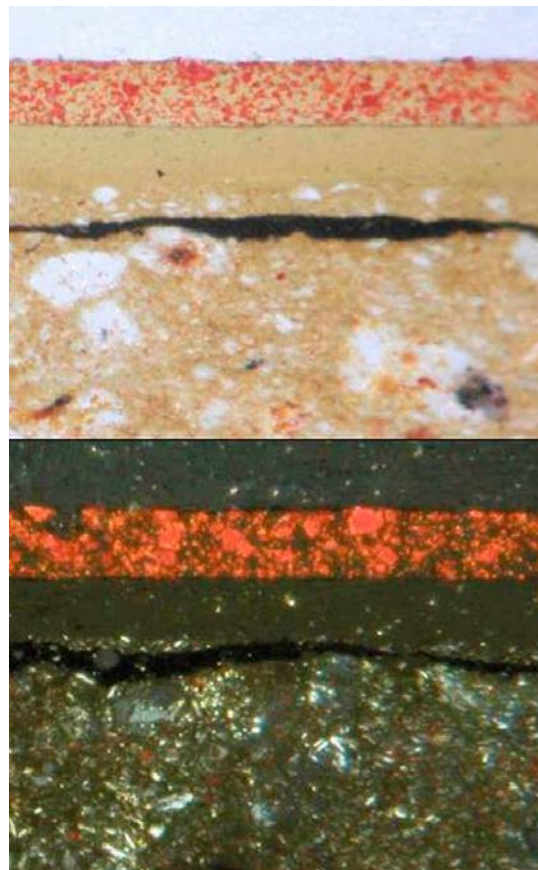
megtalálhatók, de sokszor csak belső, rejtett felületeken. A sisak vésett feliratainak feltárásához és vizsgálatához száloptikás videoszópot alkalmaztunk. A képen látható módon a száloptikát az anyagok roncsolása nélkül a már meglévő sérüléseken keresztül tudtuk bejuttatni a vizsgálandó területekhez. Ezzel a módszerrel reményeinknek megfelelően sikerült megállapítani a tárgy készítésének pontos dátumát. (**8. ábra**)

A sisak nyakvértjének esetében az eredeti anyagok károsítása nélkül nem volt lehetőség a páncélzati elemek szétbontására, ezért készítéstechnikájának mélyrehatóbb megismerésére röntgen vizsgálatokat végeztünk, melyek kiválóan mutatták a vért-elemet alkotó különféle anyagú páncéllemezek szerkezeti elhelyezkedését. (**9. ábra**)



**9. ábra:** Röntgen felvétel a sisak nyakvértjéről (Röntgen felvétel: Hutai G., MNM)

**Fig. 9.:** X-ray image from the neckguard of the helmet (X-ray by: G. Hutai, HNM)



**10. ábra:** A lakkrétegek vékonycsiszolati képe (1N és +N, kb. 150x nagyításban)

**Fig. 10.:** Thin cross-section phot of the lacquer layers (1N and +N, approx.150X magnification)

A sérült lakkrétegekből vett minták vékonyréteg csiszolatainak mikroszkópos vizsgálata komoly segítséget jelentett a hiányos területek kiegészítése során alkalmazott lakk-keverékek és a felviteli technikák megválasztásánál (Lencz 2007, **10-11. ábra**).

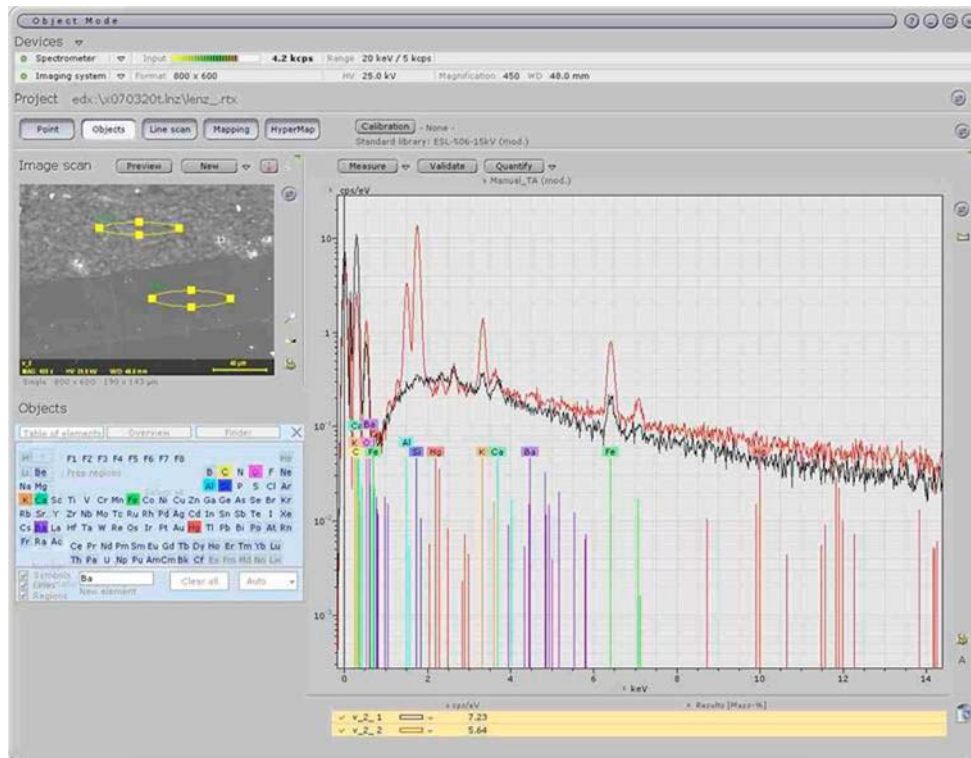
### Füstölő óra (Dzsisso Dzsi szentély, Minato-ku, Tokió)

A műtárgy sérült lakkrétegeinek vizsgálata során, egy nagyfelbontású videomikroszkóp segítségével pontosan meg tudtuk határozni a hordozóra felvitt lakkrétegek típusait, azok sorrendiségét. Az eredmények alapján kiderült, hogy az óra készítésének dátuma jóval korábbi időpontra tehető, mint azt korábban gondolták. (**12. ábra**)

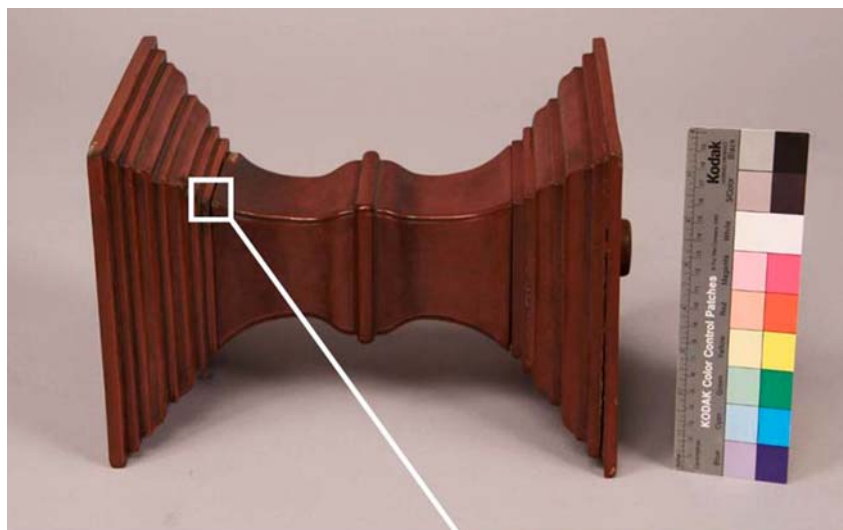
A digitális röntgen vizsgálatok (FCR) megmutatták az egyes alkatrészek szerkezeti összetételét, és korábbi javítások nyomaira is bukkantunk.

Az asztali XRF készülékkel végzett anyagvizsgálatok segítségével pontosan meg tudtuk határozni az egyes lakkrétegek típusait és azok összetételét.





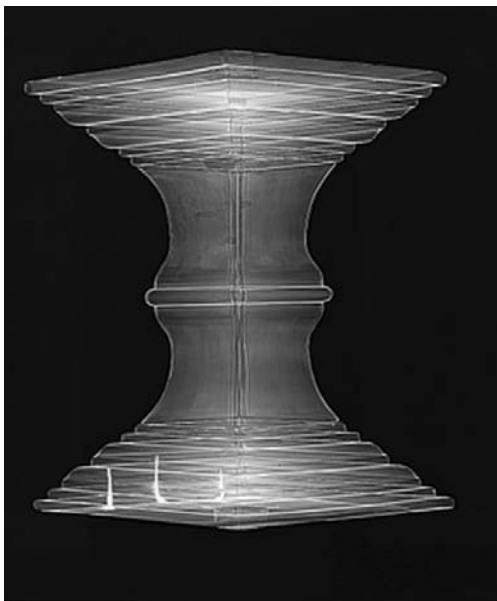
**11. ábra:** SEM/EDS vizsgálati eredmény (mikroszkonda) a tárgy lakkrétegeiről (Tóth A. vizsgálata, MTA- MFA)  
**Fig. 11.:** SEM/EDS examination result of the lacquer layers of the object (by Dr. A. Tóth, HAS- TPM)



**12. ábra:** 18. századi japán füstölóra eleme, Dzsiszódzsi szentély, Japán. A füstölő felületéről készült videomikroszkópos digitális felvétel

**Fig. 12.:** Part of a 18<sup>th</sup> c. Japanese incense clock, Jossoji shrine, Japan. Videomicroscopic digital image of the surface of the object





**13. ábra:** Fuji Computed Radiography (FCR) felvétel a füstlőóra középső, tartó eleméről

**Fig. 13.:** Fuji Computed Radiography (FCR) image of the middle element of the incense clock

Az így nyert információk elengedhetetlenül fontosak voltak a restaurátori kezelések során alkalmazott optimális technikák és anyagok megválasztásához, ezáltal a műtárgy szakszerű, hiteles, etikus helyreállításához. (Lencz 2010, **13. ábra**)

### Összegzés

A műtárgy önmagában is érték, de az általa, belőle nyert információ ezt jelentős mértékben gazdagítja. Kutatásaink, munkánk eredménye szolgáltatja az alapot a többlet információ által nyert értéknövekedéshez. Ezen tevékenységünk minél hatékonyabbá tételéhez, célszerű lenne a különféle tudományos vizsgálati, anyagvizsgálati módszerek átgondolása, összehangolása, egyfajta egymásra épülő rendszerben való, protokoll szintű alkalmazása. Ennek megtervezésébe, kialakításába értelemszerűen be kellene vonni a különböző szakterületek képviselőit: restaurátorokat, régészeket, muzeológusokat, történészeket, tudományos kutatókat, anyagvizsgálati szakembereket. Ezt az igényt már több tudományos intézmény és kutató megfogalmazta, de hasznos lenne ennek minél szélesebb körű szakmai áttekintése, megvitatása, illetve a felmerülő igények összehangolása, koordinálása. Ennek természetesen mind anyagi, műszerparki, mind humán erőforrásbeli háttérét tovább kellene fejleszteni, de az összehangolt, célorientált munka már önmagában is sokkal eredményesebb lehetne. Már vannak bejáratos utak az együttműködésre bizonyos területeken régész, restaurátor, anyagvizsgálati laboratórium között, de hogy a meglévő kapcsolatok minél hatékonyabban,

összehangoltabban működhessenek és bővüljenek, valamint a kinyert információk minél komplexebb módon értelmezhetőbbek, értékelhetőbbek és összesíthetőek legyenek, a meglévő egységeinket egy jobban szervezett, átgondoltabb, tudatosabb formában kellene működtetnünk. Nemzetközi szinten számos olyan példa van, ahol ezeket a nehézségeket képesek voltak áthidalni és az eredményeiket egységesen kezelni és publikálni. Pl.: Az ICOM-CC fém munkacsoportja által szervezett 2007-es nemzetközi konferencia első napján kimondottan a múzeumi archeometria és restaurálás kapcsolatára épülő eredményeket ismertették (ICOM-CC, Metal WG interim meeting 2007).

Elsődleges célunknak kell tekinteni a különböző, műtárgyakkal kapcsolatba kerülő tudományágak képviselőinek fokozottabb együttműködését, valamint a létező és hozzáférhető vizsgálati módszerek és vizsgálati központok a szakma számára ismertté tételét. Sztenderdekkel kell felállítani, a mintavételi módszerekben és metódusokban, valamint a meglévő eredményeket és anyagi mintákat szervezett egységbe egy központi adatbázisban tárolni, hogy azok a későbbiekben más kutatók számára is hozzáférhetőek legyenek. Ebben támaszkodhatunk a meglévő kezdeményezésekre, de sokkal tudatosabban kellene éljünk a lehetőségekkel.

### Irodalom

ICOM-CC, Metal WG interim meeting (2007): METAL 07, Amsterdam, 2007.09.17., konferencia kötet, 1 fejezet: When archaeometry and conservation meet, Amsterdam, 2007.

LENCZ B. (2007): Előzetes kutatás egy japán szamuráj páncél restaurálásához, In: XXXIII-XXXIV. Nemzetközi Restaurátor Konferencia CD kiadvány, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest (elhangzott: 2007, XXXIII. Nemzetközi Restaurátor Konferencián).

LENCZ B. (2010): Report on the „International Workshop on the Conservation of Urushi 2009”, In: International Training Program: „The Preservation and Restoration of Urushiware”, Tokyo, 2010.

T. BIRÓ K. (2008): Archeometriai adatbázis és adattár létrehozása a MNM-ban. In: XXXII. Restaurátor konferencia CD kiadvány, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest (elhangzott: 2006, XXXI. Országos Restaurátor Konferencián).

TÓTH A. (2009): Perspektívák a mikroanalízisben, In: XXXIII-XXXIV. Nemzetközi Restaurátor Konferencia CD kiadvány, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest (elhangzott: 2009, XXXIV. Nemzetközi Restaurátor Konferencián).

# MINTAGYŰJTÉS, MINTA-ELŐKÉSZÍTÉS, MINTAVESZTESÉG TL KORMEGHATÁROZÁS SORÁN

## SAMPLING, SAMPLE TREATMENT AND SAMPLE LOSS DURING TL DATING

SIPOS GYÖRGY<sup>1</sup>, KISS TÍMEA<sup>1</sup>, PÁLL DÁVID GERGELY<sup>2</sup>, TÓTH ORSOLYA<sup>1</sup>,  
SCHUBERT GÁBOR<sup>1</sup>, TÓTH MÁRIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

<sup>2</sup>Szegedi Tudományegyetem, Földtani és Őslénytani Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

<sup>3</sup>Magyar Tudományos Akadémia Geokémiai Kutatóintézete, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

E-mail: [gysipos@geo.u-szeged.hu](mailto:gysipos@geo.u-szeged.hu)

### Abstract

Concerning archaeometrical research sampling has always been a hot issue in the relationship of the owner or the person who is in charge of the studied object and the archaeometrical expert. This is also true of course in the case of luminescence dating, which usually requires sample extraction by drilling from the studied object. As a consequence it is considered to be important to inform the archaeological and restorer community on the necessary amount of sample for performing a valuable analysis. This way the size of the expected damage can be determined, and thus future compromises between the two parties during the sampling procedure might be facilitated. In the present short communication therefore we outline the process of sampling and sample treatment, and based on our previous experience we attempt to determine the amount of sample loss during these. Based on the necessary amount of treated sample for the direct measurements and the calculated ratio of sample loss, we also determine the preferable or minimum amount of material that should be extracted during sampling.

### Kivonat

Archeometriai vizsgálatok esetében a mintagyűjtés általában neurálgikus pont a vizsgált tárgy tulajdonosa vagy kezelője, valamint a vizsgálatot végző szakember viszonyában. Nincs ez másként a lumineszcens kormeghatározás esetében sem, ahol a mérésekhez szükséges mintát általában fúrással lehet eltávolítani. Mindezek kapcsán fontosnak tartjuk a régész és restaurátor szakma informálását azzal kapcsolatban, hogy az eredményes mérések kivitelezéséhez hozzávetőleg mennyi minta gyűjtésére van szükség, milyen mértékű roncsolással kell számolni. Ezáltal talán könnyebben megköthetőek az esetleges kompromisszumok a két fél között a mintagyűjtés során. Rövid tanulmányunkban ezért áttekintjük a mintavétel és a feltárás menetét, valamint eddigi tapasztalataink alapján számszerűsítjük, hogy mekkora a mintaveszteség utóbbi során. A tényleges mérésekhez szükséges feltárt mintamennyiség, és a feltárás során várható anyagveszteség alapján pedig megadjuk, mennyi az a minimális minta, amivel érdemes nekifogni a termolumineszcens (TL) kormeghatározásnak.

KEYWORDS: LUMINESCENCE DATING, CERAMICS, SAMPLING, SAMPLE LOSS

KULCSSZAVAK: LUMINESZCENS KORMEGHATÁROZÁS, KERÁMIA, MINTAGYŰJTÉS, ANYAGVESZTESÉG

### Bevezetés

A lumineszcens kormeghatározás (termolumineszcencia/optikailag stimulált lumineszcencia – TL/OSL) jelentősége az archeometriai és régészeti kutatások terén vitathatatlan. Segítségével kerámiák, cserép tárgyak, terrakotta műalkotások valamint téglák és egyéb iparrégészeti vonatkozású objektumok kiégetési ideje adható meg. A módszer fizikai alapjairól, mérés technikai sajátosságairól számos tanulmány ad áttekintést (pl.: Aitken 1982, 1998, Wintle 2008; magyarul: Novothny és Újházi 2000, Sipos és Papp 2009). A kormeghatározás során a minta kvarc és földpát alkotóiban természetes radioaktív sugárzás (minta anyaga +

környezet) hatására kialakuló lumineszcens jelet mérjük melegítés (TL), vagy megvilágítás (OSL) segítségével. Ezt követően mesterséges besugárzások és az ezek által előidézett lumineszcens válaszok alapján következtetünk a minta által a kiégetés óta elnyelt dózis nagyságára. Az így megállapított dózis és a radioaktív dózisteljesítmény ismeretében a kiégetés óta eltelt idő számítható (Sipos 2010)

Az alábbiakban főként a mintagyűjtés és a feltárás során általunk alkalmazott eljárásokat mutatjuk be, valamint igyekszünk számszerűsíteni a minta-előkészítés során elvesző anyag mennyiségét.



Mindezt annak érdekében tesszük, hogy rávilágítsunk az eltérő kormeghatározási problémák megoldására szükséges minimum mintamennyiségekre, így készítve fel a módszert alkalmazni kívánó régész és restaurátor szakembereket a tárgyon végzett „beavatkozás” mértékére. A mintagyűjtés során ugyanis, ha kis mértékben is, de elkerülhetetlen a tárgy fűréssel történő „roncsolása”, ezért kölcsönös kompromisszumra van szükség a tárgy vagy műalkotás kezelője (lehetőleg kis furat → túl kevés minta) és a természettudományos szakember (lehetőleg nagyon sok minta → túl nagy furat) között.

### Mintagyűjtés

Régészeti tárgyak és műalkotások lumineszcens eredetiség vizsgálata, illetve kormeghatározása kizárólag roncsolásos mintagyűjtést követően végezhető el. Ennek több oka is van: 1) a mérésekhez a tárgy belsejéből (legalább 2-3 mm mélységtől kezdve) kell mintát gyűjteni, mert a lumineszcens jel fény hatására is törlődik, illetve 2) így lehet valamelyest garantálni, hogy a vizsgált minta lumineszcens jelének felépítésében közreműködő  $\alpha$  és  $\beta$  sugárzás nagyrészt magából a tárgy anyagából származzék, s a tárgy környezete (sokszor ismeretlen) csak a nagy hatótávolságú  $\gamma$  sugárzásért legyen felelős. Végül 3) a jelenleg alkalmazott mérés technikák poranyagú, esetleg hajszálvékony szeletekben (porcelán esetében) rendelkezésre álló mintát, mintarészeket igényelnek.

A mintázás során ezért legtöbbször poranyag gyűjtése a cél (1. ábra). Ha a vizsgált tárgy nem képvisel nagyobb értéket, akkor a külső 2-3 mm-es réteg eltávolítását követően a tárgy összezúzásával és őrlésével is előállíthatjuk az anyagmintát. Ennél sokszor hatékonyabb, kevésbé drasztikus és az értékesebb tárgyak esetében is jól alkalmazható a fűréssel történő mintavétel.



**1. ábra:** Mintavétel alacsony fordulatszámú fűró és speciális fűrófejek segítségével, kis nyomású Na lámpa fénye mellett

**Fig. 1.:** Sampling by the light of low pressure Na lamp using special drill bits and a low rpm drill

Mintagyűjtéskor ezért általában ez utóbbi eljárást szoktuk alkalmazni (1. ábra). A mintavétel 2,5, illetve 2,8 mm átmérőjű Dremel típusú wolfrám-karbid fűró- és marószárrakkal történik (2. ábra) alacsony fordulatszám mellett, a túlhevülés megakadályozása végett. Az optikai úton történő jelvesztést elkerülendő a műveletet hordozható, kis nyomású Na fényforrások tompított sárga fényénél végezzük (1. ábra). A lámpák kibocsátási spektruma 581 nm maximummal igen szűk, az OSL szempontjából semleges hullámhossztartományra szorítkozik, így mind a földpát, mind a kvarc kristályok fény általi stimulációja elkerülhető.

A mintavételi lyuk felszíni kiterjedése és mélysége erősen függ a kormeghatározási feladattól. Kevesebb mintára van szükség, ha hamisítványokat szeretnénk kiszűrni (20-30 %-os hiba a korban), és többet kell gyűjtenünk, ha ugyanazon az anyagon több mérést szeretnénk elvégezni, azaz pontosabb adatokat szeretnénk kapni (10-15 %-os hiba a korban). A kormeghatározási feladat így alapvetően determinálja a szükséges mintamennyiséget, a későbbi feltárási folyamatot és a mérések menetét (1. és 2. táblázat).

A mintavételi lyuk mélységét mindezen túl elsősorban a tárgy falvastagsága határozza meg. Általános szabály még, hogy a külső 2-3 mm-t több okból is külön kell választani (lásd előbb). Az így kapott anyag mindamelllett a tárgy anyagára jellemző radioaktív elemkoncentráció meghatározását (ICP MS,  $\mu$ XRF), illetve más archeometriai vizsgálatok elvégzését is lehetővé teszi (pl. XRD). Annak érdekében, hogy a lumineszcens vizsgálatokra szánt mintába ne kerüljön felszínhez közeli anyag, a furat külső 2-3 mm-ét nagyobb méretűre érdemes kialakítani, mint a furat belső részét ( $\varnothing$  2,5 mm).



**2. ábra:** A mintavételhez használt nagy keménységű wolfrám-karbid fűró- és marófejek (balról a második és harmadik  $\varnothing$  2,5 mm, balról a negyedik  $\varnothing$  2,8 mm)

**Fig. 2.:** Tungsten carbide drill and groove bits of high hardness (2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> from the left  $\varnothing$  2,5 mm, 4<sup>th</sup> from the left  $\varnothing$  2,8 mm)



**3. ábra:** Laboratóriumi munka, a lumineszcens mérésekre szolgáló RISØ típusú műszer, valamint a feltárások folyamatábrája

**Fig. 3.:** Laboratory works, RISØ type luminescence reader, and the flow chart of sample preparation

Amennyiben nem adott a kellő falvastagság, egy kevésbé mély horony kialakításával is meggyűjthető a szükséges mennyiség.

#### Laboratóriumi feltárás és mintavesztés

A gyűjtött mintát több lépésben készítjük elő a lumineszcens mérésekre (**3. ábra**). Először 10 %-os HCl segítségével eltávolítjuk a minta karbonát tartalmát, majd ezt követően 30 %-os H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldattal az esetleges szervesanyag tartalmát is elmaratjuk. A savas kezelést a pH semlegesítése követi. Centrifuga alkalmazása és körültekintő dekantálás mellett is átlagosan 20-30 %-os anyagvesztéssel kell számolnunk (**1. és 2. táblázat**).

Amennyiben nagyobb mennyiségű minta áll rendelkezésre, a vizsgált anyag szemcseméret szerinti szeparációját is elvégezzük. Így növelhető a szemcsék méretbeli homogenitása, ezáltal az általuk abszorbeált radioaktív besugárzás hatékonyságának egyöntetűsége. A méret szerinti elkülönítést centrifugacsőben, 6 cm-es acetonszlopban az eltérő szemcseméretű üledékek eltérő üledékesedési idejével kihasználva végezzük. A cél a 4-11 µm közötti szemcsefrakció szeparálása. Az eljárás végére a mérésekhez felhasználható anyag mennyisége további 40-45 %-kal csökken, így végül az eredeti mennyiség kb. 30 %-a marad meg (**1. táblázat**).

Legvégül a megmaradt polimineralikus anyagból acetonos szuszpenziót készítünk, melyet üvegcsövekben elhelyezett 9,8 mm átmérőjű alumínium korongokra ülepítünk úgy, hogy hozzávetőleg 2,0-2,5 mg mennyiségű anyag jusson egy-egy korongra (**1. és 2. táblázat**). A korongokra felvitt anyag fedése és összefüggősége sajnos nem minden esetben megfelelő, átlagosan a korongok 80-90 %-a alkalmas a további mérésekre (**4. ábra**).

#### Mennyi minta gyűjtésére van tehát szükség?

A TL/OSL mérések menetét ehelyett nem áll módunkban részletezni, azt viszont fontos számba vennünk, hogy a különböző vizsgálatokhoz hozzávetőleg hány korong szükséges, ebből ugyanis megadható az optimális gyűjtési mennyiség is.

Amennyiben nagyobb mérési pontosságra törekszünk minimum 24 korongra van szükségünk (hozzáadott dózis módszer: min. 12 korong, regenerációs mérések a pontosításhoz: min. 9 korong, fakulási teszt: min. 3 korong (Sipos és Papp 2009)).



**4. ábra:** Előkészített mintahordozó alumínium korongok. Bal oldalon jó fedettségű korongok, jobb oldalon nem megfelelő fedettségű korongok, alul tiszta korongok minta nélkül

**Fig. 4.:** Sample bearing aluminum discs ready for the measurements. On the left discs with complete sample cover, on the right discs with incomplete sample cover, at the bottom clear discs can be seen

**1. táblázat:** A gyűjtött és a kormeghatározáshoz felhasznált mintamennyiség alakulása részletesebb mérések esetén. A 4-11 µm-es frakció leválasztásával csökken a legjelentősebben a felhasználható anyag mennyisége.

**Table 1.:** Change of sample quantity throughout laboratory procedures when aiming at more precise measurements. The greatest loss is experienced during the separation of the 4-11 µm grainsize fraction.

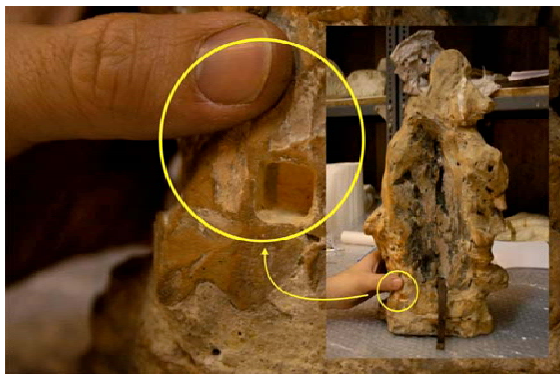
lab. kód	gyűjtött (mg)	feltárás után (mg)	4-11 µm (mg)	korongok (db)	minta/korong (mg)
osz179	390	300	120	55	2.18
osz180	440	380	110	51	2.16
osz181	390	290	90	40	2.25
osz182	230	210	60	28	2.14
osz183	460	410	110	51	2.16
osz184	340	250	110	52	2.12
osz185	490	430	210	50	2.50
osz186	430	220	110	40	2.75
osz187	460	270	90	32	2.81
osz188	590	430	200	40	2.50
osz189	510	450	280	40	2.50
osz192	400	250	120	44	2.73
osz193	560	250	140	48	2.92
osz194	500	230	100	40	2.50
osz195	280	180	100	40	2.50
osz196	260	170	80	28	2.86
osz197	350	220	100	36	2.78
osz198	390	290	110	40	2.75
osz199	500	210	110	40	2.75
osz369	1230	980	287	40	2,50
osz372	820	740	290	40	2,50
osz377	970	850	300	40	2,50
osz382	310	220	60	30	2,00
osz391	438	309	89	36	2.47
osz392	217	151	43	21	2.05
átlag	479 (100 %)	348 (73 %)	139 (29 %)	40.1	2.47

**2. táblázat:** A gyűjtött és a kormeghatározáshoz felhasznált mintamennyiség alakulása egyszerűbb eredetiségvizsgálat esetén. A 4-11 µm-es frakció leválasztására a kevés minta miatt ez esetben nincs lehetőség.

**Table 2.:** Change of sample quantity throughout laboratory procedures when aiming at less precise authenticity testing. The separation of the 4-11 µm grainsize fraction in this case is not possible.

lab. kód	gyűjtött (mg)	feltárás után (mg)	4-11 µm (mg)	korongok (db)	minta/korong (mg)
osz240	60.5	32		18	1.78
osz274	41	33		18	1.83
osz275	41	35		15	2.33
osz367	48	28		14	2.00
osz385	53	49		20	2.45
osz386	77	72		28	2.57
osz387	45	41		16	2.56
osz388	73	40		20	2.00
osz389	75	60		28	2.14
osz486	34	17		9	1.89
osz487	49	36		18	2.00
osz542	39	32		16	2.00
osz543	34	29		15	1.93
osz544	40	33		16	2.06
osz545	60	49		24	2.04
osz546	45	43		22	1.95
osz547	44	39		20	1.95
osz548	48	39		20	1.95
osz549	43	35		17	2.06
osz550	27	22		11	2.00
átlag	48.8 (100 %)	38.2 (78 %)		18.25	2.07





**5. ábra:** Fúró- és marófejekkel kialakított 1x1 cm-es, 5-6 mm mély mintavételi lyuk, melyből 400-500 mg anyag gyűjthető. A méretes műtárgy hátulján még ez a roncsolás sem feltűnő.

**Fig. 5.:** An approximately 1x1 cm size, 5-6 mm deep sampling pit adequate for the extraction of 400-500 mg powdered sample. On the non-refined back of the relatively large artwork the harm is hardly distinguishable.

Mindazonáltal sokszor előfordul, hogy a mérést ismételni kell, esetleg más protokollal is ellenőriznünk kell az eredményeket, ezért optimálisan 36-40 korong előkészítése célszerű. Ez hozzávetőleg 90-100 mg anyag meglétét jelenti a feltárásokat követően. Mintegy 70 %-os teljes veszteséggel számolva így tehát minimum 250-300 mg ( $1,8 \text{ g/cm}^3$  átlagos sűrűséget feltételezve  $\approx 0,14-0,17 \text{ cm}^3$ ) minta gyűjtése célszerű, ami a külső 2-3 mm-es réteg eltávolításán túl egy 10x10 mm-es gyűjtési felület esetében további 2-3 mm-es (**5. ábra**), egy 5x5 mm-es gyűjtési felület esetében pedig további 6-7 mm-es mélységű anyagkitermelést igényel.

Kevésbé pontos eredetiség vizsgálat esetén a minimális mennyiség 12 (hozzáadott dózisteljesítmény módszer), némi ráhagyással 18 korong, azaz legalább 36 mg anyagra van szükség a minta korongra ülepítésekor, ami hozzávetőleg 45-50 mg ( $1,8 \text{ g/cm}^3$  átlagos sűrűséget feltételezve  $\approx 0,025-0,027 \text{ cm}^3$ ) minta gyűjtését feltételezi. Ez egy 2,5 mm átmérőjű fúrófej esetében a 2-3 mm-es felületi réteg eltávolításán túl további kb. 5 mm-es mélységű furatot igényel (**6. ábra**).

A kor kiszámításához elengedhetetlen másik alapvető paraméter, azaz a dózisteljesítmény meghatározásához szükséges anyagmennyiséget a mintagyűjtés elején különválasztott külső furatanyag általában fedezi. Nagyobb felületre kiterjedő mintavétel esetén a begyűjtendő 100-300 mg mennyiségű anyag ICP MS-sel történő elemösszetétel vizsgálatot is lehetővé tesz, ennek mintaigénye ugyanis 50 mg. Előnye, hogy segítségével a minta U, Th és K koncentrációja is meghatározható, ezáltal a dózisteljesítmény, illetve a kor is pontosabban számítható.



**6. ábra:** Mintavételi furat eredetiség vizsgálathoz. A furat külső része nagyobb ( $\varnothing 2,8 \text{ mm}$ ), belső része kisebb ( $\varnothing 2,5 \text{ mm}$ ) átmérőjű fúrófejjel lett kialakítva. A mintát a tárgy eldugott, nagyobb anyagvastagságot biztosító részéről gyűjtöttük.

**Fig. 6.:** Sampling hole for authenticity testing. The outer part of the drill hole was made with a larger ( $\varnothing 2,8 \text{ mm}$ ), the inner part with a smaller ( $\varnothing 2,5 \text{ mm}$ ) diameter drill bit. The sample was taken from a hidden location where material thickness was greater.

Amennyiben kis átmérőjű furatból gyűjtünk, a külső anyag mennyisége 20-30 mg-nál nem több, azaz az ICP MS vizsgálatokat nem lehet elvégezni. Ilyen esetekben azonban a K-tartalom (részaránya a dózisteljesítményben 40-50 %) meghatározása továbbra is megoldható, pl.  $\mu\text{XRF}$  segítségével. Az U és Th mennyisége a K-tartalom ismeretében becsülhető. Eredetiség vizsgálat esetén a 20-30 %-os pontosság kivitelezéséhez mindez elegendő.

### Összegzés

Eddigi tapasztalataink alapján a TL vizsgálatokhoz előkészített minták feltárása során jelentkező anyagvesztés 70 %, illetve 20 % attól függően, hogy milyen mérési pontosságot igénylő kormeghatározási feladattal állunk szemben, és az milyen feltárási procedúrát igényel. Ez alapján, illetve a konkrét mérésekhez szükséges korongmennyiség alapján minimálisan 250-300, illetve 45-50 mg minta gyűjtésére van szükség, ami 10x10x6 mm-es mintavételi árok, illetve  $\varnothing 2,5 \times 8 \text{ mm}$ -es mintavételi furat elkészítését feltételezi. A kormeghatározáshoz szükséges további, elemösszetételre vonatkozó mérések mintaigényét fedezi az árok, illetve a furat külső 2-3 mm-éből származó anyag. A mintagyűjtést megelőzően a régész és művészettörténész szakembernek tehát a fentebb említett minimum dimenziókkal kell számolnia, ha értékelhető mérési eredményeket szeretne a tárgy keletkezési korára vonatkozóan. Laboratóriumunk szakemberei ugyanakkor mindent elkövetnek azért, hogy a lehető legkisebb sérülést okozzák a tárgy lehető legeldugottabb részén a tárgy kezelőjével remélhetőleg teljes egyetértésben.

Hozzá kell még azt is tenni, hogy a TL-el meghatározott kor, illetve az ezzel járó „sebhely” (ha a restaurátor el nem tünteti) mint bizonyíték akár még emelhet is a tárgy értékén. Mindezek alapján reméljük, hogy a TL és más archeometriai vizsgálatokhoz szükséges roncsolásos mintagyűjtéssel szemben táplált természetszerű ellenérzés valamelyest csökken a régészek és művészettörténészek körében.

### **Irodalom**

- AITKEN, M. J. (1982): *Fizika és régészet*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- AITKEN, M. J. (1998): *An Introduction to Optical Dating*. Oxford University Press. London.
- NOVOTHNY, Á., UJHÁZY, K. (2000): A termo- és optikai lumineszcens kormeghatározás elméleti alapjai és gyakorlati kérdései a negyedidőszaki kutatásokban. *Földrajzi Értesítő* **49/3-4**: 165–187.
- SIPOS, GY. (2010): A lumineszcens kormeghatározás régészeti és művészettörténeti alkalmazása I. *Természet Világa* **141/6**: 279-282.
- SIPOS, GY., PAPP, SZ. (2009): Terrakotta műalkotások eredetiségvizsgálata és kormeghatározása termolumineszcens módszerrel, Szépművészeti Múzeum, Budapest. *Archeometriai Műhely* **VI/1**: 61–74.
- WINTLE, A. G. (2008): Fifty years of luminescence dating. *Archaeometry* **50/2**: 276–312.

# NEOLITIKUS RÉZGYÖNGYÖK VIZSGÁLATA POLGÁR- CSŐSZHALOM LELŐHELYRŐL – ELŐZETES EREDMÉNYEK

## SCIENTIFIC INVESTIGATION OF NEOLITHIC COPPER BEADS FROM POLGÁR-CSŐSZHALOM – PRELIMINARY RESULTS

KASZTOVSZKY ZSOLT<sup>1</sup>, SZILÁGYI VERONIKA<sup>1</sup>, SAJÓ ISTVÁN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MTA Izotópkutató Intézet – 1121 Budapest Konkoly Thege út 29-33.

<sup>2</sup>MTA Kémiai Kutatóközpont – 1025 Budapest Pusztaszeri út 59-67.

E-mail: [kzsolt@iki.kfki.hu](mailto:kzsolt@iki.kfki.hu)

### Abstract

*This short communication summarizes the preliminary results of mineralogical (XRD, ND) and chemical (PGAA) investigations of one of the earliest metal finds of Hungary. Archaeological excavation of Polgár-Csőszhalom site of the Neolithic Csőszhalom Culture (B.C. 5000-4400) provided a unique copper bead necklace. Its present condition requires efficient intervention for conservation purposes. Our scientific analysis provided basic information about the state of the finds to establish the appropriate strategy for their restoration and storage. According to our results, the beads are highly altered (there is no metallic copper present in their cores). The predominant corrosion product is paratacamite, but also atacamite, cuprite and reactive agents are present in the finds.*

### Kivonat

*Rövid közleményünk a Polgár-Csőszhalom régészeti ásatásról előkerült különleges, réz anyagú gyöngysor restaurálását segítő, előzetes anyagvizsgálati kutatás eredményeit foglalja össze. A leletek, illetve korróziós bevonatuknak ásványos (XRD, ND) és kémiai (PGAA) összetételének meghatározásával adatokat szolgáltatunk a megfelelő restaurálási-tárolási stratégia kidolgozásához. Eredményeink alapján a korróziós folyamat előrehaladott (már nincsen jelen az eredeti fém fázis) és jelenleg is zajlik. A domináns korróziós termék a paratakamit, amely mellett nyomokban atakamit, kuprit és más, még reaktív rézvegyületek alkotják a gyöngyök teljes térfogatát.*

KEYWORDS: COPPER, CORROSION, WILD PATINA, PGAA, XRD, ND

KULCSSZAVAK: RÉZ, KORRÓZIÓ, VAD PATINA, PGAA, XRD, ND

### A vizsgálat tárgya

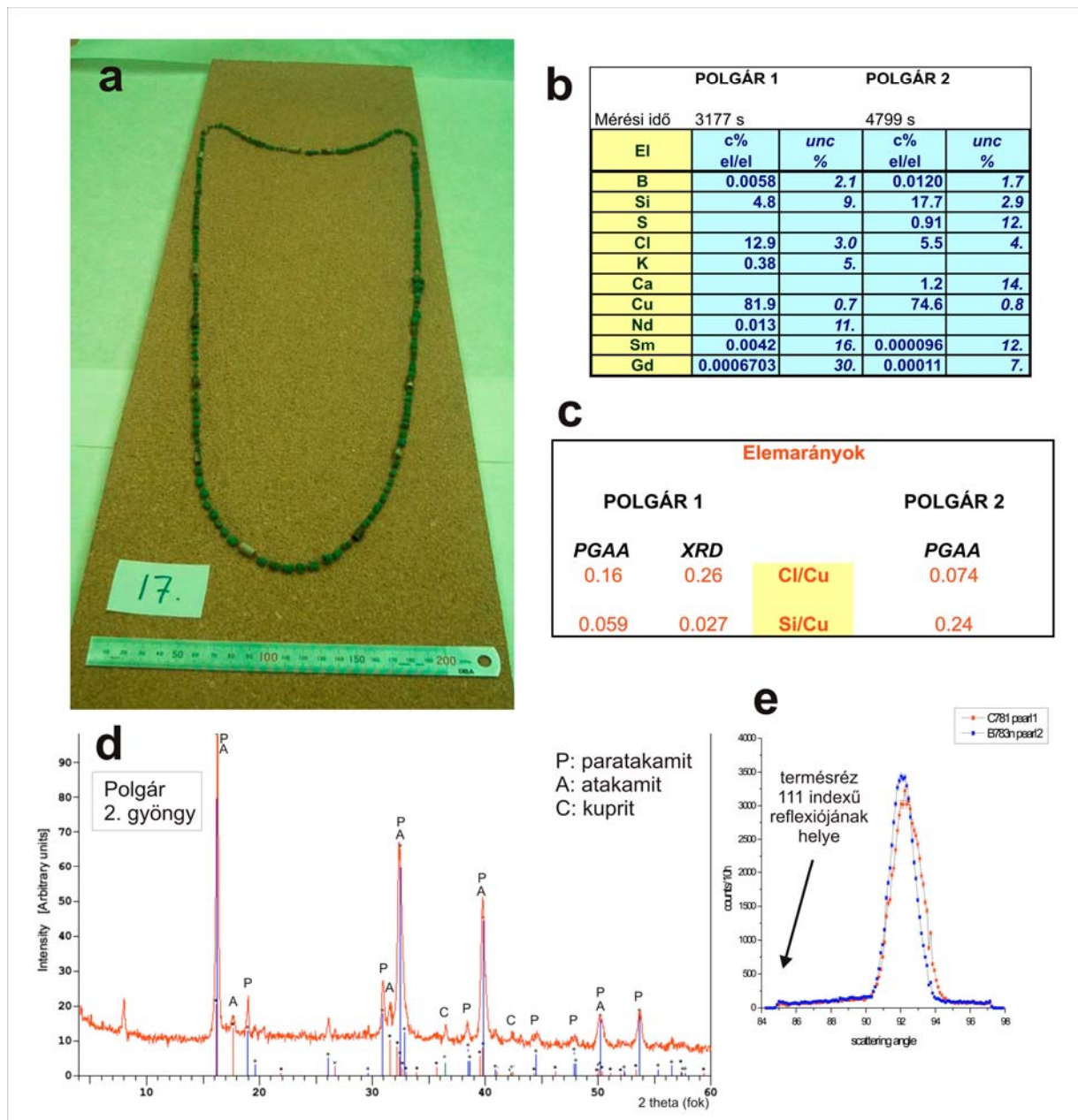
A Polgár-Csőszhalom (9. ház) neolitikus Csőszhalom-kultúrájából (i.e. 5000-4400) régészeti ásatásról előkerült rézgyöngysor, az egyetlen rézhuzalra felfűzött 148 db rézgyöngyből és 20 db csontgyöngyből álló lelet (**1a ábra**) az egyik legrégebbi magyarországi fémlelet. Az ásatásokat Raczky Pál végezte 1989-ben (Raczky et al. 1997).

A Magyar Nemzeti Múzeum restaurátora, Baghy László keresett megoldást a korróziós bevonatot mutató rézgyöngyök állapotmegővására. Vizsgálataink célja annak megállapítása volt, hogy a Polgár-Csőszhalom lelőhelyről előkerült rézgyöngysor mennyire korrodálódott, illetve a folyamat a restaurálási-tárolási körülmények helyes megválasztásával visszafordítható vagy fenntartható-e. Előzetesen nem állt rendelkezésünkre információ arra vonatkozóan, hogy a korróziós réteg megjelenése, azaz az állapotromlás (1) a kezdetleges fémfeldolgozási technika (szennyező anyagok nagy részaránya) és a betemetődés, (2) az ásatáskor fellépő kontamináció

vagy (3) a kiállítási körülmények következménye-e. A helyes restaurálási és tárolási módszer megválasztásához, azaz a későbbi állagmegővés szempontjából fontos feladat felmérni a korróziós réteg ásványos és kémiai összetételét.

### A réz korróziójának elméleti háttere

A réz és rézötvözet felületeken természetes, lassú folyamat során kialakuló barna-zöld-kék korróziós réteget patinának nevezzük. Alkotói főképp szulfid, szulfát, karbonát és klorid ásványok, a légköri komponensektől és szennyezőktől függően. A patinaképződés sebességét a fémfelület vizes oldatnak való kitétsége befolyásolja (Graedel et al. 2007). Az időjárásnak (napfény, csapadék) kitett felületeken elsősorban kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) és brochantit ( $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ ) jelenik meg. Ezzel szemben a védetebb helyzetű (mérsékelt páratartalmú) fémfelületeken antlerit ( $\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$ ), atakamit és paratakamit (=klinoatakamit) ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ) képződik (a klorid ásvány tartalmú korróziós bevonat vad patina néven is ismert; Otto, 1959).

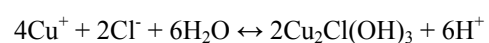


**1. ábra:** A Polgár-Csőszhalom neolitik leőhelyről előkerült (a) gyöngysor két, eredetileg réz anyagú gyöngyszemének (b) kémiai összetétele PGAA vizsgálatok alapján, (c) kalkulált Cl/Cu és Si/Cu arányai, (d) a 2. gyöngy felületi fázisösszetétele röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján, illetve (e) a gyöngyök átlagos ásványos összetétele neutron diffrakciós vizsgálatok alapján.

**Fig. 1.:** Scientific data about (a) the Neolithic copper bead necklace of Polgár-Csőszhalom: (b) chemical bulk composition by PGAA, (c) calculated Cl/Cu and Si/Cu ratios, (d) surface phase composition of the 2nd bead by XRD, (e) mineralogical bulk composition of the beads by ND.

Trópusi klímán termésrész felületen végzett kísérletek alapján több szerző kifejti (Veleva et al. 1996, Strandberg 1998), hogy az uralkodóan oxidatív légköri viszonyok között a klorid ionok agresszív oxidálószerként viselkednek és gyorsítják a fokozatos oxidálódást. Az elsődleges korróziós termék a kuprit (vörös-barna), illetve a klorid ion tartalmú oldatban a  $\text{Cu}^+$  és  $\text{Cu}^{2+}$  ionok stabil kloro-komplexeke képeznek. Az oxid fázis mellett fokozatosan jelenik meg másodlagos korróziós

termékként a paratakamit (zöld), amely képződési folyamat a  $\text{Cu}^{2+}$  ionok  $\text{Cl}^-$  jelenlétében történő hidrolízisével írható le:



Egyes esetekben a kuprit mennyisége állandó, míg máskor csökken a korrózió előrehaladtával. Összességében tehát a kuprit/paratakamit arány (és az összes rézmennyiség) fokozatos csökkenése



figyelhető meg. A korrózió egyrészt folyamatos tömegcsökkenést okoz, másrészt viszont a létrejövő korróziós réteg megvédi a réz felületét a további agresszív pusztulástól. A természetes körülmények között képződött atakamit és paratakamit fokozatosan malachittá ( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ) alakul. Ez az egyik oka, amiért a réz és bronz tárgyak felületén megjelenő leggyakoribb korróziós termék a malachit (Otto, 1959; Craddock, 2009).

### **Anyagvizsgáló módszerek**

A teljes gyöngyorból két rézgyöngyöt választottak ki anyagvizsgálatra, amelyek a makroszkópos megfigyelések alapján hasonló mértékben korrodáltak. A korrózió jellegének megismerésére – a Magyar Nemzeti Múzeum felkérésére – háromféle roncsolásmentes vizsgálatot végeztünk a két rézgyöngyön. A prompt gamma aktivációs módszer (PGAA) segítségével a Budapesti Kutatóreaktor kivezetett neutronnyalábjánál a tárgyak teljes térfogatának (korrodált és nem korrodált részek együttes) kémiai összetételét határoztuk meg. A röntgen-pordiffrakciós analízis (XRD) során a legkülső, korróziós réteg ásványos összetételéről szereztünk információt. A teljes gyöngyök fázisösszetételét neutron diffrakciós (ND) vizsgálatokkal vizsgáltuk.

A PGAA mérések az MTA Izotópkutató Intézetében, a Budapesti Kutatóreaktor egy vízszintes hidegneutron-nyalábján készültek. A mérés során a vizsgálandó mintát  $\sim 10^8 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$  intenzitású hidegneutronokkal sugározzuk be, és mérjük a neutronbefogást követő, a minta által kibocsátott „prompt” és „késő” gamma fotonokat. A kibocsátott gamma fotonok energiája karakterisztikus a kibocsátó elemre (izotópra) nézve (Révay et al. 2008, Szentmiklósi et al. 2010).

A módszer elvileg minden kémiai elem mennyiségi kimutatására alkalmas, az érzékenységek azonban a neutronbefogási hatáskeresztmetszettől függően széles határok között változnak. A rézgyöngyök PGAA-mérése során a Cu, Cl, Si mellett nyomokban B, S, K, Ca, Nd, Sm és Gd volt mérhető. Mivel a neutronok akár több cm mélyen is behatolhatnak a vizsgált mintába, a PGAA a teljes mintatérfogat átlagos összetételét adja.

Az XRD mérések Philips PW 3710 / PW 1050 típusú Bragg-Brentano parafókuszáló diffraktométeren készültek az MTA Kémiai Kutatóközpontban – Cu K $\alpha$  sugárzással ( $\lambda=1.54 \text{ \AA}$ ), grafit monokromátorral és proporcionális számlálóval. A digitálisan tárolt felvételek kiértékelésére teljes profil-illesztéses módszert használtunk. A módszer behatolási mélysége néhány 10  $\mu\text{m}$ .

Az ND méréseket az MTA SZFKI ATHOS spektrométeren, 2,814/1,407 $\text{ \AA}$  hullámhosszon, PG monokromátorral végezték.

### **Anyagvizsgáló eredmények**

Az elemösszetétel vizsgálatok alapján (**1b ábra**) az 1. gyöngy 80t% feletti réztartalma mellett jelentős klór- (majdnem 13t%) és szilíciumkoncentráció detektálható. Ezzel szemben a 2. gyöngy réztartalma 75t% alatti, ami abból is adódik, hogy a „szennyező” szilícium koncentrációja meghaladja a 15t%-ot (illetve a kalciumkoncentráció 1t% feletti). Az első mintával ellentétben a klórtartalom (5,5t%) is mérsékelte.

Az elemösszetétel mellé fázist rendelő röntgen diffrakciós vizsgálatok szintén jelentős eltérést jeleztek a két gyöngy felületi rétegében. Az 1. gyöngyben az XRD által azonosított fő fázisok a paratakamit (atakamit), kevés kuprit és kvarc (**1c ábra**). A 2. gyöngyben a domináns egy ismeretlen, talaj eredetű rétegszilikát, valamint kvarc.

A neutron diffrakciós vizsgálatok mindkét minta esetében hasonló eredményt hoztak (**1e ábra**). A spektrumban 85-97 fok szórási szög tartományban (maximum 92 foknál) jelentkezik az egyetlen jelentős, széles diffrakciós csúcs. Ez az érték egyértelműen eltér a 78-98 fok szórási szög tartományban két diffrakciós csúccsal (81 és 85 fok maximumokkal) jelentkező termérsz ND spektrumától. A detektált,  $\sim 1,93\text{-}1,96 \text{ \AA}$  d-értékű diffrakciós csúccsal jellemezhető fázis pontosabb azonosítására nem adódott módunk. Feltételezhető, hogy paratakamit (-313 indexű reflexió 1,94 $\text{ \AA}$ -nél),  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  (112 indexű reflexió 1,93 $\text{ \AA}$ -nél) vagy más hasonló kristályrácsú rézvegyület lehet. Az ND spektrumon a két rézgyöngy esetében jelentkező kisebb eltérések a szerkezetek eltérő orientációjából és a  $\lambda/2$  kontaminációból eredő csúcsátfedésekből adódhatnak.

### **Következtetések**

Az elem- és felületi fázisösszetétel alapján a két rézgyöngy eltérő korróziós állapotot mutat, illetve az eltérés a gyöngyök felületén megtapadó anyagok összetételéből adódik, azaz az 1. gyöngy esetében a valódi korróziós termékek azonosíthatók, míg a 2. gyöngyön a felületi, talaj eredetű üledék bevonatot lehetett detektálni.

A tömbi (PGAA) mérésekből származó nagy Cl/Cu elemarány értékek (**1c ábra**) a gyöngyök nagymértékű korrózióját jelzik, nevezetesen az 1. gyöngy erősebben korrodált, a 2. kevésbé. A 2. gyöngy esetében a nagyobb tömbi (átlag) Si, Ca, B koncentráció értékek a minta felületi szennyeződésére utalnak. Az 1. gyöngy esetén a felületi (XRD), ill. a tömbi (PGAA) mérésekből származó Cl/Cu értékeket összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a korróziós folyamat eltérő a felületen (előrehaladottabb), illetve a tárgyak egészére nézve. Ez arra utal, hogy a korróziós folyamat még nem stabilizálódott, a fázisátalakulás – azaz az állapotromlás – jelenleg is zajlik.

A folyamat időbeli lefolyásáról – jelen vizsgálatok alapján – csupán annyit tudunk mondani, hogy igen előrehaladott, mivel az eredeti termésszéz fázis már nyomokban sincsen jelen a tárgyakban. A csőszhalmi rézgyöngyök esetében azonosított ásványfázisok a termésszéz → kuprit → paratakamit + atakamit átalakulási folyamatsor késői stádiumát jelzik (a kísérleti munkákban a trópusi klímán ezt a szintet nem érték el, de 9 hónap alatt már jelentősen megemelkedett a paratakamit mennyisége). Az 1. gyöngy anyagában még detektálható a kuprit mint elsődleges korróziós termék, de már csak nyomnyi mennyiségben. A domináns (másodlagos) korróziós fázishoz, a paratakamithoz köthető az átalakulási kéreg zöld színe is.

A lelet állapotának dokumentálása a feltáráskor, restauráláskor, illetve később a tárlóba való elhelyezéskor fontos adatokat szolgáltathat az állapotromlás folyamatának megismeréséhez, megértéséhez és kezeléséhez. Bár anyagvizsgálati eredményeink irányt mutattak a rézgyöngyök kezelésének további lépéseire, a tárgyak előkerüléskori állapotának részletes leírásából fontos információkat meríthettünk volna következtetéseink levonásához.

### **Köszönetnyilvánítás**

A szerzők köszönetüket fejezik ki prof. Raczky Pálnak (ELTE BTK Régészettudományi Intézet) a nagy értékű leletek vizsgálatának engedélyezéséért és a Magyar Nemzeti Múzeumnak a tárgyak rendelkezésre bocsátásáért. A neutron diffrakciós vizsgálatokat Török Gyula, az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet munkatársa végezte. A PGAA és a neutron diffrakciós vizsgálatok a Budapesti Neutron Központ infrastrukturális támogatásával készültek.

### **Irodalom**

CHOI, H.D., FIRESTONE, R.B., LINDSTROM, R.M., MOLNÁR, G.L., MUGHABGHAB, S.F., PAVIOTTI-CORCUERA, R., RÉVAY, ZS., TRKOV, A., ZERKIN, V., CHUNMEI, Z. (2007): *Database of prompt gamma rays from slow neutron capture for elemental analysis*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2007.

CRADDOCK, P. (2009): *Scientific investigation of copies, fakes and forgeries*. Butterworth-Heinemann, 628 p.

GRAEDEL, T.E., NASSAU, K., FRANEY, P.J. (1987): Copper patinas formed in the atmosphere – 1 Introduction. *Corrosion Science* **27** 639-657.

RACZKY, P., MEIER-ARENDE, W., HAJDÚ, ZS., KURUCZ, K., NAGY, E. (1997), Two unique assemblages from the Late Neolithic tell settlement at Polgár-Csőszhalom. In: *Studien zur Metallindustrie im Karpatenbecken und den benachbarten Regionen. Festschrift für Amália Mozsolics zum 85. Geburtstag*. Magyar Nemzeti Múzeum. Szerk.: Kovács Tibor. 1997.

RÉVAY ZS., BELGYA, T. (2004): Principles of PGAA method. In: Molnár, G.L. (ed.): *Handbook of Prompt Gamma Activation Analysis with Neutron Beams*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/New York, 1-30.

RÉVAY, ZS.; BELGYA, T.; MOLNÁR, G. L. (2005): Application of Hypermet-PC in PGAA. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **265** 261-265.

RÉVAY, ZS., BELGYA, T., SZENTMIKLÓSI, L., KIS, Z. (2008): Recent developments in prompt gamma activation analysis in Budapest. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **278**, 643-646.

STRANDBERG, H. (1998): Reactions of some copper patina compounds – II. Influence of sodium chloride in the presence of some air pollutants. *Atmospheric Environment*, **32/203521-3526**.

SZENTMIKLÓSI, L., BELGYA, T., RÉVAY, ZS., KIS, Z. (2010): Upgrade of the prompt gamma activation analysis and the neutron-induced prompt gamma spectroscopy facilities at the Budapest Research Reactor, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **286**, 501–505.

VELEVA, L., QUINTANA, P., RAMANAUSKAS, R., POMES, R., MALDONADO, L. (1996): Mechanism of patina formation in marine environments. *Electrochimica Acta*, **41/10**, 1641-1646.

# MŰTÁRGYAK VIZSGÁLATA LIBS SPEKTROSKÓPIÁVAL

## LIBS ANALYSIS OF ARTS OBJECTS

TÓTH TAMÁS FERENC & MÁRTON ZSUZSANNA

Pécsi Tudományegyetem, Fizikai Intézet, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

E-mail: [marton@fizika.ttk.pte.hu](mailto:marton@fizika.ttk.pte.hu)

### Abstract

*Accurate analysis of arts objects has increasing importance in recent restoration and preservation methods. The **Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)** can be used to determine the atomic composition of the surface of arts objects by removing a thin layer using laser ablation. The method is non-destructive, quick, accurate, easy to handle, and in most cases there is no need for pre-sampling.*

*In the present paper it will be shown, that the chemometrical method called **Principal Component Analysis (PCA)** contributes strongly to the evaluation of the LIBS spectra. The so called **matrix effect**, i.e. the presence and interaction of different species in the sample and thus in the plasma, influences the LIBS spectra. It makes their evaluation more complicated. On the other hand – as it is shown below – it gives opportunity to draw additional inferences above the qualitative atomic composition of the sample. With the help of the combined LIBS-PCA method we differentiated between pigments of very similar composition (malachite, copper-acetate). Aged and fresh (touch dry) paint samples of the same composition have also been distinguished, and differences between spectra of paint mixtures differing only in the ratio of the applied pigments have been shown. Furthermore, examples for analysis of ceramic glazes and metallic object will be presented.*

### Kivonat

*Napjaink restaurálási és műtárgymegóvási módszereinek egyre fontosabb részévé válik a műtárgyak anyagának pontos analízise. A **Lézerindukált Plazmaemissziós Spektroszkópia (Laser Induced Breakdown Spectroscopy, a továbbiakban LIBS)** alkalmas a műtárgyak felületéről lézeres ablációval eltávolított minimális mennyiségű anyag atomi összetevőinek meghatározására. A módszer kvázi roncsolásmentes, gyors, pontos, könnyen kezelhető, valamint az esetek igen nagy többségében nincs szükség előzetes mintavételezésre.*

*Ebben a cikkben megmutatjuk, hogy a **főkomponens analízis (PCA, Principal Component Analysis)** nevű kemometriai eljárás jelentősen hozzájárul a LIBS eredmények kiértékeléséhez. A mintában, és így a lézerrel keltett plazmában jelenlevő különböző anyagok kölcsönhatása, az úgynevezett **mátrix-hatás** befolyásolja a LIBS spektrumokat. Ez egyrészt megnehezíti a kiértékelést, másrészt viszont, amint azt alább bemutatjuk, lehetőséget nyújt a kvalitatív elemösszetételén túlmenő következtetések levonására is. A kombinált LIBS-PCA módszerrel megkülönböztettünk nagyon hasonló kémiai összetételű pigmenteket (malachit, réz-acetát). Azonos kémiai összetételű friss (de már száraz), illetve öregedett festékrétegek spektrumai közt is különbséget tudtunk tenni, valamint a pigment-keverékek kis koncentrációbeli eltérései is kimutathatóak voltak. Példákat mutatunk kerámia mázak és fémtárgy analízisére is.*

KEYWORDS: LASER INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS, DYE, PIGMENT, MATRIX EFFECT

KULCSSZAVAK: LÉZERINDUKÁLT PLAZMAEMISSZIÓS SPEKTROSKÓPIA, FŐKOMPONENS ANALÍZIS, FESTÉK, PIGMENT, MÁTRIX-HATÁS

### Bevezetés

A modern műtárgy-restaurálás egyik új „eszköze” a fény. Szikék, csiszoló eszközök és oldószerek helyett ma már sok esetben a *lézeres abláció* (Bauerle, 2000) biztosít megfelelő pontosságot a felületről történő anyageltávolításban. Az abláció során elpárolgó anyag kezdetben gerjesztett (plazma) állapotú. Az atomok alapállapotba való visszatérése során leadott energia részben emittált fény formájában jelenik meg. Ez a jelenség lehetőséget ad un. *lézerindukált plazmaemissziós*

*spektroszkópiára (LIBS)* (Cremers & Radziemski, 2006). A spektrumok a plazmában jelen lévő atomokról, kisebb gyökökről adnak információt, így a lézeres abláció segítségével nemcsak felületi tisztítást, de kémiai elemzést is végezhetünk.

A LIBS gyorsasága, könnyű kezelhetősége és a mintaelőkészítés szükségtelensége miatt előszeretettel alkalmazott módszer, melynek továbbfejlesztésére több kutatás is irányul. Ilyen például a kalibráció nélküli LIBS (CF-LIBS) (Ciucci et al. 1999), illetve a főkomponens analízis

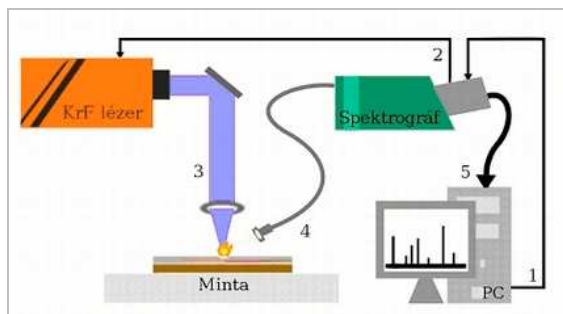
(Shlens, 2009) alkalmazása LIBS spektrumokon. Ebben a cikkben bemutatjuk, hogy a LIBS módszer az általunk vizsgált műtárgyak széles skáláján hatékony vizsgálati módszernek bizonyult, valamint hogy a spektrumok elemzését PCA-val kiegészítve a spektrumokban jelen lévő, az elemösszetételen túlmutatató többletinformációk is kinyerhetők. Példáinkon demonstráljuk, hogy – annak ellenére, hogy fázisanálízisre nem alkalmas eljárás – a LIBS-nek helye van az archeometriai módszerek egyre bővülő tárházában.

## Eszközök és módszerek

### LIBS

A LIBS vizsgálat során a minta felületére fókuszáljuk a lézernyalábot. A lézerimpulzus elnyelődése nyomán elpárolgó anyagból plazmafelhő képződik, mely a felületre merőleges irányban halad, miközben tágul és csökken a hőmérséklete. Eközben bonyolult ütközési folyamatok játszódnak le a fotonok, elektronok, atomok, molekulák közt, amelyek akár kémiai reakcióhoz is vezethetnek. A plazma lecsengési ideje a lézerimpulzus energiájától függően néhány száz nanoszekundumtól néhány tíz mikroszekundumig is tarthat (Kim, 1989). Az atomok, gyökök az alapállapotba való visszatérésük során fényt emittálnak, melynek spektrumát az atomi vagy molekuláris átmenetek energianívói határozzák meg, de befolyásolják egyéb faktorok is, mint például a plazmában fellépő kölcsönhatások, vagy az, hogy a rendszer elérte-e már a termodinamikai egyensúlyt. Ezeket a tényezőket *mátrix-hatás* néven foglaljuk össze (Huang et al. 2004, Diwakar et al. 2007).

Kísérleteinkben a besugárzáshoz 248 nm hullámhosszú KrF lézert használunk, melynek változtatható intenzitású és keresztmetszetű nyalábját egy kvarclencse segítségével a kérdéses minta felszínén egy 0,8 x 0,5 mm<sup>2</sup>-es területre képezzük le.



**1. ábra:** A LIBS mérési elrendezése

**Fig.1.:** The experimental setup for the LIBS measurements

A 16 ns hosszúságú lézerimpulzus a minta anyagi minőségétől függően egy maximum néhány mikron vastagságú réteget ablációval eltávolít.

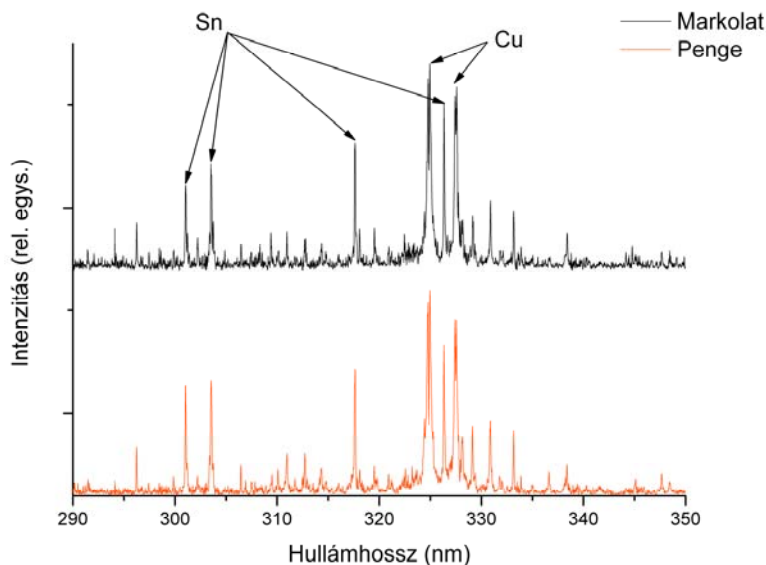
Az abláció során keletkező plazma által emittált fényt optikai szálon keresztül továbbítjuk egy Andor Mechelle 5000 típusú spektrográfba, mellyel a 250-800 nm hullámhossztartomány egyszerre mérhető. A felbontás 500 nm-en 0,05 nm. A mérés időzítését és a zajcsökkentés szempontjából fontos kapuzást a spektrográfhoz csatlakozó iStar DH734 típusú erősített CCD kamera biztosítja. Az alkalmazott mérési elrendezést az **1. ábra** szemlélteti. A LIBS mérés hatékonyságát, hitelességét EDX (energia diszperzív Röntgen spektroszkópia, más néven elektronmikroszkópos mikroanalízis) vizsgálatallal ellenőriztük.

### Adatelemzés, PCA

A mért LIBS spektrumok elsődlegesen a kvalitatív elemösszetételre utalnak, ami esetenként elegendő is a restaurátorok, régészek kérdéseinek megválaszolásához. A LIBS módszer fázisanalízist nem tesz lehetővé, viszont gyorsasága, egyszerűsége miatt előzetes vizsgálati módszerként jól alkalmazható. Az eredmények alapján eldönthető, hogy milyen irányú vizsgálatokra van szükség a kérdéses minta pontosabb megismeréshez, kell-e például fázisanalízis, vagy kvantitatív elemösszetétel-vizsgálat az adott restaurátori kérdés megválaszolásához. A spektrumok részletes kiértékelése viszont összetett feladat. A LIBS mérés kvantitatívra tételére kidolgozott CF-LIBS (kalibráció mentes LIBS) technika (Ciucci et al. 1999) épp a mátrix-hatás fellépése miatt nem alkalmazható bizonyos bonyolult összetételű mintákon (Márton et al. 2010), ezért jelen munkánkban a PCA eljáráshoz folyamodunk.

A PCA egy statisztikai módszer, a modern adatelemzés egyik gyakran használt eszköze (Jolliffe, 2002). Kapcsolatot keres az együtt előforduló spektrumvonalak között, és ennek ismeretében olyan új változókat vezet be, amelyek segítségével az egyes spektrumokat egy síkbeli (esetleg három-, vagy négydimenziós) koordinárendszerben egy ponttal ábrázolhatjuk (a pont helyzete két – esetleg három, vagy négy – koordinátával megadható). Ez jelentős egyszerűsítés ahhoz képest, hogy egy-egy spektrum megmérése 20000 adatpárt (hullámhossz és hozzá tartozó intenzitás) eredményez. A PCA biztosítja, hogy a koordinátákat úgy válasszuk ki, hogy lényeges információvesztés ne történjen az egyszerűsítés során (Jolliffe, 2002). A főkomponens analízist megvalósító LabView programot magunk írtuk.

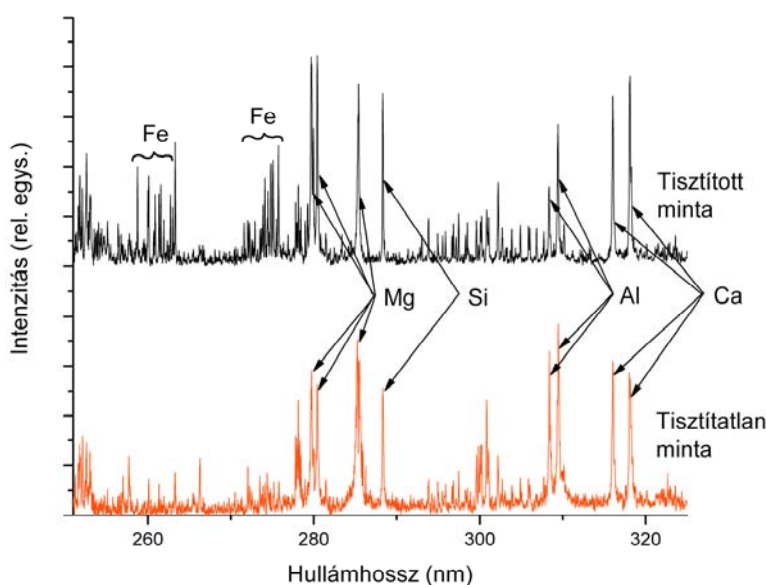


**2. ábra:**

Bronzkori kard részeinek  
LIBS spektruma

**Fig. 2.:**

LIBS spectra taken from  
different parts of a flange  
hilted cutting sword from  
the Late Bronze Age

**3. ábra:**

A PWS\_24\_2 kódszámú  
freskódarab LIBS  
spektruma

**Fig. 3.:**

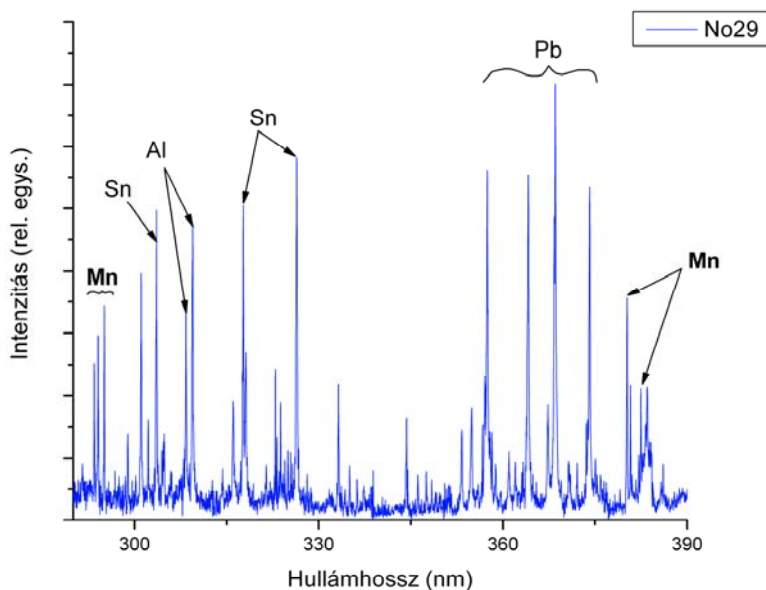
The LIBS spectrum of the  
fresco fragment No.  
PWS\_24\_2

Az alábbiakban egyszerű kvalitatív LIBS spektrum elemzések bemutatása után néhány konkrét problémán keresztül megmutatjuk, hogy a PCA használatával a mátrix-hatásban megmutatkozó fontos, a kvalitatív atomi összetételén túlmutató információk is nyerhetők a műtárgyak komplex összetételű anyagáról.

### ***A vizsgálati minták***

Ebben a cikkben változatos anyagú mintákon történt mérések eredményeit mutatjuk be, mivel a LIBS módszer széles körű alkalmazhatóságát kívánjuk demonstrálni. A különböző pigmentekkel

és kötőanyagokkal festett festékminták és a kerámia mázak kifejezetten tesztelés céljára készültek. A vizsgált freskótöredék Szabadbattyánból, a római villa ásatásából került elő (Bóna, 2003), jelentős régészeti értéket önmagában nem képvisel. A belvárdgyulai ásatásból (108. lelőhely, 146. objektum) származó bronzkard (Janus Pannonius Múzeum, Pécs, Ltsz: O.2009.108.148.1.) az egyetlen olyan tárgy a mintáink között, amelynek később archeometriai jelentősége lehet. A lelőhely régészeti feltárása és a leletek feldolgozása még folyamatban van.

**4. ábra:**

A barna kerámia LIBS spektrumában a máz atomi vonalain kívül Mn-vonalak is láthatók

**Fig. 4.:**

Additionally to the atomic lines coming from the glaze, Mn lines could be detected in the LIBS spectrum of the brown ceramic sample

**Eredmények****Bronzkori kard vizsgálata**

LIBS technikával megvizsgáltunk egy belvárdgyulai lelőhelyről származó régészeti leletet melyet korábban formája és anyagának színe alapján késő-bronzkori nyélnyújtványos kardként azonosítottak. Az elsődleges régészeti vélemény alapján nem volt kizárható, hogy kard egy olyan korszak terméke, mikor már kísérleteznek a vas megmunkálásával, és esetleg ötvöző anyagként használják is. A LIBS nem tudta kimutatni számottevő vas jelenlétét, tehát ezt a feltételezést el kellett vetni. A spektrumban a réz és az ón vonalai jelentkeznek nagy intenzitással, ezen kívül csak szennyezőanyagoknak tulajdonítható kis intenzitású vonalakat azonosítottunk. (2. ábra) Tehát megállapíthatjuk, hogy a kard réz-ón ötvözetből készült.

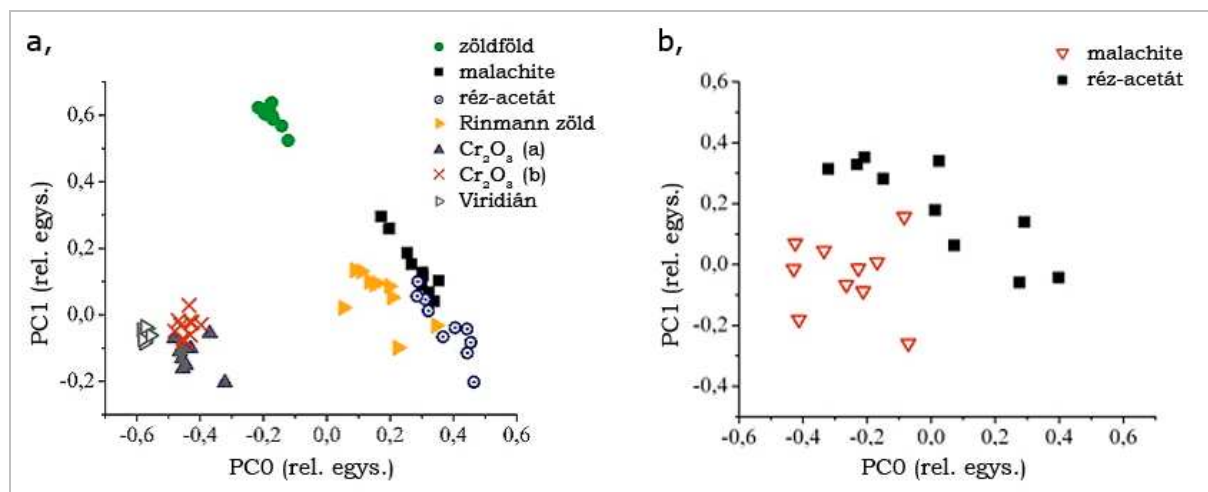
**Római kori freskótöredék vizsgálata**

Mint ahogy ablációval a tárgy felszíne alatt egyre mélyebben fekvő rétegek mikronos nagyságrendű lépésenként távolíthatók el, mélységi analízist is végezhetünk nagy pontossággal. A szabadbattyáni lelőhelyről származó PWS\_24\_2 kódszámmal jelölt római kori freskótöredéken (Kisapáti, 2007) egy korábban vörös okkerként azonosított pigmentet tartalmazó festékréteg található a felszíni szennyeződés alatt. A töredéket a szétmállás elkerülése érdekében Primal WS24-es szilárdítószerrel kezelték. A felületi szennyeződést – mely főként Ca, Mg, Al, illetve Si atomokat tartalmazott – ablációval eltávolítottuk, és az alatta

fekvő festékréteg spektrumában olyan emissziós vonalakat kerestünk, melyek nem találhatók meg a szennyeződés spektrumában. Ezzel az összehasonlító elemzéssel intenzív vas-vonalakat találtunk (3. ábra). A LIBS eredmények tehát megerősítették a feltevést, hogy a pigment vörös okker. Ezt az eredményt később EDX vizsgálat is alátámasztotta (Tóth A. p.c.).

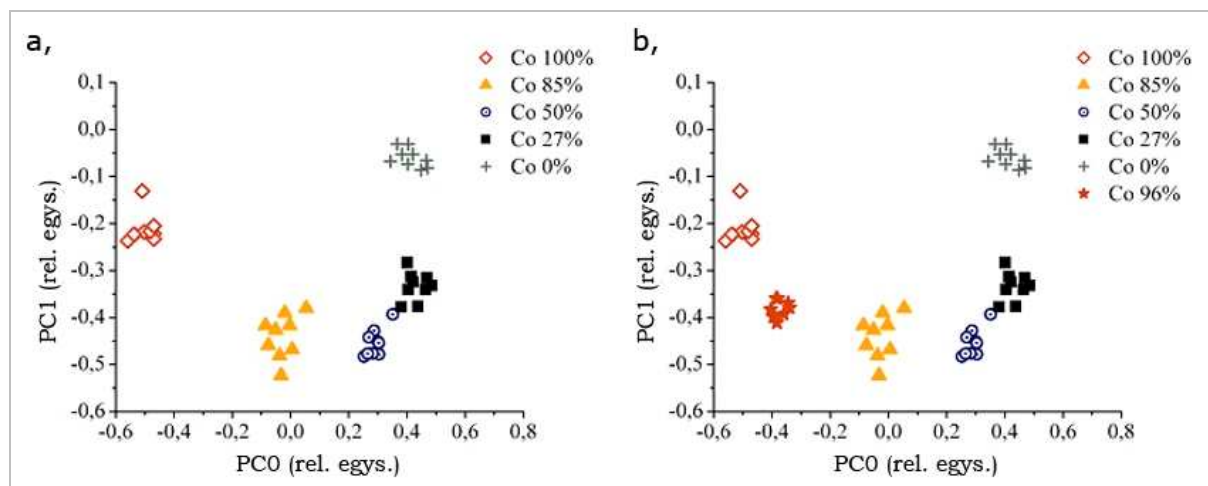
**Kerámiamázak pigmentanyagának meghatározása**

Az eljárás hatékonyságát kerámia-mázakon is teszteltük. A rendelkezésünkre álló – számunkra ismeretlen összetételű – minták közül kiválasztottuk azt, amelyikbe nem keverték semmilyen pigmentet (áttetsző volt), s ennek spektrumával hasonlítottuk össze a többi mintáét. Így nagy pontossággal következtethetünk a színes minták pigmentjeinek a színért felelős elemeire. A 4. ábrán egy olyan példa látható, melyen egy barna színű kerámia-máz spektrumában – az áttetsző máz (Pb, Sn, Al) atomi vonalain kívül – mangán vonalakat is találtunk. A vizsgálat eredményeit később közöltük a minta készítőjével (Véninger Péter, Magyar Nemzeti Múzeum), aki egy szín kivételével igazolta, hogy a minták színhatását az általunk kimutatott elem eredményezi. A sárga színű minták esetében vak teszttel nem találtuk meg a színt adó elemet. A minta gyártójának közlése szerint ez az antimon volt, aminek az általunk elérhető 250-800 nm-es hullámhossztartományban csak 287,79 nm-en található intenzív vonala. Ezt a vonalat a megismételt elemzéssel azonosítani tudtuk.



**5a. ábra:** Zöld festékek megkülönböztetése LIBS-PCA-val, **5b.:** malachit és réz acetát megkülönböztetése LIBS-PCA-val

**Fig. 5a:** Differentiation between green paint matters with the LIBS-PCA method, **5b.:** differentiation between malachite and copper-acetate



**6a. ábra:** Különböző tömegarányú poroszkek és kobaltkek pigment keveréket és lenolaj kötőanyagot tartalmazó festékek megkülönböztetése PCA-val, **6b.:** tesztkeverék elhelyezkedése a PCA-térképen.

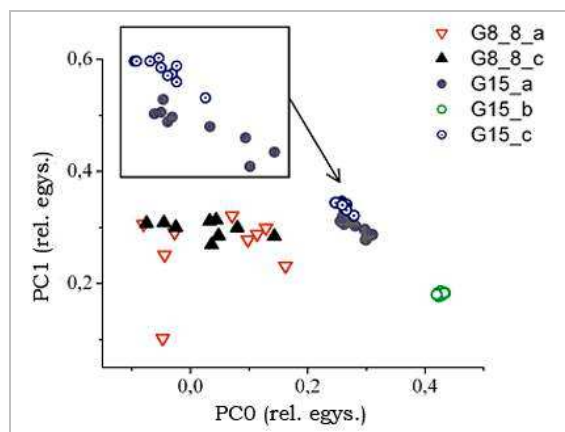
**Fig. 6a.:** Differentiation between paints containing different weight percentage of Prussian blue and cobalt blue pigments in linseed oil binding **6b.:** Placing a test mixture (Co 96%) on the PCA-plot

## Festékanyagok vizsgálata LIBS-PCA módszerrel

### Festékek megkülönböztetése pigment-tartalmuk alapján

Eddig olyan eredményekről számoltunk be, melyekhez elegendő volt a spektrumok atomi vonalainak kvalitatív azonosítása. A továbbiakban hétféle zöld pigment spektrumainak elemzésével megmutatjuk, hogy a teljes LIBS-jelben jelenlévő információt felhasználhatjuk azonos elemi összetételű, de eltérő sztöchiometriájú vegyületek megkülönböztetésére. Az **5a. ábrán** néhány jól ismert zöld festék PCA térképe (PCA score plot) látható. Az egyforma alakú és színű jelek ugyanarról a mintáról felvett különböző

spektrumokat jelölnek. Jól látható, hogy a réz-tartalmú csoportba sorolható malachit, réz-acetát és Rinmann zöld spektruma egymáshoz közel helyezkedik el, messze a krómos csoporttól (króm-oxid és Viridián zöld). A sokféle ásványt és vasoxidot tartalmazó zöldföld spektrumai pedig távolabb különálló csoportot alkotnak. Az eljárás tovább finomítható, ha a PCA számítás során csak a sok mintás térképen nagyon közel eső, tehát egymáshoz nagyon hasonló mintákat vesszük figyelembe. Ilyen módon még a malachit  $[2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$  és a réz-acetát  $[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$  pigmentet és azonos kötőanyagot tartalmazó minták LIBS spektrumai közti eltérést is ki tudtuk mutatni (**5b. ábra**).



**7. ábra:** Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pigmentet és lenolaj kötőanyagot tartalmazó festékek kor szerinti megkülönböztetése PCA-val. Jelölések: G15\_a: az éppen megszáradt festékminta spektruma, G15\_b: 1 napos minta spektruma, G15\_c: 3 napja száraz minta spektruma, G8\_8\_a, ill. G8\_8\_c: 9 éves minta spektruma.

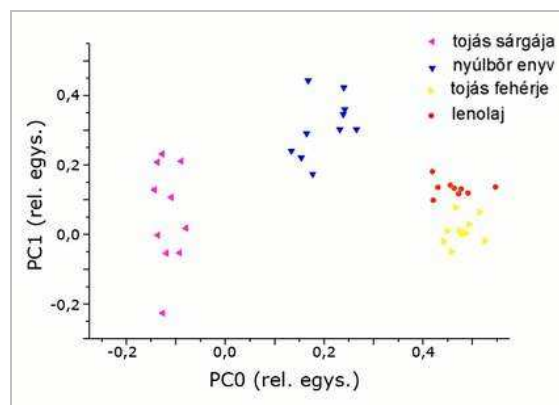
**Fig. 7.:** Differentiation between paint matters containing Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pigment and linseed oil binding, according to their age. Notation: G15\_a: touch-dry sample, G15\_b: 1 day old sample, G15\_c: 3 days old sample, G8\_8\_a, and G8\_8\_c: 9 years old sample

#### **Pigment-keveréket tartalmazó festékek megkülönböztetése**

A LIBS-PCA módszert alkalmaztuk olyan festékek vizsgálatára is, melyek azonos típusú és mennyiségű kötőanyagot, valamint állandó össztömegű, de különböző tömegarányú pigment-keveréket tartalmaztak. Azt tapasztaltuk, hogy a minták spektrumaik különböznek, és a PCA-térképen egyfajta – a keverék-aránynak megfelelő – sorrendben helyezkednek el (**6a. ábra**). A mérés ellenőrzésének céljából egy 96 % kobaltos pigment-keveréket tartalmazó mintát is készítettünk, és ennek spektrumait a PCA programmal elhelyeztettük az előbbi minták térképén. Az eredmény a **6b. ábrán** látható. A spektrumcsoport meggyőző módon a várt helyre, a 85 % és a 100 % kobalt-tartalmú minták spektruma közé került.

#### **Eltérő korú festékek vizsgálata**

Megvizsgáltunk azonos összetételű, de eltérő korú (friss, de már száraz, egy napos, három napos, illetve kilenc éves) festékmintákat is, és azt tapasztaltuk, hogy a minták spektruma nem teljesen egyező (**7. ábra**). A vizsgált minták lenolaj kötőanyagot, illetve krómoxid zöld pigmentet tartalmaztak. A szakirodalom szerint bizonyos kötőanyagok – többek közt a lenolaj – UV fény hatására szerkezeti változásokon megy keresztül, polimerizálódik, ami az UV abszorpciójuk változásában is megnyilvánul (Gorza et al. 2004, Boyatzis et al. 2002).



**8. ábra:** Különböző kötőanyagokba kevert kobaltkék pigmentet tartalmazó festékek PCA-térképe

**Fig. 8.:** PCA-plot of paint matters containing cobalt blue pigment and different binding materials

A króm sok intenzív spektrumvonallal rendelkezik az UV tartományban, a plazmafelhőben szintén jelenlévő kötőanyag pedig abszorbeálja a króm atomok által kibocsátott UV fényt. Azonban az abszorpció mértéke ezen az időskálán nem állandó, tehát ez okozhatja a különböző minták spektrumainak eltérését.

A jelenség vizsgálatára további kutatások irányulnak, melyek során a mintákat mesterséges öregítő kamrában a több 10-100 éves időtartam alatt beérkező természetes UV dózissal egyenértékű UV sugárzásnak tesszük ki. Amennyiben a spektrumok változása ezen a skálán is jól kimutatható, úgy a króm tartalmú pigment jó indikátorként szolgálhat a kötőanyag és így a festmény korának behatárolására.

#### **Különböző kötőanyagú festékek vizsgálata**

A LIBS-PCA technikát alkalmaztuk különböző kötőanyagokba (len olaj, nyúlőr enyv, tojás sárgája, tojás fehérje) kevert kobalt kék pigmentet tartalmazó festékek vizsgálatára is. A minták ebben az esetben azonos korúak voltak. Annak ellenére, hogy a kötőanyagok vizsgálatára elsősorban más, molekula spektroszkópiai módszereket (pl: Raman, FTIR) szokás használni, hasznos megfigyelés, hogy a PCA elemzéssel a festett rétegek LIBS spektrumában is különbségek mutathatók ki a kötőanyagok különbözősége miatt (**8. ábra**).

#### **Összegzés**

A LIBS-PCA módszer hatékony eszköz a műtárgyak anyagának vizsgálatára. Ebben a cikkben alkalmazásokat mutattunk fémek anyagának vizsgálatára, freskók, festmények és kerámiák pigmentanyagának elemzésére, azonos atomi összetételű, különböző sztöchiometriájú pigmentek megkülönböztetésére. Megmutattuk azt is, hogy az eljárás azonos összetételű, ám eltérő



korú, króm tartalmú festékminták, valamint azonos pigmentet és különböző kötőanyagot tartalmazó festékretegek megkülönböztetésére is alkalmas. A LIBS nem helyettesítheti az olyan fázisanalízisre alkalmas módszereket, mint a Röntgen diffrakció vagy a Raman spektroszkópia, de jól kiegészítheti ezeket az archeometriai, restaurátori vizsgálatokban. Gyorsasága, egyszerűsége, sokrétű alkalmazhatósága és a mintaelőkészítés szükségletelensége miatt előzetes vizsgálatokra különösen jól használható.

### **Köszönetnyilvánítás**

A szerzők ezúton mondanak köszönetet Galambos Évának, amiért festékmintákat biztosított a LIBS-PCA kutatáshoz, valamint Kisapáti Ivettnék, a freskók vizsgálatában nyújtott segítségével. Köszönjük Véninger Péternek a kerámia mintákat, Mrenka Attilának a bronzkori kard lelettel kapcsolatos kérdéseit, a Baranya Megyei Múzeumok Igazgatóságának, hogy a kardot mérés céljára rendelkezésünkre bocsátotta, továbbá köszönjük Tóth Attilának a freskó mintákon végzett EDX vizsgálatokat.

### **Irodalom**

- BÄUERLE, D. (2000): *Laser Processing and Chemistry*, Springer, New York, 788 pp.
- BÓNA, I. (2003): Szabadbattyán, római kori villa. Freskók kiemelése és restaurálása. *Műemlékvédelmi Szemle*, **2003/2**: 152-153.
- BOYATZIS et al. (2002): Boyatzis, S., Loakimoglou, E. & Argitis, P., UV exposure and temperature effects on curing mechanisms in thin linseed oil films: Spectroscopic and chromatographic studies. *Journal of Applied Polymer Science* **84/5**: 936-949.
- CIUCCI et al. (1999): Ciucci, A., Corsi, M., Palleschi, V., Rastelli, S., Salvetti, A., & Tognoni, E., New procedure for quantitative elemental analysis by Laser Induced Plasma Spectroscopy, *Applied Spectroscopy* **53**: 960-964
- CREMERS, D. A. & RADZIEMSKI, L. J. (2006): *Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*. John Wiley, New York.
- DIWAKAR et al. (2007): Diwakar, P. K., Jackson, B. P. & Hahn, D. W., The effect of multi-component aerosol particles on quantitative laser-induced breakdown spectroscopy: Consideration of localized matrix-effects. *Spectrochimica Acta* **B 62**: 1466-1474.
- GROZA et al. (2004): Groza, A., Surmeian, A., Ganciu, M. & Popescu, I. I., Infrared spectral investigation of the linseed oil polymerization in a corona discharge in air at atmospheric pressure. *Europhysics Letters* **68**: 652-657.
- HUANG et al. (2004): Huang, J. S., Ke, C. B. & Lin, K. C., Matrix effect on emission/current correlated analysis in laser-induced breakdown spectroscopy of liquid droplets. *Spectrochimica Acta* **B 59**: 321-326.
- JOLLIFFE, I. T. (2002): *Principal component analysis*. New York: Springer-Verlag.
- KIM, Y. W. (1989): Fundamentals of analysis of solids by laserproduced plasmas. In: Radziemski, L. J., Cremers, D. A., *Laser-induced plasmas and applications*. Marcel Dekker, Inc, New York.
- KISAPÁTI I. (2007): Lézeres tisztítás festett köfelületeken. *Közöletlen szakdolgozat*, Képzőművészeti Egyetem.
- SHLENS, J. (2009): *A Tutorial on Principal Component Analysis*; Version 3.01. <http://www.sn1.salk.edu/~shlens/pca.pdf>



## ARCHAEOLOGICAL AND PETRO-MINERALOGICAL REMARKS ON DAMAGED EGYPTIAN WALL PAINTINGS, EL-QURNA NECROPOLIS, UPPER EGYPT

### ARCHEOMETRIAI ÉS PETROARCHEOLÓGIAI MEGFIGYELÉSEK A FELSŐ- EGYIPTOMI EL-QURNA NEKROPOLISZ MEGRONGÁLÓDOTT FALFESTMÉNYEIN

HUSSEIN HASSAN MAREY MAHMOUD

Department of Conservation, Faculty of Archaeology, Cairo University, 12613 Giza, Egypt

E-mail: [marai79@hotmail.com](mailto:marai79@hotmail.com)

#### Abstract

*The present study aims at characterizing the main deterioration mechanisms affecting some Egyptian wall paintings of Theban tombs (TT277&278), El-Qurna, Upper Egypt. Several weathering products were observed on the painted surfaces representing different degrees of decay. The morphology and microanalysis of the studied samples were performed by scanning electron microscopy equipped with an energy dispersive X-ray analysis system (SEM–EDS). The mineralogical characterization was carried out using X-ray powder diffraction analysis (XRPD), while the petrographic examination on the prepared thin sections was carried out using the polarized light microscope (PLM). The results showed that the limestone types in the area are microsparry calcite embedded in a micrite matrix rich in fossils and grains of quartz. XRPD data showed that the main crystalline phases in the limestone samples are calcite, quartz, anhydrite, halite and clay minerals. The results showed that the damage of the examined wall paintings is mainly attributable to the effect of different salts such as halite (NaCl), gypsum (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), and sylvite (KCl). The blue pigment was identified as Egyptian blue (Cuprorivaite), the red pigment as hematite (red ochre) and the yellow pigment as goethite (yellow ochre). The obtained results will help in drawing a conservation plan for the damaged wall paintings in the area.*

#### Kivonat

*Ez a tanulmány a thébai (Egyiptom) sírkamrák falfestményeit leggyakrabban károsító tényezők jellemzésével foglalkozik a TT277&278 jelű objektumok ( El-Qurna, Felső Egyiptom) vizsgálata alapján. A festett felületeken többféle mállási termék lehetett megfigyelni a károsodás különféle stádiumaiban. A vizsgált minták morfológiai és kémiai elemzését energia-diszperzív Röntgen-spektrométerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkóppal végeztük (SEM–EDS). Az ásványtani vizsgálatokat Röntgen-pordiffrakcióval (XRPD), a kőzettani meghatározást polarizációs kőzettani mikroszkóppal (PLM) végeztük el megfelelően előkészített vékonycsiszolatokon. Eredményeink szerint a területen használt mészkövek mikropátitos kalcitot és kvarc-szemcséket tartalmaznak ősmaradványokban gazdag mikrites alapanyagba ágyazottan. A röntgen pordiffrakciós vizsgálat szerint a fő ásványfázisok a kalcit, kvarc, anhidrit, kősó és a különféle agyagásványok. A falfestmények károsodását leginkább különféle sók okozzák, így a kősó (NaCl), a gipsz (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), és a szilvit (KCl). A kék festékanyagban az ú.n. egyiptomi kék pigmentet ismertük fel, a vörös festék anyaga hematit (vörös okker), a sárga festékanyag götit (sárga okker). Eredményeink hozzájárulnak a területen előforduló falfestmények védelmére megfelelő konzerválási stratégia kialakításához.*

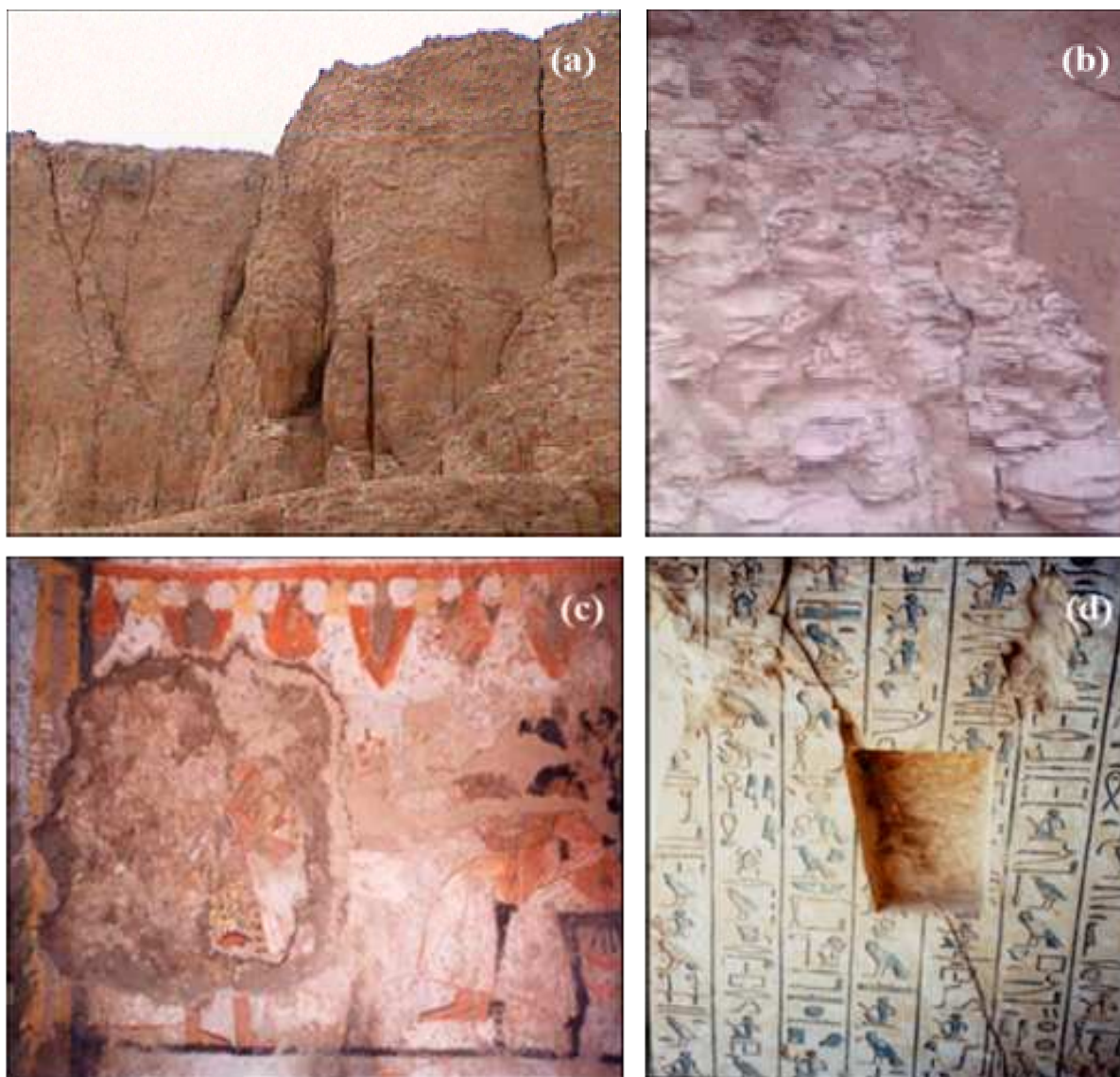
KEYWORDS: EL-QURNA, WALL PAINTINGS, PETROGRAPHY, XRPD, SEM–EDS, SALTS

KULCSSZAVAK: EL-QURNA, FALFESTMÉNY, KŐZETTAN, RÖNTGEN PORDIFFRAKCIÓ, PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓPIA, ENERGIA DISZPERZÍV RÖNTGENSPEKTROSKÓPIA, SÓK

#### Introduction

The Theban necropolis is located in the west bank of the river Nile at the city of Luxor (about 670 km south of Cairo). The tombs of the Nobles are spread over an area of about two square miles from Dra Abu el Nega in the north to Der el Medina in the south. There are more than three hundred tombs belong to officials of the New Kingdom (c.1570–

1070 BC) (Kamil 1976). The main objective of this study was to emphasis some archeometric, petrographic and mineralogical remarks through the application of different analytical techniques (PLM, XRPD and SEM–EDS) to study samples collected from the wall paintings of two Theban tombs (Tomb No. TT277 of Amenemonet (Jmn-m-jn.t), divine father of the mansion of Amenophis III, the 19<sup>th</sup> Dynasty (Foucart 1918; Gautier 1920) & Tomb



**Fig. 1.:** a) several rock joints in the Theban Mountain, b) marl and soft limestone at the Theban formation, c) detachments in the wall paintings (Tomb No. TT278), d) micro and macro cracks in a painted limestone relief (Tomb No. TT192).

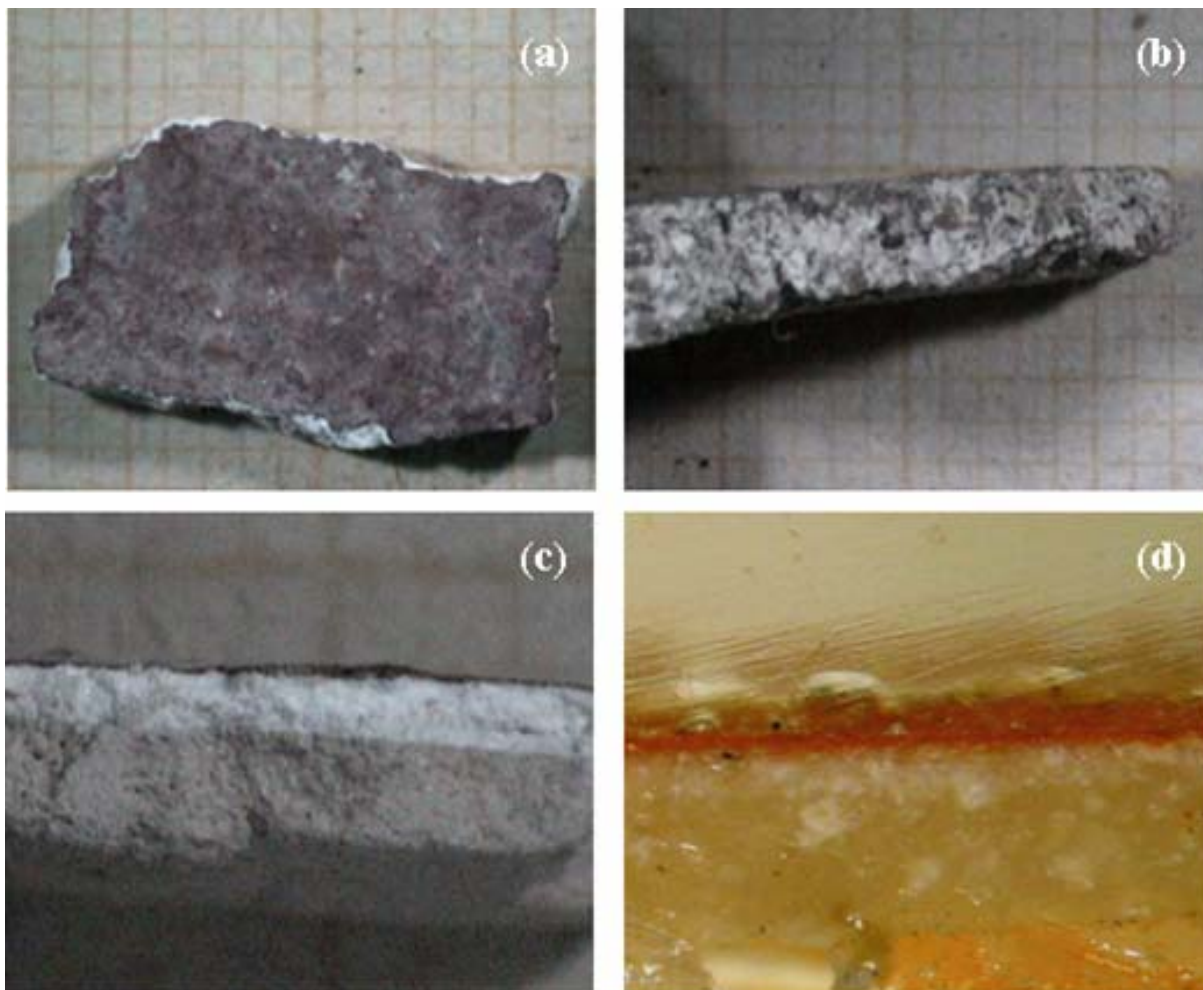
**1. ábra:** a) Töredezett kőzetek a Thébai Hegységben, b) márga és puha mészkő a Thébai Formációban, c) leváló falfestmények (TT278 sz. sírkamra), d) mikro- és makrorepedések egy festett mészkő reliefen (TT192 sz. sírkamra).

No. TT278 of Amenemheb (Jmn-m-hb, Jmn-m-h3b), herdsman of Amen-re, the 20<sup>th</sup> Dynasty (Vandier d'Abbadie 1954; Porter & Moss 1960; Kampp 1966), Qurnet Murai, El-Qurna, Upper Egypt. The obtained results will be of importance to characterize the composition of these wall paintings and to understand the main weathering mechanisms affecting in order to ensure the best conservation decision. **Figure 1** illustrates several deterioration forms on the wall paintings of the Theban tombs.

Petrographic examinations allow us to determine the exact typology of the stone, its physicochemical

properties and its state of preservation. In addition to the identification of specific minerals, thin section petrography also involves the study of mineral and rock textures, coarseness, and the relative or quantitative percentage of various constituents (Reedy 1994). On the other hand, X-ray diffraction is considered the most famous method widely used for characterizing crystalline compounds of cultural heritage materials. X-ray diffraction technique plays an important role in the study of works of art and museum objects; also it helps in answering questions related to degradation processes (Corbeil 2004).





**Fig. 2.:** Optical images of surface and stratigraphic sections of some painted plasters, a) painted fragment, b) cross section in the coarse plaster layer, c) stratigraphic section of the fine plaster and white wash, d) a close up in red paint layer under reflected light.

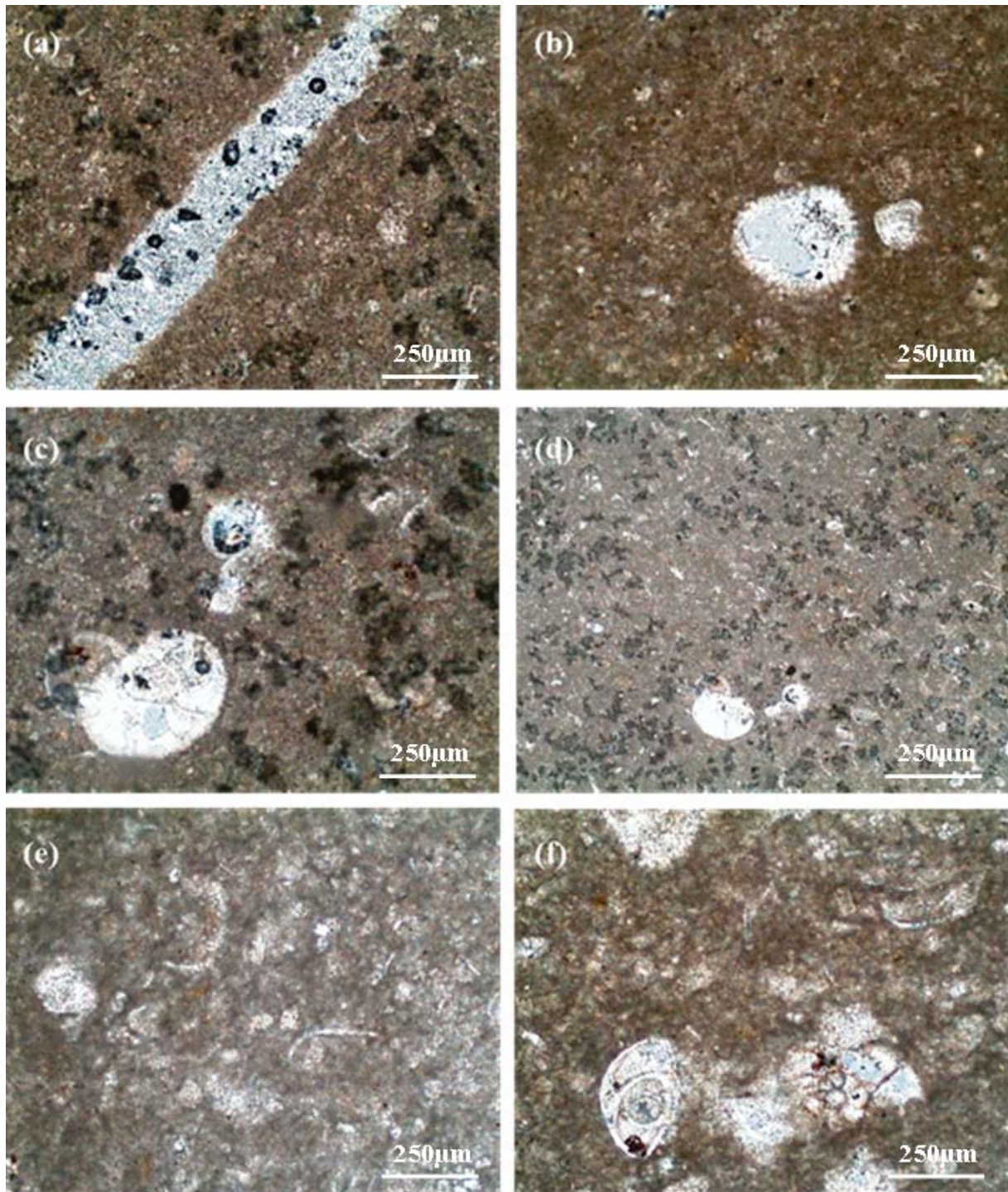
**2. ábra:** Festett vakolat felszín és metszet a) festett töredék, b) durva vakolatréteg metszete, c) finom vakolat és meszelési réteg metszete, d) vörös festékréteg nagyított képe visszavert fényben

The application of the scanning electron microscopy (SEM) to study materials of cultural heritage provides information about mineral morphology, crystal features, and chemical composition. In general, many papers have been devoted to study the geologic structure of Thebes Mountains and to characterize stones from tombs and temples at El-Qurna necropolis (Rutherford & Romer 1977; Curtis 1979; Crutis & Rutherford 1981; El-Baz 1987; El-Banna & Pinińska 1996; McLane & Wüst 2000; Wüst & McLane 2000; Wüst & Schlüchter 2000; Marey Mahmoud 2004; Aubry et al. 2009; Moussa et al. 2009).

### ***Geological background***

The Thebes Limestone Formation was defined by Said (1960) and the Thebes Mountains are

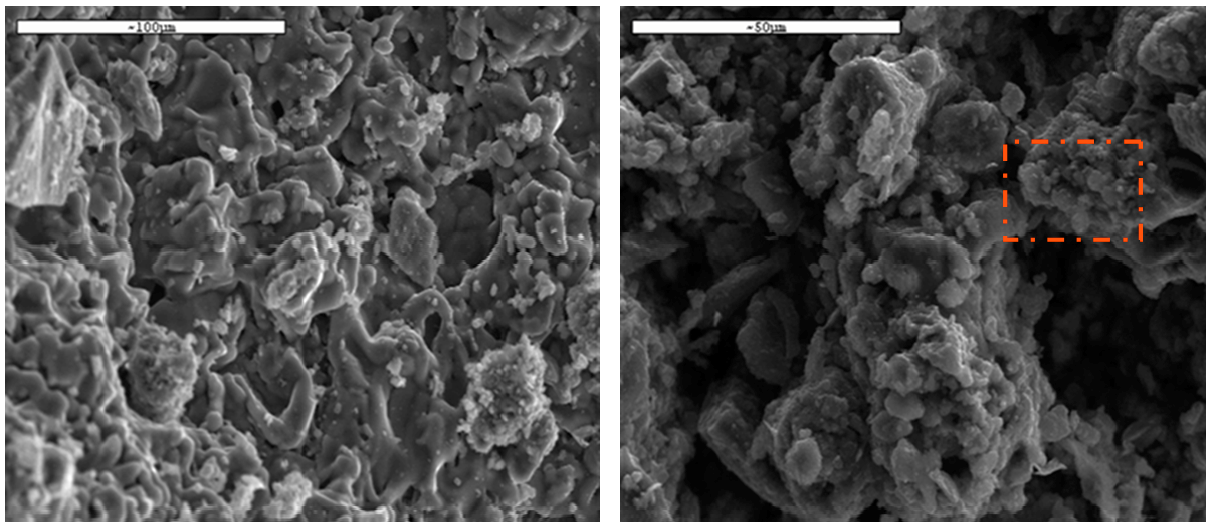
composed of 350 meter thick Eocene marls and limestones overlying the 60 meter thick Esna shale Formation. The lower levels of the Theban Formation are composed of slightly clayey, sub-chalky limestone, which serves to enclose a few bedrock layers of flint nodules and becomes more massive at greater depths (Guillaume & Piau 2003). Moussa et al. (2009) reported that hard limestone from El-Qurna is a pure calcite, while the soft one consists of dolomite, anhydrite and calcite. Planktonic foraminifera occur sporadically in the Thebes Limestone at Gebel Gurnah, and include, i.a., *Ac. interposita*, *Ac. pentacamerata*, *Ac. triplex*, *Ac. pseudotopilensis*, *Igorina broedermanni*, *M. aragonensis*, *M. caucasica*, *Pseudohastigerina wilcoxensis*, *Subbotina patagonica* / *rosnaesensis* group (Aubry et al. 2009).



**Fig. 3.:** Photomicrographs (C.N, 65X) of thin-sections prepared on the limestone samples, a) fossils and amorphous silica grains in a micritic matrix, also we can notice some veins are re-filled with sparry-calcite; b–e) microcrystalline calcite, fossils and quartz grains are embedded in a micritic matrix; f) a typical planktonic foraminiferal embedded in a biomicritic matrix.

**3. ábra:** Vékonycsiszolati felvételek (X.N, 65x) a mészkő mintákról, a) ősmaradványok és amorf kovaszemcsék mikrites mátrixban, pátitos kalcit erekkel; b–e) mikrokristályos kalcit, ősmaradványok és kvarcsemcsék mikrites mátrixban; f) jellegzetes plankton foraminifera biomikrites mátrixban





**Fig. 4.:** Representative SEM micrographs of limestone samples, left): heavy waxy salt coatings of sodium chloride salts; right): crystallization of different salt phases between the grains of the stone surface.

**4. ábra:** Jellemző pásztázó elektronmikroszkópos kép a mészkövekről, balra): vastos viaszos kősóréteg a felületen; jobbra): különféle kristályos só fázisok a szemcsehatárokon.

## Materials and methods

### Sampling and analytical methods

Representative stone samples were selected and appropriate thin sections were prepared for the petrographic examinations. The powder of the samples was analyzed for the determination of chemical and mineralogical composition. Furthermore, tiny pigment samples were collected under the stereo microscope using a metallic scalpel. The stratigraphic structure of the plaster layers was examined using a Zeiss (stemi DV4) stereomicroscope with a Sony camera (DSC-S85). The prepared thin sections of stone samples were observed using a Leitz Orthoplan polarizing microscope. In this study a JEOL JSM-840A scanning electron microscope equipped with an energy dispersive X-ray (EDS) Oxford ISIS 300 micro analytical system was used to investigate the weathered layers. Operating conditions were: accelerating voltage 20kV, probe current 45nA and counting time 60 seconds, with ZAF correction being provided on-line. The collected damaged layers have been grounded into a powder in an agate mortar and studied by powder X-ray diffraction method (XRPD) in order to determine their mineralogical composition. XRPD analysis was performed using a Phillips PW 1840 diffractometer with Ni-filtered Cu- $k_{\alpha}$  radiation. The samples were scanned over the 3–63° 2 $\theta$  intervals at a scanning speed of 1.2°/min.

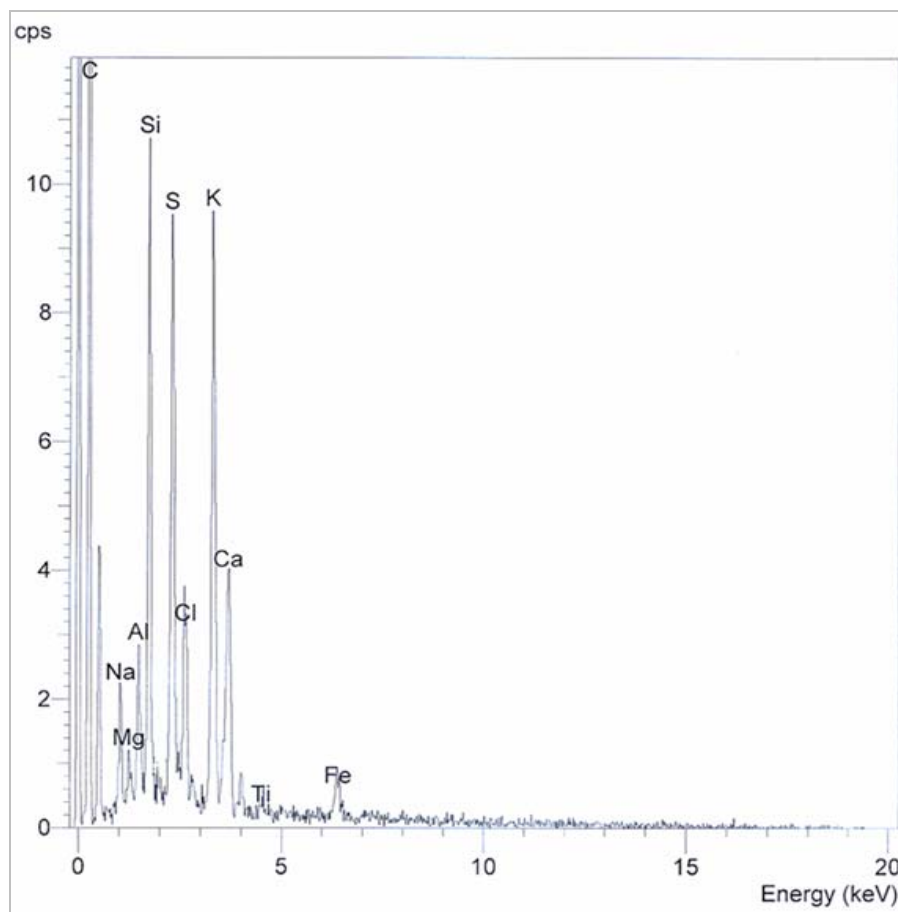
## Results and discussion

### Optical examination of the plaster layers

**Figure 2** shows optical images obtained on the surface and some stratigraphic sections of the painted plasters. From the optical examination, we can distinguish three plaster layers used to overcome faults in the wall and to produce flat and smoothed surface for painting. The first layer is the smoothed preparation layer (white wash) with a thickness ranges from 100 to 150  $\mu$ m. The second layer is the thin fine plaster which shows a thickness ranges from 200 to 350  $\mu$ m. The third one is a slightly thick coarse plaster which shows a thickness ranges from 10 to 30 mm.

### Petrographic examination

The results of the petrographic examination of the studied limestone samples are given in **Figure 3**. The microscopic observations show a microcrystalline calcite matrix with fossils and quartz grains are embedded in a micritic matrix. A large number of fossils and grains of quartz can be observed in the bedrock samples (**Fig. 3a**). Foraminifera, grains of quartz in addition to microcrystalline calcite are embedded in a micritic matrix (**Fig. 3b–e**). **Figure 3f** shows typical planktonic foraminifera embedded in a biomicritic matrix. Foraminifera can be major rock forming elements in open -or restricted- shelf as well as deeper marine deposits (Scholle & Dulmer-Scholle 2003).



**Fig. 5.:** An EDS spectrum of a weathered limestone sample.

**5. ábra:** A mállott mészkő felület EDS spektruma

### Mineralogical and morphological characterization

XRPD data showed that limestone samples consist mainly of calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) with minor amounts are quartz ( $\text{SiO}_2$ ) and anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), while traces of halite ( $\text{NaCl}$ ) and clay minerals (illite-montmorillonite) were also determined. XRD analysis of the plaster layers showed that the preparation layer consists of anhydrite with traces of calcite and quartz. The fine plaster consists mainly of calcite and clay minerals while the coarse plaster consists mainly of quartz, calcite and plagioclase (albite,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). Representative SEM micrographs of the outer surface of the damaged stone samples are shown in **Figure 4**. Salt crystallization is clearly observed in form of waxy coatings of halite and crystals of different salts. The EDS spectrum obtained on a weathered limestone sample, it is highlighted with a red square in figure 4, (**Fig. 5**) showed that the main ions contained in the sample are Si, S and K, with minor ions of Ca, Cl, Al, Na and Mg, while traces of Fe and Ti were also detected. From the XRD data, it was found that the sample is consisting of gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), anhydrite, dolomite [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], halite and sylvite (KCl). EDS microanalysis of the blue pigment showed that Ca, Cu and Si are the major ions contained giving the chemical formula of

cuprorivaite ( $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ ), with minor elements of Ca and S while traces of Fe and Ti were also measured. EDS microanalysis of the red pigment showed that the peak of Fe is present which is indicating the existence of iron oxide (probably of hematite,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) as possible colouring material. Minor ions of Ca and S were also detected, while the low concentration of Si and Al indicates possible existence of aluminosilicate material (clay) naturally found in ochre pigment. EDS microanalysis of the yellow pigment showed the peak of Fe is present which is indicating the existence of iron oxide (probably of goethite,  $\text{FeOOH}$ ).

### Deterioration aspects

The biggest hazard to the area is the flood water that penetrates into the structures. Furthermore, the deterioration becomes more effective due to the presence of swelling clay minerals and soluble salts in the geological structure. Moreover, the water seepage from the nearby houses and the cultivated lands represent another source of saline ions which react with stone material and re-crystallize in form of different salt phases. Salts can damage stone and other building materials through a range of other mechanisms as well, such as differential thermal expansion, osmotic swelling of clays, hydration



pressure, and enhanced wet/dry cycling caused by deliquescent salts (Smith 1994). NaCl was identified in all samples. Halite is one of the most abundant and ubiquitous (Lubelli et al. 2006), and it is a natural impurity in the Egyptian soil; and a common mineral in marine sediments. Hence, the source of the salts in the Thebes area is mainly the bedrock (Wüst and Schülchter 2000). The deterioration caused by gypsum is the result of its crystallization within the porous material matrix. The damage mechanism can be in form of stresses generated during the growth of gypsum crystals, generally called crystallization pressure. Because of its low mobility, gypsum tends to accumulate in large pores, and in an enhanced moisture retention thus facilitating gypsum re-crystallization and development of larger crystals (Steiger 2003). According to Moussa et al. (2009), Esna shale at the Thebes Mountains is consisting mainly of clay minerals (smectite + illite) with other components of calcite, dolomite, quartz and halite. In her study of A1-Muzawaka cut-rock tombs situated at Dakhla Oases, Western desert in Egypt, Helmi (2000) has reported that the crystalline swelling of clay is well known in expandable clay minerals such as montmorillonite, smectite and vermiculite. Damage of the wall paintings produced by swelling clays and particularly in the presence of salts is mainly resulting in form of detachments, disintegration of the inner structure and micro/macro cracks on the painted surfaces.

### ***Concluding remarks***

The archaeometric petro-mineralogical characterization of damaged wall paintings of two Theban tombs (TT277&TT278, EL-Qurna) allowed the identification of the main petrographic parameters and components of these murals. The petrographic analysis revealed the stone type in the area as microcrystalline calcite embedded in a micritic matrix rich in fossils and grains of quartz. Moreover, the mineralogical characterization showed that limestone samples consist of calcite as major component with minor amounts of quartz and anhydrite while traces of halite and clay minerals were also determined. The main deterioration feature affecting the site is mainly the crystallization of different salt phases inside pores of stone or in form of hard crusts. The dominant salts species affecting in the site are halite, gypsum, and sylvite. The stratigraphic structure of the murals showed that three plaster layers are easily distinguishable. The first layer is based mainly on anhydrite and traces of calcite and quartz. The second layer consists of calcite and clay minerals. The third layer is the coarse plaster which consists of quartz, calcite and plagioclase (albite). A common chromatic palette widely used in ancient Egypt was used, the blue pigment was identified as Egyptian blue (Cuprorivaite), the red pigment as

hematite (red ochre) and the yellow pigment as goethite (yellow ochre). Several restoration-conservation interventions of the wall paintings were performed; the partially detached painted fragments were faced with polyamide tissue adhered with a 10% solution of Paraloid B-72 (in toluene) and re-adhered to the wall. The missing parts in the plaster layers were filled with a mortar consists of slaked lime, sand, crushed limestone, clays and an acrylic emulsion (Primal E330S) with ratios: 2:3: 0.5:0.25:1, consequently. Moreover, injection grouts based on a mixture of Primal E330S, powder of limestone and local clayey formations- called Hiba- were used to re-adhere the detached plasters. The removal of the hard salt efflorescences on the painted surfaces is typically first removed by mechanical means. In order to desalinate the soluble salts in the porous matrix, wet poultices (saturated with distilled water) of Japanese tissue and cellulose pulps were used. Taking into consideration that a preliminarily consolidation using Wacker OH stone strengthener (ready to use) was thus applied to protect the pictorial layers. The application of an intervention layer was also used to provide additional protection of the painted surfaces. The application time of the poultices was for 3 days with 4–6 repetitions.

On the other hand, the stabilization process of clay minerals depends mainly on the structure and composition of these materials. The properties of swelling clays could be drastically changed by addition of  $Mg(OH)_2$  (Wüst & McLane 2000). For long-term protection, a mixture of acrylic/silane products can be used. The consolidation tests performed on weathered limestone specimens from the Theban tombs showed that a mixture of Wacker OH stone strengthener (Tetraethoxysilane) ready to use and 3% Paraloid B-67 (acrylic co-polymer) solution in toluene succeeded to achieve a significant increase in the durability of the treated samples (Marey Mahmoud 2004). Moreover, water-repellent materials such as Wacker Silres BS SMK1311 (a silicone microemulsion based on silanes and siloxanes) can be applied for further protection in case of water penetration.

### ***Acknowledgments***

I would like to express my thanks to Prof. A.A. Kamel, National Housing & Building Research Center (NHBRC), Egypt for the interpretation of the petrographic analyses.

### ***References***

AUBRY, M-P., BERGGREN, W.A., DUPUIS, CH., GHALY, H., WARD, D., KING, CH., KNOX, R.W. O'B., OUDA, KH., YOUSSEF, M. & GALAL, W.F. (2009): Pharaonic necrostratigraphy: a review of geological and archaeological studies in the Theban

Necropolis, Luxor, West Bank, Egypt: Review Article., *Terra Nova* **21** (4): 237–256.

CORBEIL, M.C. (2004): Applications of X-ray diffraction in conservation science and Archaeometry, *Advances in X-ray Analysis* **47**:18–29.

CURTIS, G.H. (1979): The Geology of the Valley of the Kings, Thebes, Egypt, Theban Royal tomb project, the Brooklyn museum Theban Expedition-unpublished *Report to Egyptian Antiquities Organization*, **28**.

CURTIS, G. & RUTHERFORD, J. (1981): Expansive Shale Damage, Theban Royal Tombs, Egypt. In: *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. **10, 3**, Stockholm, pp. 71–74.

EI-BANNA, A. & PINIŃSKA, J. (1996): The impact of swell properties of the Esna-shale on ancient monuments of El Deir El-Bahari. In: *Arrigo Croce Memorial Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites*, Napoli, Italy, 3–4 October.

EI-BAZ, F. (1987): Geographic and geologic setting. In: *Wall Paintings of the Tomb of Nefertari, Scientific Studies for their Conservation*, Cairo, Egypt: Egyptian Antiquities Organization and Getty Conservation Institute, pp. 46–52.

FOUCART, G. (1918): Sur quelques représentations des tombes thébaines, *BIE* **5**: 263–273.

GAUTIER, H. (1920): Rapport sommaire sur les fouilles de l'Institut Français d'Archéologie Orientale dans les nécropole thébaines en 1917 et 1918, *ASAE* **19**: 1–12.

GUILLAUME, A. & PIAU, J-M. (2003): Stability of the tomb of Rameses II (Valley of the Kings, Luxor, Egypt): Numerical models and reality, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées* **242**: 15–47.

HELMI, F.M. (2000): Geoegyptology of Al-Muzawaka tombs, Dakhla Oases, Egypt. In: *FASSINA, Vasco (ed): Proceedings of the 9<sup>th</sup> international congress on deterioration and conservation of stone*, Venice, June 19–24, pp. 99–107.

KAMIL, J. (1976): LUXOR: A Guide to Ancient Thebes (second edition), London.

KAMPP, F. (1966): *Die thebanischen Nekropole: Zum Wandel des Grabgedankens von der XVIII. bis zur XX. Dynastie (= Theben, 13)*. 2 vols. Mainz am Rhein: Verlag Phillip von Zabern, pp. 548–550.

LUBELLI, B., VAN HEES, R.P.J. & GROOT, C.J.W.P. (2006): Sodium chloride crystallization in a “salt transporting” restoration plaster, *Cement and Concrete Research* **36**: 1467–1474.

MAREY MAHMOUD, H.H. (2004): Scientific Evaluation of Treatment Strategy of Painted Plaster

Layers applied on Stone Supports, applied on one of the New Kingdom Nobles Tombs, western bank, Luxor, Unpublished M.A. Thesis, Department of Conservation, Faculty of Archaeology, Cairo University, Egypt.

MCLANE, J. & WÜST, R. (2000): Flood Hazards and Protection Measures in the Valley of the Kings, *CRM* **6**:35–38.

MOUSSA, A.M.A., KANTIRANIS, N., VOUDOURIS, K.S., STRATIS, J.A., ALI, M.F. & V. CHRISTARAS. (2009): The impact of soluble salts on the deterioration of Pharaonic and Coptic wall paintings at El Qurna, Egypt: Mineralogy and Chemistry, *Archaeometry* **51** (2): 292–308.

PORTER, M & MOSS, R. (1960): *Topographical Bibliography of Ancient Egyptian Hieroglyphic Text, Reliefs, and Paintings*. I,1. The Theban Necropolis: Private Tombs. Oxford: Clarendon Press, pp. 353–355.

REEDY, CH. L. (1994): Thin-section petrography in studies of cultural materials, *Journal of the American Institute of Conservation* **33** 2/4:115–129.

RUTHERFORD, J & ROMER, J. (1977): *Damage in the Royal Tombs in the Valley of the Kings at Thebes*, unpublished report of the Brooklyn Museum's Theban Royal Tomb Project.

SAID, R. (1962): *The Geology of Egypt*, Elsevier Publishing Company, New York.

SCHOLLE, P.A. & DULMER-SCHOLLE, D.S. (2003): A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis, *The American Association of Petroleum Geologists Tulsa*, Oklahoma, USA, pp. 34–35.

SMITH, B.J. (1994): Weathering processes and forms. In: *ABRAHAMS, Athol. D. & PARSONS, Anthony. J (eds): Geomorphology of Desert Environments*, Routledge Chapman & Hall, London, pp. 39–63.

STEIGER, M. (2003): Crusts and salts. In: *BRIMBLECOMBE, Peter (ed): The effects of air pollution on the built environment. Air pollution reviews*, Vol. 2, Imperial College Press, London, pp 133–181.

VANDIER D'ABBADIE, J. (1954): Deux tombes Ramessides à Gournet-Mourraï (= MIFAO, 87), Cairo, See esp. pp. 1-39, pls. I-XXII.

WÜST, R.A.J. & SCHLÜCHTER, CH. (2000): The Origin of Soluble Salts in Rocks of the Thebes Mountains, Egypt: The Damage Potential to Ancient Egyptian Wall Art, *JAS* **27** (12):1161–1172.

WÜST, R.A.J. & MCLANE, J. (2000): Rock deterioration in the Royal Tomb of Seti I, Valley of the Kings, Luxor, Egypt, *Engineering Geology* **58**:163–190.

# NANO LÉPTÉKBEN AZ ARCHEOMETRIÁBAN: ÚJ LEHETŐSÉG MAGYARORSZÁGON A KULTURÁLIS ÖRÖKSÉG TÁRGYAINAK VIZSGÁLATÁBAN: FIB/SEM (FÓKUSZÁLT IONSUGARAS MIKROSKÓP/SZKENNING ELEKTRONMIKROSKÓP) KÉTSUGARAS KÉSZÜLÉK AZ ELTE-N

**ARCHAEOLOGY ON THE NANOSCALE: NEW POSSIBILITY IN HUNGARY IN  
THE RESEARCH OF CULTURAL HERITAGE MATERIALS: FIB/SEM (FOCUSED  
ION BEAM MICROSCOPE/SCANNING ELECTRON MICROSCOPE) DUAL BEAM  
INSTRUMENT AT EÖTVÖS LORÁND UNIVERSITY**

GHERDÁN KATALIN

ELTE TTK Közöttani és Geokémiai Tanszék

E-mail: [gherdankata@hotmail.com](mailto:gherdankata@hotmail.com)

## **Abstract**

*In the framework of TAMOP 4.2.1. grant programme Eötvös Loránd University, Budapest has come into possession of a FEI Quanta 3D FIB/SEM microscope. The instrument provides outstanding opportunity for high resolution, nanoscale material research. During the current project phase (2010–2012) analysis of cultural heritage materials will also be possible.*

## **Kivonat**

*TAMOP 4.2.1. pályázat keretében az ELTE 2010 nyarán hozzájutott egy FEI Quanta 3D típusú FIB/SEM készülékhez. A műszer Magyarországon egyedülálló lehetőséget teremt nagy felbontású, nanoléptékű anyagvizsgálatokra. A pályázat keretében a 2010–2012 időszakban lehetőség nyílik régészeti eszközök és műtárgyak szöveti és nagyfelbontású analitikai vizsgálatára is.*

KEYWORDS: FIB/SEM, NANOSCALE MATERIAL RESEARCH, CULTURAL HERITAGE

KULCSSZAVAK: FIB/SEM, NANOLÉPTÉKŰ ANYAGVIZSGÁLAT, KULTURÁLIS ÖRÖKSÉG

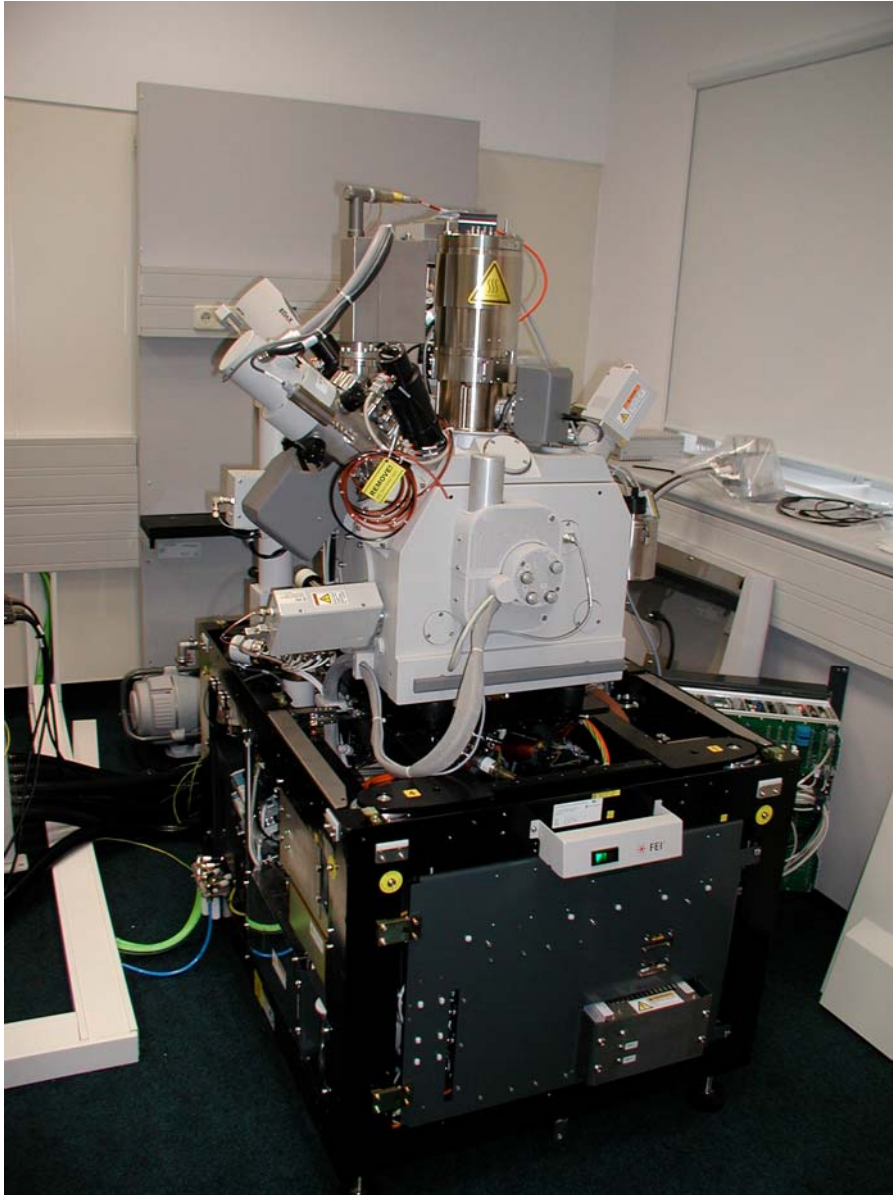
## **Röviden az eszközről**

A fókuszált ionsugarú (focused ion beam; FIB) mikroszkóp egyszerre ad lehetőséget nagyfelbontású képek készítésére, valamint nano méretben (vagyis a milliméter milliomod részében) történő anyagmegmunkálásra. Maga a berendezés a pásztázó (szkenning) elektronmikroszkópra (SEM) hasonlít, de a mintát pásztázó részecskesugarat nem gyorsított elektronok, hanem gyorsított ionok alkotják. Az ionsugár és a minta kölcsönhatása során a mintából kilépő elektromágneses sugarak és részecskék detektálásával nagyfelbontású mikroszkópi képet állíthatunk elő, emellett az ionsugár lehetővé teszi a minta felületének finom, nanoléptékű megmunkálását is (Volkert et al, 2007), ezáltal a régészeti mintáknál kiemelten fontos, szinte tökéletesen roncsolásmentes vizsgálatokat is.

A legtöbb modern készülékben a FIB ionoszlopát elektronoszloppal (SEM) kombinálják, így ún. kétsugaras készüléket hoznak létre. Az ionsugár és elektronsugár egy készülékben való használata a FIB és a SEM nyújtotta lehetőségeket együtt,

kombinálva alkalmazza. Az így kialakított, ún. kétsugaras eszköz az egysugaras FIB-hez hasonlóan alkalmas anyagmegmunkálásra, az ionnyaláb segítségével előállíthatunk ultravékony mintákat további (pl transzmissziós elektronmikroszkópos) vizsgálatokra (Langford et al, 2007), valamint, az elektronsugár kihasználásával lehetőség van arra, hogy a mintát az ionsugárral nano mérettartományban rétegenként vékonyítva, a SEM EDAX detektorát használva, elemeloszlás-térképeket készítsünk, amelyeket az összes kívánt réteg lehántása után, beépített szoftver segítségével, 3D térfogati képpé állíthatunk össze.

Az EBSD detektor lehetővé teszi a szövet, szemcseméret, szemcseorientáció vizsgálatát. Ebben az esetben is van mód 3D megjelenítésre (Wirth, 2009). A műszer képes olyan kis vákuumos környezetben is dolgozni, amiben szigetelő minták is vizsgálhatók anélkül, hogy a minta felületét vezető réteggel kellene bevonni, illetve lehetőség van vákuumérzékeny, nedves, sőt biológiai minták közvetlen vizsgálatára is.

**1. ábra:**

FEI Quanta 3D típusú  
FIB/SEM készülék

**Fig. 1.:**

FEI Quanta 3D type  
FIB/SEM equipment

A TAMOP 4.2.1. pályázat keretében az ELTE 2010 nyarán beszerzett FEI Quanta 3D típusú FIB/SEM készüléke a fent jellemezethez hasonló kétsugaras berendezés: ion- és elektronforrással is rendelkezik (1. ábra).

A mintakamrába viszonylag nagy, 200 mm átmérőjű, 50 mm vastagságú minták is behelyezhetők. A mintatartó mozgatható: x,y irányokban 50 mm-t, z irányban 25 mm-t, dönthető a  $-10^\circ$  --  $+60^\circ$  tartományban, illetve  $360^\circ$ -os elfordítására is lehetőség van.

A műszerhez kapcsolódó Szubmikroszkópos anyag- és élettudományi kutatások címet viselő munkaprogram keretén belül 2010 késő ősztől lehetőség nyílik régészeti eszközök és műtárgyak szöveti és nagyfelbontású analitikai vizsgálatára is.

### ***Lehetőségek a kulturális örökség tárgyainak nano léptékű vizsgálatában***

A modern anyagvizsgáló technikák napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak a műtárgyak anyagvizsgálatának területén. Kiterjedt irodalma van a szkennig elektronmikroszkópos, elektronmikroszondás és röntgen diffrakciós elemzéseknek, míg a nano mérettartományban végzett vizsgálatok új, az irodalomban még csak ritkán megjelenő megközelítést jelentenek a kulturális örökség tárgyainak tanulmányozásában (Groot et al, 2006; Sciau et al, 2009; Walton et al, 2009).

Az első, ember készítette nanostruktúrák fémfilmek, kerámiadísztések, ún. lüsztermázak voltak, amiket, empirikus alapon, a középkortól kezdve használnak.



Használatuk jelentős felfedezés volt a technika történetében: elkészítésükhöz és reprodukálásukhoz magas fokú technikai tudás kellett. A díszítés szerkezetének, textúrájának ismerete kulcsfontosságú annak megértésében, milyen folyamatok játszódtak le az égetés során, ill., hogy milyenek a végtermék tulajdonságai. A lüszter kerámiaik kereskedelmi sikere vizuális megjelenésükön, szépségükön múlik, ami nagyban összefügg a máz nanoszerkezetével. A máz mélységbeli ismerete lehetővé teszi azt is, hogy megfelelő döntések szülessenek a kerámiatárgyak restaurálásával, konzerválásával kapcsolatban (Pérez-Arantegui & Larrea, 2003).

Mindezek alapján érdekes, új tudományos eredmények várhatók a bonyolult rétegszerkezettel jellemezhető műtárgyak, például a festett, mázas kerámiaik vagy fémtárgyak textúrájának, nanofázisainak vizsgálatától.

További lehetőségek rejlenek a restaurálás, konzerválás szempontjából érdekes dinamikus folyamatok, különösen a lassú, nanométer/nap vagy kisebb sebességgel zajló korrózió/oxidáció/diffúzió által kontrollált folyamatok nyomon követésében, amelyek vizsgálatához korábban hosszú időre, vagy - például konzerváló anyagok tesztelésekor, a korróziós folyamatok modellezésekor - a folyamatok gyorsítására, pl. gyorsított „öregítésre” volt szükség ahhoz, hogy mérhető változásokat generáljanak reális időintervallumon belül (McPhail, 2006).

A kulturális örökség tárgyainak vizsgálatánál fontos szempont lehet az alkalmazott módszerek roncsolásmentessége. A bemutatott eszköz előnye, hogy kis vákuumban dolgozva nem vezető minták is vizsgálhatók, a vizsgálat nem igényel mintaelőkészítést, nem kell a vizsgált tárgyat vezető réteggel bevonni. Bár maga a vizsgálat ugyan a valóságban nem teljesen roncsolásmentes, ám amiatt, hogy rendkívül kis mérettartományban mozgunk, a vizsgálat során keletkező sérülés szabad szemmel, sőt hagyományos mikroszkóp alatt megfigyelve is észrevehetetlen marad.

Ezzel a műszerrel tehát az archeometriai anyagvizsgálatokra egy teljesen új mérettartomány nyílik meg előttünk, ami reményeink szerint

számos, az eddig használat eszközökkel megválaszolhatatlan régészeti kérdésre tud majd választ adni.

### **Irodalom**

GROOT, N.C.F., DIK, J., VAN DER KOOIJ, G., ALKEMADE, P.F.A., SIVEL, V.G.M. & TICHELAAAR, F.D. (2006): Dark and shiny: The discovery of chromite in Bronze Age faience. *Archaeometry* **48/2**, 229-236.

LANGFORD, R.M., NELLEN, PH.M., GIERAK, J. & FU, Y. (2007): Focused Ion Beam Micro- and Nanoengineering. *MRS Bulletin*, **32**, 417-423.

MCPHAIL, D.S. (2006): Some applications of SIMS in conservation science, archaeometry and cosmochemistry. *Applied Surface Science* **252**, 7107-7112.

PÉREZ-ARANTEGUI & LARREA, Á. (2003): The secret of early nanomaterials is revealed, thanks to transmission electron microscopy. *Trends in Analytical Chemistry* **22/5**, 327-329.

SCIAU, PH., SALLES, PH., ROUCAU, C., MEHTA, A. & BENASSAYAG, G. (2009): Application of focused ion beam for preparation of specimens of ancient ceramic for electron microscopy and synchrotron X-ray studies. *Micron* **40**, 597-604.

VOLKERT, C.A., MINOR, A.M. & guest editors (2007): Focused Ion Beam Microscopy and Micromachining. *MRS Bulletin*, **32**, 389-399

WALTON, M.S., DOEHNE, E., TRENTELMAN, K. & CHIARI, G. (2009): Characterization of coral red slips on Greek Attic pottery. *Archaeometry* **51/3**, 383-396.

WIRTH, R. (2009): Focused Ion Beam (FIB) combined with SEM and TEM: Advanced analytical tools for studies of chemical composition, microstructure and crystal structure in geomaterials on a nanometric scale. *Chemical Geology* **261**, 217—229.



## KÖZLEMÉNYEK



**Régi-új elektronikus kiadványok:  
IRTO/IRAMTO teljes szöveggel**

**Industrial Archaeology / Industrial Archaeology and Archaeometry Newsletter available in full text electronical version**

Az Archeometriai Műhely bár nem közvetlen folytatása, de célkitűzéseiben, hagyományában elődjének tekinti a VEAB Iparrégészeti (később Iparrégészeti és Archeometriai) Munkabizottságának Tájékoztatóját.

Az elektronikus formában meglévő információkat, dokumentumokat már korábban is elérhetővé tettük az Archeocomp Egyesület szerverén. Most, Laczi Orsolya munkája eredményeként, az IRAMTO teljes állománya, kereshető szöveges pdf formában hozzáférhető a következő címen:

<http://www.ace.hu/iramto/index.html>

Néhány szám a jelen közlemény írásakor még hiányzik, köszönettel vesszük a pótlást.

A továbbiakban szeretnénk a korábbi magyar archeometriai tárgyú kiadványokat mielőbb hasonló módon hozzáférhetővé tenni. Az elérhetőségről az AM rendszeresen tájékoztatja az érdeklődőket.

\*

### Változások /

#### Changes in AM

Az *Archeometriai Műhely* rendszeres olvasói bizonyára tapasztalták, hogy a folyóirat megjelenésében apró, de szerintünk lényeges újítások jelentek meg. A címlapot évenkénti bontásban adjuk közre - ennek oka, hogy így a teljes állomány jobban áttekinthető. Ugyanis a 7. (hetedik!) évébe lépő *Archeometriai Műhely* már nem fért el a régi "kutyanyelven". Ugyancsak a főlapon, látogatói számlálót helyeztünk el - ami természetesen csak az *ace* szerveren él, az EPA archívum olvasóit a Széchényi Könyvtárral való kapcsolattartással próbáljuk követni.

Apró változások történtek a formai útmutatóban is. Kibővítjük az angol nyelvű tartalmat, lehetőség van két nyelvű cikkek egyidejű publikálására. Az illusztrációk feliratait (táblázatok, ábrák) is kétnyelvűen kérjük.

T. Biró Katalin  
Magyar Nemzeti Múzeum



**A lassú víz és a part – az Archeometriai Műhely a Scopus adatbázisában**

#### AM in Scopus

„Lassú víz partot mos.” „A türelem rózsát terem.” Néhány közkeletű szólás jut eszébe az embernek, amint a most következő témáról írni kezd, legalábbis az én szubjektív szemszögemből. A hír szárazon annyi, ami a címben is olvasható, ám én a továbbiakban kicsit személyes hangon fogok szólni erről mérföldkőről, abban a reményben, hogy az ünnepi alkalom miatt megengedhető.

Ha emlékezetem nem csal, még 2005-ben történt, hogy az *Archeometriai Műhely* (AM) szerkesztőbizottsági ülésén elhangzott (és röviddel később a folyóirat célkitűzésének leírásába is bekerült) az a meglehetősen ambiciózus terv, hogy a folyóirattal megcélozzuk a nagy nemzetközi tudásbázisokba való bekerülést (például impakt faktor terén).

Én magam kissé szkeptikus voltam a kérdésben, de mindenki lelkesnek látszott, és ez a lényeg. Egyelőre ennyiben maradtunk.

Azt nem mondhatnám, hogy a dolog feledésbe merült, inkább azt, hogy sokáig tényleg irreálisnak tűnt. Az induláskor a nyílt hozzáférhetőség (open access) még csak szárnyait bontogatta, így az AM az úttörők közé került, és ez kompenzálta a folyóirat akkori ismeretlenségét. Szubjektív megítélésem szerint ez az évek során sokat oldódott, és a tematikus számok (amelyek *mint tudjuk* mindig nehezebben készülnek el...) szintén fokról fokra emelték az ismertséget.

2009-ben kaptam egy információt arról, hogy az Elsevier kiadó által működtetett Scopus adatbázisba folyóiratokat lehet javasolni. Ettől persze rögtön fellelkesültem, ugyanis magam rendszeresen

küldök hibajavításokat az adatbázis karbantartóinak (pl. igen gyakori a magyar folyóiratok cikkeinél a szerzők vezeték- és utónevének felcserélése) és a tapasztalatom igen pozitív. Egyrészt pár napon belül érdemben reagálnak az észrevételekre, másrészt 4-6 hetes átfutási idővel (ellenőrzés után) valóban ki is javítják a hibákat.

Nos, javasoltam is mindjárt az AM-t a listára, sőt megkértem mindenkit, hogy tegyen így. Hamarosan meg is lett a dolog fogaratja, pár hónap múlva hivatalosan is megkeresték a folyóiratot, hogy a javaslatához szolgáltatassunk bizonyos adatokat. Például az idézettséggel kapcsolatban kellett konkrétumokat megadni, illetve, hogy a folyóiratnak van-e angol nyelvű része, és hogy a nem angol nyelvű rész miért nem az. Ezeket az adatokat eléggé viharos sebességgel elküldtük (itt T. Biró Katalinnak felbecsülhetetlen érdemei vannak a gyors elkészítésben, lásd még lejjebb is), és persze megkezdődött a várakozás.

De nem történt semmi, hosszú hónapokig. Tudtuk, hiszen világossá tették: mi csak javasolhatunk, a döntés az adatbázis szerkesztőinek kezében van. Én magam úgy véltem, hogy megmérettünk és könnyűnek találtattunk – arról nyilván nem értesítenek, hogy nem vettek fel a listára. Annyi baj legyen, a cikkek végül is gyűlnek, a folyóirat él, mindig van mit lektorálni... Talán majd máskor.

Ez így is maradt, egészen néhány héttel ezelőttig, amikor is értesítettek, hogy *felveszik a lapot az adatbázisba!* Nos, mondanom sem kell, hogy szinte nem is akartam hinni a szememnek: először egy ügyes spam-re gyanakodtam.

De nem, a levél hitelesnek bizonyult, sőt elnézést is kértek a késedelemért, amit a Scopus és a ScienceDirect integrálásával, átszervezésével magyaráztak. (Aki használta a rendszert szeptember-októberben, tudja miről van szó, alig ismerte ki magát az ember.) Csakhamar igen részletesen konkrétumokat kérdeztek, és a hozzáférés módja után is érdeklődtek (ez az olyan lapoknál releváns, amelyekhez bejelentkezés útján lehet hozzáférni), illetve formálisan is hozzá kellett járulnia a kiadónak (Magyar Nemzeti Múzeum) ahhoz, hogy a tartalmat a Scopus indexelhesse. Együttal kérték, hogy helyezzünk el erre vonatkozó információt az AM honlapján, amit szíves-örömmel teljesítettünk.

Egyelőre itt tart a történet, de nem lehetünk türelmetlenek. A szakszerű indexeléshez idő kell, ez mindenkinek nyilvánvaló, akinek hasonló

feladata volt már. Addig is, kicsit ünnepeljünk: én a magam és szerkesztőtársaim nevében megköszönöm a szerzők nívós munkáját, hiszen munkájuk képezi azt az a szellemi tőkét, amit ma az *Archeometriai Műhely* képvisel. Megköszönöm a bírálók tevékenységét is: szakmai szigoruk és építő kritikájuk nélkül ugyancsak lehetetlen lenne a szakmai színvonal magasán tartása. (Ide beékelek egy kis technikai részletet is: a kiértékelésnél rákérdeztek arra is, hogy a benyújtott kéziratok hány százalékát utasítjuk el.) A Nemzeti Kulturális Alap támogatása nélkül nem tudnánk elkészíteni a nyomtatott példányokat, az Országos Széchényi Könyvtár Elektronikus Periodika Adatbázisa pedig biztosítja, hogy a folyóirat számai minden körülmények között, hosszú távon is elérhetőek legyenek.

Végül, de nem utolsósorban még valakinek jár köszönet. Talán nem is ildomos szerkesztői cikkben a saját teljesítményünket kiemelni, így a szerkesztőbizottságot nem sorolom ide, mégis fontosnak tartok legalább egy lényeges momentumot megemlíteni. Ez pedig főszerkesztőnk (és egyúttal technikai szerkesztőnk), T. Biró Katalin áldozatos munkája, hiszen minden megjelent cikk kézírata az ő formázó keze nyomát, vagy legalábbis billentyűzetének és egerének nyomát viseli. A tevékenység ebbéli eredményét mindenki maga tapasztalhatja, de ennek a munkának van egy olyan része, amiről csak akkor szerzünk tudomást, amint kapcsolatba kerülünk vele, kívülről nem látható. És ez a tevékenység, a fáradhatatlan nógatas (mind a szerkbiz, mind a bírálók nógatása, néha a szerzőké is), először e-mailben, aztán szükség esetén telefonon (sőt!), nos ez is része, mégpedig fontos része a történetnek. Az, hogy az AM 2010-re a Scopusba kerülhetett, részben neki is köszönhető. Én mindenesetre hálás vagyok, bármennyire is szeretnék esetleg ezeket mondatokat (ki)lektorálni, nem fogom hagyni...

Örüljünk tehát együtt a szakmai elismerésnek! Úgy gondolom, a folyóirat 2004-es indulása óta nagy utat tettünk meg. A magunk szerény eszközeivel igyekszünk a magyar és immár a nemzetközi archeometria ügyét jól szolgálni. Vélelmezem és persze remélem is, hogy a lap szakmai színvonala e mérföldkö elérése kapcsán is tovább fog erősödni. Ehhez kívánok mindnyájunknak jó munkát és természetesen sok sikert!

*Székelly Balázs*

ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék

\*