

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

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 szükséges anyagi feltételek között is lehetőséget teremthetnek egy jobb hatásfokú működésre, másrészt mivel műtárgyról van szó, elsődleges szempontnak tekintjük a leletek felesleges mozgásának, esetleg roncsolásának elkerülését. Ezt nagymértékben elősegítené, ha gyakorlattá válna, hogy még a fémlelet restaurálása előtt olyan egyszerű mintát tegyenek félre 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, ARCHAEOMETALLURGY, SURFACE TIN ENRICHMENT, HISTORY OF ARCHAOMETRIC RESEARCH

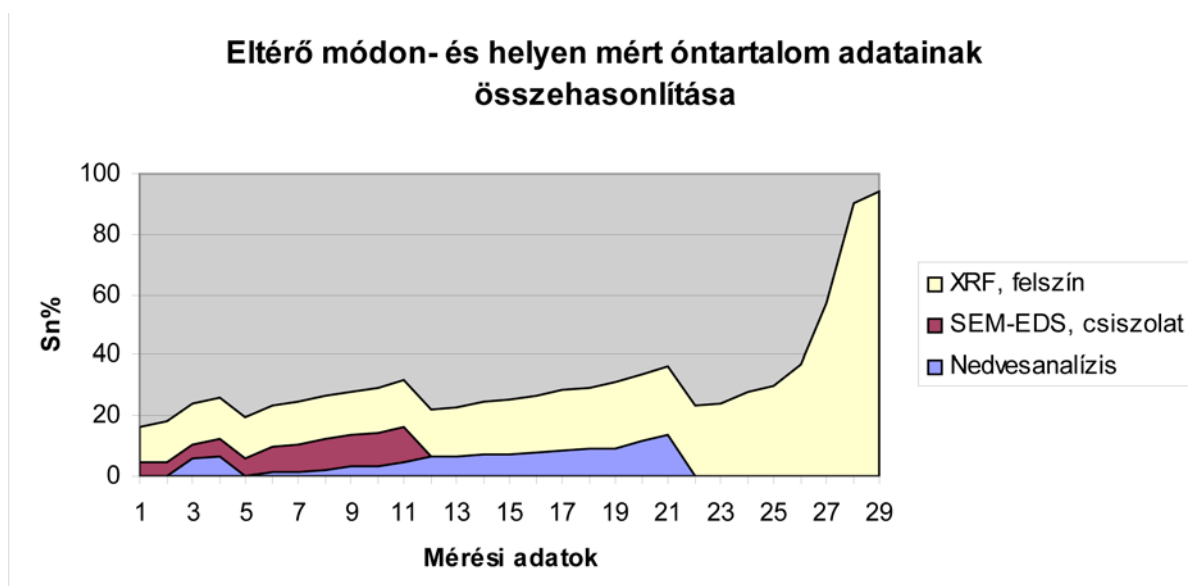
KULCSSZAVAK: KÉSO BRONZKOR, ARCHAEOMETALLURGIA, FELÜLETI ÓNDÚSULÁS, ARCHAOMETRIAI KUTATÁSTÖRTÉNET

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 bejárat 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

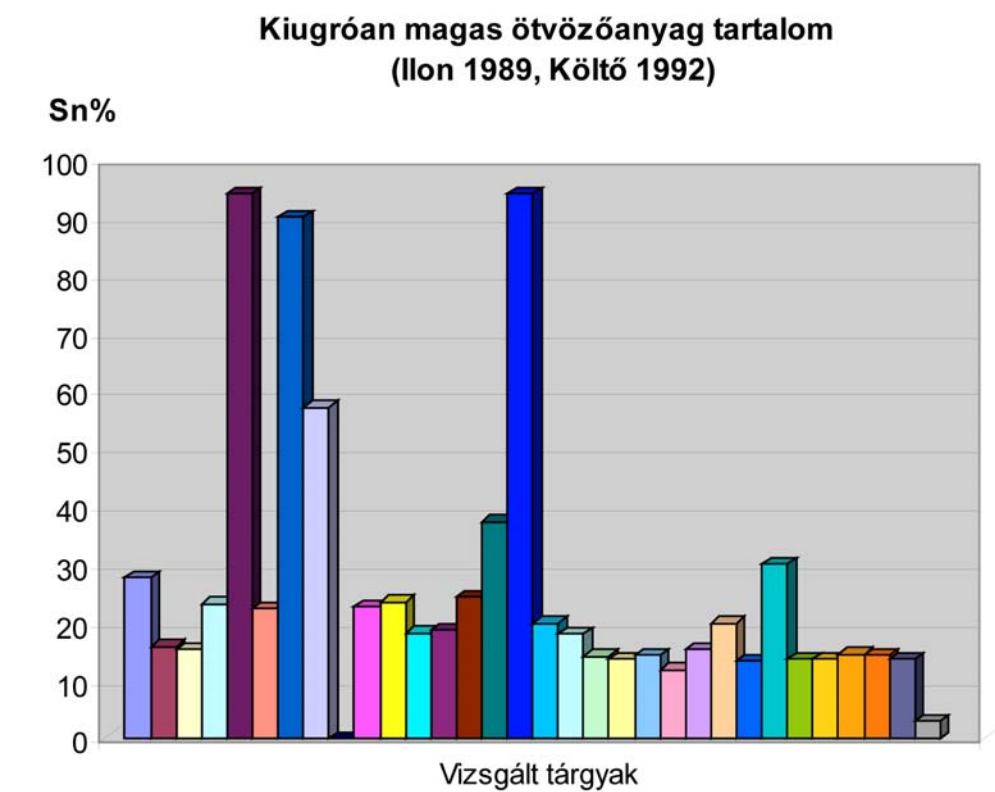
általánosan megszokott, a technikai, technológiai jellegű megfigyeléseket gyakran teljesen mellőző tárgyleírások nem adnak elégséges információt. Az irodalmi adatok látszólagos bősége ellenére is előfordul, hogy egy-egy konkrét kérdés megválaszolása során olykor kevés, az érintett kutatás során jól használható 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 műtárgyakról van szó, elsődleges szempontnak tekintjük a leletek felesleges mozgatásának, esetleg roncsolásának elkerülését.

A fentiek miatt tekintettük a továbblépés előfeltételének olyan teljes körű elemzések következtetés 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 kérdéseit 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 Widmannstätten 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 – mikrofelveleteket 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

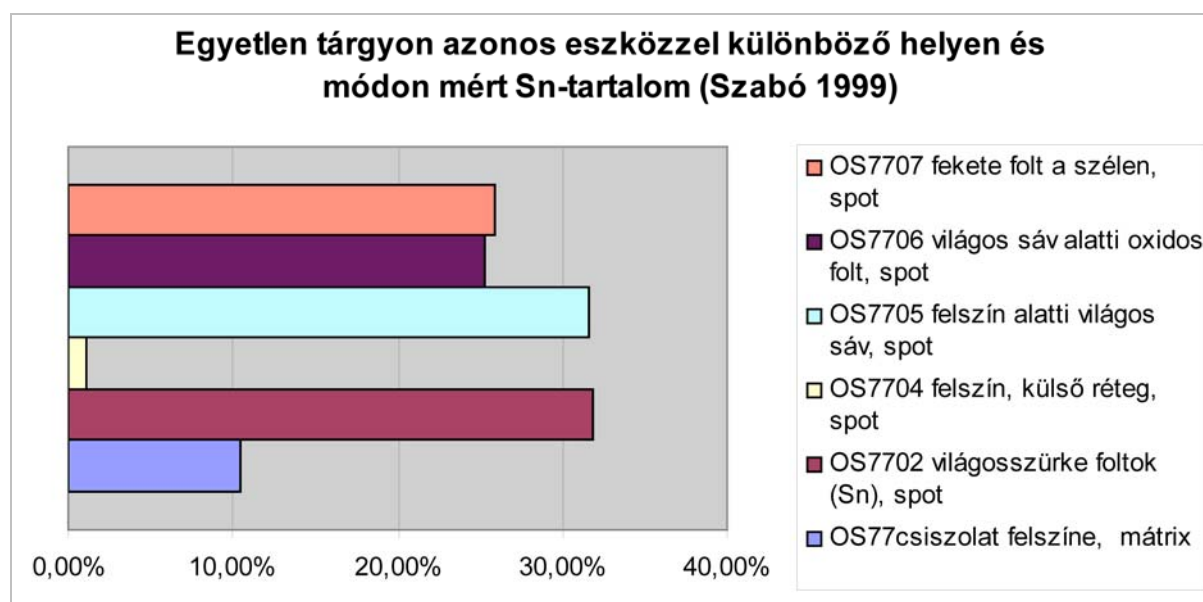
1861, 81-82.) A hazai szakirodalomban a lipthói kard kapcsán ekkor találkozunk az első hamisítási esettel is. Römer Flóris a kard markolatának alakjára vonatkozóan tesz ugyan néhány kritikai észrevételt, a sárgaréz markolatú, ólommal forrasztott kardot Majláth Béla is majd csak a tárgy anyagának alaposabb megvizsgálása után tudja elkülöníteni a régészeti tárgytól. (Römer 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 % rézet és 4,57 % ónt tartalmazó ötvözet viszonylag magas, 13,95% ólomtartalmú volt (Loczka 1885.), míg a megvizsgált "ciszta" 88,68% rézet, 11,44% ónt tartalmazó ötvözet 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 veleimi 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 veleimi 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 hajdusámsóni 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 aktivizációs 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 mélységélességű képet ad. (T. Biró 1995)



3. ábra: Az ötvözőanyag dúsulásának EDS-vizsgálata a veleimi 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.)

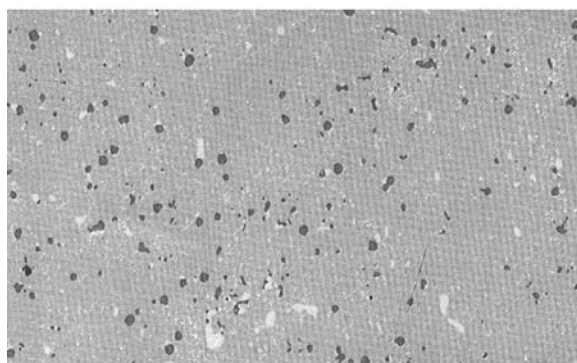
Ezzel közel egy időben az újabb veleimi ásatásokon talált öntőleplenyek elemzésénél az erős nagyítású képek készítésével párhuzamosan a kiegészítő lehetőségeknek köszönhetően (SEM-EDS) már az anyagösszetétel vizsgálatokra is sor került (Czajlik et al. 1995) Ezeket a kutatásokat jól kiegészítették a főként 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

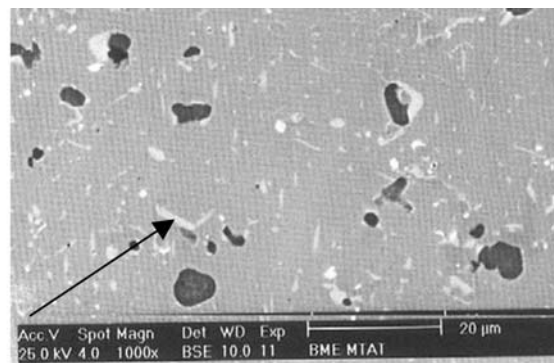
fejlettebb régióival – korlátainkat elsősorban a szerényebb anyagi háttér jelenti.

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 bronzoknál 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)

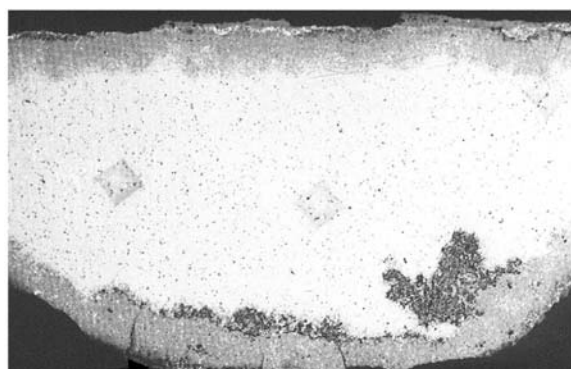
Az eddig eredmények rövid bemutatása után a bevezetőben felvázolt négy problémakör megválaszolása is könnyebbnek tűnik.



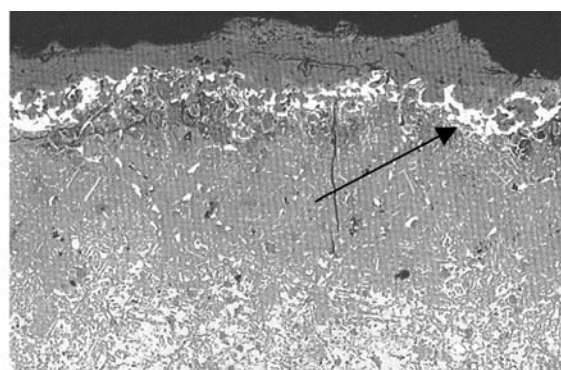
BRVEL77 csüngő alapanyaga



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 felületközeleli részokről 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 krisztallitjának mérését is. Márpedig régóta ismert, hogy egyes bronztárgyak felületén önbő 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 ötvözetei esetében okozhat gondot.

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

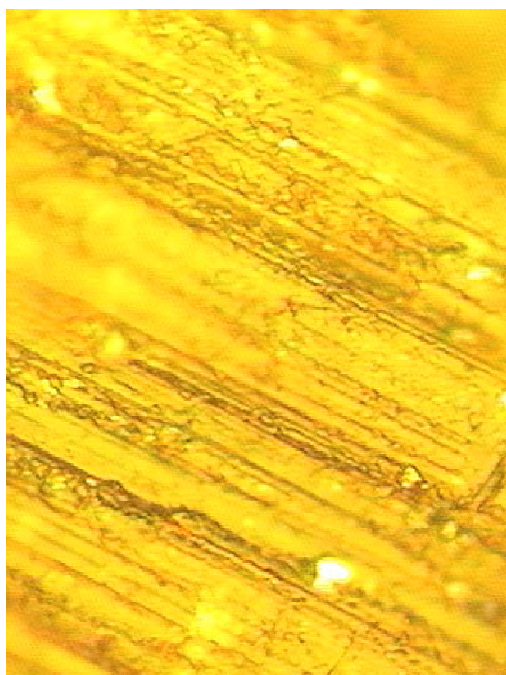
Table 1.: EDS examination of the willow-leaf shaped pendant from Velem - Samples BRVEL74, BRVEL77

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
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

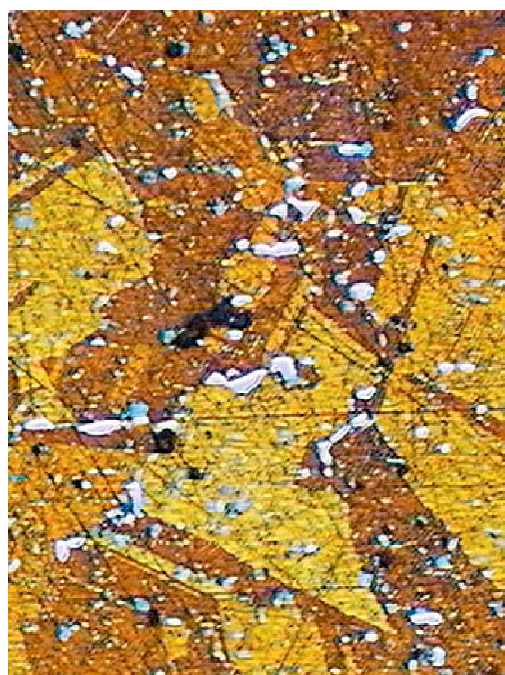
2. táblázat: A velemi késő bronzkori fűzfalevél alakú csüngő EDS- vizsgálatának eredményei - BRVEL77 minta felszínközeli rétegeinek EDS-vizsgálata

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
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



Velem, BRVEF77a 50x. Csüngő, ónozott felszín



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

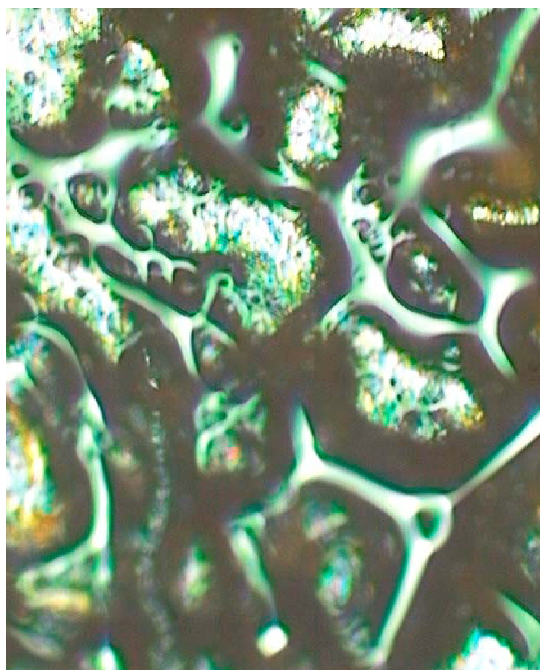
5. ábra: A velemi csüngő felszínén jól látható az óndús felületi réteg, csiszolati képén pedig a kialakulásához vezető hőkezeltre utaló ikerkristallitok ((BRVEL84 csiszolat, Savaria Múzeum, 54.508.21.)

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 point to the enrichment. (BRVEL84 segment, Savaria Múzeum, Inv. nr. 54.508.21.)

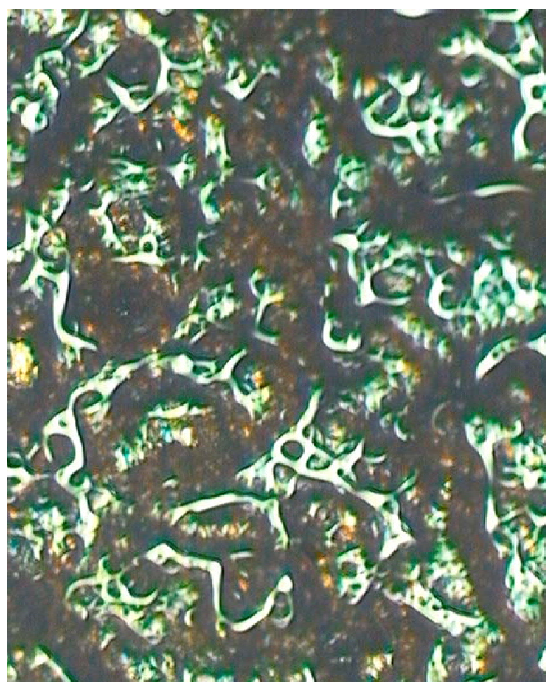
Addig, amíg például az arany és az ezüst ötvözetek kétkomponensű, szilárd oldatot képező rendszer, amelyben a két fém korlátlanul elegyedik egymással, és szilárd fázisát elegykristályok alkotják, a bronz ettől teljesen eltér. A réz és ón ötvözetek az egyik legbonyolultabb, a szennyezőanyagokra érzékenyen reagáló rendszer, amelynél 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 $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ elektronvegyülete kb. 32,6 % ónt tartalmaz. A delta-fázis 350 °C-on még átalakul ugyan alfa+epszilon-fázisok elegyév, 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 is 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 történeti 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. Nehezebb 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 nagyításnál 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 háttérében 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 egyszeri 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 lézer-mikrospektrokémiai 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 V/1*. 5.

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

ILON, G. (1992): Keftiubarren ingot from an Urn-grave Culture settlement at Górkápolnadomb (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 antimon tartalmú 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 bronzkazan 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 lipthói szép kard. *AE* 4, 17-18.

MAJLÁTH B. (1870a): Még egyszer a lipthói 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 ónbronzzok 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.