DOMOSZLÓ: ŐRLŐ- ÉS MALOMKŐ NYERSANYAG-KITERMELŐHELY ÉS MŰHELY A MÁTRÁBAN: ELSŐ RÉGÉSZETI ELTERJEDÉS-VIZSGÁLATOK

DOMOSZLÓ: GRINDING STONE, MILLSTONE AND QUERNSTONE EXPLOITATION AND WORKSHOP SITE IN THE MÁTRA MTS: FIRST STUDIES ON ARCHAEOLOGICAL DISTRIBUTION

PÉTERDI BÁLINT[1,*], T. BIRÓ KATALIN[2], TÓTH ZOLTÁN[3], BERTALAN ÉVA[1], HORVÁTH ZSOLT[1], FREILER ÁGNES[1], BEKE ZSUZSANNA[1] & BUDAI, FERENC[1]

[1]Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest

[2]Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

[3]Miskolci Egyetem, Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola, Miskolc

E-mail: peterdi.balint@gmail.com

Abstract

A multi-period exploitation site for both millstones and grinding stones is presented here. Located in the Mátra Mountains (NE Hungary), in the village of Domoszló, andesite bombs were locally processed for this purpose. Traces of millstone and grinding stone production were systematically studied by non-invasive documentation techniques. The current work is focussing on petrographical characterisation and first distribution studies. The most important and still open questions concern the full temporal range of operation and the distribution of the products of the Domoszló workshop.

.

Kivonat

Cikkünkben a Domoszló közeli (Mátra-hegység) nyersanyag-kitermelő helyeket és műhelyeket mutatjuk be. A Domoszló-közeli hegyoldalakban található andezit bombákat és tömböket az őskortól a modern időkig használták őrlő- és malomkő-gyártás nyersanyagaként. Az őrlő- és malomkőkészítés nyomait szisztematikusan kutattuk nem-invazív technikák alkalmazásával (GPS, fotózás, leírás). Jelen munka elsősorban a nyersanyag kőzettani bemutatására fókuszál. Bemutatunk néhány régészeti leletet is, amelyek nyersanyaga a domoszlói nyersanyaggal azonosítható. A nyersanyag használatának teljes idő- és térbeli elterjedése még nyitott kérdés, amelyet kutatásaink folytatásával igyekszünk megválaszolni..

KEYWORDS: GRINDING STONE, MILLSTONE, QUERNSTONE, EXPLOITATION SITE, WORKSHOP, BASALTIC ANDESITE, PYROXENE-ANDESITE, DOMOSZLÓ (HUNGARY), MÁTRA-MOUNTAINS (HUNGARY)

KULCSSZAVAK: ŐRLŐKŐ, MALOMKŐ, KITERMELŐHELY, MŰHELY, BAZALTOS ANDEZIT, PIROXÉN-ANDEZIT, DOMOSZLÓ, MÁTRA-HEGYSÉG

Bevezetés, a kutatás célja

A Domoszló (Mátra-hegység) közeli hegyek (Pipis-hegy, Középső-hegy, Hosszú-hegy, Hegyes-hegy stb.) oldalában található őrlő- és malomkő készítő műhely és nyersanyag-kitermelő területeket 2009-ben azonosítottuk (T. Biró & Péterdi 2011). A hegyoldalakon elszórva találhatók kifaragott, rontott és töredékes malomkövek, valamint őskori jellegű őrlőkövek is. (**1. ábra**)

Magyarországon csak nagyon kevés csiszolt kőeszköz-, illetve szerszámkő-nyersanyag kitermelő helyét sikerült azonosítani, részben azért, mert a szerszámkövek jelentős része helyi nyersanyagból készült. Éppen ezért bír különös jelentőséggel a domoszlói nyersanyag-kitermelő- és feldolgozó hely.

Célul tűztük ki a lelőhelyek és a kitermelt nyersanyag minél pontosabb megismerését (térbeli lehatárolás, anyagvizsgálatok, tipológia) illetve a nyersanyag régészeti elterjedésének feltérképezését.

Vizsgálati módszerek (lelőhely-felderítés, anyagvizsgálatok, régészeti elterjedés)

2012 és 2014 nyarán önkéntesek segítségével és Domoszló önkormányzatának támogatásával szisztematikus terepbejárásokat végeztünk, amelyek során a lelőhelyeket a lehető legkevésbé bolygató dokumentációs eljárást alkalmaztunk: GPS-koordináták és méretek felvétele, fotó-dokumentáció.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

1. ábra: Hegyoldal Domoszló közelében malomkő-töredékekkel

Fig. 1.: Slope with millstone (quernstone) fragments near Domoszló

Az általunk bejárt hegyoldalakban a Nagyhársasi Andezit Formáció változatos szemcseméretű vulkáni agglomerátumából származó nagyméretű andezit-bombák és tömbök vannak a felszínen. Kisebb lávakőzet-kibúvások is előfordulnak, főként a csúcsok közelében, illetve a vizsgált terület nyugati szélén, a Tarjánka-patak völgyében.

A helyben megmunkált kőeszközök és megmunkálatlan nyersanyag-darabok (andezit bombák és tömbök) közül reprezentatív mintákat gyűjtöttünk, ezekből vékonycsiszolatot készítettünk, amelyeket kőzettani (polarizációs) mikroszkóppal vizsgáltunk. Az ásványos összetételről és kőzetszövetről kapott információkat teljeskőzet-kémiai elemzésekkel (ICP-AES, ICP-MS) egészítettük ki. A csiszolatok és elemzések az MFGI Laboratóriumi Osztályán készültek.

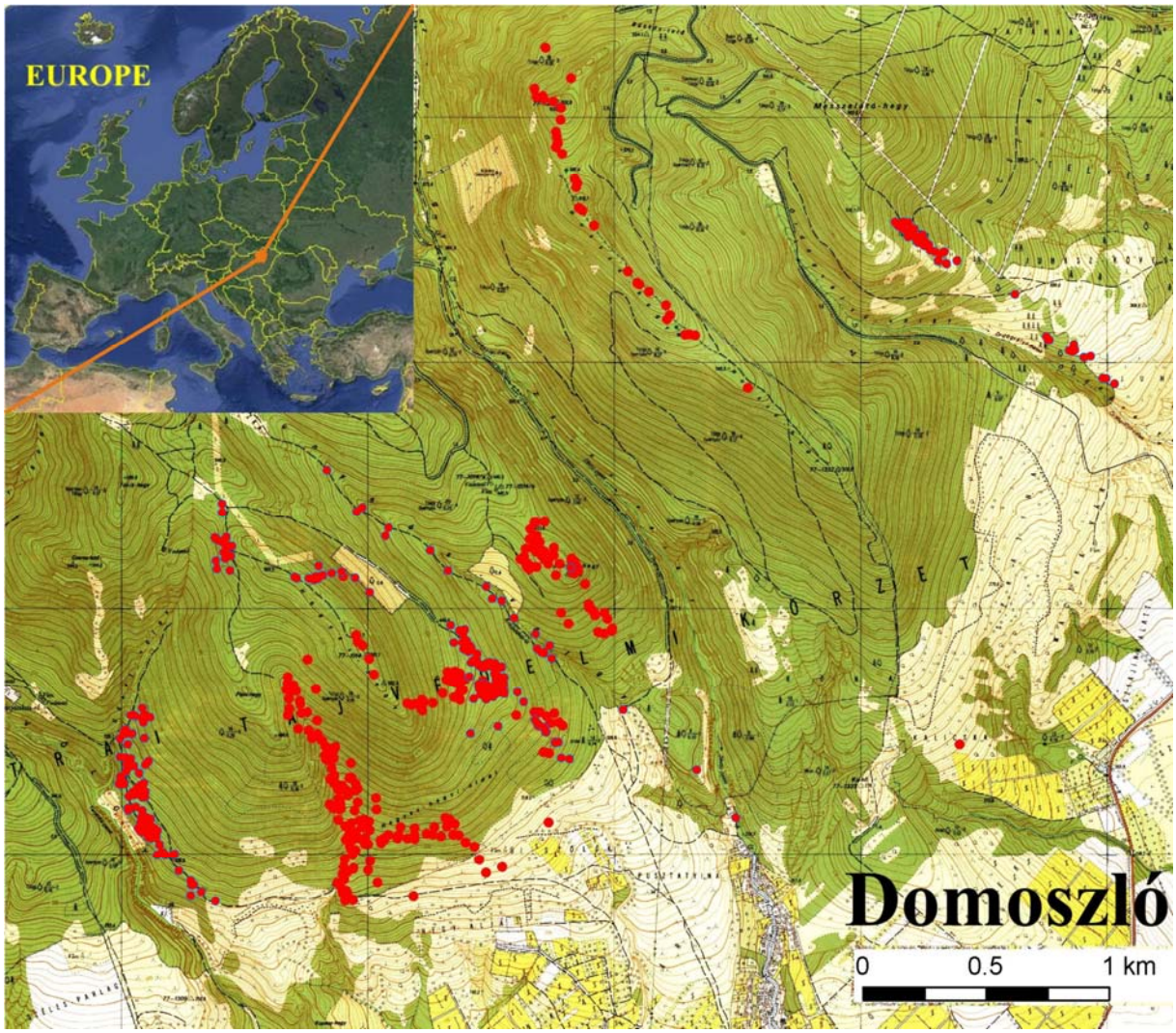
A korábbi (T. Biró & Péterdi 2011), és a fenti vizsgálataink eredményeire támaszkodva 2015-ben megkezdtük a domoszlói nyersanyag régészeti elterjedésének szisztematikus kutatását: elsőként a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményeiben található őrlő- és malomkövek vizsgálatával: makroszkópos kőzetleírás, csoportosítás után a kiválasztott példányok vékonycsiszolatos illetve teljes-kémiai vizsgálatával.

Lelőhely-felderítés

Tapasztalataink alapján Domoszló, illetve a szomszédos települések környékén igen elterjedt volt a malomkő-készítés, ezért a teljes lelőhely lehatárolása még további terepbejárásokat igényel. Jelen munkában a már feltérképezett területekről adunk számot (**2. ábra**)

A 2012-es és 2014-es terepbejárások során mindösszesen 1385, főként félkész, illetve rontott őrlő- és malomkövet, valamint töredéket azonosítottunk.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



2. ábra: A vizsgált terület térképe. A 2012-es és 2014-es terepbejárásokon dokumentált őrlő- és malomkő-töredékek GPS-adatai (vörös pontok).

Fig. 2.: Map of the studied area, with the documented traces of millstone (quernstone) and grinding stone production (red dots): GPS-data of the field-works in 2012 and 2014.

Régészeti tipológia a terepen

A Domoszló környéki hegyoldalakban dokumentált leletek több, mint 70%-a malomkő-töredék, közel 30%-a alsó őrlőkő, csak néhány felső őrlőkövet és kalapácsot találtunk. A malomkövek általában kerekek, tengely-lukkal vagy anélkül. Átlagos átmérőjük 38-42 cm. Tipikus malomkő-töredék formák: fél, negyed, háromnegyed, „húr menti töredék", kerek malomkő hiányzó „húr menti töredékkel". Tipikus őskori karakterű őrlőkő-töredék formák: ovális, cipó alakú, szögletes, háromszög-alakú, speciális (szív-, csónak-, hal-alakú stb.). (**3-9. ábra**)

A nyersanyag

Makroszkópos leírás

A nyersanyag szürke, sötétszürke (néha szinte fekete), középszemcsés piroxén-andezit, nagy mennyiségű plagioklász és piroxén fenokristállyal (átlagos fenokristály méretek: plagioklászok 1-3 mm, piroxének 0,5-2 mm). A kőzetek legnagyobb része üde, mállás csak néhány eszköz felületén észlelhető, de nem hatol be a kőzet belsejébe. A kőzet színe mállott felületeken lilás-vöröses szürkére változik. Az andezit bombák és tömbök kis része hólyagüreges.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

3. ábra: Tipikus malomkő-töredékek a lelőhelyről: egész malomkő (balra); összeillő „húr menti töredék” és kerek malomkő hiányzó „húr menti töredékkel” (jobbra)

Fig. 3.: Typical millstone (quernstone) fragments from Domoszló: whole millstone (left); matching segment-form slice and disc-form millstone with a segment-form slice missing (right)

4. ábra: Tipikus malomkő- és őrlőkő-töredékek a lelőhelyről: fél malomkő (balra és jobbra); kerek őrlőkő (középen)

Fig. 4.: Typical millstone (quernstone) and grinding stone fragments from Domoszló: half millstones (left and right); round-shape grinding stone (middle)

5. ábra: Tipikus malomkő-töredékek a lelőhelyről: negyed malomkő (balra); háromnegyed malomkő (jobbra)

Fig. 5.: Typical millstone (quernstone) fragments from Domoszló: millstone quarter (left); millstone three-quarters (right)

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

6. ábra: Tipikus malomkő-töredékek a lelőhelyről: „húr menti töredék” (balra); kerek malomkő hiányzó „húr menti töredékkel” (jobbra)

Fig. 6.: Typical millstone (quernstone) fragments from Domoszló: segment-form slice (left); disc-form millstone with a segment-form slice missing (right)

7. ábra: Tipikus malomkő-töredékek a lelőhelyről: kerek malomkövek hiányzó „húr menti töredékkel”

Fig. 7.: Typical millstone (quernstone) fragments from Domoszló: disc-form millstones with a segment-form slice missing

8. ábra: Tipikus őskori típusú őrlőkövek a lelőhelyről: cipó alakú alsó őrlőkő (balra); ovális alsó őrlőkő (jobbra)

Fig. 8.: Typical grinding stones (of prehistoric character) from Domoszló: loaf-shape grinding stone (left); oval-shape grinding stone (right)

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

9. ábra: Tipikus őskori típusú őrlőkő-töredékek a lelőhelyről: kerek alsó őrlőkő-töredékek
Fig. 9.: Typical grinding stone fragments (of prehistoric character) from Domoszló: round-shape grinding stones

Mikroszkópos tulajdonságok

Az eddig vizsgált nyersanyagminták és malomkő-töredékek mikroszkópos tulajdonságaik alapján két csoportba oszthatók.

1. Típus: porfíros, kumuloporfíros, pilotaxitos szövetű andezit. A fenokristályok mennyisége meghaladja az alapanyag mennyiségét. A fenokristályok között plagioklászok és piroxének (orto- és klinopiroxének) jelennek meg. (**10/a-d. ábra**)

Az idiomorf-hipidiomorf, 0,5-3 mm nagyságú táblás-léces termetű plagioklász fenokristályok zárványosak (apró hematit-kristályok és kőzetüveg-zárványok). Jellemző a poliszintetikus ikresedés, de kettős- és átnövési ikrek, valamint zónás kristályok is megjelennek. (**10/a-b. ábra**)

A 0,5-2 mm nagyságú, hipidiomorf, táblás vagy oszlopos termetű piroxén-fenokristályok (orto- és klinopiroxének) között néhány opak-zárványos is található. Egyes piroxén-fenokristályok poliszintetikusan ikresek. Az ortopiroxén fenokristályokon több esetben klinopiroxén továbbnövekedés figyelhető meg. (**10/e-g. ábra**)

A piroxén-fenokristályok mennyisége kevesebb a plagioklász-fenokristályok mennyiségénél.

Plagioklász, piroxén és plagioklász-piroxén kumuloporfírok is megtalálhatóak. (**10/ a-d. ábra**)

Magányosan vagy csoportosan előforduló limonit-hematit aggregátumok is megfigyelhetők. Az izolált példányok valamivel nagyobbak (0,5-0,6 mm), mint a csoportokat alkotók (0,1-0,5 mm). Alakjuk alapján ezek az aggregátumok olivin utáni pszeudomorfózák. (**11/a-b. ábra**)

Az alapanyagot plagioklász, piroxén, opak ásványok (magnetit, ilmenit) és kőzetüveg alkotja (**11/c. ábra**). Helyenként megfigyelhető a kőzetüveg kezdődő devitrifikációja (**11/d. ábra**).

A 2. típus eltérései az 1. típussal szemben:

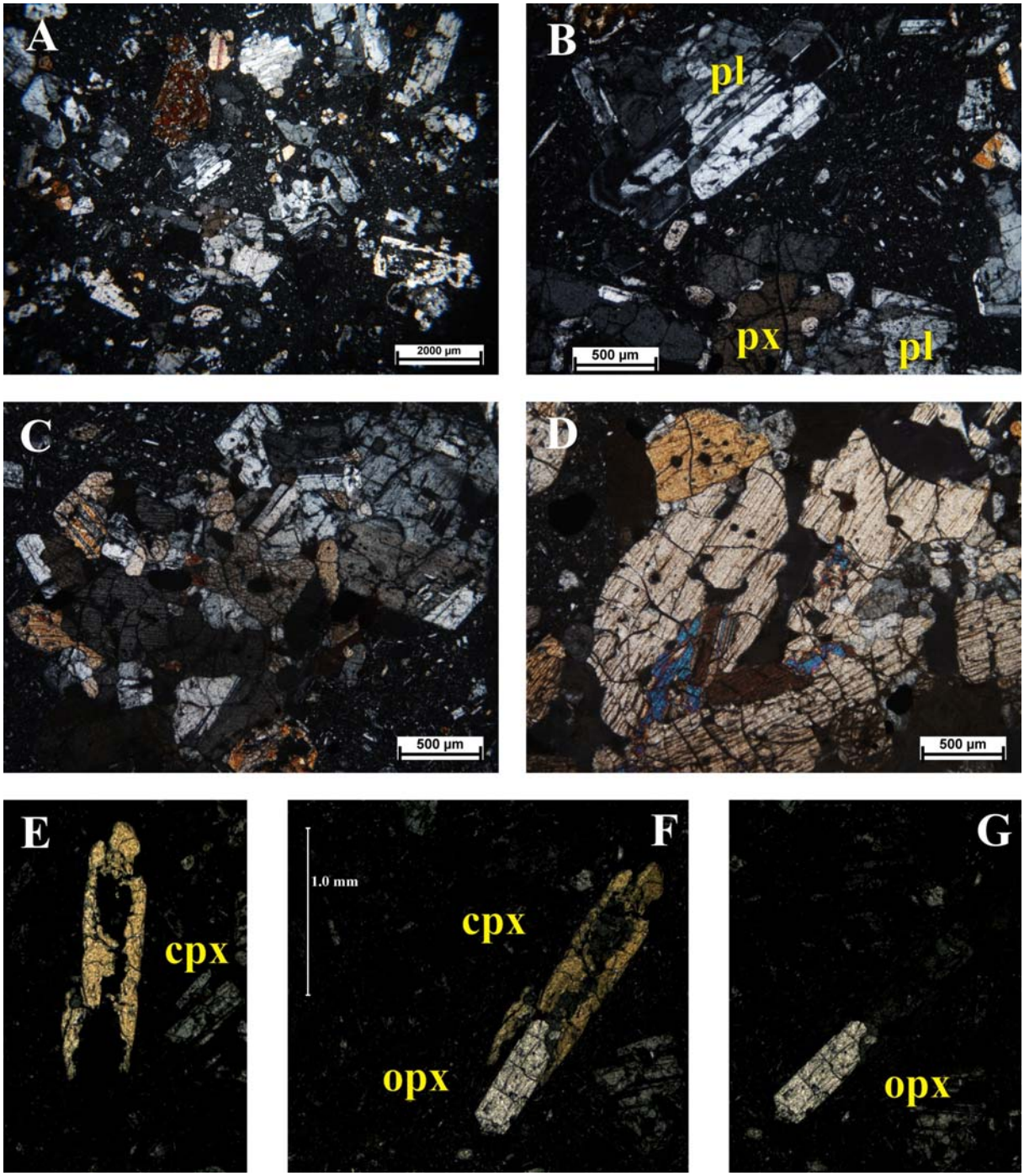
- Az alapanyag mennyisége még kisebb és sokkal jobban kristályos, mint az 1. típusban. (**12. ábra**)

- A fenokristályok között még kevesebb a piroxén, mint az 1. típusban.

- A limonit-hematit aggregátumok mennyisége nagyon csekély, gyakorlatilag hiányoznak.

- Ez a típus hólyagüreges. (**12/a. ábra**)

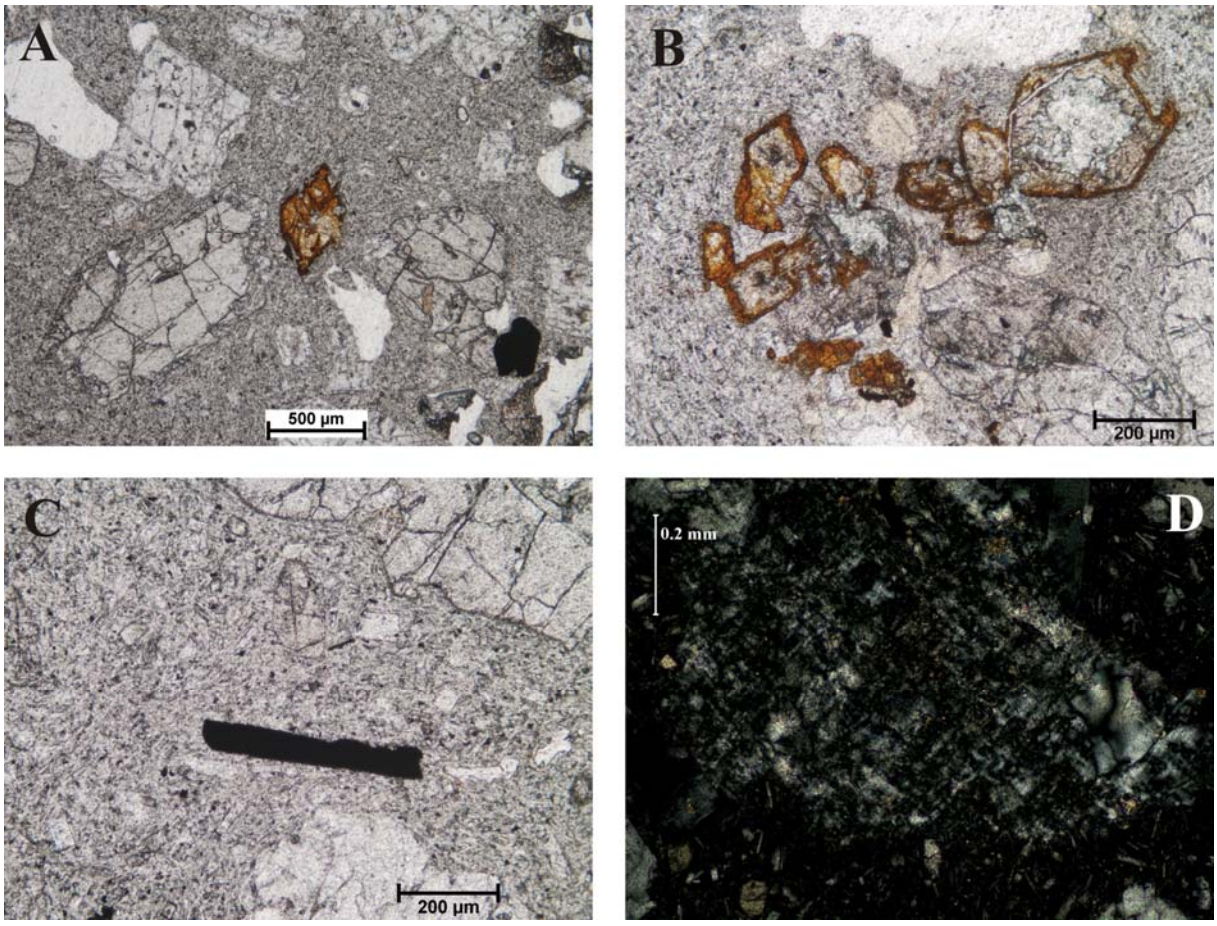
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



10/a. ábra: mikroszkópos felvétel (+N): szöveti kép plagioklász és piroxén fenokristályokkal és plagioklász-piroxén kumuloporfírokkal (Domoszló, 1. típus). / **10/b. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): zónás, poliszintetikusan ikresedett plagioklász fenokristály (pl); plagioklász (pl) - piroxén (px) kumuloporfír (Domoszló, 1. típus). / **10/c. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): plagioklász-piroxén kumuloporfír (Domoszló, 1. típus). / **10/d. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): piroxén kumuloporfír (Domoszló, 1. típus). / **10/e. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): ortopiroxén (opx) fenokristály, klinopiroxén (cpx) továbbnövekedéssel: az ortopiroxén fenokristály kioltási helyzetben van (Domoszló, 1. típus). / **10/f. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): ortopiroxén (opx) fenokristály, klinopiroxén (cpx) továbbnövekedéssel (Domoszló, 1. típus). / **10/g. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): ortopiroxén (opx) fenokristály, klinopiroxén (cpx) továbbnövekedéssel: a klinopiroxén fenokristály kioltási helyzetben van (Domoszló, 1. típus).

Fig. 10/a.: photomicrograph (+N): rock texture with plagioclase and pyroxene phenocrysts and plagioclase-pyroxene cumuloporphyrs (Domoszló, type 1). / **Fig. 10/b.:** photomicrograph (+N): zoned plagioclase (pl) phenocryst with polysinthetic twinning; plagioclase (pl) - pyroxene (px) cumuloporphyr (Domoszló, type 1). /**Fig. 10/c.:** photomicrograph (+N): plagioclase-pyroxene cumuloporphyr (Domoszló, type 1). / **Fig. 10/d.:** photomicrograph (+N): pyroxene cumuloporphyr (Domoszló, type 1). /**Fig. 10/e.:** photomicrograph (+N): orthopyroxene (opx) phenocryst with clinopyroxene (cpx) overgrowth: the orthopyroxene phenocryst is in absence (Domoszló, type 1). / **Fig. 10/f.:** photomicrograph (+N): orthopyroxene (opx) phenocryst with clinopyroxene (cpx) overgrowth (Domoszló, type 1). /**Fig. 10/g.:** photomicrograph (+N): orthopyroxene (opx) phenocryst with clinopyroxene (cpx) overgrowth: the clinopyroxene phenocryst is in absence (Domoszló, type 1).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



11/a. ábra: mikroszkópos felvétel (1N): izolált limonit-hematit aggregátum (olivin utáni pszeudomorfóza) (Domoszló, 1. típus). / **11/b. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): limonit-hematit aggregátumok (olivin utáni pszeudomorfózák) csoportja (Domoszló, 1. típus). / **11/c. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): ilmenit-szemcse az alapanyagban (Domoszló, 1. típus). / **11/d. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): kőzetüveg kezdődő devitrifikációja az alapanyagban (Domoszló, 1. típus).

Fig. 11/a.: photomicrograph (1N): isolated limonite-hematite aggregate (pseudomorph after olivine) (Domoszló, type 1). / **Fig. 11/b.:** photomicrograph (1N): group of limonite-hematite aggregates (pseudomorphs after olivine) (Domoszló, type 1). / **Fig. 11/c.:** photomicrograph (1N): ilmenite in the groundmass (Domoszló, type 1). / **Fig. 11/d.:** photomicrograph (+N): initial devitrification of the glass in the groundmass (Domoszló, type 1).

Őrlő- és malomkövek a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményeiben

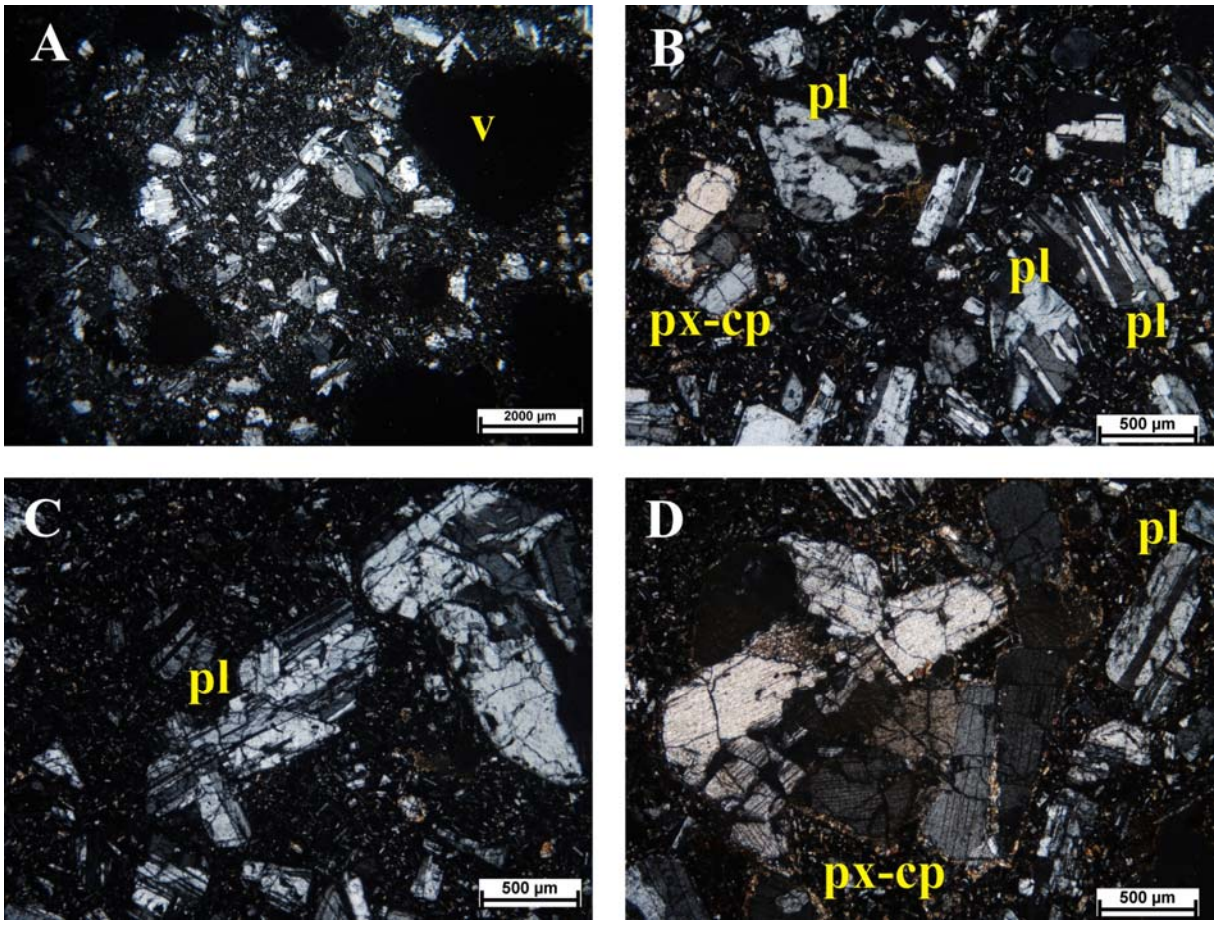
Kutatásunk során őrlő- és malomköveket vizsgáltunk meg makroszkóposan a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményeiben. A fentebb jellemzett domoszlói nyersanyaghoz hasonló anyagú régészeti leletekből vékonycsiszolatot készítettünk, majd polarizációs mikroszkópos vizsgálatok alapján tovább szűkítettük a valószínűsíthetően domoszlói nyersanyagból készült leletek körét. Mindeddig négy régészeti lelőhelyen sikerült nagy valószínűséggel domoszlói nyersanyagból készült őrlő- illetve malomköveket azonosítanunk.

Domoszlói nyersanyagból készült régészeti leletek

Füzesabony, Öregdomb (Füzesabony kultúra)

Füzesabony a magyarországi bronzkor klasszikus lelőhelyei közé tartozik. Többrétegű, ún. tell település. Ásatása Tompa Ferenc és Stanczik Ilona nevéhez fűződik (Tompa 1936, Stanczik 1978), a régészeti anyag teljes feldolgozása a Lendület program keretében jelenleg is folyamatban van (Szathmári Ildikó vizsgálatai; Szathmári 2011). A lelőhely kőanyagát Horváth T. és munkatársai (Horváth et al. 2015, 2016) vizsgálták.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



12/a. ábra: mikroszkópos felvétel (+N): szöveti kép plagioklász fenokristályokkal és kumuloporfírokkal; jobban kristályos alapanyag (Domoszló, 2. típus). / **12/b. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): poliszintetikusan ikresedett plagioklász fenokristályok (pl); piroxén kumuloporfír (px-cp) (Domoszló, 2. típus). / **12/c. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): plagioklász (pl) fenokristály poliszintetikus és átnövési ikresedéssel (Domoszló, 2. típus). / **12/d. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): piroxén kumuloporfír (px-cp); poliszintetikusan ikresedett plagioklász fenokristály (pl) (Domoszló, 2. típus).

Fig. 12/a.: photomicrograph (+N): rock texture with plagioclase phenocrysts and cumuloporphyrs; much more crystallized groundmass (Domoszló, type 2). / **Fig. 12/b.:** photomicrograph (+N): plagioclase (pl) phenocrysts with polysinthetic twinning; pyroxene cumuloporphyr (px-cp) (Domoszló, type 2). / **Fig. 12/c.:** photomicrograph (+N): plagioclase (pl) phenocryst with polysinthetic and penetration twinning (Domoszló, type 2). / **Fig. 12/d.:** photomicrograph (+N): pyroxene cumuloporphyr (px-cp); plagioclase (pl) phenocryst with polysinthetic twinning (Domoszló, type 2).

Nyersanyaguk alapján azonosított alsó őrlőkő-töredékek: 1982.5.2133. (**13/a. ábra**), 1982.5.2187. (**13/c. ábra**), 1982.5.2196. (**13/b. ábra**), 1982.5.2199. (**13/d. ábra**).

Mind a négy vizsgált lelet nyersanyaga mikroszkóposan is nagyon hasonlít a domoszlói 1. típusú nyersanyagra: A fenokristályok között plagioklászok és piroxének is előfordulnak, megjelenésük hasonló az 1. típusú nyersanyaghoz, bár a piroxén-fenokristályok aránya egy kicsit nagyobb (**14/a. ábra**). A kumuloporfírok között - a nyersanyaghoz hasonlóan - tisztán plagioklászból álló, tisztán piroxénekből álló, valamint plagioklász-piroxén kumuloporfírok is előfordulnak (**14/a-c. ábra**). Az alapanyag aránya és összetétele is nagyon hasonló az 1. típusú nyersanyagéhoz (**14/a. ábra**). Megtalálhatóak az 1. típusú nyersanyagra jellemző limonit-hematit aggregátumok (olivin utáni pszeudomorfózák) is (**14/d. ábra**).

Tápiószele (Szkíta kultúra)

Tápiószele a késő vaskori szkíta kultúra közismert lelőhelye. Kutatása 1938 és 1953 között folyamatos, az eredményeket elsősorban Párducz Mihály közleményéből ismerjük (Párducz 1966).

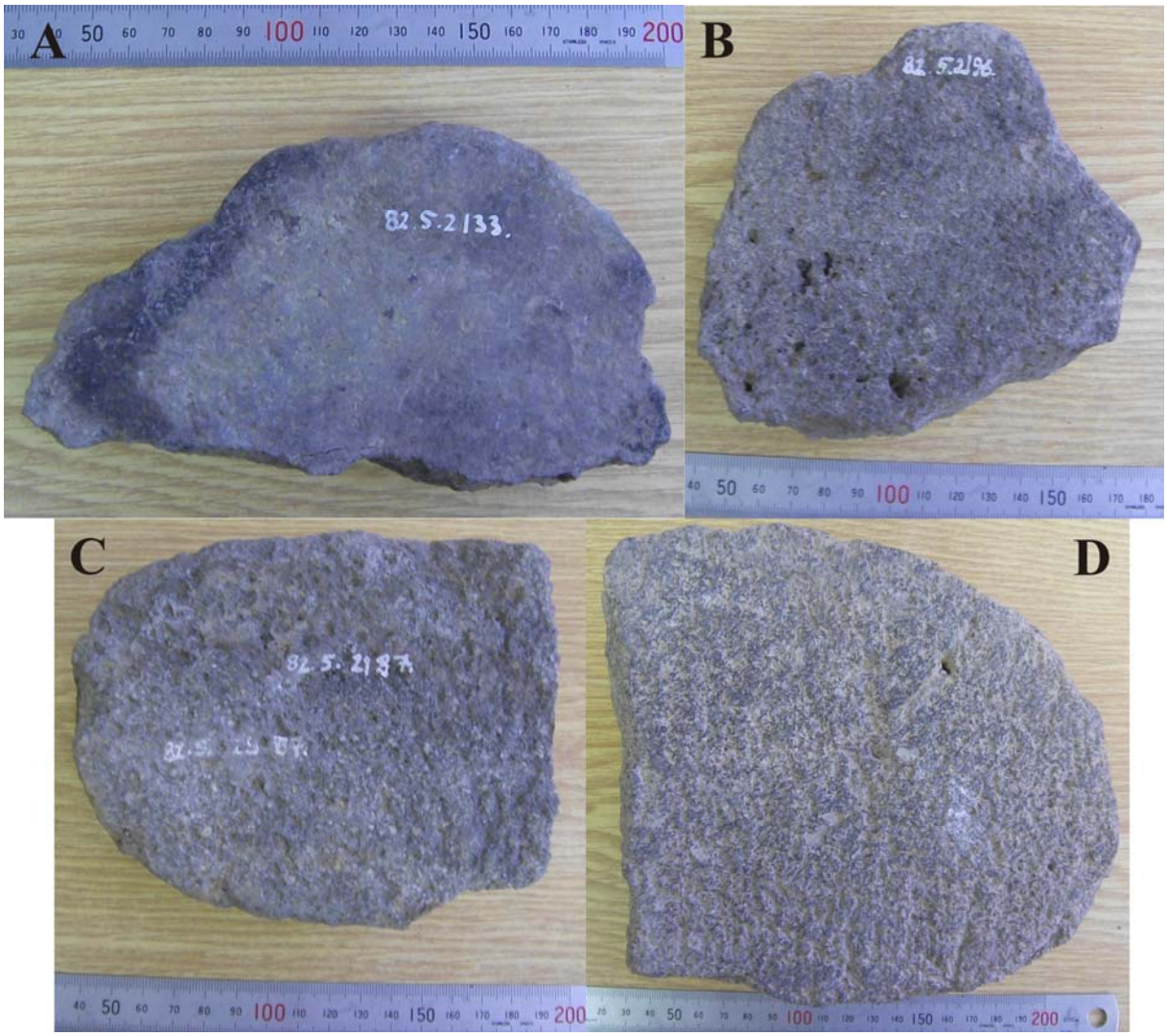
1951.14.27: telepanyag a XLIII. árokból, Bottyán Á. 1951-es ásatása (a ltk. szerint bronzkori is lehet)

1951.14.28. telepanyag a XLIX. árokból, Bottyán Á. 1951-es ásatása (a ltk. szerint bronzkori is lehet)

1953.15.84. Párducz M. feltárása, szkíta

1953.15.170. Párducz M. feltárása, szkíta

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



13/a. ábra: őrlőkő-töredék (lsz. 1982.5.2133., Füzesabony-Öregdomb lelőhely) / **13/b. ábra:** őrlőkő-töredék (lsz. 1982.5.2196., Füzesabony-Öregdomb lelőhely) / **13/c. ábra:** őrlőkő-töredék (lsz. 1982.5.2187., Füzesabony-Öregdomb lelőhely) / **13/d. ábra:** őrlőkő-töredék (lsz. 1982.5.2199., Füzesabony-Öregdomb lelőhely)

Fig. 13/a.: grinding stone fragment (i.n. 1982.5.2133., Füzesabony-Öregdomb site) / **Fig. 13/b.:** grinding stone fragment (i.n. 1982.5.2196., Füzesabony-Öregdomb site) / **Fig. 13/c.:** grinding stone fragment (i.n. 1982.5.2187., Füzesabony-Öregdomb site) / **Fig. 13/d.:** grinding stone fragment (i.n. 1982.5.2199., Füzesabony-Öregdomb site)

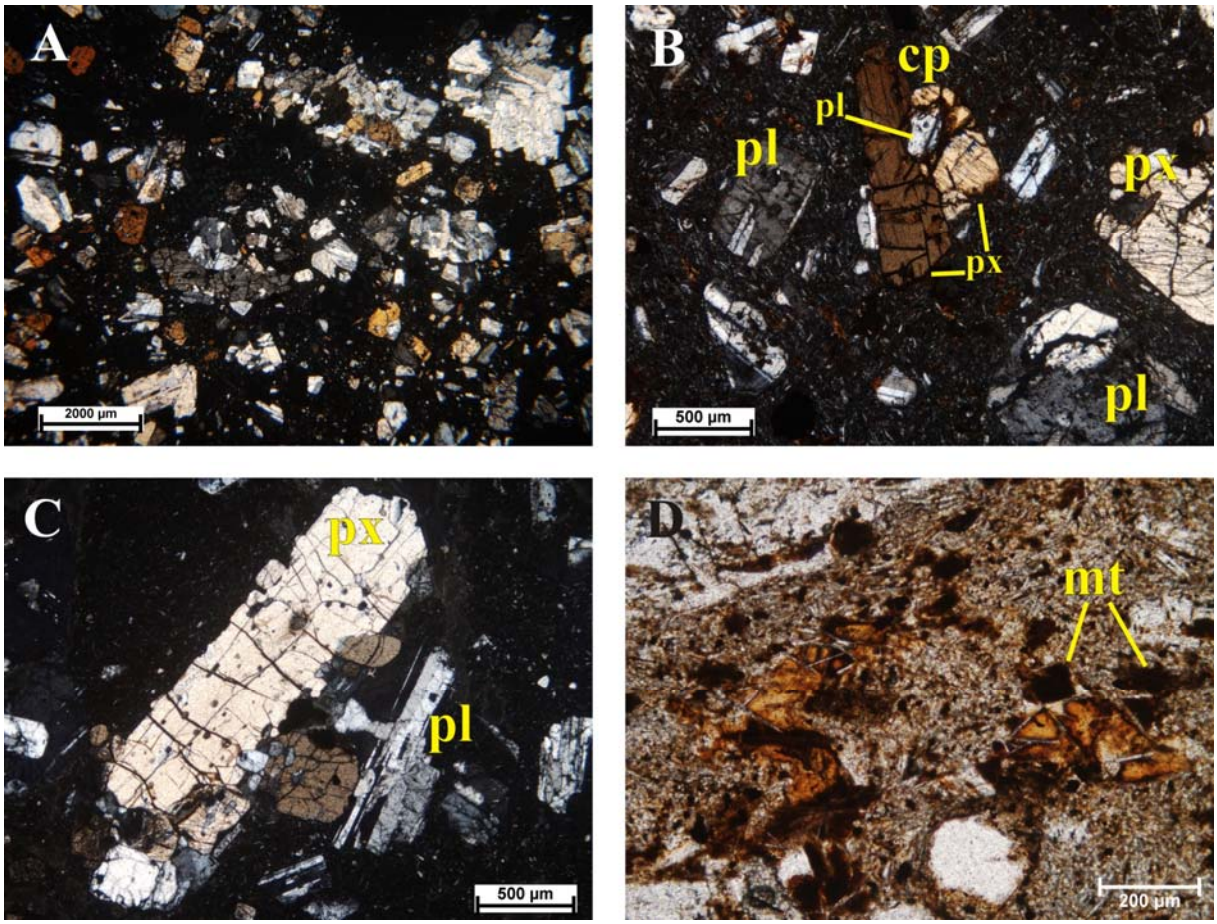
Nyersanyaguk alapján azonosított alsó őrlőkő-töredékek: 1951.14.27. (**15/a. ábra**), 1951.14.28. (**15/a. ábra**), 1953.15.84. (**16/a. ábra**), 1953.15.170. (**15/b. ábra**).

A **15. ábrán** látható leletek anyaga az 1. típusú domoszlói nyersanyaggal mutat nagyfokú hasonlóságot, míg a **16. ábrán** látható (1953.15.84. leltári számú) lelet anyaga a 2. típussal.

Az 1. nyersanyagtípusba sorolt leletek anyagában mind a fenokristályok, mind az alapanyag ásványos összetétele, megjelenése, aránya nagyon hasonló a fent jellemzett füzesabonyi leletek nyersanyagához (**15/c-e. ábra**), megtalálhatók a limonit-hematit aggregátumok (olivin utáni pszeudomorfózák) is (**15/f. ábra**).

Az 1953.15.84. leltári számú lelet anyagában a fenokristályok között dominánsan plagioklászok jelennek meg, a piroxének mérete és száma alárendelt (**16/b-c. ábra**). Az alapanyag jól kristályos, mennyisége csekély, nem találhatók meg benne limonit-hematit aggregátumok. Az itt bemutatott szöveti tulajdonságai alapján ez a nyersanyag a domoszlói 2. típussal azonosítható.

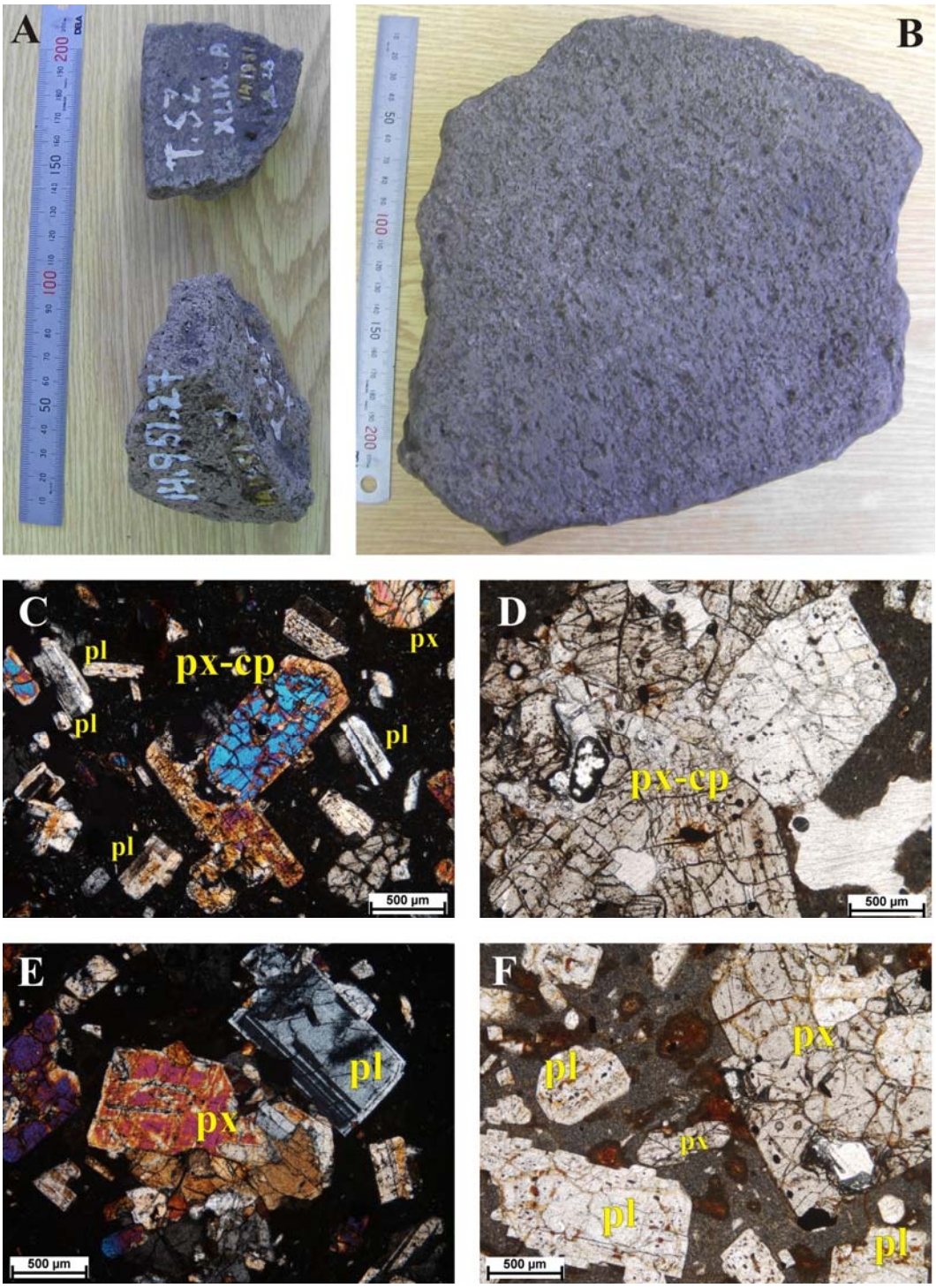
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



14/a. ábra: mikroszkópos felvétel (+N): szöveti kép plagioklász és piroxén fenokristályokkal és kumuloporfírokkal (Füzesabony-Öregdomb lelőhely). / **14/b. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): plagioklász (pl) és piroxén (px) fenokristályok és kumuloporfír (cp) (Füzesabony-Öregdomb lelőhely). / **14/c. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): piroxén (px) - plagioklász (pl) kumuloporfír (Füzesabony-Öregdomb lelőhely). / **14/d. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): limonit-hematit aggregátumok és opak-ásványok csoportja (mt: magnetit) (Füzesabony-Öregdomb lelőhely).

Fig. 14/a.: photomicrograph (+N): rock texture with plagioclase and pyroxene phenocrysts and cumuloporphyrs (Füzesabony-Öregdomb site). / **Fig. 14/b.:** photomicrograph (+N): plagioclase (pl) and pyroxene (px) phenocrysts and cumuloporphyr (cp) (Füzesabony-Öregdomb site). / **Fig. 14/c.:** photomicrograph (+N): pyroxene (px) - plagioclase (pl) cumuloporphyr (Füzesabony-Öregdomb site). / **Fig. 14/d.:** photomicrograph (1N): group of limonite-hematite aggregates and opaque minerals (mt: magnetite) (Füzesabony-Öregdomb site).

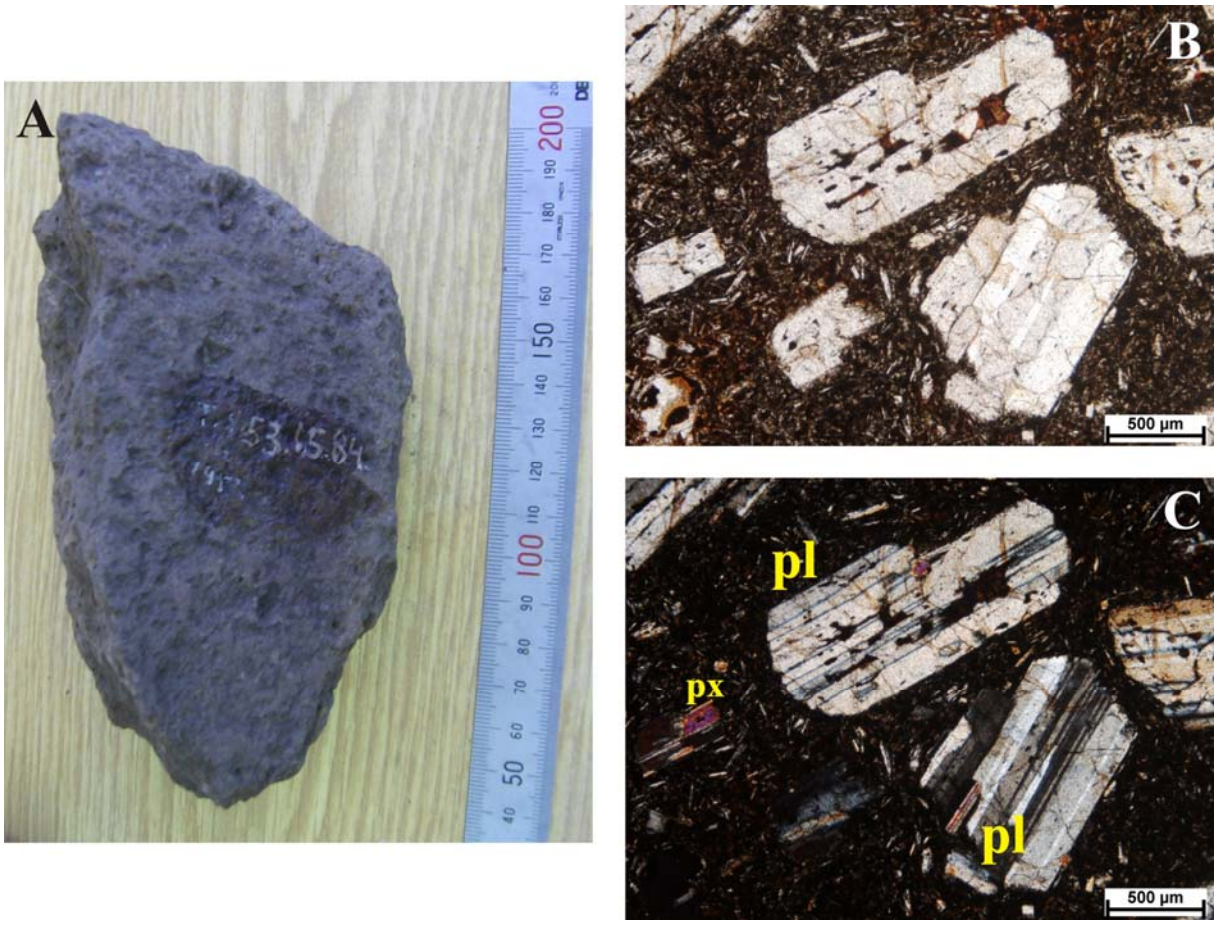
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



15/a. ábra: őrlőkő-töredékek (lsz. 1951.14.27. és 1951.14.28., Tápiószele lelőhely). / **15/b. ábra:** őrlőkő-töredék (lsz. 1953.15.170., Tápiószele lelőhely). / **15/c. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): piroxén kumuloporfír (px-cp); plagioklász (pl) és piroxén (px) fenokristályok (Tápiószele lelőhely, 1. nyersanyagtípus). / **15/d. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): piroxén kumuloporfír (px-cp) (Tápiószele lelőhely, 1. nyersanyagtípus). / **15/e. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): piroxén (px) - plagioklász (pl) kumuloporfír (Tápiószele lelőhely, 1. nyersanyagtípus). / **15/f. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): plagioklász (pl) és piroxén (px) fenokristályok; limonit-hematit aggregátumok (Tápiószele lelőhely, 1. nyersanyagtípus).

Fig. 15/a.: grinding stone fragments (i.n. 1951.14.27. and 1951.14.28., Tápiószele site). / **Fig. 15/b.:** grinding stone fragment (i.n. 1953.15.170., Tápiószele site). / **Fig. 15/c.:** photomicrograph (+N): pyroxene cumuloporphyr (px-cp); plagioclase (pl) and pyroxene (px) phenocrysts (Tápiószele site, raw material type 1.). / **Fig. 15/d.:** photomicrograph (1N): pyroxene cumuloporphyr (px-cp) (Tápiószele site, raw material type 1.). / **Fig. 15/e.:** photomicrograph (+N): pyroxene (px) - plagioclase (pl) cumuloporphyr (Tápiószele site, raw material type 1.). / **Fig. 15/f.:** photomicrograph (1N): plagioclase (pl) and pyroxene (px) phenocrysts; limonite-hematite aggregates (Tápiószele site, raw material type 1.).

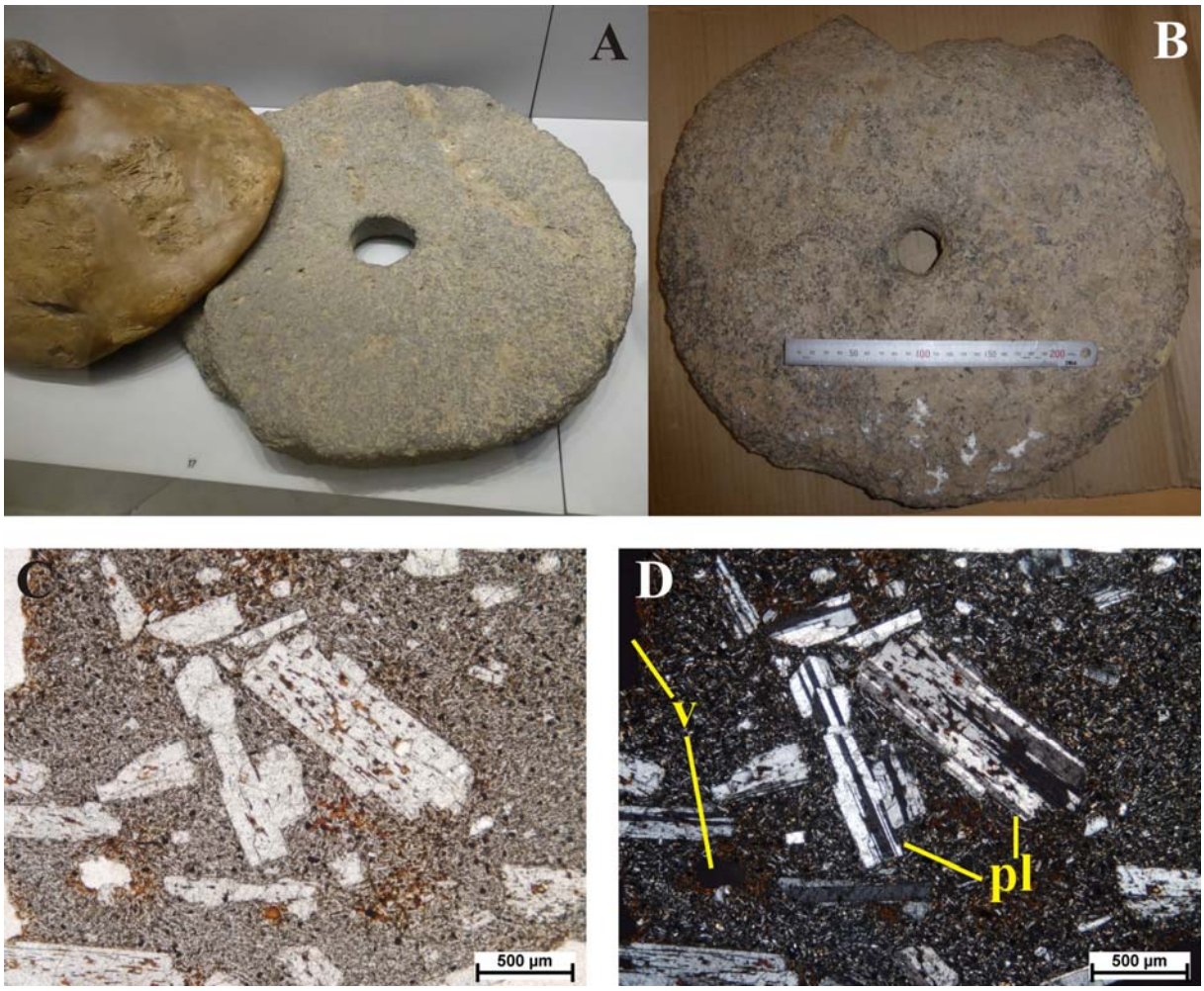
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



16/a. ábra: őrlőkő-töredék (lsz. 1953.15.84., Tápiószele lelőhely). / **16/b. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): szöveti kép plagioklász és piroxén fenokristályokkal (Tápiószele lelőhely, 2. nyersanyagtípus). / **16/c. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): poliszintetikusan ikresedett plagioklász fenokristályok (pl); piroxén fenokristály (px); jobban kristályos alapanyag (Tápiószele lelőhely, 2. nyersanyagtípus).

Fig. 16/a.: grinding stone fragment (i.n. 1953.15.84., Tápiószele site). / **Fig. 16/b.:** photomicrograph (1N): rock texture with plagioclase and pyroxene phenocrysts (Tápiószele site, raw material type 2.). / **Fig. 16/c.:** photomicrograph (+N): plagioclase (pl) phenocrysts with polysinthetic twinning; pyroxene (px) phenocryst; much more crystallized groundmass (Tápiószele site, raw material type 2.).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



17/a. ábra: malomkő (lsz.67.1.10-11) a Magyar Nemzeti Múzeum állandó régészeti kiállításában, Mátraszőlős, Kése-domn lelőhely). / **17/b. ábra:** malomkő (lsz. 1967.1.6., Mátraszőlős, Kése-domn lelőhely). / **17/c. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): szöveti kép plagioklász fenokristályokkal és hólyagüregekkel (Mátraszőlős, Kése-domn lelőhely). / **17/d. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): poliszintetikusan ikresedett plagioklász fenokristályok (pl); hólyagüregek (v); jobban kristályos alapanyag (Mátraszőlős, Kése-domn lelőhely).

Fig. 17/a.: millstone (quernstone) (i.n. 67.1.10-11), on the permanent archaeological exhibition of the Hungarian National Museum, Mátraszőlős, Kése-domn site). / **Fig. 17/b.:** millstone (quernstone) (i.n. 1967.1.6., Mátraszőlős, Kése-domn site). / **Fig. 17/c.:** photomicrograph (1N): rock texture with plagioclase phenocrysts and vesicles (Mátraszőlős, Kése-domn site). / **Fig. 17/d.:** photomicrograph (+N): plagioclase (pl) phenocrysts with polysinthetic twinning; pyroxene (px) phenocryst; vesicles (v); much more crystallized groundmass (Mátraszőlős, Kése-domn site).

Mátraszőlős, Kése-domb (IX. század, kora-középkor)

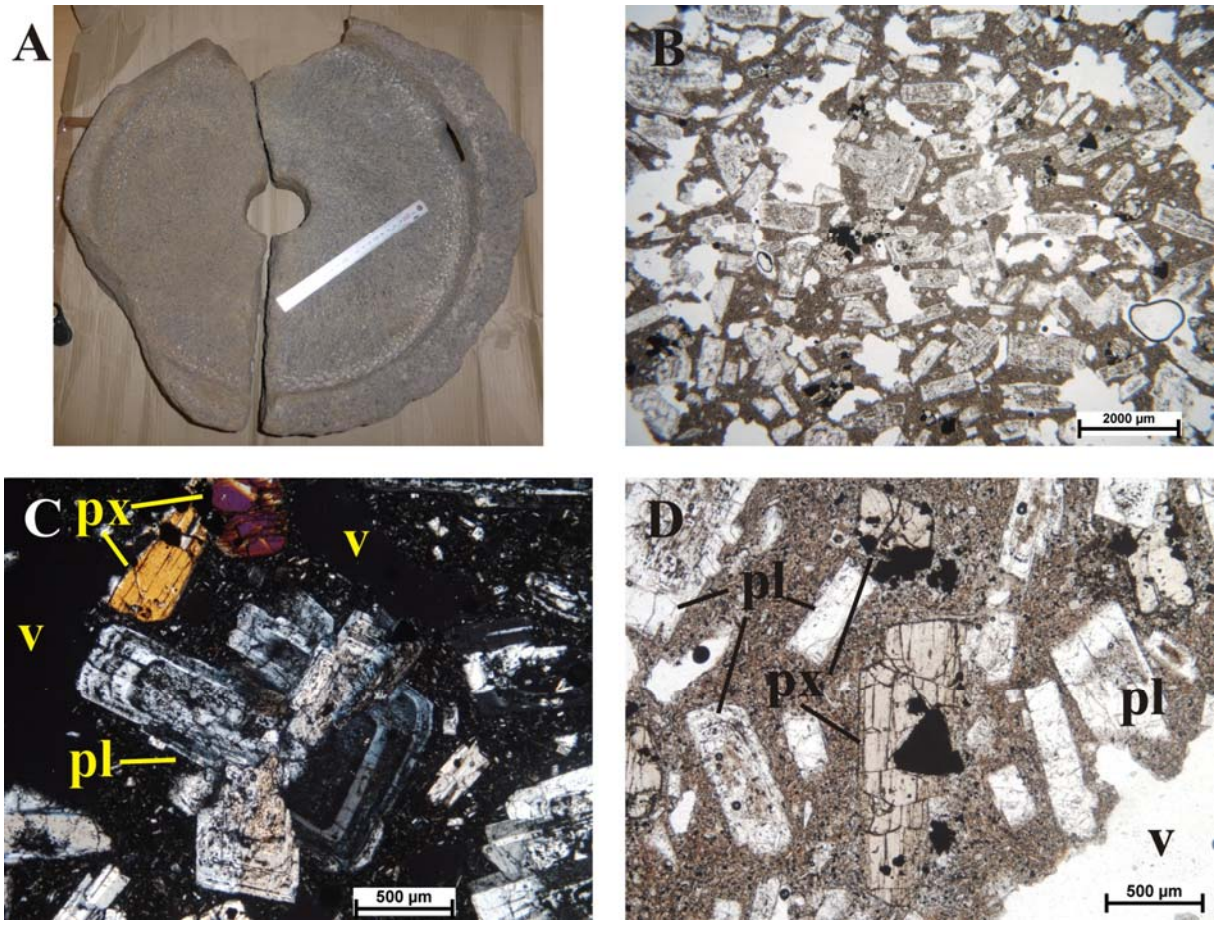
Az malomköveket (MNM Népvándorláskori Gyűjteménye, ltsz. 67.1.5-11) Patay Pál gyűjtötte be a területen működő homok- és sóderbányából. A területen később Cs. Soós Ágnes végzett ásatásokat, és avarkori település leleteit találta meg. A leletanyag ismereteink szerint közöletlen. Az egyik malomkő párt a MNM állandó kiállításán mutatja be (**17/a. ábra**)

Nyersanyaga alapján azonosított malomkő: 1967.1.6. (**17/b. ábra**)

Nagy makroszkópos hasonlóságuk alapján feltételezhetően megegyező nyersanyagból készültek a következő leletek is: 67.1.5., 67.1.7., 67.1.10-11. (kiállításban **17/a. ábra**)

Ez a nyersanyag hólyagüreges, porfírként csak plagioklász fenokristályokat és kumuloporfírokat tartalmaz (a piroxén-fenokristályok hiányoznak), amelyek erőteljesen zárványosak (főleg hematit-zárványokat tartalmaznak). Az alapanyag jól kristályos, sok magnetit-szemcsét tartalmaz (**17/c-d. ábra**). Az alapanyagban gyakoriak a limonit-hematit aggregátumok, de ezek alakjuk alapján a magnetit-szemcsék átalakulási termékei, számos ilyen aggregátumban megfigyelhető a még üde magnetit mag is. Az itt bemutatott szöveti tulajdonságai alapján ez a nyersanyag a domoszlói 2. típussal azonosítható.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



18/a. ábra: malomkő (lszn. (51), Szendrő lelőhely). / **18/b. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): szöveti kép plagioklász és piroxén fenokristályokkal és hólyagüregekkel (Szendrő lelőhely). / **18/c. ábra:** mikroszkópos felvétel (+N): zónás plagioklász (pl) fenokristály poliszintetikus és átnövési ikresedéssel; piroxén (px) fenokristályok; hólyagüregek (v); jobban kristályos alapanyag (Szendrő lelőhely). / **18/d. ábra:** mikroszkópos felvétel (1N): plagioklász (pl) fenokristályok; piroxén (px) fenokristályok magnetit-kristályokkal (Szendrő lelőhely).

Fig. 18/a.: millstone (quernstone) (not inv. (51), Szendrő site). / **Fig. 18/b.:** photomicrograph (1N): rock texture with plagioclase (pl) and pyroxen (px) phenocrysts and vesicles. / **Fig. 18/c.:** photomicrograph (+N): zoned plagioclase (pl) phenocryst with polysinthetic and penetration twinning; pyroxen (px) phenocrysts; vesicles (v); much more crystallized groundmass (Szendrő site). / **Fig. 18/d.:** photomicrograph (1N): plagioclase (pl) phenocrysts; pyroxen (px) phenocrysts with magnetites (Szendrő site).

Szendrő (XVII. század, kora-újkor)

A szendrői vár feltárásával Tomka Gábor 1996 óta foglalkozik. A vár első említését 1312-ből ismerhetjük (Tomka 2005), a XVIII. század elejéig volt használatban.

A feltáráson késő újkori típusú, peremes malomkő a keleti várudvaron került elő. A lelőkörülmények alapján valószínűleg az 1610-1650 közötti évekre keltezhető a darab.

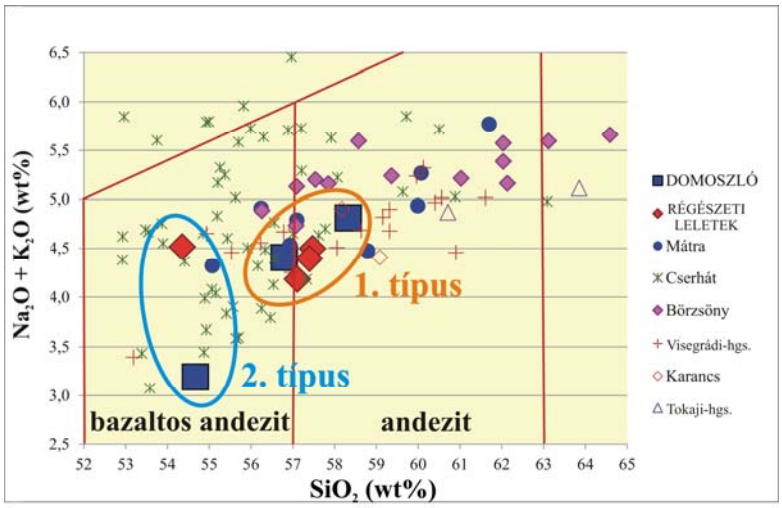
Nyersanyaga alapján egy leltározatlan (jelölés: 51), két félből álló malomkövet sikerült azonosítanunk (**18/a. ábra**).

Ez a nyersanyag hólyagüregeres. Porfírként főként plagioklász fenokristályokat és plagioklász kumuloporfírokat tartalmaz, de alárendelt mennyiségben előfordulnak piroxén-fenokristályok is (**18/b-d. ábra**). Az alapanyag jól kristályos, mennyisége csekély. Főleg a piroxén-fenokristályokhoz kötődően nagyobb magnetit-kristályokat is tartalmaz (**18/b.** és **d. ábra**). Az itt bemutatott szöveti tulajdonságai alapján ez a nyersanyag a domoszlói 2. típussal azonosítható.

Kiegészítő teljes kőzet kémiai vizsgálatok (ICP-AES, ICP-MS)

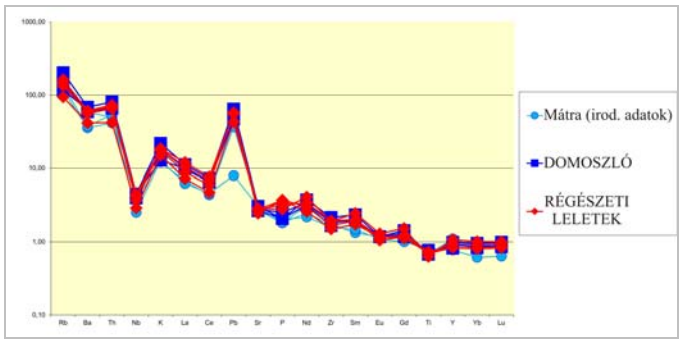
Az Üllő 5. számú lelőhelyről előkerült andezit, illetve bazaltos andezit nyersanyagú őrlő- és malomkövek vizsgálata során megállapítottuk, hogy a környező andezites vulkáni hegységekben vizsgált potenciális bazaltos andezitek (és andezitek) teljes kémiai összetétele nagymértékben hasonló, az egyes hegységek kőzetei csak a teljes kőzet kémiai összetétel alapján nem különíthetőek el egymástól biztonsággal. (Péterdi et al. 2009).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



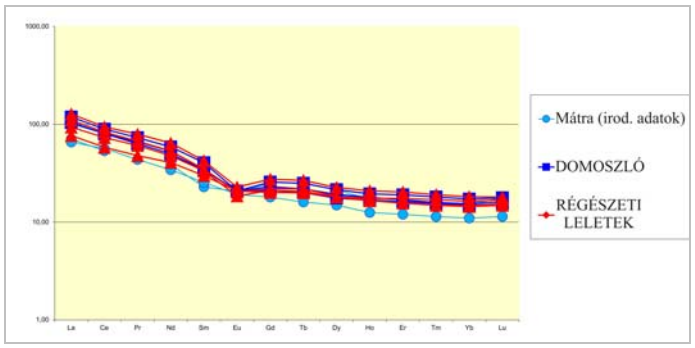
19. ábra: teljes kőzet kémiai összetétel / TAS (total alkali silica-) diagram (Le Bas et al. 1986.): domoszlói nyersanyag-minták (kék négyzetek); kiválasztott régészeti leletek (vörös rombuszok); geológiai minták a közeli andezites vulkáni hegységekből (irodalmi mérési eredmények: Korpás, 1998.; Karátson et al. 2000, 2007; Póka et al., 2004; Harangi et al., 2007; Karátson 2007; Péterdi et al. 2009).

Fig. 19.: Bulk rock chemistry / TAS (total alkali silica-) diagram (Le Bas et al. 1986.): Domoszló andesites (blue squares); selected archaeological finds (red diamonds); geological samples from the nearby andesitic volcanic mountains (data from literature: Korpás, 1998.; Karátson et al. 2000, 2007; Póka et al., 2004; Harangi et al., 2007; Karátson 2007; Péterdi et al. 2009).



20. ábra: Nyomelemek N-MORB-ra normált értékei (Pearce and Parkinson 1993.): domoszlói nyersanyagminták (kék négyzetek); kiválasztott régészeti leletek (vörös rombuszok); geológiai minták a Mátrából (irodalmi mérési eredmények: Karátson 2007; Péterdi et al. 2009).

Fig. 20.: N-MORB normalized trace element patterns (Pearce and Parkinson 1993.): Domoszló andesites (blue squares); selected archaeological finds (red diamonds); geological samples from the Mátra mountains (data from literature: Karátson 2007; Péterdi et al. 2009).



21. ábra: Ritkaföldfémek kondritra normált értékei (Sun and McDonough 1989.): domoszlói nyersanyagminták (kék négyzetek); kiválasztott régészeti leletek (vörös rombuszok); geológiai minták a Mátrából (irodalmi mérési eredmények: Karátson 2007; Péterdi et al. 2009).

Fig. 21.: Chondrite normalized rare earth element patterns (Sun and McDonough 1989.): Domoszló andesites (blue squares); selected archaeological finds (red diamonds); geological samples from the Mátra mountains (data from literature: Karátson 2007; Péterdi et al. 2009).

A bazaltos andezitek nyomelem és ritkaföldfém-eloszlása is egymáshoz nagyon hasonló (Péterdi et al. 2009). Mindazonáltal, a fent jellemzett régészeti leletek közül elemzésre kiválasztott példányok és a domoszlói nyersanyagminták összetétele jó egyezést mutat (**19-21. ábra**).

A **19. ábrán** feltüntettük a közeli vulkáni hegységek (Mátra, Cserhát, Börzsöny, Visegrádi-hegység, Karancs, Tokaji-hegység, lásd még a **22. ábrát**) andezitjeinek és bazaltos andezitjeinek jellemző összetételi értékeit is (Korpás, 1998.; Karátson et al., 2000, 2007; Póka et al., 2004;

Harangi et al., 2007; Karátson 2007; Péterdi et al. 2009); a **20-21. ábrán** az átláthatóság kedvéért csak a mátrai bazaltos andezit irodalmi adatokat szerepeltetjük (Karátson 2007; Péterdi et al. 2009).

Összefoglalás, további kutatási lehetőségek

A domoszlói nyersanyag-kitermelő helyek és műhelyek magyarországi kontextusban egyedinek tekinthetők: bár hasonló összetételű kőzeteket ismerünk a környező vulkáni hegységekből, Domoszló - és környéke - egyedülálló az andezit bombák és tömbök mérete és alakja miatt, amely különösen megkönnyíti az őrlő- és malomkövek elkészítését. A kitermelés és megmunkálás hosszú időn át, több őskori és történelmi periódusban is fennállt. A nyersanyag hasznosításáról, szállításáról több információhoz juthatunk a környező régészeti lelőhelyek leletanyagának szisztematikus vizsgálatával, illetve nagyobb távolságról előkerült lelet-együttesek vizsgálatával. Makroszkópos és mikroszkópos tulajdonságaik alapján mindeddig négy régészeti lelőhelyen azonosítottunk domoszló környéki nyersanyagból készült leleteket (őrlő- és malomköveket), ezek: Füzesabony, Öregdomb (Füzesabony kultúra); Tápiószele (szkíta); Mátraszőlős (kora-középkor); Szendrő (kora-újkor). (**22. ábra**) Kiegészítő teljes kőzet kémiai vizsgálataink is alátámasztják eredményeinket, bár megállapítottuk, hogy csak a teljes kémiai összetételre támaszkodva az andezit, bazaltos andezit nyersanyagforrásokat egymástól biztonsággal elkülöníteni nem lehet. A későbbiekben kutatásainkat kiterjesztjük a Domoszló környékén még szisztematikusan nem vizsgált nyersanyag-kitermelő helyekre, valamint további múzeumi gyűjtemények és ásatások anyagára. A még pontosabb nyersanyag-azonosítás érdekében ásványkémiai (pl. EPMA) vizsgálatokat is tervezünk: elsősorban a plagioklászok és piroxének összetételének vizsgálatát.

22. ábra: Észak-kelet Magyarország a nyersanyag-kitermelőhellyel (Domoszló) és a kapcsolódó régészeti lelőhelyekkel (sárga jelek és feliratok), valamint a közeli andezites vulkáni hegységekkel (narancssárga feliratok).

Fig. 22.: NE-Hungary, with the production center (Domoszló) and some related archaeological sites (yellow captions), and the nearby andesitic volcanic mountains (orange captions).

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetnek a műszeres vizsgálatokért; Domoszló község önkormányzatának, az OTKA K 100385 sz. pályázatának, valamint a lelkes önkénteseknek: Gherdán Teodórának, Hanthy Ritának, Harman Mártonnak, Káposztás Gyöngyinek, Kürthy Dórának, Molnár Szabolcsnak, Palkovics Barbarának, Palkovics Bencének, Péterdi Benedeknek, Regenye Juditnak,

Simán Katalinnak, Tóth Erzsébetnek és Wolf Ernőnek a terepmunka támogatásáért; Szathmári Ildikónak, Simonyi Erikának, Tomka Gábornak és Hajnal Zsuzsának (MNM) a Magyar Nemzeti Múzeum őskori, népvándorláskori és középkori őrlőköveivel, illetve malomköveivel kapcsolatos adatokért és a vizsgálati lehetőségért.

Irodalom

HARANGI, Sz., DOWNES, H., THIRLWALL, M. & GMÉLING, K. (2007): Geochemistry, Petrogenesis and Geodynamic Relationships of Miocene Calc-alkaline Volcanic Rocks in the Western Carpathian Arc, Eastern Central Europe. *Journal of Petrology* **48** 2261–2287.

HORVÁTH, T., FARKAS-PETŐ, A., FARKAS, I., MIHÁLY, J. & PÉTERDI, B. (2015): The Stone Implements of the Middle Bronze Age Tell Settlement of Füzesabony-Öregdomb. *Slovenska Archaeologia* **63 (1)** 31–62.

HORVÁTH, T., FARKAS-PETŐ, A., FARKAS, I., MIHÁLY, J. & PÉTERDI, B. (2016): Füzesabony-Öregdomb bronzkori tell-település kőanyaga - Stone material of the middle bronze age tell settlement of Füzesabony-Öregdomb. *AGRIA* **2016** 29–94.

KARÁTSON, D., MÁRTON, E., HARANGI, Sz., JÓZSA, S., BALOGH, K., PÉCSKAY, Z., KOVÁCSVÖLGYI, S., SZAKMÁNY, Gy. & DULAI, A. (2000): Volcanic evolution and stratigraphy of the miocene Börzsöny mountains, Hungary: an integrated study. *Geologica Carpathica* **51** 325–343.

KARÁTSON, D. (2007): *A Börzsönytől a Hargitáig. Vulkanológia, felszínfejlődés, ősföldrajz*. TYPOTEX, Budapest pp. 462.

KARÁTSON, D., OLÁH, I., PÉCSKAY, Z., MÁRTON, E., HARANGI, Sz., DULAI, A., ZELENKA, T. & KÓSIK, Sz. (2007): Miocene volcanism in the Visegrád Mountains (Hungary): an integrated approach to regional volcanic stratigraphy. *Geologica Carpathica* **58** 541–563.

KORPÁS, L. (ed.) (1998): Magyarázó a Börzsöny és a Visegrádi-hegység földtani térképéhez 1:50000. Geological Institute of Hungary, Budapest. pp. 216.

Le BAS, M. J., Le MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986): A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *Journal of Petrology* **27** 745–750.

PEARCE, J.A. & PARKINSON, I.J. (1993): Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In: PRICHARD, H.M., ALABASTER, T., HARRIS, N.B.W. & NEARY, C.R. (eds.): Magmatic Processes and Plate Tectonics. *Geological Society, London, Special Publications* **76** 373–403.

PÉTERDI, B., SZAKMÁNY, Gy., JUDIK, K. & DOBOSI, G. (2009): Bazaltos andezit nyersanyagú szarmata szerszámkövek kőzettani és geokémiai vizsgálata (Üllő 5. lelőhely) / Petrographical and geochemial investigation os Sarmatian stone utensils made of basaltic andesite from the site Üllő 5. *Archeometriai Műhely / Archaeometry Workshop* **VI/2** 43–60. (http://www.ace.hu/am/2009_2/AM-09-02-PB.pdf)

PÓKA, T., ZELENKA, T., SEGHEDI, I., PÉCSKAY, Z. & MÁRTON, E. (2004): Miocene volcanism of the Cserhát Mts (N Hungary): Integrated volcano-tectonic, geochrolonogic and petrochemical study. *Acta Geologica Hungarica* **47** 221–246.

PÁRDUCZ M. (1966): The Scythian Age cemetery at Tápiószele. Acta Arch. Hung. VIII, 1966 35–70.

STANCZIK I. (1978): Vorbericht über die Ausgrabung der bronzezeitlichen Ansiedlung von Füzesabony-Öregdomb. *Folia Archaeologica* **XXIX** 93–102.

SUN, S.-S. & McDONOUGH, W.F. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: SAUNDERS, A.D. & NORRY, M.J. (eds.): Magmatism in the Ocean Basins. *Geological Society, London, Special Publications* **42** 313–345.

SZATHMÁRI I. (2011): Megjegyzések a füzesabonyi bronzkori tell telep időrendjéhez. In: TÓTH & VIDA szerk., *Corolla Museoligica Tibor Kovács dedicata.* MNM, Budapest, 485–503

T. BIRÓ K. & PETERDI, B. (2011): Domoszló-Pipis: Őrlőkő és malomkő készítő műhely a Mátrában. (Domoszló-Pipis: exploitation site and workshop for the production of quernstones and millstones in the Mátra Mts.) In: TÓTH & VIDA szerk., *Corolla museologica Tibor Kovács dedicata.* Magyar Nemzeti Múzeum Budapest, 523–534.

TOMKA G. (2005): Szendrő: egy vándorló vár Felső-Magyarországon. *Castrum Bene* **2** 51–64. http://www.castrumbene.hu/files/c2_tomka_03.pdf

TOMPA F. (1936): 25 Jahre Urgeschichtsforschung in Ungarn. 1912–1936. *BRGK* **24-25** 27–127.

ÚJ EREDMÉNYEK A TATA, KÁLVÁRIA-DOMBI KOVABÁNYA KUTATÁSÁBAN[i]

NEWS FROM H-3 (KÁLVÁRIA-DOMB (CALVARY HILL), TATA)

T. BIRÓ KATALIN[1]; TÓTH ERZSÉBET[2]; DÚZS KRISZTINA[1]; PUSZTA SÁNDOR[3]

[1] Magyar Nemzeti Múzeum, 1088 Budapest, Múzeum krt. 14-16

[2] ELTE TTK Természetrajzi Múzeum, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

[3] Fractal Bt., Budapest

E-mail: tbk@ace.hu

Abstract

Tata-Kálváriadomb is one of the oldest known "flint mines" in Hungary. It was excavated in the 1960-ies by J. Fülöp and E. Bácskay. It had already been included in the first European flint mine catalogue. The archaeological age of the exploitation was attributed to the Late Copper Age Baden Culture, based on the evidence of pottery fragments found in the extraction pits. The site is equally famous for its geological features (Upper Triassic-Lower Cretaceous sedimentary sequence) and is open to public as a geological park, including the flint extraction pits (developed on Jurassic radiolarite).

Recent conservation work in the geological park has led to the discovery of new mining features in 2015. A test trench on the bedrock surface, 42 meters from the old pits yielded at least three antler tools with cutmarks and a new mining pit for the radiolarite. The antler tools were suitable for radiocarbon dating performed in the ATOMKI, Debrecen by M. Molnár and his team and extended the known period of use of the mine to the Late Neolithic period/Early Copper Age Lengyel Culture. We are aiming at further excavations on the Tata site.

Kivonat

Tata-Kálváriadomb egyike a legrégebben ismert magyarországi kovabányáknak. Az 1960-as években kezdte meg feltárását Fülöp József és Bácskay Erzsébet. Bekerült az első európai szintű kovabánya katalógusba is. A bányászati tevékenység korát kerámia leletek és radiokarbon kormeghatározás segítségével állapították meg, és a késő rézkorra (Badeni kultúra) keltezték. A lelőhely földtani értékeiről is híres, a felső triásztól egészen az alsó krétáig terjedő rétegsora miatt. Ez a körülmény is hozzájárult ahhoz, hogy a területen földtani bemutató hely jött létre, amelynek részeként látogatható a kovabánya.

A terület közelmúltban megvalósított karbantartási-felújítási munkálatainak során újabb bányagödröt sikerült megfigyelni, amiből több agancseszköz is előkerült. Az agancseszköz töredékein újabb kormeghatározást végeztek a debreceni Atommagkutató Intézet munkatársai, Molnár Mihály vezetésével. A megismert új koradat jelentősen kibővíti a tatai bányászati tevékenység kronológiai kereteit. Terveink szerint a kutatást újabb ásatásokkal folytatjuk a közeljövőben.

KEYWORDS: FLINT MINE, RADIOLARITE, ANTLER TOOL, DATING

KULCSSZAVAK: KOVABÁNYA, RADIOLARIT, AGANCSESZKÖZ, KORMEGHATÁROZÁS

Bevezetés

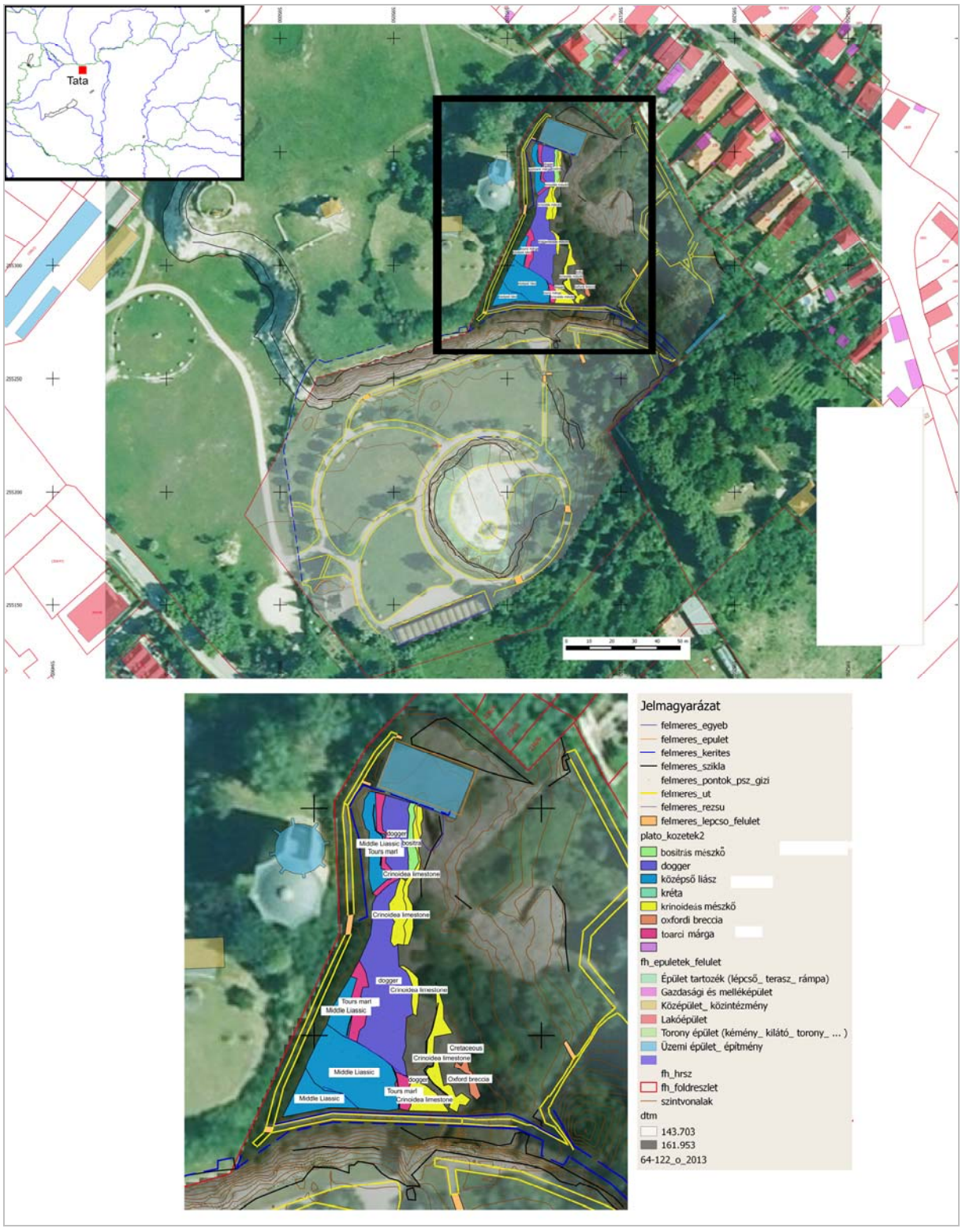
A tatai Kálvária-domb kiemelkedő jelentőségű lelőhely a magyarországi földtani és régészeti kutatások szempontjából. A terület elsősorban kivételes földtani adottságai miatt került az érdeklődés középpontjába (Haas & Hámor 2001, Tóth 2008): rétegsora a triász időszaktól a krétáig a földtörténet jelentős korszakait harántolja (**1. ábra**).

A területen, elsősorban a földtani értékek bemutatása céljából szabadtéri kiállítóhely létesült. A bemutatásra méltó értékek között található Magyarország egyik legrégebbről ismert kovabányája, ahol a helyi, középső jura korú radiolaritot termelték ki az őskori bányászok.

A Kálvária-dombon 1967 óta ismert őskori kovabánya feltárása Fülöp József geológus és Bácskay Erzsébet nevéhez fűződik (Fülöp 1973, 1980, Bácskay & Biró 2003). A feltárások során 3 bányagödröt találtak, melyet rézkori (Badeni kultúra) cseréptöredék és radiometrikus koradat (C-14 dátum: 3810±65 BP, Hv 1770) kelteznek.

A kovabánya gödreit a helyszínen kisebb szabadtéri bemutatóhely tárja a látogatók elé. Ezzel a tatai kovabánya a ma megismerhető hazai ipartörténeti emlékek között szinte egyedülálló[ii].

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



1. ábra: Tata, Kálvária-domb, helyszínrajz

Fig. 1.: Layout of the Tata, Kálvária-domb Geological Park: upper part with the „flint mines”

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

A tatai kovabánya újabb kutatása

A park fenntartása igen nagy feladatot jelent. Ezen belül az őskori lelőhely tisztítását 2011-ben (és 2016-ban is) egy kisebb, önkéntesekből álló csapattal, egy hetes munkával végeztük el. A teljes bemutatóhely megújítása egy nagyobb KEOP projekt keretében 2015-ben történt meg (Földtani alapszelvények rekonstrukciója a Tatai Természetvédelmi Területen" című, KEOP-3.1.2/2F/09-11-2013-0053 jelű pályázat). Ezen munkálatok során került elő, a jura időszaki felszín tisztításakor, egy újabb bányagödör részlete. A sziklafelszín tisztítási munkálatok során 5 x 1 méteres szondával harántolták az eddig feltáratlan, kovatörmelékkel fedett területet. A szonda sekély tűzkő-kitermelő gödröt tárt fel, benne agancseszközt figyeltek meg. Ezen a ponton értesítették T. Biró Katalint (Magyar Nemzeti Múzeum), aki 2015. augusztus 14-én felkereste a helyszínt.

A szondában agancseszköz és kovatörmelékkel kitöltött tűzkő kitermelő gödör, valamint szálban álló tűzkőrétegek voltak megfigyelhetők. Az agancseszköz a bányászati tevékenység legbiztosabb dokumentuma és egyben radiokarbon kormeghatározással jó lehetőséget ad a bányászat időbeli dimenzióinak pontosítására, ezért fontos volt a szondában mutatkozó leletek kiemelése, amire másnap került sor. A kiemelésben közreműködtek: Varga Zoltán (ELTE Tatai Geológus Kert, telephelyvezető) és Steiner Tibor (ELTE Tatai Geológus Kert, nyug. telephelyvezető). Három darab különálló agancseszközt és a megmunkálás nyomait mutató tűzkőszilánkokat találtunk. A tűzkő kitermelő gödröt harántoló szondáról és az agancseszközökről fotodokumentáció, rajzos metszet és felszínrajz készült (ld. **2. ábra**).

Az agancsokat erősen sérült, mondhatjuk, törmelékes állapotban tudtuk csak kiemelni. Restaurálásukra és kiegészítésükre Dúzs Krisztina restaurátort (Magyar Nemzeti Múzeum) kérték fel. Az agancseszközök restaurálását a 40. Restaurátor Szemináriumon poszteren mutattuk be (**3. ábra**, Dúzs et al. 2015). Az agancseszközökön egyértelmű használati nyomokat és rácementálódott tűzkő szilánkokat találtunk.

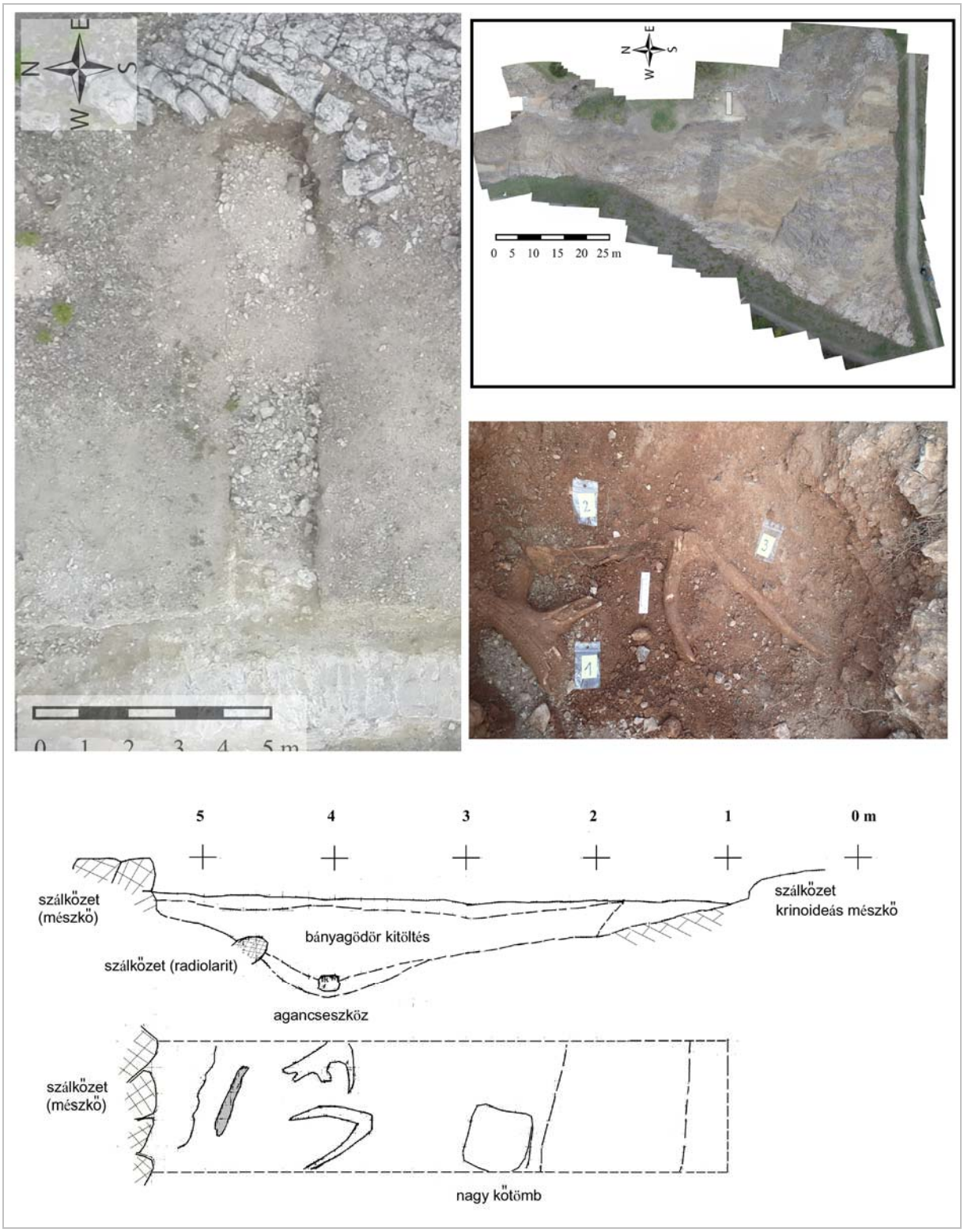
Kormeghatározás

Az agancseszközök konzerválása előtt az 1. sz. agancseszköz törmelékeiből megfelelő méretű darabot különítettünk el C-14 korhatározási vizsgálatra, amelyen semmiféle beavatkozás és főként semmilyen vegyszeres kezelés nem történt. Az agancsdarabot eljuttattuk az MTA-ATOMKI debreceni Környezetanalitikai Laboratóriumába, ahol az agancstöredéken AMS módszerrel C-14 vizsgálatot végeztek (a módszerről és annak hazai alkalmazásáról ld. Molnár et al. 2013a, 2013b). A vizsgálat eredményei a **4. ábrán** láthatóak.

A kapott eredmény jelentősen kitágítja a bányaművelés ismert határait a Tata, Kálvária-dombi lelőhelyen. A kovabányák közismerten több periódusban is használt, használható lelőhelyek, hiszen a nyersanyag geológiai előfordulási helye olyan kedvező adottság, amit több generáció, sőt több régészeti kultúra, korszak képviselői is kihasznál(hat)tak. A mért érték a bányaművelés időhatárait a késő neolitikum idejére terjeszti ki, ami a terület ismert települési viszonyai szerint a lengyeli kultúrának feleltethető meg (Bácskay & Biró 2003). A lengyeli kultúra aktív részvétele a nyersanyag kitermelés folyamatában más forrásokból is jól ismert (Biró 1998).

Az új koradat jelentőségére való tekintettel az eredményt bemutattuk a kovabányászattal foglalkozó szakemberek legfontosabb fórumán, az U.I.S.P.P. (*Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques*) kovabányászat-történeti szakbizottságának 2016. évi konferenciáján (Biró et al. 2016).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



2. ábra: Tűzkő kitermelő gödröt határoló szonda

Fig. 2.: Extraction pit for radiolarite cut through by an exploring trench

3. ábra: Agancseszközök a szondából, restaurálás után

Fig. 3.: Antler tools from the trench after conservation

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

Isotoptech Zrt.
I S O T O P T E C H Z R T .
H-4025 Debrecen, Piac utca. 53. II/9.
Tel: 06-30 206 6999, Fax: 06-52 403 921
Oldal: 1/2
Fny07-46. AMS ^{14}C vizsgálati jegyzőkönyv
Kiadás: 1.
Hatályba lépett: 2012. 07. 23.

AMS ^{14}C vizsgálati jegyzőkönyv (mintaazonosító: I/1178 sorozat)

AMS ^{14}C mérés kód	HEKAL minta kód	Minta neve/kódja	Konvencionális ^{14}C kor (év BP) (± 1σ)	Kalibrált naptári kor (cal BC) (± 1σ)
DeA-7310	I/1178/1	Szarvas agancs	5797 ± 31	4710-4610

4. ábra: Az 1. sz. agancseszközből nyert C-14 dátum

Fig. 4.: C-14 date obtained from the antler tool

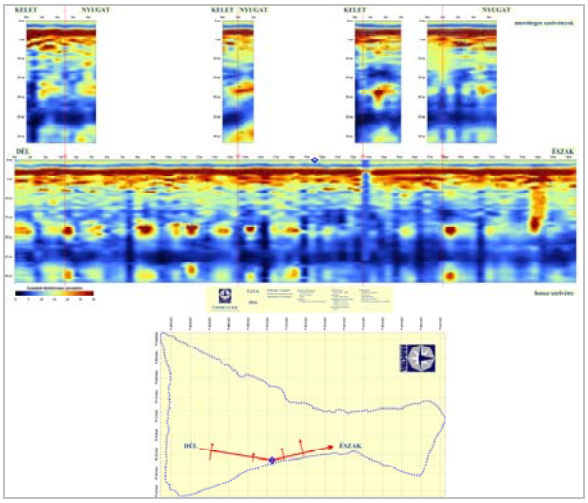
Földradar vizsgálatok

Az új leletek fényében a természetes megoldás az újabban azonosított bányagödrök teljes feltárása lenne. Tekintettel arra, hogy Tata nem egyszerű ásatási helyszín, hanem egyben aktív bemutató hely, földtani és egyben régészeti nevezetesség is, az ásatásokat körültekintően meg kell tervezni és gondoskodni a feltárandó új bányaobjektumok megfelelő védelméről és bemutatásáról is, ami jelentősen megnöveli a feltárók felelősségét és a várható költségeket is. A bányagödrök feltárását az ELTE Tatai Geológus Kert és a Magyar Nemzeti Múzeum együttműködésében tervezzük, lehetőleg pályázati támogatással. A feltárások előkészítésére Puszta Sándor a lelőhelyen két sorozatban földradar méréseket végzett.

Első alkalommal 2016 júliusában készültek ilyen vizsgálatok, GSSI-SIR 2000 típusú műszerrel. A mérőeszközt 50 cm-es periodicitással helyezték el a rétegek elhelyezkedése alapján valószínűsíthető objektumok hosszanti tengelyében (**5. ábra**). Az eredményül kapott grafikonon elsősorban ez a mesterséges periodicitás látszik, a bányagödrök helyzetét nem sikerült azonosítani. Második kísérletre (2016. IX. 8) egy, a feltételezett objektumok hosszanti tengelyében lefektetett és folyamatosan használt palló mentén, illetve erre merőlegesen méterenként felvett földradar szelvények készültek (**6. ábra**). Ezen a sorozaton már megfelelően azonosítani tudtuk az anomáliákat, amelyek véleményünk szerint a bányagödrök helyzetét jelzik. Természetesen a földradar eredményeket szeretnénk ásatásokkal is validálni, amire azért is szükség van, mert a bányagödrökből további korhatározó jelentőségű leleteket remélünk.

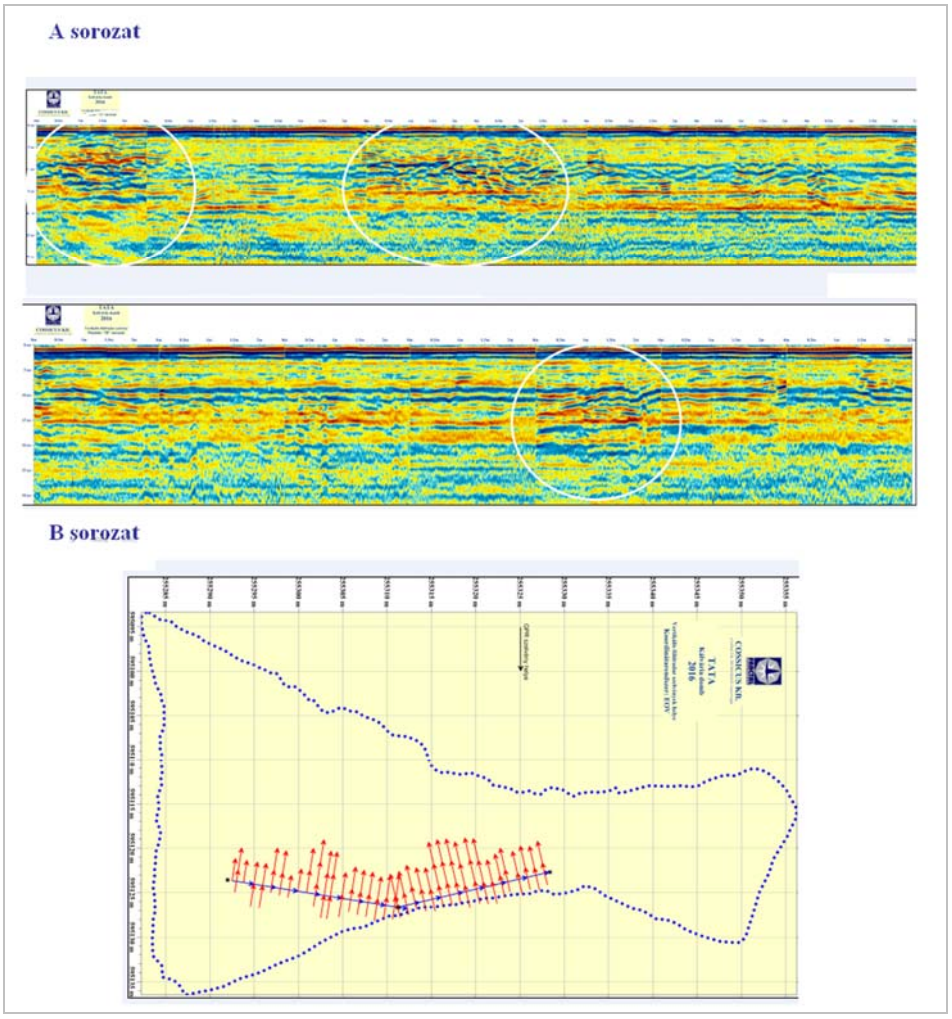
Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a KEOP-3.1.2/2F/09-11-2013-0053 jelű pályázatnak a bemutatóhely egészét érintő nagyszabású támogatásért, ami többek között az új bányagödrök megismerését is lehetővé tette. Köszönjük továbbá az MTA-ATOMKI Környezetanyalitikai Laboratórium munkatársainak a C-14 kormeghatározást, ami a bányászat időbeli kereteit jelentősen kitágította.



5. ábra: Földradar mérések, 1. sorozat

Fig.5.: Ground penetrating radar measurements, first series



6. ábra: Földradar mérések, 2. sorozat

Fig. 6.: Ground penetrating radar measurements, second series

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

Irodalom

BÁCSKAY, E. (1980): Zum Stand der Erforschung prähistorischer Feuersteinbergbau *In: Weisgerber ed. 1980 Weisgerber, Gerd ed., 5000 Jahre Feuersteinbergbau* Bochum, Deutschen Bergbau-Museum, 179–182.

BÁCSKAY, E. (1995): H-2. Sümeg-Mogyorósdomb, Veszprém county. In: LECH ed., *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* **33** 383-395.

BÁCSKAY, E. & BIRÓ, K. (2003): Raw materials, mining and trade. In: VISY, Zs. et al. (eds.): *Hungarian Archaeology at the turn of the Millennium.* Teleki Alapítvány, Budapest, 117–123. http://www.telekialapitvany.hu/joomla/images/docs/kiadvanyok/hungarian_archeology.pdf

BIRÓ, K. T., TÓTH, E., DÚZS, K. (2016): News from H-3, Kálvária-domb (Calvary Hill), Tata, Hungary. In: Mining and Quarrying. Geological characterisation, knapping processes and distribution networks during Pre- and Protohistoric times. 7th International Conference in Mons and Spiennes (Belgium). Abstract Book p. 26.

DÚZS K., BIRÓ, K. T., TÓTH, E. (2015):Agancs bányászeszközök restaurálása (Conservation of antler mining tools). *40. International Conservator Seminar, 11-13 November 2015* Hungarian National Museum (Poster).

FÜLÖP, J. (1973): Funde des prähistorischen Silexgrubenbaues am Kálvária-Hügel von Tata. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **25** 3–25.

FÜLÖP J. (1975): Tatai mezozoós alaphegységrögök. [The Mesozoic basement horst blocks of Tata.] *Geologia Hungarica Series Geologica* **16** 1–222.

FÜLÖP J. (1980): Flint mines in Hungary. *In: G. WEISGERBER ed., 5000 Jahre Feuersteinbergbau. Deutschen Bergbau-Museum*, Bochum 544–553.

HAAS, J. & HÁMOR, G. (2001): Geological Garden in the neighborhood of Budapest. *Episodes,* **24/4** 257–261.

MOLNÁR, M, RINYU, L., VERES, M., SEILER, M., WACKER, L., SYNAL, H-A. (2013a): ENVIRONMICADAS: a mini 14C AMS with enhanced gas ion source interface in the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies (HEKAL), Hungary. *Radiocarbon,* **55/2-3** 338–344.

MOLNÁR, M., JANOVICS, R., MAJOR, I., ORSOVSZKI, J., GÖNCZI, R., VERES, M., LEONARD, A.G., CASTLE, S. M., LANGE, T.E., WACKER, L., HAJDAS, I., JULL, A.J.T. (2013b): Status report of the new AMS 14C sample preparation lab of the Hertelendi Laboratory of environmental studies (Debrecen, Hungary). *Radiocarbon* **55/2-3** 665–676.

TÓTH E. (2008): Tájsebből emlékmű. [From landscape scar to monument]. *Élet és Tudomány* **27** 848–850.

Web info: https://www.elte.hu/tata

[i] Elhangzott (részben) az UISPP Flint Mining Committee (2016) Mining and quarrying. geological characterisation, knapping processes and distribution networks during Pre- and Protohistoric Times 7th International Conference in Mons and Spiennes (Belgium) konferencián

[ii] Korábban a Sümeg-Mogyorósdombon található, szintén Fülöp József és Bácskay Erzsébet által feltárt kovabánya (Bácskay 1980, 1995) is látogatható volt; sajnos, ennek fenntartása évek óta folyamatos nehézségekkel küszködik.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

ARCHEOMETALLURGIAI ÉS 3D LÉZERSZKENNERES VIZSGÁLATOK A HASFALVI KORONG LOKÁLIS ÉS INTERREGIONÁLIS KAPCSOLATAIHOZ

ARCHAEOMETALLURGICAL AND 3D LASER SCANNING INVESTIGATIONS TO THE LOCAL AND INTERREGIONAL CONNECTIONS OF THE HASFALVA DISC

SZABÓ GÉZA[1]; KUNFALVI PÉTER[2]; BÉKEFI MÓNIKA[3]

[1]Wosinsky Mór Múzeum, 7100 Szekszárd, Szent István tér 26.

[2] Geodézia Kft., 7100 Szekszárd, Keselyűsi u. 9.

[3] Déri Múzeum, 4026 Debrecen Déri tér 1.

E-mail: kaladeaa@gmail.com

Abstract

The well-known Hasfalva Disc is one of the most exciting bronze find of the Carpathian Basin. Its identical analogy was found in Balkåkra, Sweden. Through the analysis we looked for such methods that make possible to observe the identical details or the differences of these two objects. We have focused on the attributions of the drum which can be originated from the manufacturing process. These attributions can confirm whether the objects were made in the same workshop or not. At the same time they can help to gain a better understanding of the usage of these discs.

Through the analysis of the Hasfalva Disc, we have observed repetitive moulding flaws on both sides of the rectangular extensions in several cases. These little burrs are standing in 45 degree and their existence implies that the object was moulded in a vertical position, with its wheel downwards. The position of the object during the moulding reveals the function of the pyramidal ribs, which was placed in the vertical axis of the elements. Previous research concluded that they have brace functions. Our opinion is that beside the decorating function, they were used as a funnel through the moulding process. With 3D scanning we proved that the elements were curved after the moulding process. Just like the additional punching, this explains the existence of the line marks on the back of the parts and the numeration of the elements. These were essential for the assemblage of the disc. Our observations about the making process and the results of the measurements prove that the elements of the Hasfalva Disc's and the Balkakra Disc's frame were made by serial production, with the same technique and that they were assembled in the same way, in the same workshop. Altogether we conclude that the elements made by serial production, the miniaturized object from Vulci and the two distant finding places indicate a route, which connected North Italy and Scandinavia through the Carpathian Basin. This route was not only supporting the trade, but it was sustaining the interregional exchange of different cultural elements.

Kivonat

A Kárpát-medence egyik legizgalmasabb és Európa szerte ismert bronztárgya az úgynevezett hasfalvi korong, melynek pontos formai párhuzama a svédországi Balkåkrából került elő. Ezúttal olyan vizsgálati lehetőségeket kerestünk, amelyeknek egzakt eredményei egyértelműen rávilágítanak a két tárgy azonos részleteire és az eltérésekre is. Munkánk során elsősorban a készítéstechnológiai megfigyelésekre koncentráltunk. Ezek bizonyíthatják vagy cáfolhatják legkönnyebben az azonos műhelyben való készítést, ugyanakkor hozzájárulhatnak a tárgyak használatának jobb megértéséhez is. A hasfalvi korong vizsgálata során a téglalap alakú nyúlványok mindkét oldalán több esetben megfigyelt öntési hibák, mintegy 45°-ban álló sorjacseppek arra mutatnak, hogy az öntés során a tárgyat keréktaggal lefelé fordítva, függőleges helyzetben öntötték meg. Az öntési helyzet tisztázása rávilágított arra is, hogy a fő elemek középvonalában látható, korábbi kutatás által merevítő bordának tartott, gúlaszerűen kiemelkedő, háromszögalakban elkeskenyedő részek nem csupán díszítések voltak, öntőcsatornaként is működtek. A 3D lézerszkenneres vizsgálatok rámutattak, hogy a palást alkatrészeit öntés után egyenként hajlították meg, ami az utólagos átlyukasztáshoz hasonlóan indokolja az összetartozó elemek pontos megjelölését, számozását az összeszereléshez. A készítéstechnikai vizsgálataink és mérési eredményeik egyértelműen igazolták a Hasfalván és Balkåkrán előkerült korongok palástjának az elemenkénti sorozatgyártását, azonos technikai fogások szerinti készítését, összeszerelését – ugyanazon műhelyben való készítését. A lokálisan sorozatban gyártott darabok a Vulciban talált miniatűr változat és a két egymástól távol eső lelőhely alapján jól kirajzolódik maguk a tárgyak és a hozzájuk nyilvánvalóan kapcsolódó kulturális elemek interregionális áramlása Itáliától a Kárpát-medencén át Skandináviáig.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

KEYWORDS: HASFALVA DISC, BALKÅKRA DISC, CARPATHIAN BASIN, SCANDINAVIA, ARCHAEOMETALLURGY, BRONZEWORKING, TIN RICH SURFACE

KULCSSZAVAK: HASFALVA, BALKÅKRA, KÁRPÁT-MEDENCE, SKANDINÁVIA, ARCHEOMETALLURGIA, BRONZMEGMUNKÁLÁS, FELÜLETI DÚSULÁS

1. ábra: A hasfalvi korong a bajai kiállításon (Soproni Múzeum, Sopron)

Fig. 1.: The Hasfalva Disc presented in an exhibition held in Baja (Musuem of Sopron, Sopron)

2. ábra: A balkåkrai korong (Statens Historiska Museum, Stockholm, Knape & Nordstrom 1994 alapján)

Fig. 2.: The Balkåkra Disc (Statens Historiska Museum, Stockholm, after Knape & Nordstrom 1994)

Bevezetés

A Kárpát-medence egyik legizgalmasabb és Európa szerte ismert bronztárgya a Sopron melletti Hasfalván került elő 1914-ben. Akkor ez a község még Magyarországhoz tartozott, ma Haschendorfnak hívják és Ausztria része. A különleges leletre Johann Widder földműves homokbányászás közben bukkant rá. A találó elmondása szerint a „koronaszerű" tárgy két méter mélyen, áttört, négyküllős, kerékszerű részével felfelé feküdt a gödörben. Hasonló módon, mint a ránézésre vele majdnem teljesen megegyező, a svédországi Balkåkranál, 1847-ben talált korong. A két különleges formájú tárgy áttört díszítésű, csonkakúp alakú palástból és egy poncolással gazdagon díszített zárólemezből áll. A palástot tíz darab, négyküllős kerékhez hasonló, áttört korongban végződő, kiterített irhához hasonló formájú bronzöntvényből szegecselték össze. A kutatás során a tárgyat sokféleképpen nevezték: „kultusztárgy", „hasfalvi napkorong", „korona" illetve „dob" (Trommel von Haschendorf). Funkciójukra is számos további ötlet volt: edénytartó, füstölőedény, függőedény, áldozati asztal, oltárborítás, síroltár, faedény fémverete, kultuszkép, varázsdob, függő gong, napkorona, holdoltár, gyújtótükör, fazsámoly borítása, füstölőtartó, naptárkorong, csillagászati eszköz, stb. (**1-2. ábra**).

Kutatástörténet

A hasfalvi lelőhelyen 1914-ben a soproni múzeum igazgatója, Bünker János Rajnárd, majd 1997-1999 között Karl Kaus, a Burgenlandi Tartományi Múzeum régésze végzett hitelesítő feltárást. Az alacsony dombon a késő bronzkori Urnamezős kultúra legkésőbbi periódusától a korai római korig voltak apróbb cserép- és állatcsontleletek. A kutatók csak néhány sekély gödröt találtak, amelyek betöltésében faszén-maradványokra és égetett kisállat-csontokra bukkantak. De találtak mélyen a sziklafelszínbe vésett, háromszögű és négyszög alaprajzú, kádformájú bemélyedéseket is (Kaus & Kaus 2012, 307-308). Kaus szerint ezek arra mutatnak, hogy a kultikus bronzkorongot egy folyamatosan használt gyülekező-, áldozati helyen áshatták el (Kaus & Kaus 2012, 316). A tárgyat legutóbb Gömöri János és Karl Kaus, a Vulcinál talált miniatűr változat alapján, az Urnamezős- és a Hallstatt kultúra átmeneti időszakára, a Kr. e. 900–800 közötti évszázadokra keltezték. Az etruszk sírban talált párhuzam alapján azt is felvetették, hogy a Sopronban és Stockholmban őrzött leleteket egyaránt Észak-Itáliában készíthették. Továbbá feltételezték, hogy a hasfalvi korong lelőhelyén egy „szent berek" lehetett, ami a tűzáldozat bemutatásának, valamint a delphoi *omphalos*hoz hasonlóan a bíráskodásnak vagy a jóslásnak is a helyszíne lehetett. Szerintük a bronzkorong egy fára

lehetett montírozva és ülőalkalmatosságnak is használhatták (Gömöri & Kaus 2014, 73; 2014a, 128)

Anita Knape és Hans-Åke Nordstrom feltételezték, hogy a hasonló formai jegyek, azonos méretek miatt a balkåkrai korong alsó részének 10-10 elemét ugyanabban az öntőformában készítették. Az áttörések és a lemezszerű anyag, a széleken megfigyelhető sorja maradványai miatt előmelegített kő öntőformára gondoltak. A síkban megöntött elemeket feltételezésük szerint utólag hajlították a megfelelő ívre és lyukasztották át a szegecseléshez. (Knape & Nordstrom 1994, 26) A hasonlóképpen készített hasfalvi korongnál kevésbé tapasztalták az utólagos megmunkálás nyomait. A díszítéseket az alsó részre és a korongra is utólag poncolták. (Knape & Nordstrom 1994, 32) Az egyes elemeket az összeszereléshez két sorozatban, különböző módon elhelyezve, vésővel beütött I-IIIII vonással jelölték. A műhely szerintük a közép-európai régióban, a mai Bajorország, Ausztria, Szlovákia, Magyarország és Nyugat-Románia területén bárhol lehetett. (Knape & Nordstrom 1994, 49)

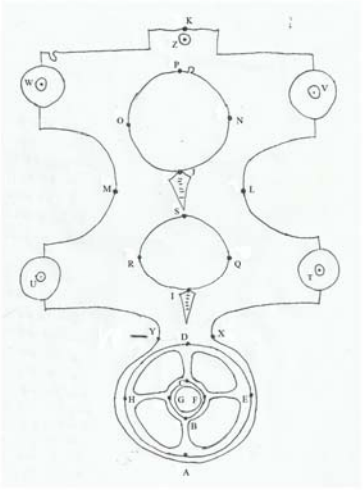
A vizsgálat célja, módszerei

Mint látható, a tárgy pontos rendeltetése, kora nem egyértelmű. Sőt, még abban is erősen megoszlanak a vélemények, hogy melyik az alja, s melyik a teteje. A hasfalvi korong mégis egyszerre nyújt kitűnő lehetőséget az európai késő bronzkor – kora vaskor átmeneti időszakának lokális és interregionális kapcsolatainak vizsgálatára. Az eddigi kutatások során azonban abban viszonylag egységes vélemény alakult ki, hogy a hasonmásának számító balkåkrai koronggal azonos műhelyben készítették, vagyis lokális termék, amely több távoli régióba is eljutott. E vélemény alátámasztására vagy cáfolására olyan vizsgálati lehetőségeket kerestünk, amelyeknek egzakt eredményei egyértelműen rávilágítanak az azonos részletekre és az eltérésekre is. Archeometallurgiai szempontból elsősorban a készítéstechnológiai megfigyelésekre koncentráltunk. Ezek bizonyíthatják vagy cáfolhatják legkönnyebben az azonos műhelyben való készítést, ugyanakkor hozzájárulhatnak a tárgyak használatának jobb megértéséhez is. Karl Klaus és Gömöri János legutóbbi, a hasfalvi korongról készült alapos leírását és kiváló kutatástörténeti összefoglalását szeretnénk egy olyan vizsgálattal kiegészíteni, amely alkalmas az egyes alkatrészeknek az eddigieknél részletesebb vizsgálatára, a későbbiekben pedig alapját jelenthetik a balkåkrai koronggal való egzakt összehasonlításnak is. A vizsgálatok során semmiféle roncsolásos beavatkozásra nem került sor, a méréseket hagyományos eszközökkel, illetve Leica P20 típusú 3D lézerszkennerrel végeztük, az adatokat statisztikai módszerekkel dolgoztuk fel.

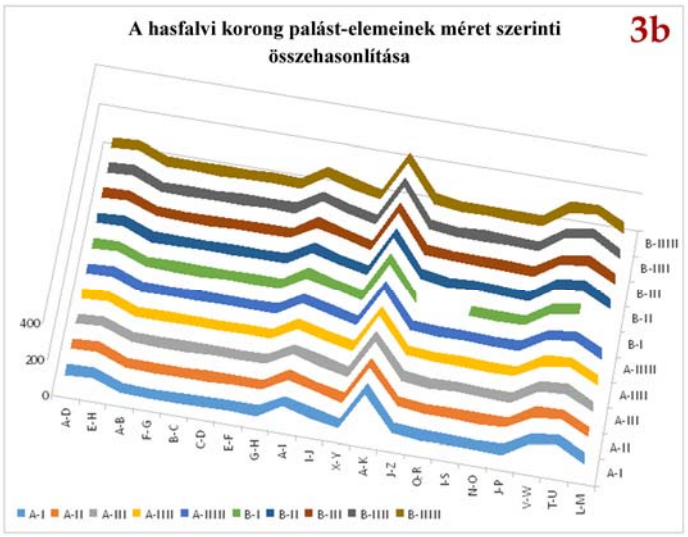
Az eddigi kutatás elsősorban a nagyfokú hasonlóság és következetesen ismétlődő jelenségek alapján feltételezi az elemek sorozatgyártását. Azonban az eddigi vizsgálatok nem adtak választ arra az alapvető kérdésre, hogy a palást elemeit pontosan milyen módon öntötték meg, például hol volt az öntőcsap (engus). Ennek tisztázása azért is fontos, mert akár viaszmintákkal, egyetlen homokba nyomott kifaragott fa mintával, de kő- vagy kerámia öntőformával is lehet sorozatban tárgyakat előállítani. A viaszveszejtést az elemeken megfigyelt, az öntési síkot is jelző sorja mindkét korong esetében kizárja, azonban a formázás és az öntés részleteire önmagában ez a jelenség még nem világít rá. Ezért a gyártás menetének és módjának egyértelmű bizonyítására a hasfalvi korongon olyan mérőpontokat kerestünk, amelyek egymástól mért távolsága mérhető, statisztikailag feldolgozható, alkalmas a hasonlóság mértékének egzakt kimutatására. A mérés során minden egyes részt úgy kezeltünk, mint egy önálló objektumot, a jelöléshez a rajta lévő számozást használtuk.

A mérési adatok felvételéhez a hasfalvi korongon olyan pontokat jelöltünk ki, amelyeknek távolságát sem az öntés, sem az utólagos megmunkálás nem befolyásolta. Sajnos a balkåkrai korong hasonló vizsgálatára nem volt lehetőségünk. Hasonló esetekben már többször sikerrel alkalmaztuk a konkrét távolságadatok helyett az azokból számított arányszámok összehasonlítását. Ezúttal is a tárgyon mért, illetve a jó minőségű képeken azonos módon felvett pontok közötti távolságok arányát hasonlítottuk össze (Knape & Nordstrom 1994, Taf. X). Vizsgálatunk során az A pont a kerék és a küllő, az A, B, C, D pontok egészen a G-ig gyakorlatilag a kerék és a küllők illetve a belső körnek a találkozási pontjai. Az I pontunk az elem legmagasabb pontja a felső orrszerű megerősítésnek, a J pont az alsó ugyanilyen bordának a legmagasabb kiemelkedő pontja. A K a lemezöntvény vége, az L a baloldalai, a M a jobboldali széle a fél ívnek. Az N, O, P pontok pedig a középső, alsó-középső kis áttörésnek, a Q, R, S pontok a fölső kis áttörésnek a keresztpontjai. Mindenütt azt a pontot vettük, ahol a lemez síkja megtörik, tehát ami elvileg az öntvénynél fixen kellett, hogy maradjon, a sorja eldolgozása kevésbé érintette. Hiszen a belső részeken a sorja eldolgozása jelentős méretbeli és formai eltéréseket okozhat. Az elemeket egymáshoz rögzítő szegecseket, szegecsek fejének középpontját is lemértük, ezek a T, U, V, W pontok.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

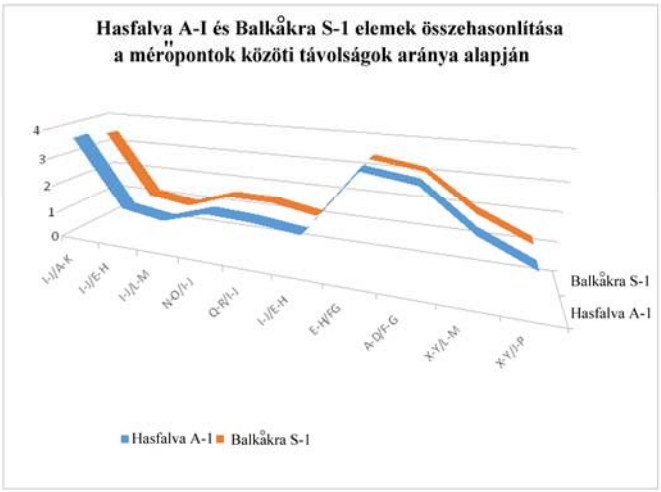


3a



	A-I	A-II	A-III	A-IIII	A-IIIII	B-I	B-II	B-III	B-IIII	B-IIIII
A-D	83	83	83	82	82	82	82	82	82,5	82
E-H	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
A-B	30	30,5	29	29	28,5	29	27	29	29,5	29
F-G	25,3	25	26	26,5	26,5	26	27	26	26	27
B-C	25,3	25	26	27	26,5	26	28	26	26	26
C-D	29,5	27,6	30	27,5	30	29	29	29	30	29
E-F	32	31	31,5	32	32	32	33	31	33	33
G-H	30	31	31	30,5	30	31	31	30,5	30	30,5
A-I	112	112,5	112	112	111,5	112	112	112	113	113
I-J	70	71	72	71,5	72	72	73	72	74	73
X-Y	35,5	35	35	35,5	35,5	36	37	37	38	39
A-K	260	260	259	257	257	262	265	260	261	257
J-Z	62	65,5	64,5	65	64	69,5	67	63	65	67
Q-R	48,5	49,5	49	49,5	49,5		46	49	46	49
I-S	49,5	51	52	51,5	52	49	50	48	49	49
N-O	46	47,5	47	46	45	45	44	44	44	44
J-P	44	49	43,5	46	44	45	40	41	42	40
V-W	133,5	137	135	133	134	137	134	130	136	138
T-U	150	147	145	150	146	155	146	145	155	148
L-M	72	73	72	72	75		72	72,5	73	74

Arány	Hasfalva A	Balkåkra S-1
I-J/A-K	3,71	3,51
I-J/E-H	1,27	1,25
I-J/L-M	1,02	1,01
N-O/I-J	1,52	1,55
Q-R/I-J	1,44	1,55
I-J/E-H	1,27	1,25
E-H/FG	3,51	3,45
A-D/F-G	3,28	3,21
X-Y/L-M	2,02	2,02
X-Y/J-P	1,23	1,28



3a ábra: Mérési pontok a palástelemen

Fig. 3a.: The measuring points on the plate

3b ábra: A hasfalvi korong palást-elemeinek méret szerinti összehasonlítása

Fig. 3b.: Comparison of the sizes of the Hasfalva Disc's elements

3c ábra: Hasfalva A-I és Balkåkra S-1 elemek összehasonlítása a mérőpontok közötti távolságok aránya alapján

Fig. 3c.: Comparison of the Hasfalva A-I and the Balkåkra S-1 elements, through the ratios of distance of the measuring points

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

A K pont felett még külön lemértük a lemezszegecsnek a rögzítő pontját a tetőponttól. Ez az adat utalhat arra, hogy a szegecseléshez ezeket a lyukakat valóban utólag készítették-e az öntvényen, vagy sem. Az X-Y pont közötti távolság a nyaktag legkisebb szélessége. A mérésnél a hátoldal síkjában lévő sorja miatt különösen ügyelni kellett arra, hogy az elem elülső síkjában vegyük fel az adatot (**3a-c ábra**).

Megfigyelések

A hasfalvi korong és északi párhuzama is egy csonkakúp alakú áttört palástból valamint egy, a keskenyebb oldalát lezáró, lemezpánttal rárögzített kerek lemezből áll. A palást kialakítása során összesen tíz, kiterített irhára emlékeztető öntött elemet az összeérő szárnyakon egy-egy, így tagonként 4-4, kétrészes, kúpos nittszeggel rögzítettek egymáshoz (**4. ábra**).

Az egyik végükön áttört korongra hasonlító, négyküllős keréktagban végződő, a másikon keskeny, mindössze 2,5 cm széles, 1,5 cm hosszú téglalap alakú, 3-4 mm vastag nyúlványban végződő elemek egyenként kb. 27 cm magasak és 16,5 cm szélesek, két sorban poncokkal díszítettek. A cikk-cakk vonalban szintén gazdagon poncolt lemezt és a palástot egy 4,2 cm széles szalaggal és ugyancsak kétrészes kúpos fejű szegecsekkel állították össze. Így a 27,7 cm magas, enyhén ovális tárgy átmérője felül 40-41 cm, alul 49-51 cm.

4. ábra: Hasfalva B-II palástelem

Fig. 4.: The B-II plate of the Hasfalva Disc

5. ábra: Hasfalva A-IIIII elem vésővel beütött számozása a nyaktagon

Fig. 5.: The chisel-made number (mark) on the neck of the A-IIIII plate of the Hasfalva Disc

6. ábra: Hasfalva B-III elem jelölése a vízszintes küllő mellett

Fig. 6.: The mark beside on the horizontal spoke of the Hasfalva Disc's B-III element

A balkåkrai korongon a keréktagokon öt esetben vésővel beütött vonás S1-5 (S=Strich), öt esetben pedig poncolóval kialakított pont P-1-5 (P=Punkt) jelöli az egyes elemeket (Knape & Nordstrom 1994, Abb.15., Taf. XVIIa-b). A hasfalvi korong elemeinek hátoldalán ugyancsak két sorozatban látható jelölés, de ott mindet vésővel ütötték be: az I-IIIII rovátkolás a kerékelem feletti nyaktagon, illetve a kerék vízszintes küllője mellett találhatók (**5-6. ábra**).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

A kutatás során egyébként valaki zöld filccel írt A-J betűkkel is megjelölte az egyes elemeket. Az irodalmi utalások alapján látható, hogy Anita Knape és Hans-Åke Nordstrom munkájuk során már használták ezeket a jelöléseket (Knape & Nordstrom 1994, 32). Ez az utólagos feliratozás folyamatos, nem vette figyelembe, hogy az eredeti kétszer öt szám nem kiegészíti egymást, hanem a két kezdő 1-es és a záró 5-ös van egymás mellett, illetve a balkåkrai korongnál az S5-S4 elemek sorrendje ráadásul felcserélődött. Mi az eredeti jelzést követve, a hasfalvi korongnál öt esetben a kerék nyaktagján lévő számokat tekintettük az „A" sorozat I-IIIII, a vízszintes küllő melletti öt jelölést a „B" sorozat I-IIIII elemének. A B-I elemnél a jelölés egy darab 11,3 mm hosszú vésőnyom, A-II-nél két hasonló beütés látható. Az A-IIIII jelölésnél jól látható, hogy a vonások hossza eltérő. Pedig nyilvánvalóan ugyanazzal a vésővel ütötték be a jelzéseket, az eltérő hossz inkább csak ütés erősségének és/vagy a véső felülettel bezárt szögének különbségére utal. Az egyes elemeken önálló számozás óhatatlanul is felveti a kérdést, hogy mi lehetett ennek a szerepe? Sorozatban gyártott azonos méretű alkatrészekből összeszerelt tárgynál ennek nem sok értelme lenne. Azonban eltérő méretű, vagy az összeszerelés előtt valamilyen módon átalakított, megmunkált alkatrészek felhasználásánál ez nagyon praktikus eljárás. Ebben az esetben ilyen átalakítás lehetett az egyes elemek öntés utáni meghajlítása és a részben már előkészített helyeken a teljes átlyukasztása is (**7. ábra**).

A fő elemek középvonalában látható megvastagodó részeket a kutatás általában merevítő bordának tartja. Azonban ennek ellentmond ezek elhelyezkedése és alakja is. Az áttörések fölé, megszakításokkal elhelyezett, gúlaszerűen kiemelkedő, háromszögalakban elkeskenyedő vastagabb részek a terhelhetőséget sem hossz- sem keresztirányban nem növelték.

7. ábra: Utólagos lyukasztás nyomai az A-III elem téglalap alakú nyúlványán

Fig. 7.: The marks of the additional punches on the A-III element's rectangular extension

8. ábra: Díszítőelemnek is felhasznált öntőcsatorna az A-IIIII elemen

Fig. 8.: The funnel on the A-IIIII element, which was used as decoration as well

Ahhoz úgy kellett volna elhelyezni őket, hogy a tárgy teljes magasságában meg legyen a folytonosságuk. Felületük poncolt, így ezek akár egyszerű díszítések is lehetnének, azonban az egyszerű, szögletes forma az egyébként mindenütt ívelt vonalvezetésű tárgyon önmagában is óvatosságra int. A tárgy stabilitásának kérdése a használat módjával is szorosan összefügg, ezért vizsgálatunk során különösen figyeltünk az ezzel kapcsolatos jelenségekre (**8. ábra**).

A hasfalvi korongon viszonylag kevés az egyes elemek utólagos megmunkálására utaló nyom. A palást részein egyértelműen az anyag nyújtására utaló kalapácsnyomokat nem találtunk. Azonban több elemen is jól látható, hogy a hátlappal egy síkban lévő vékony sorját érdekes módon nem távolították el, hanem visszahajtották, rákalapálták a tárgyra (**9. ábra**).

Ez az igénytelen megoldás egy ilyen különleges tárgynál meglepő. Az egyes elemek alapanyaga változó színű és minőségű, többnél zárványos. A B-I elem például különösen a kerék részen kifejezetten porózus felületű, a többinél sötétebb színű.

9. ábra: A hátlapra kalapált sorja az A-II elemen

Fig. 9.: Burr hammered on the back of the A-II element

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

10. ábra: Sorjacseppek és öntési hibák az A-II elem téglalap alakú nyúlványának mindkét oldalán

Fig. 10.: Burrs and flaws on both sides of the rectangular part of the A-II element

11. ábra: Vésőnyomok és törésfelületek az eltávolított engusz helyén a B-IIIII elemen

Fig. 11.: Chisel marks, fracture surfaces on the location of the removed casting pin on the B-IIIII element

Ez egyébként erősen sérült is, hiányzik a bal oldalának alsó negyede és a többi részén is hat törés illetve repedés látható. Anyagvizsgálat nélkül nehéz eldönteni, hogy a szín- és minőségbeli eltérések az egyes elemek különböző anyagösszetételére vagy a tárgy részleges megégésére, esetleg egyszerűen csak egy, a műhelyben kevésbé jól sikerült öntésre utalnak. Egyértelműen a nem teljesen tökéletes öntésre utalnak egyébként az egyes elemek felső részén lévő oldalsó nyúlványok tetején látható, bedermedések miatti anyaghiányok is. Az A-II lemezen a téglalap alakú nyúlvány mindkét oldalán érzékelhető, hogy széle egyenetlen, a bronz megdermedt, nem folyt oda mindenhova. Ugyanitt a függőlegesen álló rész oldalán pedig apró, de mintegy 45º-ban lefelé álló sorjacsepp van, ami az A-III elemen teljesen hasonló módon ismétlődik (**10. ábra**). Ez egyértelmű bizonyítéka annak, hogy az öntés során a tárgyat keréktaggal lefelé fordítva, függőleges helyzetben öntötték meg. Ennek megfelelően az engusz csak a felső részen lehetett. Az eltávolított engusz pontos helyére a felső, függőleges nyúlványok végén látható vésőnyomok és a grízes törésfelületek utalnak (**11. ábra**).

12. ábra: A poncolásnak a hátoldalon is látható nyoma a B-IIII elemen

Fig. 12.: The marks of the punching on the back of the B-IIII element

Az öntvények a kisebb eltérések ellenére is viszonylag egyenletesek, az egyes elemek vastagsága csak néhány tizedmilliméteres eltérést mutat.

Az elemek középtengelyében lévő két, enyhén ovális áttörésnél, körben a lemezszerűen megöntött test szélén és a négyküllős keréknél több darabon is a behajlított, a belső oldalra rákalapált sorja látható. Ez a jelenség azért nagyon fontos, mert ez egyértelműen mutatja, hogy ez a tárgy nem készülhetett viaszveszejtéssel. A szegecslyukak körül szintén látható sorja, de ott csak rövid, szakadozott, többnyire kúposan felperdülő lemezkék vannak. A szegecslyukak körül az előlapon kráteresen bemélyedő. a hátlapon kitüremkedő rész van. Ez összességében arra mutat, hogy a lemezeket a szükséges pontokon poncolóval az előlap felől átütve lyukasztották ki. Az öntvények utólagos, némileg eltérő helyen való átlyukasztása már önmagában is indokolttá teszi az egyes elemek megjelölését, számozását.

A palást oldalsó elemeit a vékonyabb, lemezszerű részeken nagyon hasonló módon, poncolással gazdagon díszítették. Ehhez alapvetően hegyes és egyenes élű poncokat használtak (**8. ábra**). A hegyes poncok lenyomata némileg változó, hol szabályos kerek, hol inkább ovális, vagy a háromszöghöz közelít. Az eltérések a díszítéssorban változó helyen figyelhetők meg, ezért azok inkább az eszköz újrahegyezésére utalhatnak. A poncolás átnyomódott a hátoldalra is, ott súrolófényben jól láthatók az előlap díszítését követő kis kiemelkedések (**12. ábra**) Az egyes elemek megvastagodó részeit (kerekek, gúlaszerűen kiemelkedő, háromszögalakban elkeskenyedő részek) egyenes vonalakkal tagolták, ezek száma, mélysége, de még pontos elhelyezkedése is változó. Ezek a jelenségek egyértelműen a díszítés utólagos elkészítését bizonyítják. Az öntési helyzet tisztázása rávilágít arra is, hogy a fő elemek középvonalában látható, korábbi kutatás által merevítő bordának tartott, gúlaszerűen kiemelkedő, háromszögalakban

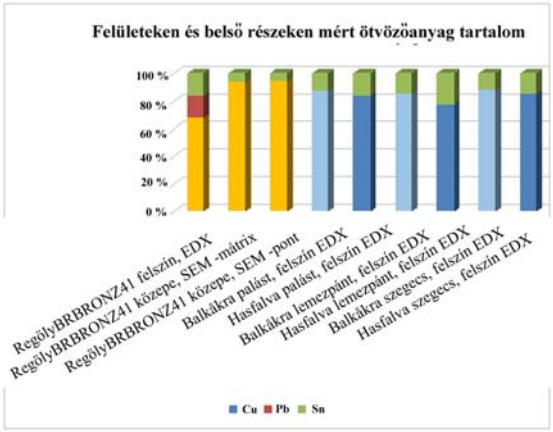
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

elkeskenyedő részek az öntéskor mint egy tölcsér gyűjtötték magukba az olvadt bronzot és továbbították a vékonyabb, ráadásul az áttörés miatt megosztott területek felé.(**4., 8. ábra**) Pontosan úgy, mint ahogy az elemek tetején lévő, utólag eltávolított enguszok is. Erre azért volt szükség, mert a nagyobb mennyiségű bronz nem dermedt be olyan gyorsan, és a gravitáció mellett a nagyobb tömege miatti túlnyomás is segítette a forma jobb kitöltésében. Mindez egy nagyon jól átgondolt, az apró részletekig megtervezett formakészítésről és öntésről tanúskodik.

A tárgy alapanyaga

A hasfalvi korong alapanyagának vizsgálatára az irodalmi adatok szerint két alkalommal, 1985-1991 között Gegus Ernő, Kis-Varga Miklós, majd Ernst Pernicka közreműködésével került sor (Gömöri & Kaus 2014, 71, Pernicka 2010). Ennek megfelelően a mérési módszerek, eszközök és célok is mások voltak. Gegus Ernő lézer-mikrospektrokémiai elemzése során három párhuzamos mérést végezett a két korong azonos alkatrészein, amit a balkåkrai korongon kontrollként teljes sorozatban megismételt. Ez alapján és a statisztikai számításai alapján úgy látta, hogy eredményei 95%-os pontosságúak. A mérési adatok az alkatrészeknél mindkét tárgy esetében magas, 10-17 % közötti óntartalmú bronz alapanyagra mutattak (Gegus 1994, 67). Kis-Varga Miklós röntgenfluoreszcensz mikrospektrum analízissel 42 ponton vizsgálta meg a hasfalvi korongot, s megfigyelése szerint az alsó rész öntött elemeinek meglehetősen hasonló adatai homogén bronz alapanyagra utaltak, amelyben a mérési hibahatárokat is figyelembe véve az átlagos 86/14% réz/ón ötvözetben kis koncentrációban 0,13% As, 0,008% Ag, és 0,026% Pb ólom is volt. Táblázatba foglalt mérési eredményeit tekintve azonban szembeötlő, hogy a korábbi vizsgálathoz képest mindkét tárgynál az egyes pontokon rendre magasabb ötvözőanyag tartalmat mért (**1. táblázat**).

	Cu	Pb	Sn
RegölyBRBRONZ41 felszín, EDX	66,18%	15,78%	15,73%
RegölyBRBRONZ41 közepe, SEM -mátrix	92,15%	0,17%	6,22%
RegölyBRBRONZ41 közepe, SEM -pont	92,47%	0,00%	5,22%
Balkåkra palást, felszín EDX	86,80%		13,20%
Hasfalva palást, felszín EDX	84%		16%
Balkåkra lemezpánt, felszín EDX	85,40%		14,60%
Hasfalva lemezpánt, felszín EDX	77,40%		22,60%
Balkåkra szegecs, felszín EDX	87,80%		12,20%
Hasfalva szegecs, felszín EDX	85,60%		14,40%



1. táblázat: Felületen és belső részeken mért ötvözőanyag tartalom

Table 1.: The measured rates of the alloys on the surface and the inner parts

Ez különösen nehezen magyarázható – még a mérési hibahatárt is figyelembe véve – a hasfalvi korongnál a rögzítő lemezpánton mért 22,6 +/-1,6% ón estében. Ilyen óntartalom mellett a lemezt már nem lehetett volna nyújtani, alakítani, díszíteni – ez már olyan ötvözet, amely rendkívül rideg, törékeny, lemezmunkára alkalmatlan. A tárgyak felületén végzett két méréssorozat eredményei, mint az a kontrollmérések alapján látható, önmagukat és egymást is jól kiegészítik, ugyanakkor az azok alapján feltételezett réz-ón ötvözet tulajdonságai nem egyeztethetők össze a vizsgált tárgyak készítése alapján feltételezhető alapanyaggal. Ez az ellentmondás nem ismeretlen, hasonló jelenségekkel találkoztunk az 1990-es években például a Regöly-Veravár bronzlelet elemzésekor (Szabó 2013). A kincslelet 132. számú (csiszolat azonosítója: BRBRONZ41), drótszálnak meghatározott tárgyán szintén a felületen és röntgenfluoreszcensz mikrospektrum analízissel vizsgálva, a korongokhoz hasonlóan magas, 15,73 %-os óntartalmat mértünk (amihez hasonlóan magas ólomtartalom is társult). A csiszolati képen már 50x-os nagyításnál jól láthatóan a belső részen egyenes vonalak mentén elhelyezkedő ikerkrisztallitok és a szélek közelében kivált, sárgásszínű ónbő réteg különült el. Ezért a belső részek összetételét SEM segítségével külön is megvizsgáltuk, s ott mindössze csak 5-6 % volt az átlagos óntartalom (**13. ábra**).

13. ábra: Ónbő réteg drótszál külső részén (Regöly-Veravár 132, BRBRONZ41. csiszolat)

Fig. 13.: Tin-rich layer on the surface of a wire (Regöly-Veravár 132, BRBRONZ41 metallographic section)

Az elmúlt két évtized legkülönbözőbb mintavételi módszerekkel és technikákkal mért fémvizsgálati eredményeinek egyik jelentős új megtapasztalása volt, hogy az őskori bronztárgyaknál részben a használt technológia, részben a korróziós folyamatok miatt az ötvöző- és szennyező anyagok a felületen jelentős mértékben feldúsulnak (Szabó 1998; 2002). A többnyire a felszín, illetve a felszínközeli részeket vizsgáló roncsolásmentes eljárások ezért mértek rendre a valós összetételnél jóval magasabb óntartalmat – minden jel arra mutat, hogy ez történt a hasfalvi és a balkåkrai korongok múlt századi elemzései során is (Kis-Varga 1994, 68; Szabó 2012). Bár indokolt lett volna, tekintettel a hasfalvi korong jelentőségére és nagy értékére, sajnos a kiállított tárgyból a vizsgálatunk idején nem lehetett olyan mintát venni, amely alkalmas lett volna csiszolatkészítésére, a belső rácsszerkezet elemzésére, valódi összetételének vizsgálatára. Ezért a mostani munkánk során csak a korábban publikált adatokat tekintettük át, az irreálisan magas óntartalomra utaló értékeket az elsősorban a készítéstechnológia oldaláról felvetett kérdések megválaszolása során nem vettük figyelembe. Bízunk abban, hogy a következő restaurálás alkalmával lesz lehetőség egy újabb, megfelelő módon megtervezett és kivitelezett, az összetétel mellett a rácsszerkezetet is megvilágító anyagvizsgálatra, amely már a valódi ötvözet ismeretében lehetővé teszi ennek a két rendkívül fontos tárgynak az összehasonlítását és a nyersanyagbázisokhoz való kapcsolatuk felderítését is. Erre egyébként tudomásunk szerint Ernst Pernicka már tett is újabb kísérletet, mintát vett mindkét tárgyból, azonban vizsgálati eredményeinek egyelőre csak az ólomizotópokra vonatkozó részével találkoztunk (Pernicka 2010, 731-732). Kutatásait arra alapozza, hogy véleménye szerint az ólom izotópjainak aránya nem függ az ötvözet egyes fázisokban való eloszlásának mértékétől, attól, hogy fémben vagy salakban van-e, s a kohászati folyamatok sem befolyásolják az értékeket (Pernicka 2014, 249). A nebrai korong vizsgálatába a hasfalvi és a balkåkrai leletet is bevonta, amelyek – ugyan nem közölt - kémiai összetételét teljesen hasonlónak tartja, mint a nebrai leletét. Ugyanakkor az ólomizotópok - mint az a közreadott mérési eredményekből is látható (Pernicka 2010) - még tárgyon belül is nagyon változó aránya alapján ismét felveti azt a gondolatot, hogy az alkatrészek öntése nem egyszerre, hanem részletekben, többszöri olvasztásból származó bronzzal történt (Gegus 1994, 67; Pernicka 2010, 731). A nebrai korong nyersanyaga az elemzések eredményei alapján szerinte a Keleti-Alpokból származik, s így az előbb említett hasonlóság következtében, áttételesen ugyan, de az általunk vizsgált két tárgy esetében is ottani bányákra kellene gondolnunk (Pernicka 2010, 732). Ez összhangban is van a korongok gyártási helyét a közép-európai régióba helyező véleményekkel (Knape & Nordstrom 1994, 49).

Azonban az, a hogy két korong mérési adati a grafikonon a nebrai lelet érékeivel nincsenek fedésben, hanem sokkal inkább annak két oldalán helyezkednek el, valamint az, hogy Pernicka legutóbb pedig határozottan a szlovák Érchegységet (Garam völgye) nevezte meg a svédországi leletek – így a balkåkrai koronghoz használt alapanyag – eredeteként (Pernicka et al 2016, 39-41), a feltételezhető nyersanyaglelőhely tekintetében továbbra is óvatosságra int (Pernicka 2010, Abb. 10). Különösen, hogy magának a nebrai korongnak az adatai is igazából az Érchegység és Mitterberg rézérceinek értékei között helyezkednek el (Pernicka 2010, Abb. 11; Pernicka et al 2016, Fig. 16), ahová a jóval szórtabb, így ezt a két területet is lefedő szlovákiai adatok is esnek (Pernicka 2016, Fig. 17). Mindez együttesen inkább arra mutat, hogy a korongokat és azon belül az alkatrészeiket is nem csak a Pernicka által eltérő kémiai összetételűnek mondott, de ahhoz hasonlóan eltérő eredetű alapanyagú ötvözetekből készítették. Ebben a kérdésben – mint már említettük is – a korongok újabb, komplex összehasonlító anyagvizsgálatával lehet majd tisztábban látni. Azonban már elöljáróban is meg kell jegyeznünk, hogy bár a felületi ón – és mint a regölyi példa alapján

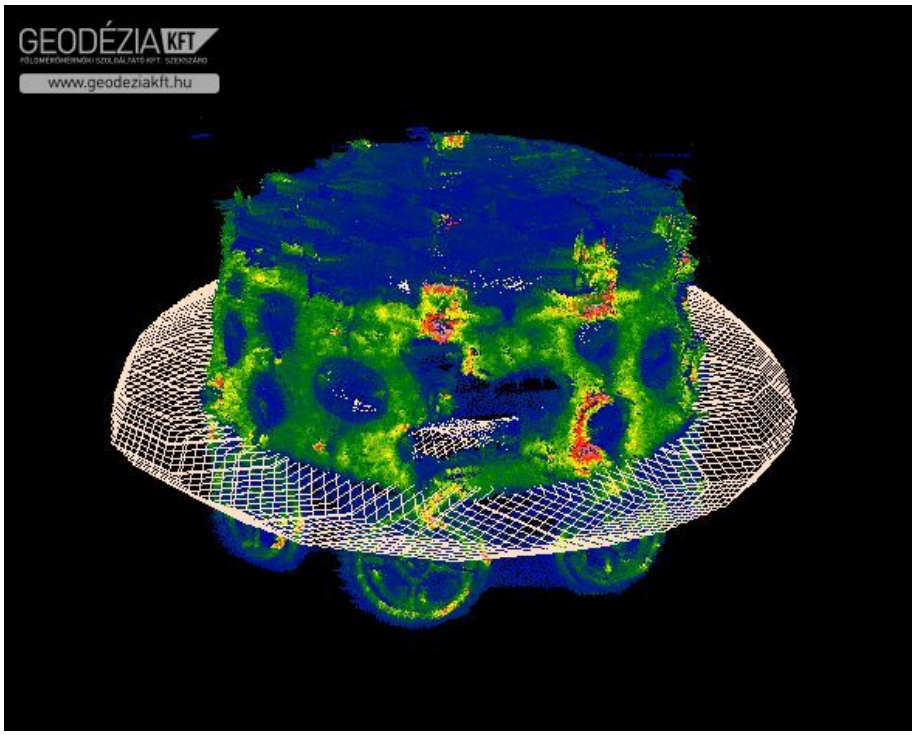
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

láthatjuk, vele együtt az ólom – dúsulása Pernicka véleménye szerint az izotópok arányát nem befolyásolja. Azonban többek között Mark Pollard is kétségesnek tartja, hogy az ólomizotópok a metallurgiai folyamatok során nem változnak-e meg (Pollard, 2014, 231-232). Ha igen, akkor az ötvözet valódi összetételének is szerepe lehet az izotópok arányainak alakulásában. A kétségek eloszlatását az sem segíti, hogy Johan Ling és munkatársai a nagy szériában, 71 bronztárgy ólomizotóp vizsgálatának eredményei alapján a svédországi bronzkor nyersanyagellátásában – Pernicka véleményével szemben, teljesen meglepő módon – alapvetően az Ibériai-félsziget, Szardínia bányáinak tulajdonítanak meghatározó szerepet (Ling et al 2014).

3D lézerszkenner vizsgálatok

Vizsgálataink során megfigyeltük, hogy az egyes elemek eltérő mértékben meghajlanak, ezen belül a lemezes felső rész és az alsó keréktag íve is eltérő. Az A-I elemnél például jól látható, hogy a 6,2 mm vastag keréktag görbülete messze elmarad a felette lévő 1,8 mm vastag lemezrész ívétől. Érdekes módon a kerék alsó küllője is távolabb van az egyenes síktól, mint a felső. Olyan, mintha belülről kifelé megütötték volna a kerék középső részét, és ezzel nem csak a vízszintes, de a függőleges tengelyhez képest is meggörbült a tárgynak ez a része. Ezek a jelenségek mindenképpen az öntés utáni további, ráadásul térbeli alakváltozásra utaltak. Már az adatok előzetes feldolgozása során kiderült, hogy a már korábban több esetben sík felületeken sikeresen alkalmazott összehasonlító mérési pontok használatával ezeknél a térben is meghajló (ívelt) tárgyaknál nem kapunk minden kérdésünkre egyértelmű választ. Például arra sem, hogy az elemeket eleve íveltre öntötték, vagy utólag hajlították-e meg. A hátoldal síkjában megfigyelt sorja csak a kétrészes öntőforma használatát bizonyította, ahol a zárólap elvileg lehetett akár sík, akár ívelt is. Ezért a modern térinformatika eszköztárának segítségével, 3D lézerszkennerrel is megvizsgáltuk a hasfalvi korongot. A szkennelés és az adatok feldolgozása során számos módszertani kérdés merült fel. Az egyik komoly gondot a rendkívül „zajos" pontháló okozta. Az okok kiszűrésére különböző felületű (matt, fényes, lakkozott) bronztárgyakat is megvizsgáltunk. Azt tapasztaltuk, hogy mint a fényt, ezek a felületek eltérő mértékben verték vissza a lézersugarakat is. A lakkozott felület pl. különösen nagy szóródást okozott, ami a régészeti tárgyakon általánosan használt konzerváló anyagokat, bevonatokat figyelembe véve magyarázatot adott az általunk tapasztalt jelenségre is. A nehézségek miatt a síkban mérhető pontok közötti távolságoknál a hagyományos módon felvett adatokkal dolgoztunk. A térbeli méréseknél viszont éltünk a szkenner nyújtotta lehetőségekkel.

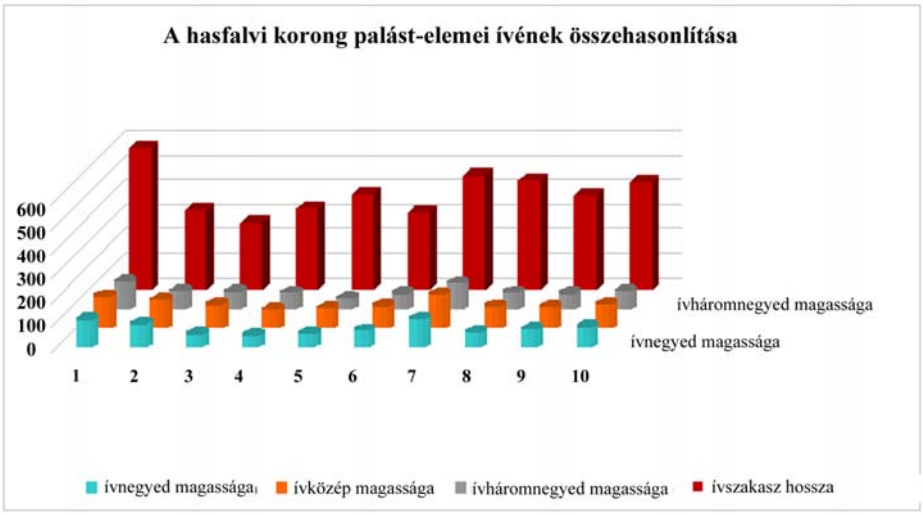
A hasfalvi korongból a virtuális térben a keréktagok feletti nyúlványok síkjában kivágtunk egy fél cm széles gyűrűt (**14. ábra**). Az erős szóródás miatt nem a teljes vastagságát, csak a középvonalát vettük figyelembe. A körívet az egyes elemeket egymáshoz rögzítő szegecsek vonalában feldaraboltuk tíz ívszakasza.



14. ábra: A hasfalvi korong 3D szkenneres felmérése

Fig. 14.: 3D laser scanning of the Hasfalva Disc

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



15. ábra: A hasfalvi korong palástelemei ívének összehasonlítása

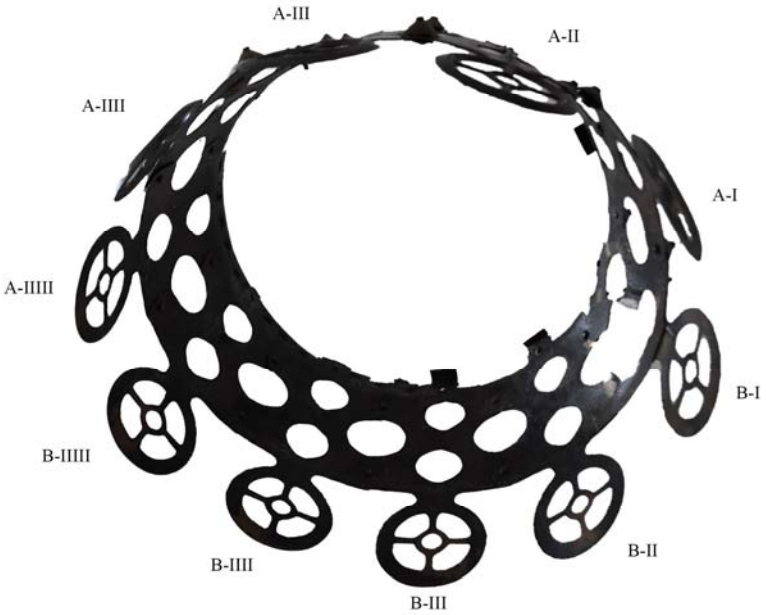
Fig. 15.: Comparison of the bends of the Hasfalva Disc's elements

ívnegyed magassága	110	92	53	48	55	67	113	60	72	80
ívközép magassága	127	114	94	74	80	88	137	87	86	96
ívháromnegyed magassága	111	70	68	65	43	62	105	67	63	70
ívszakasz hossza	580	328	275	335	391	319	468	448	387	442

A szegecslyukak távolságát megadó ívhosszakat, illetve az egyenes síkhoz képest középen és a negyedeknél mért távolságokat grafikonra vittük. A szegecslyukaknak az adatokban így is megmutatkozó eltérő távolsága megerősítette az öntvények utólagos lyukasztására vonatkozó megfigyeléseinket. Az ívszakaszok grafikonon ábrázolt adatai egyértelműen mutatták az egyes elemek alakja közötti eltéréseket, ami az öntés utáni meghajlításukat bizonyítja (**15. ábra**). Ez az utólagos átlyukasztáshoz hasonlóan indokolja az összetartozó elemek pontos megjelölését, számozását.

A mért adatok és a megfigyelések értékelése, a hasfalvi korong lokális és interregionális kapcsolatai

Vizsgálataink eredményei alapján jól követhető, hogy a hasfalvi korong függőlegesen a keréktagokra állított, síkban megöntött és utólag egyenként ívre hajlított, előzetesen kilyukasztott elemeit a számozás sorrendjében rakták össze, az A-I-IIII elemeket a számoknak megfelelően balról jobbra haladva, mint a zsindelynél, fedésbe rakva illesztették az oldalsó nyúlványokat a szegecseléshez (**16. ábra**).



16. ábra: A hasfalvi korong palástelemeinek számozása és összeszerelésük sorrendje

Fig. 16.: The numeration of the Hasfalva Disc's plates and the assembling order of the elements

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

A B-I-IIIII elemeket hasonló módon, de fordított sorrendben, jobbról balra haladva szegecselték össze. Majd a két félkört egymáshoz illesztették, s így került az A-I elem mellé a B-I, az A-IIIII mellé a B-IIIII. A belső oldalon lévő nyúlványokon látható kalapácsnyomok tanúsága szerint a szegecselés után még néhány ütéssel ráigazították az alatta lévőre**.** Az A-IIIII elemen a külső, díszített oldalon lévő nyúlványán is néhány kalapácsnyom van. Ez arra utal, hogy a végső igazításnál az utolsó elemhez már csak a külső oldalról fértek hozzá, ezért az addig mindig belülről egymásra lapított nyúlványokat akkor a díszített oldalról kalapálták egymásra.

Az alsó, csonkakúpos palástra 4 cm széles poncolt díszítésű lemezszalagot szegecseltek, amellyel a záró korongot rögzítették a tárgyra. A szegecslyukakat mindig az alsó elemek függőleges nyúlványának a középvonalában helyezték el. Az erősen hiányos szalag megmaradt részein jól látható, hogy az egyik oldala viszonylag egyenes, jól lehet látni rajta a vágásához használt véső lenyomatát is. A másik széle egyenetlen, töredezett, A kúposan kifelé hajlított lemezen helyenként egy befelé forduló íves rész indítása is látszik. A B-IIIII elemen lévő szalagtöredéken egy kis szakaszon megmaradt ez a zárókorongra ráhajló, mindössze pár mm széles karom is (**11. ábra**). A homorú zárókorong szélén körben több helyen is megfigyelhető egy mindössze 3-4 mm széles sötétebb színű sáv, ami ennek a kis rögzítőkaromnak a takarásától alakulhatott ki. A zárókorongot beleillesztve ebbe a kis hajlatba jól látható, hogy terhelés szempontjából sokkal erősebben tartotta a kúposan kifelé hajlított lemez alatta lévő része. Ráadásul még mind a tíz elem enguszának nyúlványa is alátámasztotta. Ez egyértelműen arra mutat, hogy a tárgyat úgy tervezték, hogy használata során a keréktagokon állt, a poncolással gazdagon díszített zárókorong volt felül, ebben a pozícióban viselte el a legnagyobb terhelést. Arra semmilyen nyom nem utal, hogy esetleg valamilyen más anyagra, például fatörzsre montírozták volna. Az áttört díszítése, szerkezeti kialakítása, homorú zárókorongja, közepes mérete alapján inkább az tűnik valószínűnek, hogy használata során valamire ráhelyezték. Homorú, omphaloszos, kialakítású tetejének pedig praktikus szerepe lehetett a használat során, valószínűleg valamit ráhelyeztek, esetleg égettek vagy füstöltek rajta.

A hasfalvi korong egyes elemein mért adatokat grafikonon ábrázolva jól látható, hogy azok szinte teljes egészében fedésben vannak (3a-b ábra). Megerősítve a korábbi feltételezéseket, a palást tíz vizsgált eleme, eltekintve az utólagos kisebb alakításoktól, gyakorlatilag egyformának tekinthető. Ugyanezt az eredményt kapjuk, ha a hasfalvi és a balkåkrai korong arányszámait hasonlítjuk össze, ami a mért adatok tükrében egyértelművé teszi, hogy a két tárgy elemei ugyanannak a műhelynek a termékei (**3b ábra**). Sajnos ahhoz kevés támponttal rendelkezünk, hogy a műhely hollétének kérdésére biztos választ adhassunk. Az eddig csak Hasfalva és Balkåkra lelőhelyekről ismert tárgytípushoz a kutatás közvetlen párhuzamként még a Vulcinál talált miniatűr változatot sorolja. Habár a három helyszín, a Kárpát-medence, Skandinávia, Etruria meglehetősen távol fekszik egymástól, az e területeket összekötő borostyánkő út menti kereskedelem a vizsgált korszakban már hagyományosnak és sokféleképpen dokumentált kapcsolatnak mondható. Így Knape és Nordstrom véleményével szemben, szerintünk inkább ezen az É-D tengelyen lehetett az általunk keresett műhely, amely sávból kiesik a mai Bajorország és Nyugat-Románia területe is (Knape & Nordstrom 1994, 32). A szerzőpáros által feltételezett további területeken – Ausztria, Szlovákia, Magyarország területén – is magas színvonalú, sorozattermékek előállítására alkalmas bronzgyártás volt az adott időszakban, de ugyanígy a párhuzamok által jelölt két végponton is. Az északi bronzkor területén a bronzöntést különösen magas színvonalra fejlesztették, az itáliai területeken pedig nem csak az öntéstechnológia, de a munkaszervezés területén is jelentős előnyben voltak Európa középső területeihez képest. A készítéstechnikai megfigyelések egyértelműen gondosan megtervezett és kivitelezett készítési folyamatra, valamint egy olyan műhelyre utalnak, ahol tárgyunk elemeit sorozatban gyártották és ismeretlen példányszámban szerelték össze. Az iparszerű, kereskedelmi célú termelésre nem csak az egyes elemek azonos öntőformában, sorozatban való előállítása, de például a felületesen eldolgozott sorja is elég egyértelműen utal. Ilyen műhelyek az adott korszakban inkább az itáliai területekre voltak jellemzők, ami összecseng Gömöri János és Karl Kaus által is feltételezett helyszínnel (Gömöri & Kaus 2014, 69). A sorozatban gyártott termékek, esetünkben a hasfalvi és a balkåkrai korong szépen kijelölik azt a régiók közötti útvonalat, amely Itáliától a Kárpát-medencén át Skandináviáig húzódott, és amelyen nem csak a tárgyak, de velük együtt a kulturális elemek interregionális áramlása is magától értetődő folyamat volt.

Az új eredmények, megfigyelések összegzése

A hasfalvi korong vizsgálata során a téglalap alakú nyúlványok mindkét oldalán több esetben megfigyelt öntési hibák, mintegy 45º-ban álló sorjacseppek arra mutatnak, hogy az öntés során a tárgyat keréktaggal lefelé fordítva, függőleges

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

helyzetben öntötték meg. Ezt a balkåkrai korongnál is leírt, elhelyezkedésükben ugyancsak hasonló öntési hibák végképp egyértelművé teszik (Knape & Nordstrom 1994, Taf. XVIIIa., XX). A palást öntött elemeinél tehát az engusz a keréktaggal ellenkező oldalon volt.

Az eltávolított engusz pontos helyét a felső, téglalap alakú nyúlványok végén látható vésőnyomok és a grízes törésfelületek szintén jól mutatják. Az öntési helyzet tisztázása rávilágított arra is, hogy a fő elemek középvonalában látható, korábbi kutatás által merevítő bordának tartott, gúlaszerűen kiemelkedő, háromszögalakban elkeskenyedő részek nem csupán díszítések voltak. Az öntéskor mint egy tölcsér gyűjtötték magukba az olvadt bronzot és továbbították a vékonyabb, ráadásul az áttörések miatt megosztott területek felé, tehát öntőcsatornaként is működtek.

A mérési adatok és a széleken látható sorja egyértelműen arra mutatnak, hogy az egyes elemeket sík hátlappal letakart öntőformában, ami lehetett kő- vagy kerámia is, egyenként, sorozatban öntötték meg. Nem zárható ki teljesen a homokba nyomott mintadarab használata sem, azonban az öntvények alig néhány tizedmilliméteren belüli egyenletes vastagsága miatt ez kevésbé valószínű.

A 3D lézerszkenneres vizsgálatok eredményei alapján egyértelműen arra következtethetünk, hogy a palást alkatrészeit öntés után egyenként hajlították meg, ami az utólagos átlyukasztáshoz hasonlóan indokolja az összetartozó elemek pontos megjelölését, számozását az összeszereléshez.

A hasfalvi korong szegecselt szerkezete valószínűtlenné teszi az olyan, hangkeltésre való funkciót, mint a például a dob, gong stb. A tárgyat úgy tervezték és készítették, hogy használata során a keréktagokon állt, a poncolással gazdagon díszített zárókorong felül volt, ebben a pozícióban viselte el a legnagyobb terhelést. Arra utaló nyomot nem találtunk, hogy valamire, pl. egy farönkre rárögzítették volna, sokkal valószínűbbnek tűnik, hogy a használata során valamilyen emelvényre helyezték. Homorú, omphaloszos, kialakítású tetejének pedig praktikus szerepe lehetett a használat során, valamit ráhelyeztek, esetleg égettek vagy füstöltek rajta.

A hasfalvi korong alapanyagának eddigi kutatási eredményeit áttekintve egyértelműen látható, hogy a használt mérési módszerek miatt a reálisnál lényegesen magasabb ötvözőanyag tartalommal számoltak. Ezért kétség merül fel az ezen adatok alapján a felhasznált nyersanyagra és a bányavidékekre vonatkozó következtetésekkel kapcsolatban.

A készítéstecnikai vizsgálataink és mérési eredményeik egyértelműen igazolták a Hasfalván és Balkåkrán előkerült korongok palástjának az elemenkénti sorozatgyártását, azonos technikai fogások szerinti készítését, összeszerelését – ugyanazon műhelyben való készítését. A lokálisan sorozatban gyártott darabok a Vulciban talált miniatűr változat (Kaus & Kaus 2012, 313, Abb. 6.b) és a két egymástól távol eső lelőhely alapján jól kirajzolódik maguk a tárgyak, valamint a hozzájuk nyilvánvalóan kapcsolódó kulturális elemek interregionális áramlása Itáliától a Kárpát-medencén át Skandináviáig.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk itt is köszönetet mondani Tóth Imre múzeumigazgatónak és Gabrieli Gabriellának illetve Gömöri Jánosnak, hogy a Soproni Múzeumban őrzött tárgyat Baján, a „Fény régészete” című kiállításon megvizsgálhattuk. Köszönjük Gerry McDonald és Mark Pollard támogatását a bradfordi laborban végzett munkánk során, Barkóczy Péter és Lukács Zoltán izotópvizsgálatokkal kapcsolatos értékes tanácsait, megjegyzéseit, Kulcsár László és Jókai Zoltán lézerszkenneres felmérését és az adatok feldolgozását.

Irodalom

GEGUS, E. (1994): Optische emissions-spektroskopische Untersuchungsmethode unter Anwendung der Laser-Mikrospektralanalyse. In: KNAPE, A. & NORDSTROM, H.-Ä. (1994): *Der Kultgegenstand von Balkåkra*. Stockholm, Statens Historiska Museum, 66–67.

GÖMÖRI, J. & KAUS, K. (2014): A hasfalvi bronzkorong, 1914–2014. *Soproni Szemle* **68** 69–74.

GÖMÖRI, J. & KAUS, K. (2014a): Das Bronzeobjekt von Haschendorf. *Kulturbericht Burgenland* **2/2014** 121–129.

KAUS, K. & KAUS, M., (2012): Zum Kultgerät von Haschendorf. In: MEID, W (ed.), *Archaeological, Cultural and Linguistic Heritage*. Budapest, Archaeolingua Alapítvány, 303–319.

KNAPE, A. & NORDSTROM, H.-Ä. (1994): *Der Kultgegenstand von Balkåkra*. Stockholm, Statens Historiska Museum, 92 p.

KIS-VARGA, M. (1994): Vergleichende Untersuchung der Bronzegegenstände von Hasfalva und Balkäkra mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz-analyse. In: KNAPE, A. & NORDSTROM, H.-Ä. (1994): Der Kultgegenstand von Balkåkra, Stockholm, Statens Historiska Museum, 68.

LING, J., STOS-GALE, Z., GRANDIN, L., BILLSTRÖM, K., HJÄRTHNER-HOLDAR, E. & PERSSON, P.-O. (2014): Moving metals II.: provenancing Scandinavian Bronze Age artefacts by lead isotope and elemental analyses. *Journal of Archaeological Science* **41** 106–132.

PERNICKA, E. (2010): Archäometallurgische Untersuchungen am und zum Hortfund von Nebra. *Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte* Halle **5** 719–734.

PERNICKA, E. (2014): A Short History of Provenance Analysis of Archaeological Metal Objects. In.: ROBERTS, B.W. & THORNTON C. P. (eds.), *Archaeometallurgy in Global Perspective.* Springer Science + Business Media, New York, 239–268.

PERNICKA, E., LUTZ, J., STÖLLNER, T. (2016): Bronze Age Copper Produced at Mitterberg, Austria, and its Distribution. *Archaeologia* **100** 19–55.

POLLARD, M. & BRAY, P. (2014): Chemical and Isotopic Studies of Ancient Metals. In.: ROBERTS, B.W. & THORNTON C. P. (eds.), *Archaeometallurgy in Global Perspective.* Springer Science + Business Media, New York, 217–238.

SZABÓ, G. (1998): Evaluation of Late Bronze Age Carpathian tinbronzes based on alloying content. In: KÖLTŐ, L. & BARTOSIEWICZ, L. (eds.), Archaeometrical research in Hungary II. Kaposvár-Veszprém-Budapest, 159–173.

SZABÓ, G. (2002): Archaeometallurgical investigation of the LBA bronze objects in the Carpathian basin. In: JEREM, E. & T. BIRÓ K. eds., ISA 1998. *BAR Int. Ser*. **1043 (II)**, 481–490.

SZABÓ, G. (2012): A kárpát-medencei archeometallurgiai kutatások eredményei, aktuális kérdései a 21. század elején, különös tekintettel a bronz- és vasgyártás társadalmi hátterének változásaira. *Archeometriai Műhely* **IX/2** 75–95.

SZABÓ, G. (2013): A dunántúli urnamezős kultúra fémművessége az archeometallurgiai vizsgálatok tükrében. *Specimina Electronica Antiquitatis;* Libri –SEA-L. 1. Pécs, Pécsi Tudományegyetem, 1–134.

A FAFAJ-MEGHATÁROZÁS JELENTŐSÉGÉRŐL

ON THE IMPORTANCE OF WOOD IDENTIFICATION

TUZSON ESZTER

Magyar Képzőművészeti Egyetem, Restaurátor Tanszék, 1062 Budapest, Andrássy út 69-71.

E-mail: tuzson.eszter@mke.hu

Abstract

Wood is one of the most important raw material for fine arts, applied arts, ethnographic and archaeological heritage. The knowledge of the wood material is indispensable for the complete and accurate observation of the artwork, which requires the application and continued enlargement of the knowledge in natural sciences. Written sources on the subject are deficient, therefore, for the dating and provenance determination we must draw conclusiones from the art objects itself. This study presents some examples, drawing attention to the information on wood identification enriching our knowledge about wooden artworks.

Kivonat

Képzőművészeti, iparművészeti, néprajzi és régészeti tárgyi emlékeink egyik legfontosabb alapanyaga a fa. A faanyag ismerete elengedhetetlen restaurálásukhoz és a művészeti emlékek minél teljesebb és pontosabb megismeréséhez, mely megköveteli a természettudományos ismeretek alkalmazását és folyamatos bővítését. Műtárgyak keletkezési idejére, származási helyére, alkotójára vonatkozóan az írásos források hiányossága miatt sokszor csak magából a műből vonhatunk le következtetéseket. Ez a tanulmány néhány példa bemutatásával próbálja felhívni a figyelmet arra, hogy a fafaj-meghatározási vizsgálatok eredményeiből nyerhető információk is gazdagíthatják a fából készült műtárgyakról megszerezhető ismereteket.

KEYWORDS: MICROSCOPIC WOOD IDENTIFICATION, WOOD ANATOMY, DENDROCHRONOLOGY, SCULPTURE, PANEL PAINTING

KULCSSZAVAK: MIKROSZKÓPOS FAFAJ-MEGHATÁROZÁS, FAANATÓMIA, DENDROKRONOLÓGIA, SZOBRÁSZAT, FATÁBLAKÉP-FESTÉSZET

Bevezetés

Műtárgyak restaurálásának megkezdése előtt, állapotfelméréskor a manapság egyre nagyobb szerephez jutó természettudományos vizsgálatok egyre pontosabb képet adnak a felhasznált hordozóanyagokra, alapozó anyagokra, festékekre, lakkokra, kötőanyagokra vonatkozóan, melyek a művészettörténeti kutatómunka segítése mellett a műtárgy pontos és hiteles leírásához, illetve a további restaurátori beavatkozások miatt szükségesek.

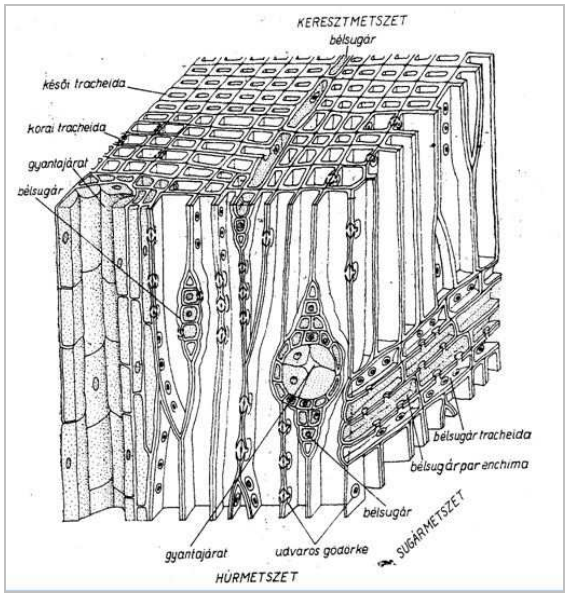
A restaurátori munka faanyagra vonatkozó feladatai a famegmunkálási és fafaragási gyakorlati ismeretek mellett megkövetelnek bizonyos szintű fára vonatkozó természettudományos ismereteket, azaz a növénytan (botanika) fás szárú növényekkel foglalkozó ágán (dendrológia) belül faanatómiai, növényföldrajzi és növénykórtani ismereteket.

A szerző jelen tanulmányában saját kutatásai és a szakirodalom tanulmányozása alapján néhány példa bemutatásán keresztül a fafaj-meghatározási vizsgálatok eredményeiből levonható következtetések jelentőségére kívánja felhívni a figyelmet.

Mikroszkópos fafaj-meghatározás

A fatörzs élettani feladata fenntartani a koronát, a talajból a gyökerek által felvett vizet és vízben oldott szervetlen tápanyagot a külső évgyűrűkben a levelekhez szállítani, illetve a háncsban lefelé áramló – növekedéshez, lombfakadáshoz, mag- és gyümölcsterméshez szükséges tápanyagot szállítani és raktározni. Az élettani feladatokból adódik, hogy a fa sejtjei három fő, vízszállító, szilárdító és raktározó alapformára vezethetők vissza. Ezek a sejtek nem izodiameterikusak, vagyis nem azonos a kiterjedésük a tér minden irányában, hanem általában megnyúltak. Erre mind a folyadékszállítás, mind pedig a hosszirányú szilárdság érdekében szükség van. A legtöbb szilárdító és szállítósejt a törzs tengelyével párhuzamosan helyezkedik el, míg az ún. bélsugarak erre merőlegesen a háncs felől a fatörzs közepe felé rendeződnek. A fatest sejtes szerkezetét ezen okokból általában a három fő metszési síkon, a keresztmetszeten, illetve a hosszmetszeteken, azaz a sugármetszeten (más néven tükrös metszet vagy radiális hosszmetszet) és a sugármetszet síkjára merőleges húrmetszeten (más néven érintőmetszet vagy tangenciális hosszmetszet) lehet tanulmányozni (**1. ábra**).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



1. ábra: A fenyő fatestének három metszési síkja (Gencsi 1980)

Fig. 1.: Three section planes of conifer wood (Gencsi 1980)

Festékréteg kopások, hiányok felületén vagy jó állapotú festetlen tárgyakon, bizonyos fafajok esetén elegendő lehet a fafaj-meghatározáshoz a szemrevételezés (**2. ábra**). Gyakrabban találkozunk azonban olyan esettel, hogy mindez nem lehetséges, mert szennyeződés, védőbevonat, festés borítja a tárgyat vagy, mert igen apró berakásról van szó. Ilyen esetben mikroszkópos fafaj-meghatározásra van szükség. Ehhez a műtárgyból kisméretű (min. 5x5x8 mm) mintát kell venni, lehetőleg ép farészből, melynek tartalmaznia kell évgyűrűhatárt. Tartós, színezett metszetek készítésére általában nincs mód és nem is szükséges. Ilyen tartós preparátumok elkészítésekor a puhítás, a víztelenítés, a parafinnal való átitatás, és a metszetszínezés műveletei hosszú időt (akár több hét) vesznek igénybe. Elegendő, ha a vízben kissé megpuhított faanyagból a három metszési síkban vékony metszeteket készítünk, és ezeket tárgylemezre helyezve vizsgáljuk biológiai mikroszkóp alatt, átmenőfényben. A három fő anatómiai irányból készült mikroszkópos metszeteken a fatestet alkotó különböző sejtek megléte vagy hiánya, elrendeződése, mérete, sejtfaluk tulajdonságai alapján végezzük a meghatározást határozókönyvek segítségével.

2. ábra: Maas-vidéki mester: Mária Kálvária csoportról (részlet), XIV. sz. második fele, hordozóanyag: közönséges dió (*Juglans regia* L.), Budapest, Szépművészeti Múzeum, ltsz.: 4974 (fotó: szerző)

Fig. 2.: Sculptor of Meuse walley: Mourning Virgin (detail), late 14th century, walnut wood (*Juglans regia* L.), Budapest, Museum of Fine Arts, inv. number: 4974 (photo by the author)

Vizsgálatok eredményeiből levont következtetések

Műtárgyak fafaj-meghatározásának jelentőségét külföldön, már korábban felismerték, az 1960-as évektől kezdődően számos alapos tanulmány készült és készül a mai napig. Ezeknek a vizsgálatoknak az eredményei láthatóak, időrendi besorolás nélkül, az alábbi táblázatokban (**1.** és **2. táblázat**), amelyeknél természetesen figyelembe kell venni, hogy a kutatások igen eltérőek a különböző területeken, léteznek sokkal kevésbé vizsgált területek és a fennmaradt művek száma sem egységes, egyes vidékeken csak töredéke maradt meg az eredeti műalkotásoknak.

A különböző területek összehasonlíthatósága mellett a fafaj-meghatározási vizsgálatokból nagy vonalakban a következők állapíthatók meg:

A fafajok tulajdonságaik alapján többnyire alkalmazási céljuktól függően kerültek kiválasztásra, azaz hogy táblakép, kis- vagy nagyméretű szobor, dombormű, attribútum, toldás, rátét, szerkezeti- vagy összekötőelem, stb. készült belőlük. Az oltárszerkezet többnyire fenyőből készült. Csapok készítéséhez leginkább a keményfa alkalmas, mint például a tölgy.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

1. táblázat: Európa különböző országaiban, a táblaképfestészetben – a kutatás jelenlegi állása alapján – a következő fafajok kerültek alkalmazásra (Tuzson 2014)

Table 1.: Species of wood used in panel paintings (by the current state of research) in different countries of Europe (Tuzson 2014)

	Anglia	Ausztria	Csehország	Dánia	Franciaország	Lengyelország	történelmi Magyarország	Németföld	Németország	Norvégia	Olaszország	Portugália	Spanyolország	Svédország
Jegenyefenyő		+	+		+		+	+	+		+		+	
Lucfenyő		+	+		+		+		+		+		+	
Vörösfenyő						+			+		+			
Cédrus								+	+		+			
Erdei fenyő			+		+			+	+	+	+		+	+
Ciprus											+			
Szandarak												+	+	
Szil					+			+						
Bükk			+					+	+		+			
Szelídgesztenye								+	+		+	+		
Tölgy	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eger			+											
Dió					+			+	+		+			
Nyár					+				+		+		+	
Füz					+						+			
Hárs	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+			+
Cseresznye											+			
Mahagóni					+			+	+		+		+	
Juhar									+					
Olajfa											+			

2. táblázat: Európa különböző országaiban, a szobrászatban – a kutatás jelenlegi állása alapján – a következő fafajok kerültek alkalmazásra (Tuzson 2014)

Table 2.: Species of wood used in sculpture (by the current state of research) in different countries of Europe (Tuzson 2014)

	Ausztria	Franciaország	Lengyelország	történelmi Magyarország	Németföld	Németország	Olaszország	Spanyolország	Svájc	Svédország
Jegenyefenyő							+		+	
Lucfenyő	+					+				
Vörösfenyő	+			+		+	+			
Erdei fenyő	+					+	+	+		+
Cirbolyafenyő	+			+		+	+		+	
Ciprus							+			
Puszpáng						+				
Szil						+				
Bükk	+				+	+	+			+
Szelídgesztenye							+			
Tölgy	+	+	+	+	+	+	+			+
Nyír										+
Eger			+			+				+
Dió	+	+			+	+	+		+	+
Nyár	+		+	+		+	+			+
Füz	+					+	+			
Hárs	+	+	+	+	+	+	+		+	+
Vadalma				+	+	+	+			
Vadkörte	+	+				+	+			
Cseresznye							+			
Juhar	+						+		+	+
Kőris						+				

2a-b ábra: Szt. Ágnes (Bajorország, Fekete-erdő), 1420–1430, hordozóanyag: fekete nyár (*Populus nigra* L.), Budapest, Szépművészeti Múzeum, (fotó: szerző)

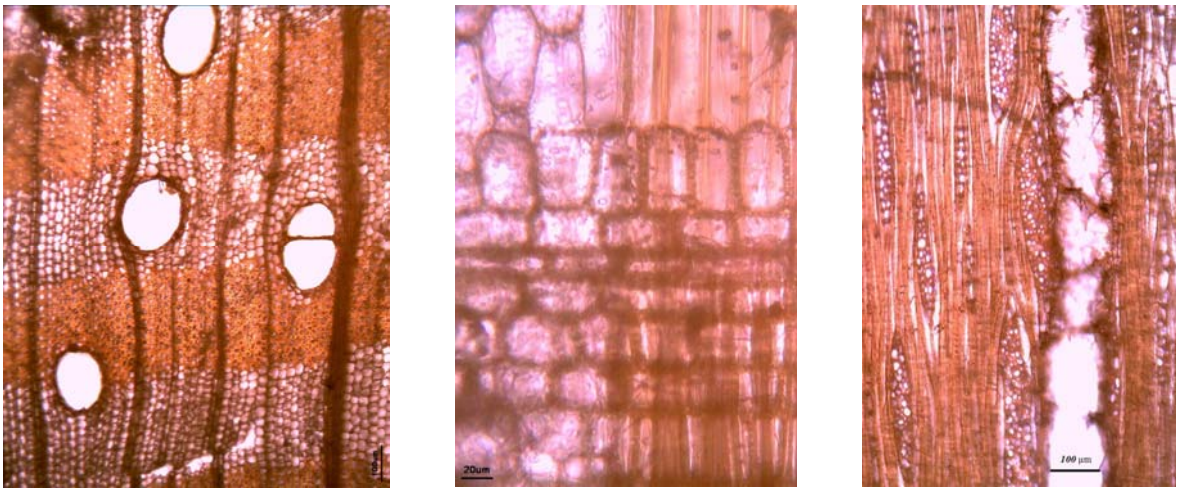
Fig. 2a-b: Saint Agnes (Bavaria, Black Forest), 1420-1430, black poplar (*Populus nigra* L.), Budapest, Museum of Fine Arts (photo by the author)

Puszpángból vagy tiszafából, méretükből adódóan általában kisméretű alkotások születtek, míg nagyobb szobrok vagy festmények inkább tölgyből, hársból vagy nyárfából készültek.

A művészek általában a környezetükben előforduló fákból alkottak és faragtak. Egyes fafajoknak, melyeknek szűkebb az elterjedési területe, terület-meghatározó jelentősége lehet, mint például a cirbolyafenyőnek (*Pinus cembra* L.), amely csak az Alpokban és a Kárpátok magasabb részein honos.

Az Európában szinte mindenütt honos hársfát (*Tilia* spp.) gyakran alkalmazták a kontinensen. A történelmi Magyarország területén, elsősorban Felvidéken, a kevés számú vizsgálat azt mutatja, hogy mind a szobrászatban, mind pedig a fatáblakép-festészetben a hárs használata a legjellemzőbb (Tuzson 2002).

Az Európában honos nyár (*Populus* spp.) fajok bár viszonylag nagy elterjedési területűek mégis inkább a délebbi vidékekre jellemző használatuk. Itáliában például szobrok és fatáblaképek főleg nyárfából készültek, de Délnyugat-Németországban a XIV. században a szobrászatban szintén a leggyakrabban alkalmazott fafaj volt (Tenge-Rietberg 1984). Ennek oka egyrészt, hogy a nyárfa, főleg csekély tartóssága és fűtőértéke miatt nem számított értékes haszonfának, olcsón beszerezhető volt. A hajóépítések miatt értékes fában szegénnyé vált tengerparti vidékeken ez jelentős szempont volt, viszont a faanyag csekély tartóssága miatt inkább a szárazabb déli vidékeken alkalmazták. Hogy a tartósságot növeljék, szobrok készítéskor a kivájt hátoldali részt sokszor megégették, így a farontó szervezetek számára könnyen hasznosítható tápanyagokat (elsősorban a fa sejtjeiben található fehérjéket, keményítőt) eltávolították a fa felszínéhez közel eső területekről (**2a-b ábra**). A nyárfák előnyös tulajdonsága csekély vetemedési hajlamuk és hogy egyes, Közép- és Dél-Európában honos nyár fajok (fekete- és fehérnyár) igen nagy méreteket képesek elérni, így ideálisak voltak nagyméretű szobrok és táblaképek készítésére.



3a-c ábra: Szikomorfa (*Ficus sycomorus* L.) keresztmetszete, mikroszkópos felvétel. Minta származása: Egyiptomi múmiakoporsó, Gamhud, Ptolemaiosz-kor (részlet), Kr.e. 332-30, Budapest, Szépművészeti Múzeum, Egyiptomi Gyűjtemény, ltsz.: 51.2012 (fotó, fafaj-meghatározás: szerző)

Fig. 3a-c: Microscopic sections of sycamore fig (*Ficus sycomorus* L.). Origin of the semples: Egyptian coffin, Gamhud, Ptolemaic Period (detail), 332-30 B. C., Budapest, Museum of Fine Arts, Egyptian Collection, inv. number: 51.2012 (photo and wood identification by the author)

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

4 ábra: Bordás növekedés okozta hiányok, mélyedések, kéregmaradványok. Egyiptomi múmiakoporsó, Gamhud, Ptolemaiosz-kor (részlet), Kr.e. 332-30, szikomorfa (Ficus sycomorus L.) Budapest, Szépművészeti Múzeum, Egyiptomi Gyűjtemény, ltsz.: 51.2000 (fotó: Martinovich Zoltán)

Fig. 4.: Holes and residual barks caused by the prominent buttresses. Egyptian coffin, Gamhud, Ptolemaic Period (detail), 332-30 B.C., sycamore fig (*Ficus sycomorus* L.), Budapest, Museum of Fine Arts, Egyptian Collection, inv. number: 51.2000 (photo by Z. Martinovich)

Arra a kérdésre, hogy miért használtak kéreggel, kéregbenövésekkel, göcsökkel teli faanyagot az egyiptomi múmiakoporsók készítői, miközben halottaikat a legnagyobb gondossággal próbálták megőrizni az örökkévalóságnak, arra szintén a rendelkezésre álló faanyag a válasz. Egyiptom fában szegény vidékén a legelérhetőbb, legolcsóbb faanyag az eperfüge (más néven szikomorfa, Ficus sycomorus L., (**3a-c. ábra**) volt, mely fa jellemző tulajdonsága a bordás növekedés. Mivelhogy igyekeztek minél kevesebb veszteséggel felhasználni a faanyagot, a bordás növekedés következtében keletkezett kéregmaradványokat nem távolították el, a lyukakat, mélyedéseket pedig homokos masszával fedték be, melyek idővel kipergésekhez, hiányok keletkezéséhez vezettek (**4. ábra**). Más, a korban nehezebben beszerezhető fafaj azonosítása (például cédrusfa) jelentősebb sírleletre engedhet következtetni, de a fafaj azonosítása hamisítványok kiszűrésében is segítségül szolgálhat.

A palermói Normannok palotájában található Palatina kápolna XII. századi mennyezetének fafaj-meghatározási vizsgálata (Romagnoli et al. 2007) az ún. történeti ökológia számára (ember és környezete hogyan hatott egymásra a történelem során) is hasznos információval szolgált. A kutatás célja az volt, hogy azonosítsa a felhasznált faanyagot, megállapítsa annak lehetséges származási helyét és választ adjon arra, hogy milyen okokból esett a választás ezen fafajokra. 150 mintát vizsgáltak meg, jegenyefenyőt, nyírfát, nyárfát, bükköt és bizonytalanul cédrust határoztak meg, melyek feltételezésük szerint mind, az akkor még erdőkkel borított szigetről származtak, mivel abban az időben kereskedelmi embargó volt érvényben ~~a~~ faanyagra vonatkozóan. Ebből következik, hogy nem a korban Közel-Keletről gyakran importált libanoni cédrusról (*Cedrus libani* A. Rich.) lehetett szó, hanem talán az Észak-Afrikában honos Atlasz cédrus (*Cedrus atlantica* [Endl.] Manetti ex Carrière) terjedt el Szicíliában is, mely később a hajóépítések következtében

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

erdőtlenné vált szigetről végképp eltűnt. A felhasznált jegenyefenyő pedig az ún. szicíliai jegenyefenyő (*Abies nebrodensis* [Lojac.] Mattei) volt. Ennek az épületfának és hajóárbócnak gyakran és előszeretettel alkalmazott fafajnak mára mindössze csak 16 példánya maradt meg természetes élőhelyén.

Egyes fajok, mint például a tölgyfa (*Quercus* spp.), mely Európában szinte mindenütt elterjedt, a szobrászatban és a táblaképfestészetben is szinte mindenhol jelen volt, de leginkább az északi területeken. A középkorban Lübeckben, Hamburgban és Lüneburgban céhszabályzat írta elő, hogy vallásos művekhez kizárólag tölgyfát lehet használni. Ugyanígy céhszabályzat szabályozta a diófa kizárólagos használatát a XIV. században, Kölnben. A tölgyfa előnyös tulajdonsága, hogy nagy méreteket képes elérni és hogy nagy csersavtartalma miatt a farontó gombákkal szemben a geszt igen tartós (nemes tölgyek).

A dendrokronológiai vizsgálatok elvégzésének előfeltétele a fafaj ismerete és a megfelelő mennyiségű évgyűrűk (tölgy esetén 30 évgyűrű) megléte a vizsgálandó tárgyon. Dendrokronológiai vizsgálatra leginkább alkalmas fafaj a tölgyfa, melyet a geszt és a szíjács rész határozott színbeli elkülönülése, jól elhatárolható változó szélességű gyűrűslikacsú évgyűrűi tesznek lehetővé, valamint, hogy nagy számban maradtak fenn tölgyfából készült emlékek. Kronológiai adatsorral rendelkező fafajok még a jegenyefenyő, lucfenyő, vörösfenyő, erdei fenyő, cirbolyafenyő, szelídgesztenye, kőris, bükk és éger.

Egyes műhelyek szokatlan fafajokat részesítettek előnyben. Rembrandt táblaképei között például előfordulnak *Swietenia mahagoni* (valódi mahagóni), *Cedrela odorata* (cedro, spanyol cédrus), *Cariniana legalis*, *Cariniana estrellensis* vagy *Brosimum* fajok (Klein 2005). Ezek a ma már igen drága faanyagok akkoriban éppen ellenkező okokból kerültek a hajóépítések következtében fában szegény vidékeken a művészek műhelyeibe. Trópusi fákból készült dobozokban szállították a cukrot és a szivart Amerikából Hollandiába, melyek, miután megérkeztek a kikötőkbe, hulladékká váltak (Klein 2005).

Érdekes információt árult el a mű keletkezési helyére és idejére vonatkozóan a Szépművészeti Múzeum tulajdonában lévő Idősebbik Szent Jakab apostolt ábrázoló szobor mikroszkópos fafaj-meghatározási vizsgálata is (a szerző diplomamunkája, Tuzson 2002). A korábbi leltári adatok szerint a szobrot német mester készítette a XVI. század elején tölgyfából. A vizsgálatokból azonban kiderült, hogy a szobor anyaga fekete dió (*Juglans nigra* L.). Ez azért meglepő eredmény, mert a fekete dió Európában nem őshonos, hazája Észak-Amerika keleti része, tehát csak Amerika felfedezése után kerülhetett Európába.

A szobor nagy valószínűséggel Spanyolországban készülhetett 1513 után, tekintve, hogy Szt. Jakab tisztelete Spanyolországban a legelterjedtebb (compostellai zarándokutak), továbbá azért, mert a szobron található mintaábrázolás Spanyolországban is igen elterjedt volt, valamint azért, mert Amerika azon területét, ahol a fekete dió honos, 1513-ban spanyol gyarmatosítók hódították meg. A származási hely megállapítása azonban csak feltételezés, mely további művészettörténeti kutatást igényel.

Egy tömbből kifaragott alkotások mellett több darabból összeépített művek is fellelhetők. Ezek az összeillesztett darabok sokszor határozott mintát követve más-más fából készültek. Svédországban például a XII. században kb. 1225-ig többnyire összeillesztéssel készítettek szobrokat. Az oszlopos széken ülő Madonnáknál Mária alakja többnyire hársfából vagy rezgőnyárból készült, a karok, kezek többnyire bükkből vannak, és csapolással van hozzáerősítve az ölében ülő gyermek is. A székek bükkből, kőrisből vagy tölgyből készültek, oszlopaik szintén külön darabból vannak (Tångeberg 1989).

A különböző fafajták összeillesztésének talányosabb példái is előfordulnak, például Lippo di Benivieni Feszületén, ahol a hordozó ötféle fából készült, jegenyefenyőből, szelídgesztenyéből, nyárból, szilből és hársból (Ciatti et al. 2006).

Összefoglalás

Annak vizsgálatára, hogy egy műtárgy milyen fából készült, leginkább a műtárgy restaurálása során adódik lehetőség. A fafaj ismerete a további restaurátori beavatkozások megtervezésén (pl. kiegészítés, pótlás megtervezése, fizikai elváltozások, károsodások megértése, a telíthetőséget befolyásoló tényezők figyelembe vétele, stb.) túl hozzájárul a műtárgy pontos és hiteles leírásához, a készítéstörténet, a mesterek, műhelyek szokásainak megértéséhez, segítségül szolgálhat kor- és terület-meghatározási kérdésekben illetve a műtárgy eredetiségének meghatározásakor, gazdagítva a fából készült műtárgyakról megszerezhető ismereteket.

Irodalomjegyzék

CIATTI, M., CASTELLI, C., SANTACESARIA, A. (2006): *Panel Painting. Technique and Conservation of Wood Supports*. Edifir, Firenze.

GENCSI, L. (1980): *Erdészeti növénytan I. Növényrendszertan, növényélettan.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

KLEIN, P. (2005): The use of Wood in Rembrandt's Workshop. Wood Identification and

Dendrochronological Analyses. In: Van den Doen, M., Van Eck, N., Korevaar, G., Tummers, A., Weststeijn, Th. eds.: *The Learned Eye: Regarding Art, Theory and the Artist's Reputation*. Amsterdam University Press, Amsterdam. 28–37.

TÅNGEBERG, P. (1989): *Holzskulptur und Altarschrein: Studien in Form, Material und Technik mittelalterlicher Plastik in Schweden*. Callwey, München.

TENGE-RIETBERG, U. (1984): Holzuntersuchungen an schwäbisch-alemannischen Skulpturen – 12. Jahrhundert bis um 1460 – *Szakdolgozat.* Institut für Museumskunde an der Staatlichen Akademie der bildenden Künste, Stuttgart.

TUZSON, E. (2002): A középkori Magyarország területén szoborfaragásra felhasznált fafajták II. *Szakdolgozat.* Magyar Képzőművészeti Egyetem, Budapest.

TUZSON, E. (2014): Műtárgyak mikroszkópos fafaj-meghatározása. Restaurátori vizsgálatok és egyéb tudományterületek kapcsolata. *Doktori értekezés,* Magyar Képzőművészeti Egyetem, Budapest.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

KÉSŐ KÖZÉPKORI HÍD A PINKA MELLÉKVIZÉN (PINKAMINDSZENT – MINDSZENT-PATAK, VAS MEGYE, NYUGAT-MAGYARORSZÁG)

LATE MEDIAEVAL BRIDGE ON THE TRIBUTARY OF THE PINKA RIVER (PINKAMINDSZENT – MINDSZENT-STREAM, VAS COUNTY, W HUNGARY)

GRYNAEUS ANDRÁS[1], ILON GÁBOR[2]

[1]1021 Budapest Széher út 76/a, Magyar Dendrokronológiai Laboratórium - Cincér Bt.

[2]9730 Kőszeg, Várkör 18.

E-mail: dendro@ludens.elte.hu, ilon.gabor56@gmail.com

Abstract

*In the spring of 2004, remains of a wooden bridge were located in the vicinity of Pinkamindszent on the Mindszent-stream, during fieldwork preceding the construction of a new road, just under the current bridge. The documentation of the remains and their sampling for dendrochronological studies took place on 10th of June of the same year. Xylotomical investigations stated that the quadrangular poles were made of different varieties of oak (*Quercus robur L. *and* Quercus petraea *(Mattuscka) Lieblein. while the round sectioned poles were made of larch (*Larix decidua *Mill.).*

No bark remains were found on the poles but remains of sapwood could be observed on the oak pole Nr. 10. The existing chronological schemes of the region (Vienna Basin, Western Hungary, Hungarian Mean Chronology: Grynaeus 2015, 88–89, 48. kép) the data sequences for oak did not prove adequate for absolute dating. Unfortunately, the Vienna colleagues also could not establish absolute dates from the larch samples; therefore we could rely on the series of the oak poles dated of the bridge with adequate absolute chronological series from Ikervár. This series showed a good agreement with the series of tree rings observed on pole Nr. 1. On the basis of these data we can say that the youngest growth-ring found on pole Nr. 1 from Pinkamindszent was formed in 1673. Calculating the minimum thickness of the sapwood and supposing that all the oak poles were stroke down at the same time, the construction period of the oaken bridge can be dated after 1685.

Our analyses proved that at least two different construction periods should be hypothesed, using oak and larch poles, respectively and that the timber used for the construction was not felled locally but purchased on the market.

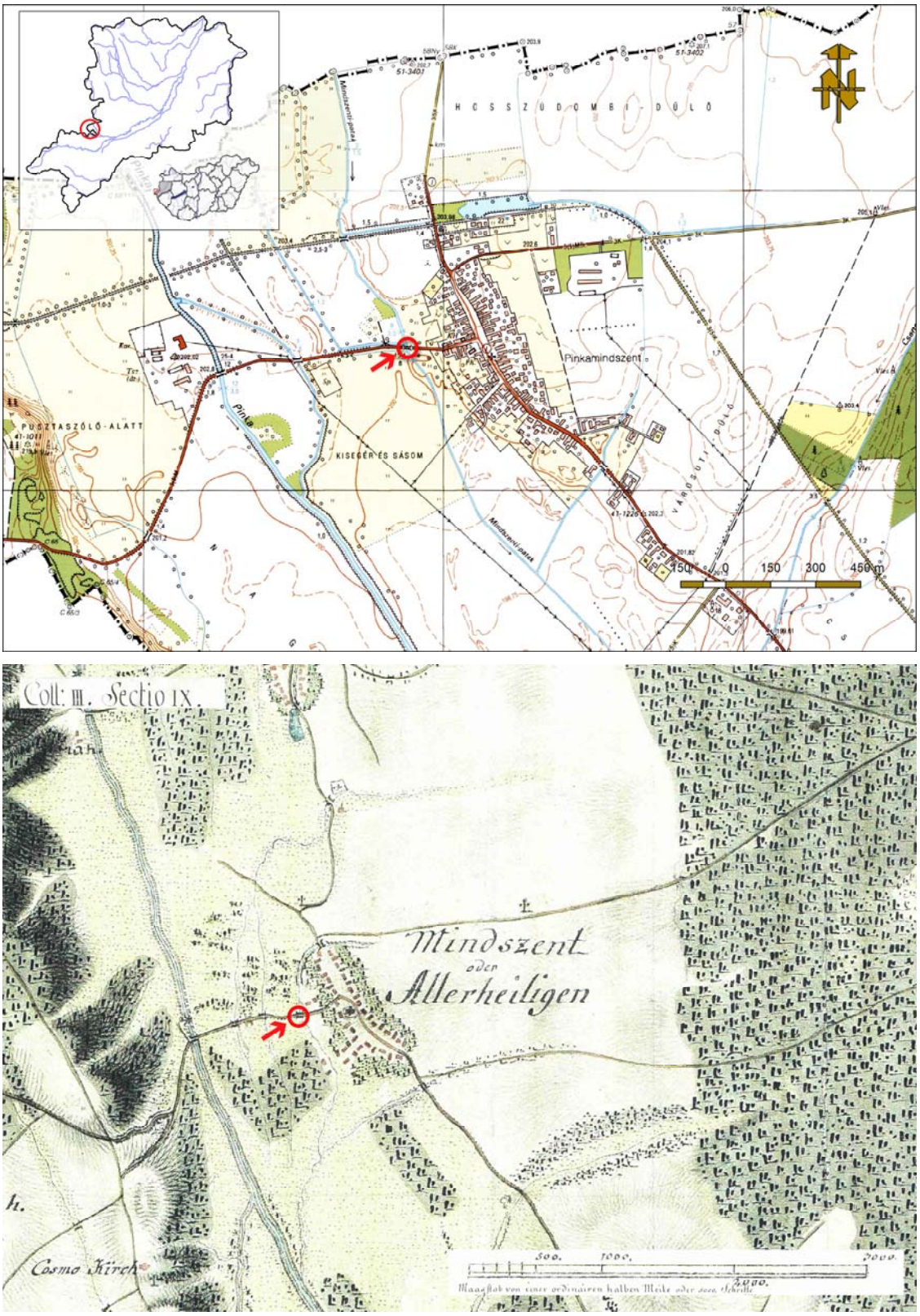
Kivonat

*2004 tavaszán Pinkamindszent határában, a Mindszenti-patakon, a meglévő híd alatt, egy útépítést megelőző terepbejárás során korábbi fahíd cölöpjeit fedeztük fel. Június 10-én került sor a híd maradványainak dokumentálására és a dendrológiai célú mintavételezésre. A xylotómiai elemzésből kiderült, hogy a négyszögletesre bárdolt faanyag kocsányos (*Quercus robur *L.) és kocsánytalan (*Quercus petraea *(Mattuscka) Lieblein.) tölgyekként azonosítható. A kör átmetszetűek pedig vörösfenyőből (*Larix decidua *Mill.) voltak. Kéregmaradványt egyik facölöpön sem találtunk, de szijács volt a 10. számú tölgy oszlopon. A térség már meglévő kronológiáival (Bécsi-medence, Nyugat-Magyarország, Magyar-alap: Grynaeus 2015, 88–89, 48. kép) a tölgy adatsorok nem bizonyultak keltezhetőnek. Sajnos a fenyő adatsorokkal is hasonló eredményre jutottak a bécsi kollégák. Így csak az Ikervár határában feltárt, és abszolút dendrokronológiai keltezéssel rendelkező híd tölgycölöpeinek adatsorára támaszkodhattunk. Ez egyezést mutatott az 1. cölöp adatsorával. Ez alapján, azt mondhatjuk, hogy az 1. cölöp megtalált legfiatalabb évgyűrűje 1673-ban képződött. A szijács minimális vastagságát hozzászámítva és feltételezve, hogy az összes tölgycölöpöt azonos időpontban verték le, a tölgy periódust legkorábban 1685-re keltezhetjük.*

Az elemzéssel sikerült tehát kimutatni, hogy legalább két (tölgyeket és fenyőket használó) építési periódussal kell számolnunk, illetve hogy a híd építéséhez nem helyben kivágott anyagot használtak fel, hanem a piacon vásárolt árut.

KEYWORDS: LATE MEDIAEVAL PERIOD, WOODEN BRIDGE, DENDROCHRONOLOGY, WESTERN HUNGARY

KULCSSZAVAK: KÉSŐ KÖZÉPKOR, FAHÍD, DENDROKRONOLÓGIA, NYUGAT-MAGYARORSZÁG



1. ábra /1.: Pinkamindszent határa a megmintázott híd jelölésével (Készítette: Isztin Gyula), **/2:** Hidak – köztük üres körben a megmintázott – és malom a Pinkán és mellékvizein az I. katonai felmérésen

1. ábra /1.: Details from Pinkamindszent environs with the archaeological sites. The bridge presented here is marked by an empty circle. (After map by Gy. Isztin), **/2:** Bridges and mills on the Pinka and its tributaries according to the 1st Military Survey (1782-1785). The bridge presented here is marked by an empty circle.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

Bevezetés

2004. március 4-én a Vas megyei Közútkezelő Kht. irodájában tárgyaltam egy megépítendő út betervezendő régészeti munkálatairól. Közben derült ki, hogy elindult a kivitelezése a Pinkamindszent – osztrák országhatár 8708. számú útnak. Másnap, már három munkatársammal a nyomvonalat jártam (**1. ábra 1**.) a kivitelezők nem kis meglepetésére. Sajnos 3–5 cm-es hó volt, a munkagépek pedig dolgoztak. Egy korábbról ismert római kori településnyomot azonban sikerült újraazonosítanunk és már ekkor sikerült megfigyelnem a Mindszent-patak hídja alatti mederben facölöpöket (Ilon 2004).

A római kori településrészlet megelőző feltárást 2004. június 14. és július 14. között Sosztarits Ottó vezette. Ugyanakkor szórványosan kelta, avar, Árpád- és 16. századi edénytöredékek is begyűjtésre kerültek (Sosztarits 2004). Közben irányításom mellett megtörtént a facölöpök dokumentálása és mintavételezése (**2. ábra, 3. ábra 1–4**.). A híd azonosítása egyértelmű (**1. ábra 2., 2. ábra**), a községhez legközelebbi patakocskán állt. A kérdés csak az volt, hogy melyik korból származik, és hogy lehet-e időrendi eltérés a kör- és a négyzetesre bárdolt hídoszlopok között.

A kifűrészelt, csomagolt teljes keresztmetszetű mintákat néhány héten belül Grynaeus András budapesti laboratóriumába szállítottuk.

A híd mintáinak vizsgálata, eredmények

A minták mindegyikén – a dendrokronológiai gyakorlatnak megfelelően – két, egymást kiegészítő vizsgálatot végeztünk el: egyrészt elkészítettük mindegyik maradvány xylotómiai elemzését, azaz a fa belső, szöveti szerkezete alapján meghatároztuk a pontos fafajt. Ezt követően került sor a dendrokronológiai elemzésre, melynek célja a maradvány korának meghatározása volt.

A maradványok fafaj szempontjából két csoportra oszthatók.

Az első csoportba az 1., 5., 6., 10. minta tartozik. Ezek mindegyikére a gyűrűslikacsú szöveti szerkezet a jellemző. A 6. és 10. minta esetében az évgyűrűkön belül a nagyméretű szállító-edények a tavaszi pásztában *sok sorban* helyezkedtek el. E jegyek alapján ezek fafaját a kocsánytalan tölggyel (*Quercus petraea (Mattuscka) Lieblein.*) azonosíthattuk.

Az 1. és az 5. minta szerkezete eltért ezektől, és az egyes évgyűrűkön belül a nagyméretű szállítóedények a tavaszi pásztában csak *egy-két sorban* helyezkedtek el, így faanyagukat a kocsányos tölggyel (*Quercus robur L.*) azonosítottuk. Ezt azért fontos kiemelni, mert a hazai tölgyek e változata nedvességkedvelő, azaz a másik két mintával szemben, ez egy más jellegű, nedves, víz közeli élőhelyről származik. Általánosabban megfogalmazva azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a tölgycölöpök alapanyaga nem ugyanonnan származik, hanem különféle helyről, ami eredhet fapiacon történt vásárlásból is. Az első csoporthoz tartozó cölöpök következetesen négyzetes keresztmetszetűek, és legtöbbjük sérült, korhadt belsejű, volt, ami jelzi, hogy gyengébb minőségű faanyagot használtak fel a készítők.

Kéregmaradványt egyik cölöpön sem találtunk, viszont szijácshoz tartozó évgyűrűket a 10. cölöpön megfigyelhettünk.

A maradványok másik csoportja (2., 3, 4., 7. és 8. minta) fenyőből, mégpedig vörösfenyőből (*Larix decidua Mill.*) készült, és ezek a cölöpök minden esetben kör keresztmetszetűek voltak. Kéregmaradványt ezeken sem találtunk.

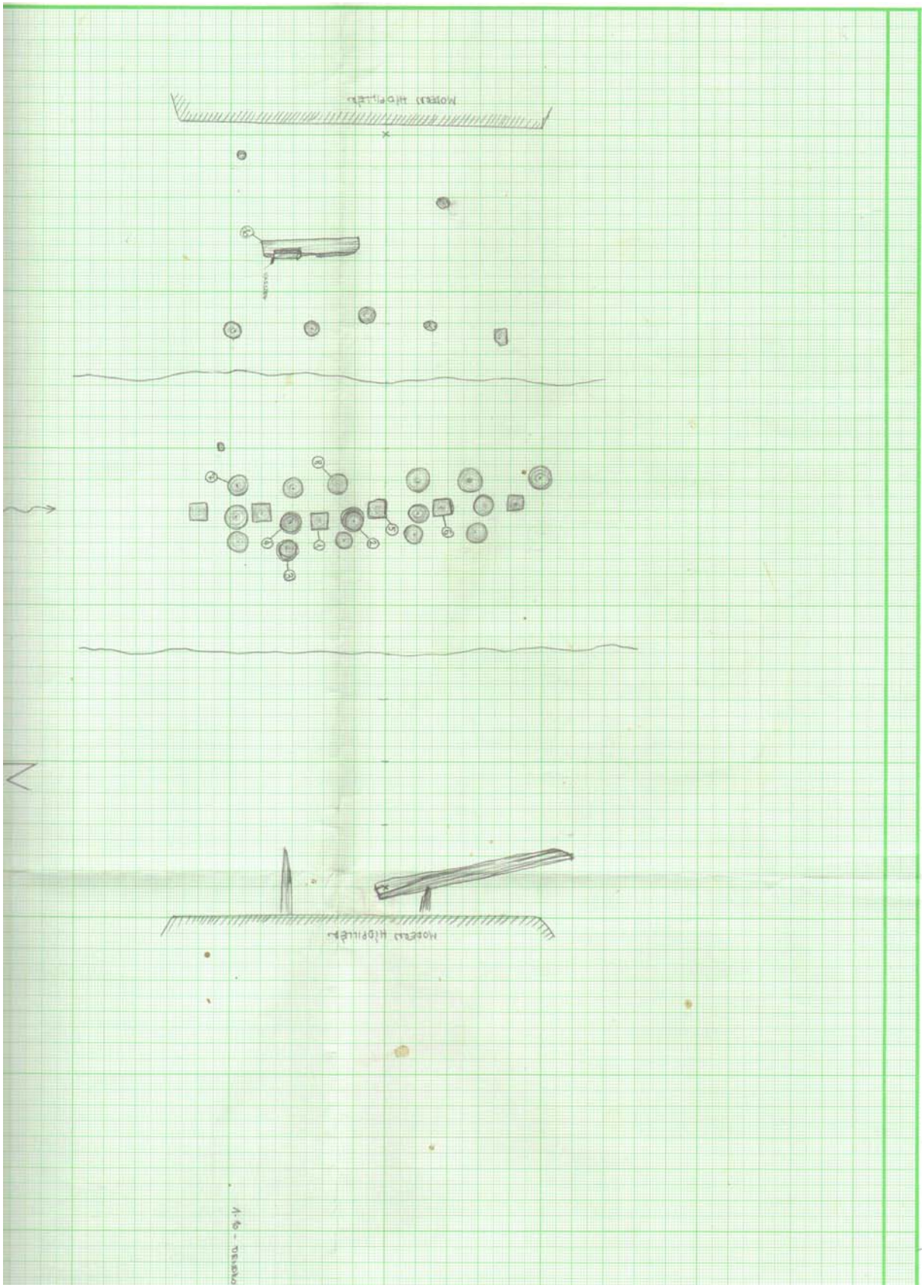
Mindkét csoportról elmondható, hogy a felhasznált példányok jó életkörülmények között nőttek, így a relatíve nagy méretük ellenére kevés évgyűrűt tartalmaztak. A két eltérő anyagú és készítésű technikájú csoport léte valószínűleg időbeli eltérésre, azaz legalább két építési periódusra utal.

Mind a fenyő, mind a tölgy cölöpökön legalább két sugár mentén mértük le az évgyűrűk vastagságát.

Az elemzések során kiderült, hogy a cölöpök adatai egymással sem nagyon vethetők össze (kivételt a 3. és 8. fenyő cölöp képez), azaz nem azonos élőhelyről, nem egymás közeléből származnak, ami összecseng a fafaji kép alapján jelzett, feltehetően piacon történő, beszerzéssel.

A térség már meglévő kronológiáival (Bécsi-medence, Nyugat-Magyarország, Magyar-alap: Grynaeus 2015, 88–89, 48. kép) a tölgy adatsorok nem bizonyultak keltezhetőnek. Sajnos a fenyő adatsorokkal is hasonló eredményre jutottak a bécsi kollégák. Így a maradványok pontos keltezését teljes biztonsággal nem sikerült elvégezni. Ugyanakkor az Ikervár határában feltárt, és abszolút dendrokronológiai keltezéssel rendelkező híd tölgycölöpeinek adatsora egyezést mutatott az 1. cölöp adatsorával. Ez alapján, azt mondhatjuk, hogy az 1. cölöp megtalált legfiatalabb évgyűrűje 1673-ban képződött. A szijács minimális vastagságát hozzászámítva és feltételezve, hogy az összes tölgycölöpöt azonos időpontban verték le, a tölgy periódust legkorábban 1685-re keltezhetjük.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



2. ábra: Facölöpök a mederben (Rajz: Szilassy Attila Botond),

Fig. 2.: Wooden poles in the stream bed (Drawing by A.B. Szilassy)

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

3. ábra /1.: Terepjáró a Mindszenti-patak hídján a mintavételezés közben. **/2:** Tanakodás dokumentálás közben. **/3:** Facölöpön állva. **/4:** Az új Pinka-híd építése (Fotók: Ilon Gábor)

Fig.3. /1.: Field survey and sampling on the current bridge of the Mindszent-stream. **/2:** Consultation and documentation. **/3:** Standing on the wooden poles. **/4:** Construction of th new Pinka-bridge (Photos by G. Ilon)

Összegzés

A Vas megyei hidakról megjelent – egyébként az újkort tekintve remek – monográfia anyaggyűjtése és írása (Tóth 2015, 4, 17) kapcsán bizonyos, már publikált római kori átkelők (Ilon 2002; Ilon 2012; Ilon 2015, Fig. 1–2) említése elfelejtődött, de a pinkamindszenti adatra sem bukkantak rá. Úgy gondoljuk mellőzhetetlen jelentősége – kora és kronológiai helyzete – miatt, ennyi idő elteltével, végre közölnünk illik. Ugyanakkor jól egészíti ki egy korábbi fahíd kézzel fogható adataival a körmendi és az ostffyasszonyfai, 1787-ben készített fahidak színezett, a MOL-ban őrzött terveit (Tóth 2015, 19).

A dendrokronológiai elemzés ugyan nem oldotta meg a vágyott módon a keltezés kérdését, ugyanakkor egy relatív időrendi támpontot adott: a híd életének egyik periódusát legkorábban 1685-re keltezhetjük. Az elemzés ugyanakkor azt is kimutatta, hogy legalább két (tölgyeket és fenyőket használó) építési periódussal kell számolnunk, illetve a korabeli fakereskedelemre is szolgáltatott egy értékes adatot: a híd építéséhez nem helyben kivágott anyagot használtak fel, hanem a piacon vásárolt árut.

Köszönetnyilvánítás

Kovács Jenő útépítő mérnök úrnak köszönjük, hogy mint a Kht. vezetője, az utolsó pillanatban is nyitott volt a régészeti kutatásra. Elismeréssel tartozunk Czékus Károly ásatási segédmunkásnak és Szilasi Attila Botond régésztechnikusnak, hogy bokáig / térdig órákig a hideg vízben állva dokumentálták és megmintázták a híd maradványait.

A Bécsi-medence adatainak használatáért Michael Grabnernek tartozunk köszönettel.

Irodalom

ILON G. (2002): Egy valódi „Via Rustica” Savaria territoriumán. / Eine wahre „Via Rustica” auf dem Territorium von Savaria. *Savaria Pars Archaeologica* **25/3** 69–82.

ILON G.(2004): Jelentés a Pinkamindszent 8708. sz. ök. út 7 + 000 – 10 + 460 km nyomvonala terepbejárásáról. *Kézirat.* Savaria Múzeum Régészeti Adattára, ltsz. 1672-04.

ILON G. (2012): 30. Vép–Surányi-patak Ny-i oldala (Vas megye 8. lelőhely). In: Kvassay J. (Szerk.), *Évkönyv és jelentés a K.Ö.SZ. 2009. évi feltárásairól.* Budapest, 31. p.

ILON G. (2015): *The Early and Late Roman Rural Cemetery at Nemesbőd* (Vas County, Hungary). ILON G. & KVASSAY J. (eds.), Archaeopress, Oxford, *Roman Archaeology* **5** 194 pp.

GRYNAEUS A. (2004): *Vizsgálati eredmény.* A *Pinkamindszent–Sároslaki-patak* lelőhelyről származó famaradványok elemzéséről. Budapest, Magyar Dendrokronológiai Laboratórium - Cincér Bt. 2004. október. 24.

GRYNAEUS A. (2015): Miről mesélnek a régi fák évgyűrűi? Régészet, dendrokronológia, klímatörténet. Budapest, Archaeolingua, 2015.

SOSZTARITS O. (2004): Jelentés a Pinkamindszent, 8708-as út megelőző régészeti feltárásáról. *Kézirat,* Savaria Múzeum Régészeti Adattára ltsz. 1726-04.

TÓTH E. (szerk.) (2015): *Hidak Vas megyében.* Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ, Budapest, 228 pp.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

RÉGÉSZETI ÉS TÖRTÉNETI FÉMTÁRGYAK NYERSANYAGA SZÁRMAZÁSI HELYÉNEK MEGHATÁROZÁSA IZOTÓP-GEOKÉMIAI MÓDSZERREL: ÓLOM-, EZÜST- ÉS RÉZIZOTÓPOK EGYÜTTES ALKALMAZÁSA

PROVENANCE DETERMINATION OF ARCHAEOLOGICAL AND HISTORICAL METAL OBJECTS WITH ISOTOPE GEOCHEMICAL METHOD: COMBINED USE OF LEAD, SILVER AND COPPER ISOTOPES

MOZGAI VIKTÓRIA*, FÓRIZS ISTVÁN, BAJNÓCZI BERNADETT

MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

E-mail: mozgai.viktoria@csfk.mta.hu

Abstract

This review paper discusses the use of isotopes of three metals (lead, silver and copper) as a tool to determine the provenance of the raw material of archaeological and historical metal objects. Lead isotope analyses have been performed on various types of metal artefacts since the 1950s. In the 1990s, the introduction of multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometers (MC-ICP-MS) offered a great opportunity to do faster, more precise and accurate measurements and to measure other metal isotopes such as copper and silver isotopes. Two published case studies are discussed as examples showing how the combination of lead, silver and copper isotopes can be used to determine the provenance of the raw material of silver artefacts. The combined use of these three isotopes is unique in the field of provenance studies.

Kivonat

A cikk irodalmi összefoglalás három fém (ólom, ezüst és réz) izotópjainak alkalmazásáról régészeti és történeti fémtárgyak nyersanyaga eredetének kutatásában. Ólomizotóp-méréseket már az 1950-es évek óta végeznek különféle fémtárgyakon. Az 1990-es években a multikollektoros induktív csatolású plazma tömegspektrométerek (MC-ICP-MS) megjelenésével lehetőség nyílt a korábbi módszereknél gyorsabb, pontosabb elemzések végrehajtására, valamint más fémek izotópjainak (többek között réz- és ezüstizotópok) mérésére is. A példaként felhozott két publikált esettanulmány archeometriai szempontból újszerű megközelítésmódot mutat be, nevezetesen hogyan használhatók fel az ólom-, ezüst- és rézizotópok együttesen ezüsttárgyak nyersanyaga eredetének meghatározására.

KEYWORDS: PROVENANCE, LEAD ISOTOPES, SILVER ISOTOPES, COPPER ISOTOPES, SILVER OBJECTS

KULCSSZAVAK: PROVENIENCIA, ÓLOMIZOTÓPOK, EZÜSTIZOTÓPOK, RÉZIZOTÓPOK, EZÜSTTÁRGYAK

Bevezetés

Régészeti és történeti fémtárgyak archeometriai kutatása során három alapvető kérdésre keresünk választ:

- anyagösszetétel – fő- és mellékelemek vizsgálatával,
- származás, azaz, proveniencia, esetünkben a felhasznált nyersanyag lelőhelye – nyomelemek és izotópok elemzésével,
- készítéstechnika – szöveti és metallográfiai vizsgálatokkal.

Fémötvözet első kvantitatív elemzését Martin Heinrich Klaproth hajtotta végre a 18. század végén egy római érmén. Munkája főként az anyagi összetétel meghatározására irányult. Néhány évtizeddel később Göbel (1842) felvetette a proveniencia vizsgálatok ötletét. Kezdetben főelemek vizsgálatával próbálták a tárgyak nyersanyagának eredetét meghatározni. Később kiderült, hogy a nyomelemek meghatározása sokkal hasznosabb lehet az adott érc és geológiai környezetének jellemzésére (von Fellenberg 1860-1867; von Bibra 1869). A következő lépcsőfok az első műszeres vizsgálatok megjelenése volt az 1920-as években. 1930 körül, az atomemissziós spektrometria bevezetésével, lehetővé vált nyomelemek meghatározása viszonylag kis mintából, rövid idő alatt, kellő érzékenységgel. Bár a következő években számos fémtárgy nyomelem-összetételét meghatározták, a módszer mégsem bizonyult a legjobb megoldásnak a proveniencia kérdésében. Ennek oka, hogy a különböző ércfeldolgozási folyamatok során jelentős mértékben megváltozik az adott fém nyomelem-összetétele, így már nem a felhasznált érc összetételét tükrözi. A nyomelemek eloszlása egy adott érctelepen belül is jelentős mértékben változhat (Tylecote et al. 1977).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

Kb. 50 évvel később új módszer jelent meg, amely megoldást kínált a problémára. Az ólomizotópok földtudományokban való sikeres alkalmazását látva, Brill és munkatársai felvetették az ólomizotópok régészeti anyagok proveniencia kutatásában való használatának lehetőségét. Az 1960-as évek során Brill és Wampler számos eredményt publikált, melyek révén különbséget tudtak kimutatni eltérő ólomércből készült leletek, valamint ólomércek ólomizotóp-összetétele között. 1968 és 1981 közt a legkülönbözőbb anyagokra alkalmazták az ólomizotópos méréseket (pl. üvegek, mázak, ólmozott bronzok, ezüst- és aranyérmék, szénfekete festékek, festékanyagok). Fémtárgyakon először ólom- (Brill & Wampler 1967; Grögler et al. 1966) és ezüst- (Gale et al. 1980), majd később réztárgyakra és rézalapú ötvözetekre (Gale & Stos-Gale 1981; Pernicka et al. 1984) alkalmazták a módszert. Az ólomizotópos mérések elterjedését az is elősegítette, hogy ebben az időben új analitikai módszer (termikus ionizációs tömegspektrometria; TIMS) jelent meg, mely sokkal érzékenyebb és pontosabb volt, mint a korábban elterjedt, és széles körben alkalmazott optikai emissziós spektrometria. Ezeket a korai mérési eredményeket azonban kevésbé lehetett archeometriai szempontból felhasználni a mérések kis pontossága és az összehasonlító ércminták izotópos adatait tartalmazó adatbázis hiánya miatt. Az ércekből és a műtárgyakból származó izotópos adatok összehasonlításának módszere szintén hiányos volt (Gale & Stos-Gale 2000; Pernicka 2014). Az 1990-es években a multikollektoros induktív csatolású plazma tömegspektrométerek (MC-ICP-MS) megjelenése újabb áttörést hozott a proveniencia vizsgálatok történetében. A műszer alkalmas a korábbi módszereknél gyorsabb, pontosabb elemzések végrehajtására, valamint lehetővé teszi más fémizotópok (réz-, ezüst-, cink- és ónizotópok) mérését is.

Az ólomizotópokat napjainkban egyre szélesebb skálán alkalmazzák az archeometriai kutatásokban (Gale & Stos-Gale 2000):

- ókori tárgyakról származó ásványi pigmentek (galenit, kohl (szénfekete), réz- és vasásványok, stb.) lelőhelyének azonosítása (pl. Walton & Trentelman 2009; Iñañez et al. 2010; Renson et al. 2011),
- ólom-, arany- és ezüsttárgyak nyersanyaga lelőhelyének azonosítása, ideértve bizonyos típusú ezüstérméket és ólmozott ötvözeteket (ónötvözetek, ólmozott bronzok, stb.) is (pl. Durali-Mueller et al. 2007; Bendall et al. 2009; Guènette-Beck et al. 2009; Baron et al. 2011; Desaulty et al. 2011; Desaulty & Albarède 2013),
- ólmozatlan rézalapú ötvözetek készítéséhez felhasznált rézérc, vagy ólmozott bronzok készítéséhez felhasznált ólomérc származási helyének azonosítása (pl. Niederschlag et al. 2003; Klein et al. 2004; Weeks et al. 2009; Ling et al. 2013; Ling et al. 2014; Molofsky et al. 2014; Mu et al. 2014; Artioli et al. 2016),
- vas- és cinktárgyak nyersanyaga provenienciájának meghatározása (pl. Schwab et al. 2006; Hadas et al. 2009),
- üvegek és mázak készítése során felhasznált nyersanyag (üvegnél homok, színező vagy színtelenítő komponens, mázaknál az ólomtartalmú folyósító) származási helyének meghatározása (pl. Habicht-Mauche et al. 2000; Habicht-Mauche et al. 2002; Henderson et al. 2005; Degryse et al. 2006; Huntley et al. 2007; Huisman et al. 2009; Marzo et al. 2009; Cui et al. 2010; Cui et al. 2011; Mecking 2013),
- falon, vásznon és fán alkalmazott festékanyagok eredetének meghatározása (pl. Nord et al. 2015),
- emberi maradványokban található ólom forrásának meghatározása (ólommérgezés) (pl. Hudson-Edwards et al. 1999; Valentine et al. 2008; Turner et al. 2009; Shaw et al. 2016).

Az ólomizotópok proveniencia-kutatásban történő széleskörű alkalmazása ellenére számolnunk kell a módszer korlátaival, hiányosságaival is, amelyek egy része kiküszöbölhető egyéb izotópok, elsősorban a réz- és ezüstizotópok alkalmazásával. Míg az ólomizotópok használatára már a magyarországi régészeti kutatásban is találunk példát (Kiss 2012; Kiss et al. 2013; Pernicka 2013; Kiss 2014; Siklósi et al. 2015), az ezüst- és rézizotópok archeometriai alkalmazása világszinten sem elterjedt (ezüst: Albarède et al. 2016; réz: Gale et al. 1999; Klein et al. 2004; Hull et al. 2008; Mathur et al. 2009; Klein et al. 2009; Klein et al. 2010; Hull et al. 2014). Újdonságnak számít a három elem izotópjainak együttes alkalmazása (Desaulty et al. 2011; Desaulty & Albarède 2013). Az alábbi tanulmány célja e három elem izotópjainak szélesebb körben történő megismertetése, továbbá az ólom-, ezüst- és rézizotópok együttes alkalmazási lehetőségének bemutatása ezüsttárgyak nyersanyagának proveniencia-kutatásában két publikált esettanulmány példáján.

Az ólom izotópjai

Az ólomnak 28 radioaktív és 4 stabilizotópja (^{204}Pb, ^{206}Pb, ^{207}Pb, ^{208}Pb) ismert. A ^{206}Pb, a ^{207}Pb és a ^{208}Pb radiogén izotópok, amelyek egyrészt a ^{238}U, a ^{235}U és a ^{232}Th izotópok bomlása során keletkeznek (**1. táblázat**), másrészt szupernóvákban képződnek (primordiális eredet). A ^{204}Pb izotóp csak primordiális eredetű, radioaktív bomlás révén nem keletkezik.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

1. táblázat: Urán- és ólomizotópok tulajdonságai (Attendorn & Bowen 1988 nyomán)

Table 1.: Properties of uranium, thorium and lead isotopes (after Attendorn & Bowen 1988)

Anyaizotóp	Leányizotóp	Felezési idő ($T_{½}$, év)	Bomlási állandó (λ, 1/év)	Pb izotóp relatív gyakorisága
^{238}U →	**^{206}Pb**	$4{,}47 \times 10^{9}$	$1{,}55125 \times 10^{-10}$	24,1 %
^{235}U →	**^{207}Pb**	$0{,}704 \times 10^{9}$	$9{,}8485 \times 10^{-10}$	22,1 %
^{232}Th →	**^{208}Pb**	$14{,}01 \times 10^{9}$	$0{,}49475 \times 10^{-10}$	52,4 %
^{204}Pb		stabil	stabil	1,4 %

Bár stabilizotópként tartják számon, valójában nagyon gyengén radioaktív, azonban a felezési ideje nagyon hosszú ($T_{½} \geq 1{,}4 \times 10^{17}$ év). Alfa-bomlással ^{200}Hg izotóppá bomlik (Attendorn & Bowen 1988). Mind a négy stabilizotóp lényegében azonos kémiai tulajdonságokkal rendelkezik.

Az ólom radioaktív izotópjai közül a leghosszabb élettartamú a ^{205}Pb ($T_{½}$= 15,3 millió év) és a ^{202}Pb ($T_{½}$= 53 ezer év). A természetben előforduló radioaktív izotópok közül a legrövidebb felezési idővel a ^{210}Pb rendelkezik ($T_{½}$= 22,20 év) (Attendorn & Bowen 1988).

Az ólom kalkofil elem, főképp szulfidokban jelenik meg. Legnagyobb mennyiségben a Föld köpenyében fordul elő. Ezzel szemben az urán és a tórium litofil elemek, ezért a litoszférában dúsulnak legnagyobb mennyiségben, főképp szilikátokban és oxidokban (Attendorn & Bowen 1988).

A közönséges ólom mindenütt jelen levő alkotója az érctelepeknek, kőzeteknek és ásványoknak. Nagy mennyiségben fordul elő ólom-cink és ólom-ezüst telepekben, kisebb mennyiségben réz- és vasérctelepekben. A természetben előforduló ólom izotópos összetétele változó (Gale & Stos-Gale 2000). A közönséges ólom a 204, 206, 207 és 208 tömegszámú ólomizotópok keverékét tartalmazza.

közönséges ólom = primordiális ólom + radiogén ólom

A Föld keletkezésekor az ólomizotóp összetételt csupán a primordiális ólom határozta meg. Erre a kezdeti izotóp-összetételre a Canyon Diablo vasmeteorit uránt nem tartalmazó troilit (FeS) fázisából következtethetünk (Göpel et al. 1985; Dickin 1995).

Számos kísérletet végeztek, hogy kvantitatív modellt alkossanak a Föld ólomizotóp-összetételének időbeli fejlődéséről. A modellek az alábbi feltevéseken alapulnak: A Föld kezdetben homogén, folyékony halmazállapotú volt. Ekkor az urán, a tórium és az ólom egyenletesen oszlott el benne. Mindenütt ugyanaz volt az ólomizotóp-összetétel (primordiális (ősi) izotóp-összetétel). Később a Föld megszilárdulása és a különböző differenciációs események után, regionális különbségek alakultak ki az izotóp-összetételben, amikre eltérő U/Pb (μ) arány volt jellemző. Az adott kőzetrendszerben jelen levő urán és tórium bomlása tovább módosította az izotóparányokat. Az érctelepek kialakulása során a közönséges ólmot tartalmazó ásványok képződésekor az ólom elkülönült az uránról és a tóriumtól. Emiatt az adott ércásványban már nem növekedett tovább a radiogén ólom mennyisége, így az ásvány megőrizte a képződésekor jelen levő ólomizotóp-összetételt (Attendorn & Bowen 1988; Dickin 1995). A fenti ólomizotópos fejlődés az alábbi képletekkel összegezhető:

Föld kialakulása (T) → (*radioaktív bomlás a kőzetben*) → **ércesedés kialakulása** (t) → (*nincs már radioaktív bomlás az adott ércásványban*) → **jelenkor**

$$^{206}Pb_t = {}^{206}Pb_T + {}^{238}U(e^{\lambda 238T} - e^{\lambda 238t})$$

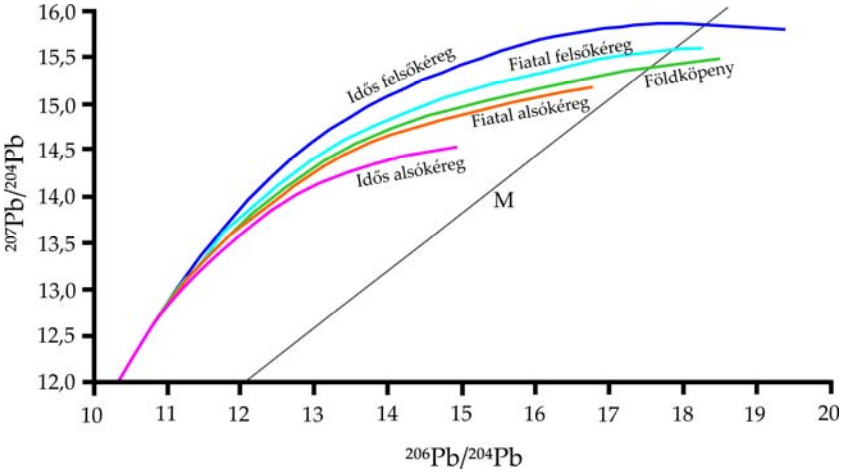
$$^{207}Pb_t = {}^{207}Pb_T + {}^{235}U(e^{\lambda 235T} - e^{\lambda 235t})$$

$$^{208}Pb_t = {}^{208}Pb_T + {}^{232}Th(e^{\lambda 232T} - e^{\lambda 232t})$$

ahol T a Föld kialakulásának kora, t az ércesedés kialakulásának kora, λ pedig a bomlási állandó (Attendorn & Bowen 1988; Dickin 1995).

Az ólomérc-telepek képződésében csupán a litoszférának (kéreg és felső köpeny) van szerepe, mivel az alsó és a felső köpeny, valamint a köpeny és a mag között kicsi az anyagcsere. A kéregben négy fő rezervoárt különíthetünk el: felső kéreg, alsó kéreg, idős kéreg és fiatal kéreg (**1. ábra**). A felső és alsó kéreg parciális olvadás során különülnek el egymástól, az urán és a tórium az olvadékba vándorol, így a felső kéregnek magasabb lesz a μ értéke, valamint radiogén ólomizotópokban is gazdagabb lesz.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



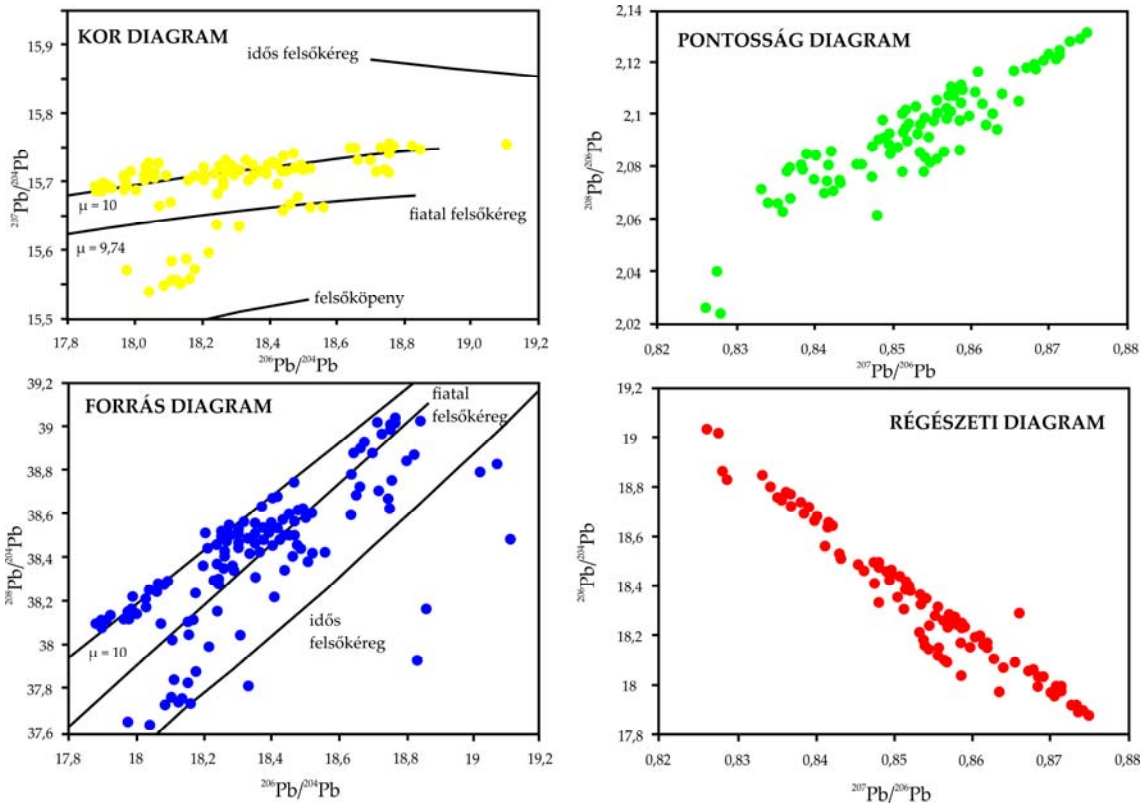
1. ábra: A négy fő rezervoár ólomizotóp-összetételének fejlődése a Föld keletkezése óta (t = 4,55 Ga) (M = egylépcsős modellel meghatározott geokron) (Giunti 2011 nyomán)

Fig. 1.: Evolution of lead isotopic composition of the four main reservoirs since the formation of Earth (t = 4.55 Ga) (M = geochrone determined with one-stage model) (after Giunti 2011)

Az idős és a fiatal kéreg tulajdonságait az erózió határozza meg. Az uránt nagyobb oldhatósága miatt az oldatok elszállítják, a fiatal kéreg jobban erodálódik, mint az idős, ezért kisebb μ értékek jellemzik (Giunti, 2011). A tórium oxidatív körülmények között kevésbé mobilis, mint az urán, ezért az Th/U (κ) arány szintén jó paraméter az adott terület jellemzésére (Attendorn & Bowen 1988; Dickin 1995).

Egy adott terület izotópos jellemzéséhez és az adott ólom forrásának meghatározásához az alábbi három izotóparány meghatározása szükséges: $\mu = {}^{238}U/{}^{204}Pb$; $\kappa = {}^{232}Th/{}^{238}U$; $\omega = {}^{232}Th/{}^{204}Pb$ (Giunti 2011). Az adott terület ólomizotóp-összetétele a fenti arányokon felül annak a rezervoárnak a geológiai korától is függ, amiből keletkezett (Attendorn & Bowen 1988; Dickin 1995).

Az izotópmérések során kapott adatokat többféle diagramon ábrázolhatjuk (**2. ábra**) (Giunti 2011):



2. ábra: A leggyakoribb szilikátok átlagos ólomizotóp-összetétele négy különböző diagramtípusban ábrázolva (Giunti 2011 nyomán)

Fig. 2.: Average lead isotopic composition of the most common silicates illustrated in four different diagram types (after Giunti 2011)

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

- $^{207}Pb/^{204}Pb$ vs. $^{206}Pb/^{204}Pb$ diagram (kor diagram): az ^{207}Pb az ^{235}U, míg az ^{206}Pb az ^{238}U radioaktív bomlásából keletkezik. E két uránizotóp teljesen hasonlóan viselkedik a különböző geológiai környezetekben hasonló fizikai és kémiai tulajdonságaik révén. A diagram az adott ércesedés korának ábrázolására és becslésére alkalmas.
- $^{208}Pb/^{204}Pb$ vs. $^{206}Pb/^{204}Pb$ diagram (ólom forrásterület diagram): az ^{208}Pb a ^{232}Th, míg az ^{206}Pb az ^{238}U radioaktív bomlásából keletkezik. Az urán és a tórium különbözőképp viselkednek a különböző geológiai környezetekben, mivel eltérőek a fizikai és kémiai tulajdonságaik. Együttes használatukkal a különböző metallogéniai forrásterületek jellemezhetők.
- $^{208}Pb/^{206}Pb$ vs.$^{207}Pb/^{206}Pb$ diagram (pontosság diagram): Az ^{204}Pb-et viszonylag kis gyakorisága és a ^{204}Hg izotóppal való átfedése miatt meglehetősen nehéz mérni, ezért, ha a fenti izotóparányokat alkalmazzuk, nagyobb a hiba. Nagyon pontos elemzések szükségesek, mivel a ^{204}Hg kis mennyiségben előfordulhat a mérésekhez használt argongázban, az ércesedésekben és a régészeti mintákban is. Pontosabb eredményt kapunk, ha a ^{204}Pb izotópot nem ábrázoljuk, ezért a pontosság index az archeometriai szakirodalomban leggyakrabban alkalmazott diagramtípus. E diagram alapján azonban a geológiai interpretáció szinte lehetetlen, csupán a pontok helyzete a mérvadó.
- $^{206}Pb/^{204}Pb$ vs. $^{207}Pb/^{206}Pb$ diagram (régészeti diagram): Bár ebben a diagramban ismét megjelenik az ^{204}Pb, mégis pontosabb, mint az első két diagramtípus. A régészetben használt diagramtípus, azonban geológiai interpretációra szintén alkalmatlan, ráadásul kevesebb információt ad, mivel a mérési pontok egy vonal mentén jelennek meg. Számos hátránya miatt ezt a diagramtípust csupán érdekességként említjük meg. Napjainkban ritkán alkalmazzák.

A mérések során kapott izotóparányokból a fenti képletek segítségével úgynevezett modell-korok számolhatók, amik az ércesedés kialakulásának geológiai korát adják meg. Mivel az ércásványokban nincs beépült urán és tórium, ezért radioaktív bomlás sincs, így nem a jelenhez viszonyított korát számoljuk, hanem a Föld keletkezésétől az ólomérc-ásvány képződéséig eltelt időt. Mindennek archeometriai vizsgálatok során annyi a szerepe, hogy ha megmérjük egy adott tárgy ólomizotóp-összetételét, akkor a kapott adatokból szintén számolható modell-kor. Ez a kapott kor durva becsléssel megadja a geológiai korát annak az ércesedésnek, amelyből a tárgy nyersanyagául szolgáló érc származhatott. Ez útmutató lehet, de abban nem teljesen megbízható, hogy melyik érctelepet kell figyelembe venni a proveniencia kutatásokban (Gale & Stos-Gale 2000).

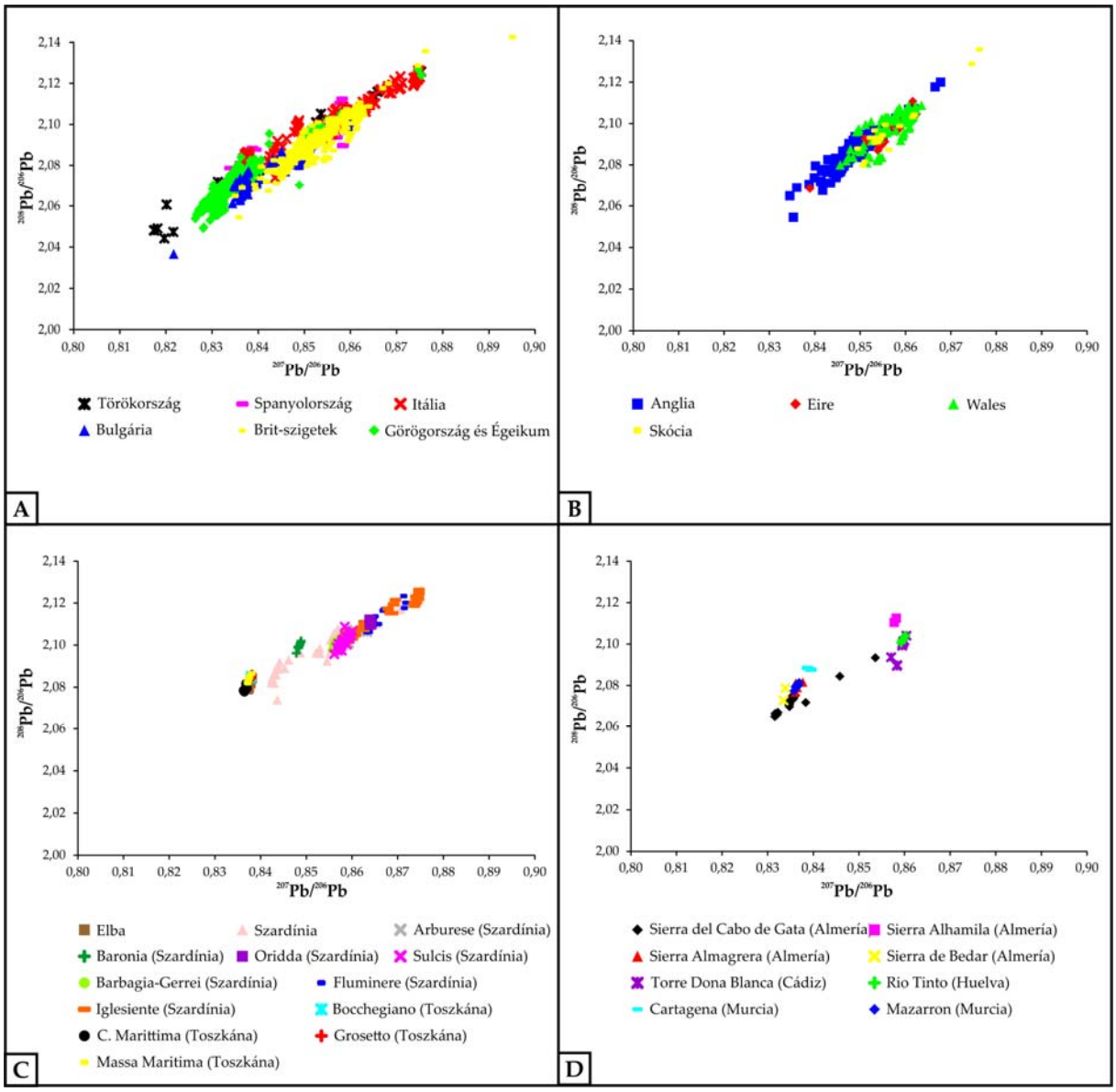
Elméletben az ólomizotóp-összetétel azonos minden ásványban, amely az adott ércesedésben megtalálható, és ugyanazokon a folyamatokon esett át, ugyanaz a geológiai története. Azonban számos mérés bizonyította, hogy valamennyi eltérés megfigyelhető, ami az eredeti, ércesedés előtti urán- és tóriumtartalommal állhat összefüggésben. Egy ércesedés megfelelő jellemzéséhez többféle ásványt és az ércesedés különböző helyeiről vett mintákat kell elemezni. Jól kell ismerni a terület geológiáját, valamint mintázási tervet kell készíteni, ami magában foglal minden geológiai információt. Egyes ércesedések nagyon bonyolult felépítésűek, különböző időkben képződött ásványokból állhatnak, melyekre különböző folyamatok hathattak. Ahhoz, hogy megfelelően felmérjük ezeket a különbségeket, nagyszámú mérés szükséges. Megfelelő mennyiségű izotópos adattal jellemezhető egy ércesedés. Vannak érctelepek, amelyek jellemzéséhez kevés mérés (5-10) elég, míg vannak olyanok is, melyek nagy ólomizotópos változékonyságot mutatnak, pl. az ún. Mississippi Valley-típusú (MVT) telepek, ahol 50 mérés is kevés a jellemzéshez (Stos-Gale & Gale 2009).

Az érctelepek ólomizotóp-összetétele erős átfedést mutat egymással. Általános megfigyelés, hogy az ércesedések jellemzően klasztereket-csoportokat alkotnak időben (ércképződési folyamatok) és térben (bányászati területek). Mindebből az következik, hogy az érctestek ólomizotópos összetétele hasonló lesz (Villa 2009). Mindez azonban javítható az analitika pontosításával, valamint más izotópokból, illetve nyomelemekből kapott adatok kombinálásával (Villa 2009; Giunti 2011).

Az elmúlt 30 évben számos érctelep ólomizotóp-összetételét határozták meg, gyűjtötték nagy adatbázisokba, pl.: OXALID (= Oxford Archaeological Lead Isotope Database, **3.** és **4. ábra**) (Stos-Gale et al. 1995; Rohl 1996; Stos-Gale et al. 1996; Gale et al. 1997; Stos-Gale et al. 1998; Santos Zalduegui et al. 2004; Stos-Gale & Gale 2009; Balcaen et al. 2010; Artioli et al. 2016), és széles körben alkalmazták régészeti fémleletek proveniencia vizsgálatához.

Nehézizotópoknál, mivel a relatív tömegkülönbség nem olyan jelentős az izotópok között, a frakcionáció olyan kismértékű, hogy nem befolyásolja a kapott adatokat, ezért elhanyagolható (Craddock 2009; Le Bot et al. 2011).

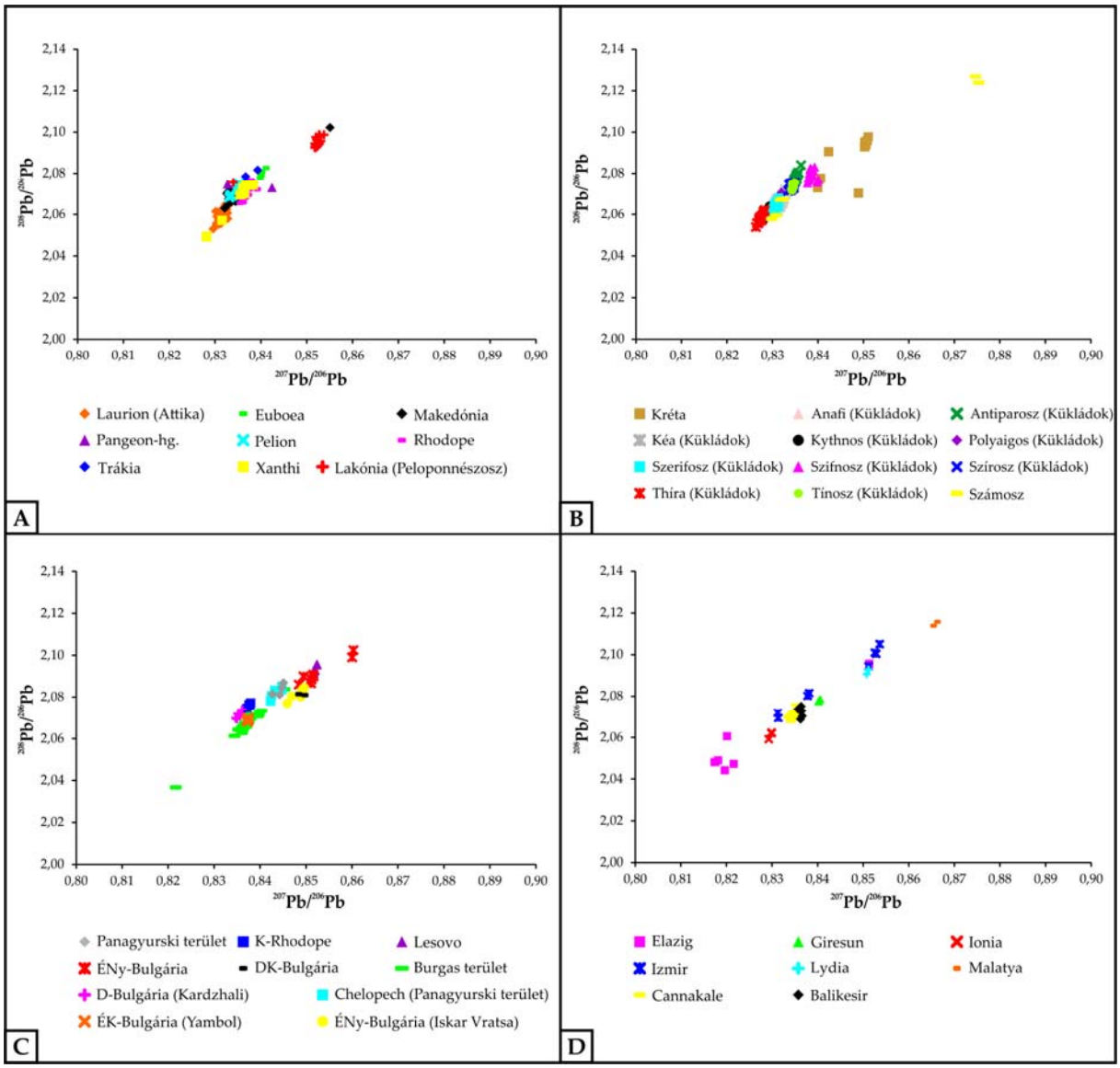
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



3. ábra: Az OXALID adatbázisban megtalálható ólomércesedések ólomizotóp-összetétele országokra bontva (A). Nagy Britannia (B), Itália (C) és Spanyolország (D) ólomércesedéseinek ólomizotóp-összetétele az OXALID adatbázis alapján (Stos-Gale et al. 1995 és Rohl 1996 nyomán)

Fig. 3.: Lead isotopic composition of lead ore deposits from the OXALID database according to countries (A). Lead isotopic composition of British (B), Italian (C) and Spanish (D) lead ore deposits from the OXALID database (after Stos-Gale et al. 1995 and Rohl 1996)

Az ércfeldolgozási, megmunkálási (olvasztás, finomítás, öntés) és korróziós folyamatok során nem változik meg az ólomizotóp-összetétel kimutatható mértékben (Russel & Farquhar 1960; Desaulty et al. 2011). Létezik azonban számos olyan folyamat is, ami jelentős mértékben megváltoztathatta az izotóp-összetételt: egyéb anyagok hozzáadása (pl. litargit, amalgám), újra-beolvasztás (eltérő izotóparányú tárgyak összeolvasztása), különböző bányákból származó ércek feldolgozása, más lelőhelyről származó réz hozzáadása. Ezért fontos a mérések során kapott adatok körültekintő értelmezése (Desaulty et al. 2011). Ezüsttárgyak kapcsán különösen óvatosan kell eljárni, mivel az ezüstöt gyakran ötvözték rézzel, hogy ellenállóbbá tegyék. A hozzáadott réz jelentős mennyiségű ólmot is hozhat magával, aminek eltérő lehet az ólomizotóp-összetétele (Gale & Stos-Gale 2000). További probléma, hogy gyengébb minőségű ércek feldolgozása során ólmot adtak az ércanyaghoz, hogy elősegítsék az ezüst kinyerését. Ebben az esetben már nem az érc izotóp-összetételét kapjuk, hanem kevert értéket (Gale & Stos-Gale 2000; Craddock 2009).



4. ábra: Görögország (A), Égei-tengeri szigetek (B), Bulgária (C) és Törökország (D) ólomércesedéseinek ólomizotóp-összetétele az OXALID adatbázis alapján (Stos-Gale et al. 1996 és Stos-Gale et al. 1998 nyomán)

Fig. 4.: Lead isotopic composition of Greek (A), Aegean (B), Bulgarian (C) and Turkish (D) lead ore deposits from the OXALID database (after Stos-Gale et al. 1996 and Stos-Gale et al. 1998)

Ha egy tárgy ólomizotóp-összetétele egybeesik egy érctelepével, még nem állítható, hogy a nyersanyaga onnan származik, mivel több érctelepnek is lehet azonos az ólomizotóp-összetétele. Ha azonban egy tárgy ólomizotóp-összetétele nem egyezik egy érctelepével, akkor bizton állítható, hogy a nyersanyaga nem abból az ércesedésből származik, vagy legalábbis nem csak abból az ércesedésből (Pollard & Bay 2014). Ezért egyéb geokémiai vizsgálatok (nyomelem-koncentráció, valamint egyéb fémizotópok mérése) is szükségesek az adatok megfelelő értelmezéséhez. Amennyiben többféle ércesedésből vagy korábbi tárgyak újraolvasztásából származik a tárgy anyaga, az ólomizotóp-értékek ún. „keveredési vonal" mentén helyezkednek el. A pontok elhelyezkedésétől függően lehetőség van a keverék arányának kiszámítására (kivételt képeznek a réz- és vasércek, mivel ezeknek nagyon változatos lehet az ólomtartalma) (Bode et al. 2009; Cattin et al. 2009). Újabb kutatások szerint azonban eltérő forrásból származó fémek összeolvasztásával a proveniencia-vizsgálatokhoz használt információk teljes mértékben elvesznek (Pernicka 2014).

Az ezüst izotópjai

Az ezüstnek két stabilizotópja (^{107}Ag és a ^{109}Ag) és 28 radioaktív izotópja ismert. A radioaktív ezüstizotópok elektronbefogással és β-bomlással bomlanak. Ezek közül a legstabilabb a ^{105}Ag ($T_{1/2}$=41,29 nap), a ^{111}Ag ($T_{1/2}$=7,45 nap) és a ^{112}Ag ($T_{1/2}$=3,13 óra). A többi izotóp felezési ideje

kevesebb, mint 1 óra. A stabilizotópok közül a könnyebb ^{107}Ag a gyakoribb. Az SRM 978a jelű referenciaanyagban (mesterségesen előállított ezüst-nitrát) mért relatív gyakorisága 51,8392%, míg a nehezebb ^{109}Ag izotópé 48,1608%. A ^{107}Ag izotóp a Világegyetemben lejátszódó folyamatokon kívül a radioaktív ^{107}Pd bomlásából is keletkezik β-bomlás során. Mivel a ^{107}Pd izotópnak viszonylag rövid a felezési ideje ($T_{1/2}$=6,5 millió év), ezért gyakorlatilag már az összes ^{107}Pd izotóp ^{107}Ag izotóppá bomlott az évmilliárdok során. Emiatt napjainkban az ezüst stabilizotópjai nem keletkeznek radioaktív bomlás révén, ezért egy anyagban a gyakoriságuk csupán fizikai-kémiai folyamatoktól függ, szemben a korábban említett ólomizotópokkal (Boyle 1968).

Az izotópmérések során a két stabilizotóp egymáshoz viszonyított arányát mérik. Ezt az arányt az alábbi képletbe helyettesítve kapjuk meg az ε^{109}Ag értéket, tízezrelékben kifejezve.

$$\varepsilon^{109}Ag = \left(\frac{\left(\frac{^{109}Ag}{^{107}Ag}\right)_{minta}}{\left(\frac{^{109}Ag}{^{107}Ag}\right)_{sztenderd}} - 1 \right) * 10\,000$$

Sztenderdnek az SRM 978a jelű referenciaanyagot használják, amelynek ^{107}Ag/^{109}Ag értéke 1,07638 +/- 0,00022 (^{109}Ag/^{107}Ag = 0,92904) (Woodland et al. 2005).

Az ezüstizotópok kezdeti alkalmazása közé tartozott a Naprendszer korai időszakában lezajló folyamatok vizsgálata (Hauri et al. 2000; Woodland et al. 2005; Schönbächler et al. 2008). Archeometriai alkalmazásuk azonban eddig kevésbé ismert. Ennek oka, hogy az ezüstizotópok változékonysága nagyon keskeny sávban mozog, így csupán extrém pontos mérésekkel mutatható ki (+/- 0,1ε) (Desaulty et al. 2011). Ezüstizotópok archeometriai alkalmazására – ólom- és/vagy rézizotópokkal kombinálva – Desaulty et al. (2011), Desaulty & Albarède (2013) és Albarède et al. (2016) tettek kísérletet különböző korú ezüstérmék vizsgálata során.

A különböző ezüstércek ezüstizotóp-összetétele kevésbé ismert, azonban az eddig ezüstércekben (természezüst, ezüsttartalmú aranyérc) mért 6ε (0,6 ‰) izotópos változékonyság biztató az időigényes, nagy precizitást igénylő mérések ellenére is (Hauri et al. 2000; Woodland et al. 2005). A változékonyság oka az ércesedési folyamatok során fellépő izotópfrakcionáció, valamint a forráskőzetek izotóp-geokémiai heterogenitása. Az ezüstérc-telepek kora és ezüstizotóp-összetétele közt nincs korreláció (Chugaev & Chernyshev 2009).

Mivel magas hőmérsékleten kisebb az izotópfrakcionáció mértéke, ezért a nagyhőmérsékletű metallurgiai folyamatok során nem lép fel frakcionáció. Tehát a metallurgiai folyamatok nincsenek hatással az izotóp-összetételre. Figyelembe kell venni a kapott adatok értelmezésekor, hogy a készítési, kinyerési eljárások során hozzáadott egyéb anyagok megváltoztathatják az izotóp-összetételt (Woodland et al. 2005). Jelenleg nincs geokémiai vagy elméleti információ arról, hogy az alacsony hőmérsékletű (pl. mállási) folyamatok hogyan befolyásolják az ezüstizotópok frakcionációját, azonban más izotópok alapján jelentős mértékű frakcionáció feltételezhető. Újabb tanulmányok kimutatták ezüstizotópok frakcionációját ezüst nanorészecskék természetes képződésekor (Lu et al. 2016) és különböző környezeti mintákban (Luo et al. 2010).

A réz izotópjai

A réznek két stabilizotópja (^{63}Cu és ^{65}Cu) és 27 radioaktív izotópja ismert. A radioaktív izotópok közül a legstabilabb a ^{67}Cu, aminek a felezési ideje 61,83 óra, míg a legkevésbé stabil az ^{54}Cu, aminek a felezési ideje körülbelül 75 ns. A fennmaradók közül a legtöbbnek egy percnél kisebb a felezési ideje. β^+ és β^- bomlással bomlanak. A réz stabilizotópjai közül a könnyebb ^{63}Cu nagyobb gyakoriságú, mint a nehezebb ^{65}Cu izotóp. A ^{63}Cu relatív gyakorisága a NIST SRM 976 referenciaanyagban (fémréz) 69,174 %, míg a ^{65}Cu izotópé 30,826 % (Shields et al. 1964).

Mivel a réz stabilizotópjai nem radioaktív bomlás révén keletkeznek, ezért egy anyagban a gyakoriságuk csupán fizikai-kémiai folyamatoktól függ, szemben a korábban említett ólomizotópokkal (Mathur et al. 2009; Klein et al. 2010).

Az izotópmérések során a ^{65}Cu/^{63}Cu arányt mérjük a mintában, majd ezt az arányt egy sztenderdhez viszonyítva, az alábbi képletbe behelyettesítve kapjuk meg a δ^{65}Cu értéket ezrelékben (‰) kifejezve.

$$\delta^{65}Cu = \left(\frac{\left(\frac{^{65}Cu}{^{63}Cu}\right)_{minta}}{\left(\frac{^{65}Cu}{^{63}Cu}\right)_{sztenderd}} - 1 \right) * 1000$$

Sztenderdként a NIST SRM 976 jelű fémréz referenciaanyagot használják, amelynek ^{63}Cu/^{65}Cu aránya 2,2440 +/- 0,0021 ‰ (^{65}Cu/^{63}Cu = 0,4456 ‰) (Shields et al. 1964).

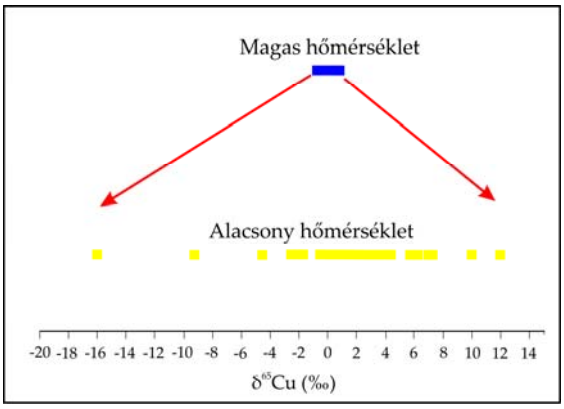
A réz az átmeneti fémek csoportjába tartozó, erősen kalkofil elem. A természetben leggyakrabban háromféle oxidációs állapotban fordul elő: Cu(I) és Cu(II) formában, valamint ritkán elemi rézként is. A leggyakoribb oxidációs állapot a Cu(II), mely

sokféle vegyületben megjelenik. A réz számos komplexet tud képezni (köbös, trigonális, tetragonális) (Albarède 2004). A legfontosabb réztartalmú ásványok a különféle szulfidok, szulfosók (pl. kalkopirit, bornit, kalkozin, tetraedrit, tennantit). Oxidatív körülmények közt másodlagos réz-oxid és réz-karbonát ásványok jönnek létre (pl.: malachit, azurit, kuprit). A réz fenti tulajdonságaiból adódik a természetben lejátszódó folyamatok során fellépő, meglehetősen nagymértékű izotópfrakcionációja (Albarède 2004).

Már az 1950-es, 1960-as években kísérletet tettek a réz izotópos változékonyságának leírására, azonban az analitikai eszközök ekkor még nem voltak alkalmasak nagy pontosságú mérések végrehajtására. Néhány ezrelék változékonyságot azonban sikerült kimutatni, mely alapján felvetették az ásványfázisok közti frakcionáció lehetőségét (Walker et al. 1958; Shields et al. 1965). Ezután közel 30 évig nem született hasonló munka a rézizotópok kutatásában. Ennek oka az adatok TIMS módszerrel történő reprodukálhatatlansága volt. Az 1990-es évektől egy új műszer, az ICP-MS bevezetését követően azonban ismét fellendült a rézizotópok mérése, kutatása (Gale et al. 1999; Albarède 2004). Számos cikk jelent meg, amelyek viszonylag sok értékelhető adatot szolgáltattak a különféle környezetekben (mélytengeri, kontinentális) megjelenő rézásványok rézizotóp-összetételéről (Maréchal et al. 1999; Zhu et al. 2000; Larson et al. 2003; Graham et al. 2004; Markl et al. 2006; Asael et al. 2007; Mathur et al. 2009; Klein et al. 2010). Mindezek alapján a rézizotópok 9 ‰ természetes változékonyságot mutatnak, mely a legnagyobb mértékű az átmeneti fémek között (Markl et al. 2006).

A rézizotópok frakcionációja a különböző ércek között nagyobb mértékű, mint az ezüstizotópoké (Mathur et al. 2009). Ebből arra következtethetünk, hogy a különböző ércesedési folyamatok jelentősen befolyásolhatják a rézizotóp-összetételt. Mivel a hőmérséklet növekedésével a frakcionáció mértéke csökken, ezért a magasabb hőmérsékletű (150-300°C) hidrotermás folyamatok nem okoznak frakcionációt az érctelepek rézizotóp-összetételében. Emiatt a magas hőmérsékleten kialakult érctelepek között nincs izotópos változékonyság (Markl et al. 2006; Mathur et al. 2009). A magas hőmérsékleten képződött primer rézérc-telepek δ^{65}Cu értékei 0 ‰ körül mozognak (Klein et al. 2010) (**5. ábra**).

A magas hőmérsékletű hidrotermás folyamatokkal szemben az alacsony hőmérsékletű redox folyamatok jelentősen befolyásolhatják az érctelepek rézizotóp-összetételét. Szupergén környezetekben, különböző oxidációs állapotokban frakcionáció lép fel a különböző rézásványok közt (**5. ábra**).



5. ábra: Az alacsony (<100 °C) és a magas (>250 °C) hőmérsékletű környezetekben képződött rézásványok rézizotóp-összetétele (Zhu et al. 2000; Larson et al. 2003; Graham et al. 2004; Markl et al. 2006; Asael et al. 2007; Mathur et al. 2009 nyomán)

Fig. 5.: Copper isotopic composition of copper minerals formed at low (<100 °C) and high (>250 °C) temperatures (after Zhu et al. 2000; Larson et al. 2003; Graham et al. 2004; Markl et al. 2006; Asael et al. 2007; Mathur et al. 2009)

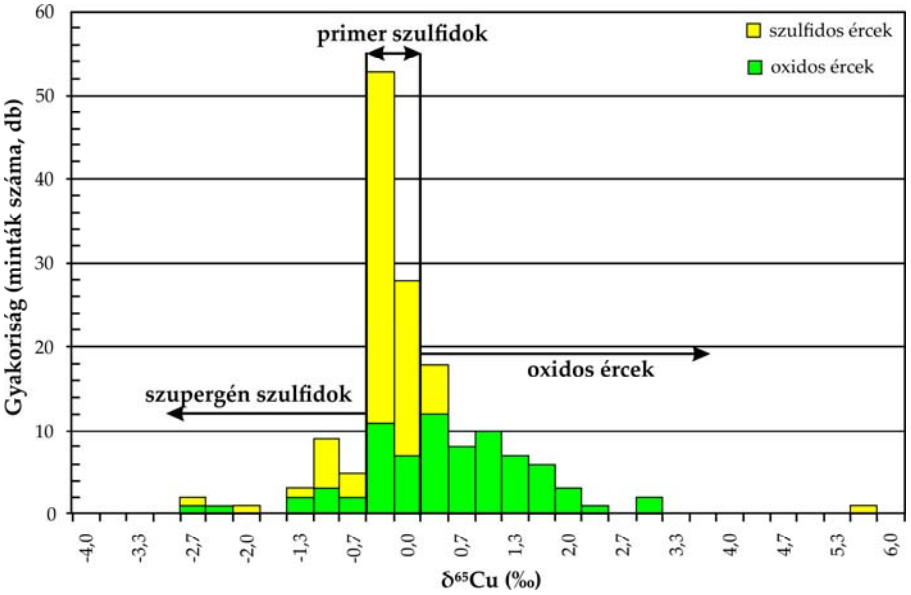
Ennek oka, hogy az alacsony hőmérsékleten képződött érctelepek a magas hőmérsékleten képződött telepek másodlagos átalakulása során jönnek létre, amely során izotópfrakcionáció lép fel (Albarède 2004; Markl et al. 2006). A frakcionáció mértéke függ a szállító fluidum hőmérsékletétől, pH-jától és oxidációs állapotától. Mivel a réz a hidrotermás folyamatok során klorokomplexek (pl. $CuCl^{+}$, $CuCl_4^{2-}$, $CuCl_3^{-}$ stb.) formájában szállítódik, ezért az adott fluidum sótartalma is fontos szerepet játszhat a frakcionációban (Gale et al. 1999; Larson et al. 2003).

A rézizotópos mérések azt mutatják, hogy Cu(I) ásványokra negatívabb δ^{65}Cu értékek jellemzők, mint a Cu(II) ásványokra, tehát az oxidált rézércek pozitívabb δ^{65}Cu, míg a redukált, szulfidos rézércek negatívabb δ^{65}Cu értékeket mutatnak (Markl et al. 2006; Asael et al. 2007; Klein et al. 2010) (**6. ábra**).

Metallurgiai folyamatok során sem lép fel frakcionáció a rézizotópok közt, mivel magas hőmérsékleten kis mértékű az izotópfrakcionáció (Gale et al. 1999).

A fentiek alapján elmondható, hogy a rézizotópok önmagukban nem használhatók fel forrásterület meghatározására, mert a másodlagos, redox folyamatok miatt sokkal nagyobb egy adott érctelepen belüli izotópos változékonyság, mint a különböző érctelepek közötti eltérés (Markl et al. 2006; Mathur et al. 2009).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



6. ábra:
A primer rézszulfidos, a szupergén rézszulfidos és az oxidos rézércek rézizotóp-összetétele (Klein et al. 2010 nyomán)

Fig. 6.:
Copper isotopic composition of primary copper sulphides, supergene copper sulphides and oxidised copper ore minerals (after Klein et al. 2010)

Mindezek ellenére a rézizotópok fontos szerepet töltenek be a mélyen fekvő, elsődleges és szupergén szulfidos, valamint a sekély, másodlagos oxidos, karbonátos ércek elkülönítésében. Régészeti szempontból ez különösen fontos, hiszen kezdetben főképp a másodlagos, gossan típusú telepeket bányászták (Klein et al. 2010).

A rézizotópok régészeti és történeti fémtárgyak archeometriai kutatásában történő használatára már több tanulmányban kísérletet tettek (Klein et al. 2004; Mathur et al. 2009; Klein et al. 2010).

Esettanulmányok

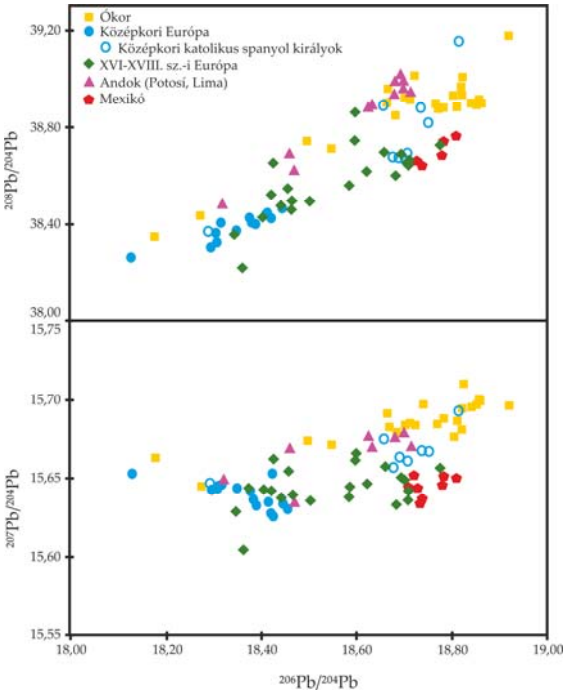
A továbbiakban két olyan publikált esettanulmányt ismertetünk, amelyben a fent említett három fém izotópjainak együttes alkalmazására tettek kísérletet a szerzők (Desaulty et al. 2011; Desaulty & Albarède 2013). Mindkét cikkben a nagy árforradalom (15. század második fele – 17. század eleje) során bekövetkezett infláció és gazdasági válság lehetséges okainak kutatásához kapcsolódóan ezüstérmék nyersanyagának eredetét vizsgálták.

A korai monetáris rendszerek megértéséhez ismernünk kell a nemesfémek korabeli globális áramlását. A 15–17. század során bekövetkezett gazdasági válság kiváltó okaival számos kutató foglalkozott. Hamilton (1934) szerint a nagy árforradalom (1520–1650) oka főképp az Amerikából (Mexikóból és Perui Alkirályságból (mai Bolívia)) az európai piacokra beáramló nagymennyiségű ezüst volt, és nem az akkoriban széles körben elterjedt kis értékű rézpénzek (billon; „vellón") verése. A 16. századi francia filozófus, Jean Bodin szintén hasonló nézeteket vallott. Spanyol-Amerikában a 16–18. század között kb. 300 t ezüstöt bányásztak évente. Ezt a nagy mennyiségű nyersanyagot részben a lokális amerikai gazdaság használta fel, részben pedig a főbb spanyol kikötőkön (pl. Sevilla) keresztül az európai piacok felé, illetve közvetlenül a Fülöp-szigeteken keresztül, vagy közvetve Európán keresztül a Távol-Keletre áramlott (Phillips 1983; Flynn & Giráldez 1996). Az ezüst mellett nagy mennyiségű arannyal is számolni kell. A spanyol ezüst- és arany-beszolgáltatás, a nagy kapacitású bányák nyitása, és az azokból befolyó királyi hányad miatt erősen esett Európában a nemesfémek értéke.

Újabb tanulmányok (Flynn 1978; Munro 2007) azonban vitatják, hogy valóban a nagy mennyiségű Amerikából érkező fém volt-e az árforradalom oka. Ennek egyik bizonyítéka, hogy az amerikai fém beérkezésének ideje (kb. 1550–1809) nem esik egybe az infláció időszakával (kb. 1520–1650) (Flynn 1978; Munro 2007). Az biztos, hogy ebben a hosszú időszakban több tényező is érvényesült, mint a Spanyol-Amerikából beáramló nagymennyiségű ezüstérc, az európai népesség növekedése és az ezüst piaci árának csökkenése. A korai időszakban (1520–1600) más tényezők érvényesültek, mint a későbbiekben (a 18. században már nem az újvilági nemesfém beáramlása okozza az árak további emelkedését) (Desaulty et al. 2011; Desaulty & Albarède 2013).

Az 1500-as évek során az ezüst iránti fokozódó kereslet miatt megnőtt az igény új ezüstérc-telepek keresésére mind Közép-Európában, mind Spanyol-Amerikában. Ekkor fedezték fel Zacatecas (Mexikó) és Potosí (Perui Alkirályság, mai Bolívia) nyersanyag-lelőhelyeit is (Blanchard 1976). Mivel kénytelenek voltak gyengébb minőségű érceket is hasznosítani, ezért a metallurgiai, kohászati technikák is fejlődtek, új érckinyerési módszerek jelentek meg (amalgamáció vagy patio módszer).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



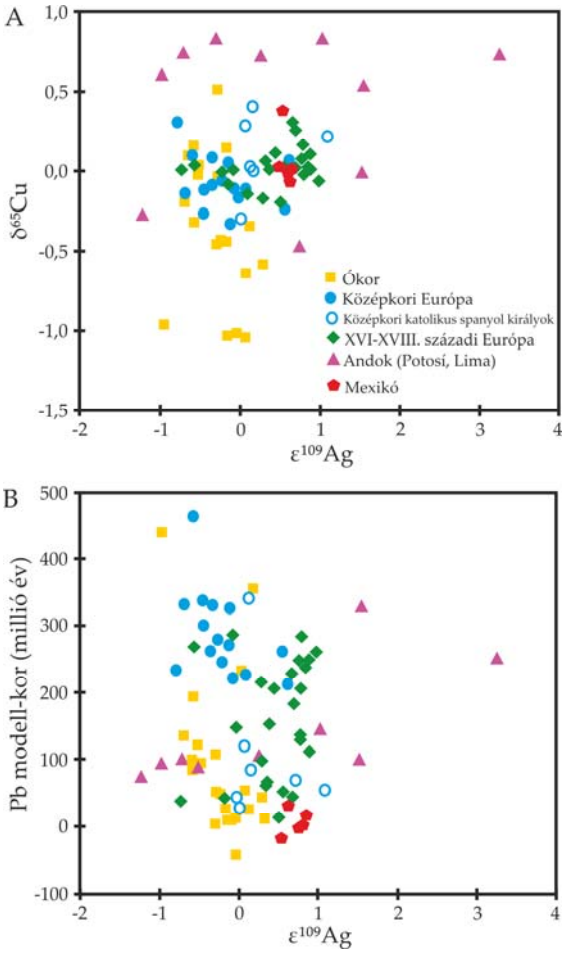
7. ábra: Különböző korú és származási helyű ezüstérmék ólomizotóp-összetétele (Desaulty et al. 2011 nyomán)

Fig. 7.: Lead isotopic composition of silver coins of various age and origin (after Desaulty et al. 2011)

Ezek a módszerek hatékonyabbak voltak a gyengébb minőségű érceknél, mint a korábbi technikák. Erre azért volt szükség, mivel korábban az ezüst kinyerésére az ezüstérceket ólomércekkel együtt kohósították, a gyenge minőségű ércekhez azonban olyan nagy mennyiségű ólom kellett, amit az adott bánya már nem tudott kitermelni (Nriagu 1994; Garner 2007; Baron et al. 2009; Cooke et al. 2011).

Desaulty et al. (2011) 91 db ezüstérme ólom-, réz- és ezüstizotóp-összetételét határozta meg választ keresve arra a kérdésre, hogy okozhatta-e az amerikai gyarmatokról beáramló nagy mennyiségű ezüst az inflációt. Az érmék egy része a 16–18. századi Mexikóból és Dél-Amerikából, valamint a 16–18. századi Európából (főképp Spanyolország) származott. Emellett referenciaanyagként megmértek ókori (görög, hellenisztikus, római és közel-keleti), valamint középkori, nevezetesen Kolumbusz előtti Spanyolországból származó pénzeket is.

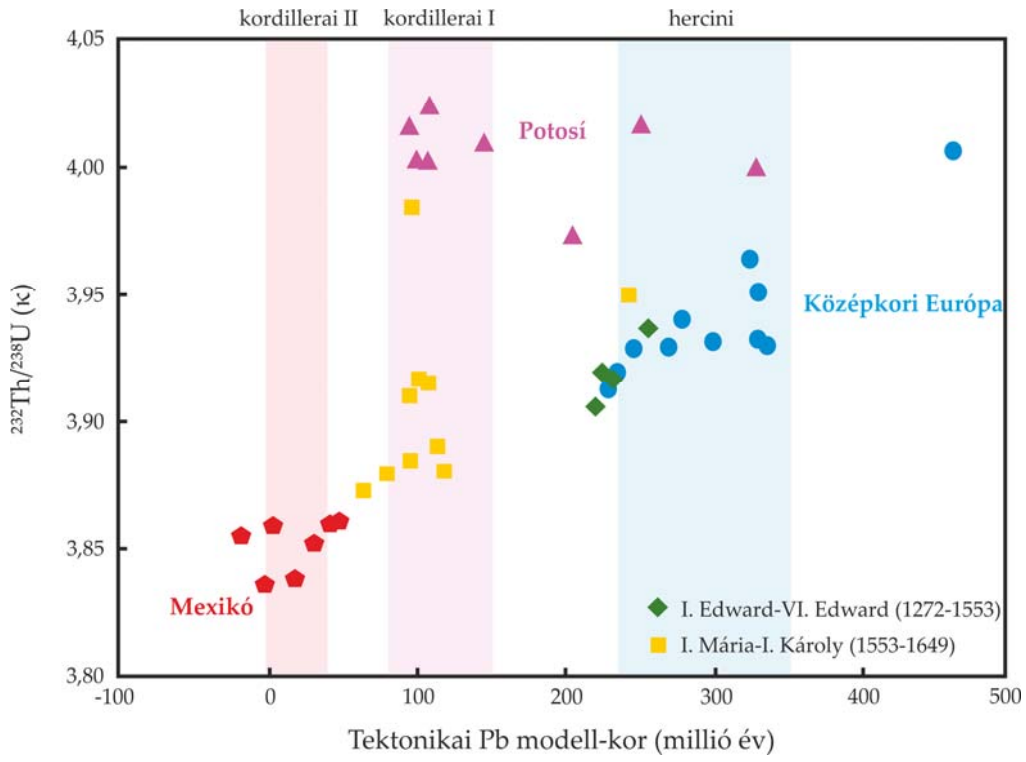
Az **7. ábra** mutatja az érmék ólomizotóp-arányait, a **8/a. ábra** pedig a réz- és ezüstizotópos összetételét. A **8/b. ábra** az ólomizotóp-adatokból számolt modell-korokat mutatja, mely alapján következtethetünk a pénzérme nyersanyagát adó ércesedés korára (Albarède et al. 2012).



8. ábra: Különböző korú és származási helyű ezüstérmék ezüstizotóp-összetétele (tízezrelékben) a rézizotóp-összetételhez (ezrelékben) (A), illetve az ólomizotópokból számolt modell-kor értékekhez (millió évben) (B) viszonyítva (Desaulty et al. 2011 nyomán)

Fig. 8.: Silver isotopic composition (in parts per 10,000) of silver coins of various age and origin compared to the copper isotopic composition (in parts per 1,000) (A) and to the lead model ages (in millions of year) calculated from lead isotopes (B) (after Desaulty et al. 2011)

Az Égeikum (Kelet-Mediterráneum), Betikai-Kordillerák (Délkelet-Spanyolország) és az amerikai Kordillerák ezüstércesedései kevesebb, mint 120 millió évvel ezelőtt (alpi metallogenezis) keletkeztek, míg Közép-Európa idős aljzatának nyersanyagtelepei 250-400 millió évvel ezelőtt (hercini/variszkuszi metallogenezis) alakultak ki. A hasonló korú, de térben elkülönülő ércesedések anyagából készült érmék ólomizotópos adatai átfedést mutathatnak egymással. Azonban egy ércesedés izotóp-összetétele nemcsak a korától, hanem a forráskőzetek izotóp-összetételétől is függ, amely területről területre változhat, ezáltal lehetőséget ad a különböző ércesedések elkülönítésére.



9. ábra: Különböző korú angol ezüstérmék ólomizotóp-összetételéből számolt modell-korok (millió évben) a Th/U arányhoz viszonyítva. A főbb tektonikai események korát (hercini, dél-amerikai kordillerai I és mexikói kordillerai II), ami jellemző a főbb ércesedésekre, a diagram felső része mutatja (Desaulty & Alberède 2013 nyomán). Összehasonlításképpen a középkori európai, a Potosíból (Perui Alkirályság, mai Bolívia) származó és a mexikói ezüstérmék adatait is mutatja az ábra (Desaulty et al. 2011 nyomán).

Fig. 9.: Th/U ratio vs. tectonic lead model ages (calculated from lead isotopes) in English silver coins of various age. The range of ages for the main tectonic episodes (Hercynian, South American Cordillera I and Mexican Cordillera II) characteristic of the major ore fields is shown at the top of the diagram (after Desaulty & Albarède 2013). Data of the coins from the medieval Europe, Potosí (Viceroyalty of Peru, now Bolivia) and Mexico are shown for comparison (after Desaulty et al. 2011).

Az ókori érmék nyersanyaga viszonylag fiatal (<120 millió éves) ércesedési provinciák bányáiból származhat (Égeikum, Kisázsia, Betikai-Kordillerák). Kivételt ez alól csupán néhány római érme (Gallia) képez, melyek érce valószínűleg az idős, hercini európai aljzathoz kötődő ércesedésből származik (~300 millió év) (**7.** és **8. ábra**). A középkori spanyol érmék két csoportba oszthatók. Az 1454–1474 időszakból származók az idős, hercini ércesedésekkel, míg a katolikus királyok idejéből származók (1479–1504) a Betikai-Kordillerák érceivel mutatnak egyezést, ami Granada királyságának és gazdag ezüstbányáinak elfoglalásával függ össze. Mindezek ellenére a középkori (1492 előtti) európai ezüst jól elkülönül a Mexikóból és Andokból származótól. A 16–18. századi spanyol-amerikai érmék (mexikói és dél-amerikai) az amerikai Kordillerák fiatal magmatizmusához (<120 millió éves) köthető ércekből származnak, emiatt mutatnak átfedést az ókori érmékkel. A 16–18. századi európai érmék adatai a mexikói és a közép-európai érmék értékei közt helyezkednek el (**7.** és **8. ábra**). Ennek magyarázata, hogy III. Fülöp spanyol király (1598–1621) uralkodásáig az Európából származó ezüst uralta a spanyol pénzpiacot, és a gyarmatokról származó ezüst nem maradt sokáig Spanyolországban, hanem az európai piacokra került. 80 évvel később, V. Fülöp uralkodása alatt (1700–1724) az európai ezüst helyére a spanyol pénzverdékben már a Mexikóból származó ezüst lépett (Desaulty et al. 2011).

A másik esettanulmányban (Desaulty & Albarède 2013) 15 db, különböző értékű angol ezüstérme ólom-, réz- és ezüstizotóp-összetételét mérték meg, hogy felmérjék az amerikai gyarmatokról származó ezüst európai gazdaságra gyakorolt hatását. Az érmék az 1317–1640 időszakot ölelik fel, és az alábbi uralkodók uralkodása idején verték őket: I. Edward (1272–1307), II. Edward (1307–1327), VI. Edward (1547–1553), I. Mária (1553–1558), I. Erzsébet (1558–1603), I. János (1603–1625) és I. Károly (1625–1649).

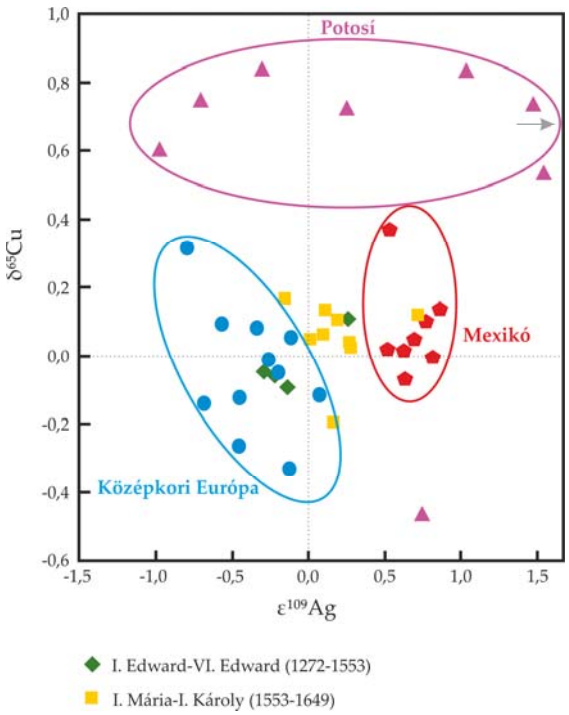
A kapott eredményeket az **9. ábra** mutatja, amelyen az ólomizotóp-arányokból számolt, az ércesedés korát mutató modell-korok és a forrásrégiót mutató, számolt Th/U (κ) arány láthatók. Az európai

ezüstbányák zöme idős, hercini korúak (250–400 millió év), míg a dél-spanyolországi és a spanyol-amerikai ércek fiatalabbak (<120, ill. <130 millió év). A Potosíból (Dél-Amerika) származó érc jól elkülöníthető a mexikói és európai ércektől nagyobb Th/U (κ) aránya alapján.

A Tudor kor (1553) előtti érmék a középkori európai érmékkel mutatnak átfedést (**9. ábra**). Az ólomizotóp-arányokból számolt modell-korok alapján 220 millió éves vagy annál idősebb ércesedésből származnak. Ez azt bizonyítja, hogy az idős, hercini (250–400 millió év) ércesedésekhez kötődő ércek lehettek a nyersanyagaik (közép-európai ezüstbányák, vagy Pennine-hegység és Devon ezüstbányái). Az 1553 után (Tudor és Stuart kor) vert érmék adatai a mexikói és a közép-európai (hercini) ércek adatai közé esnek (Desaulty et al. 2011; Desaulty & Albarède 2013).

A **10. ábra** az ezüst- és rézizotóp-összetételt mutatja. E két izotóp az ólomizotópokhoz teljesen hasonló tendenciát mutat. A Potosíból származó ezüstből készült érmék itt is elkülönülnek a többitől pozitívabb δ^{65}Cu értékeik alapján.

A fentiek alapján az 1553 előtt vert angol érmék nyersanyaga Európa (Közép-Európa, Devon, Pennine-hegység) ezüstbányáiból származott. Az 1553 után vert angol érmékben már a Mexikóból származó ezüst is megjelenik az európai ezüst mellett. Potosíból származó ezüst nyomát nem mutatták ki, noha a korabeli feljegyzések szerint Potosíban kiterjedt termelés zajlott. Mindezek alapján a szerzők felteszik a kérdést, hogy hová került a Potosíból kibányászott nagy mennyiségű ezüstérc? A válasz a bányák földrajzi elhelyezkedésében keresik. A kor jelentős mexikói ezüstbányáit (pl. Zacatecas) a Sierra Madre-hegység elválasztja a Csendes-óceántól, így a kitermelt ércet Mexikóváros keresztül, Vera Cruz kikötőjéből szállították Európába. Ezzel szemben a Potosíban kitermelt érc keletre való szállítása nehéz lett volna a mai Brazília területén keresztül. Ezért az ezüstöt Lima kikötőjéből Acapulcóba, majd onnan Manilán (Fülöp-szigetek) keresztül Kínába szállították (Desaulty & Albarède 2013). Megjegyezzük, hogy Guerra (1998; 2011) korábbi nyomelem-vizsgálatai kimutatták Potosíból származó ezüst jelenlétét európai (spanyol) ezüstérmékben. . A Potosí ezüstércek elkülönülnek a mexikói és európai ércektől kiugró indium- és germániumtartalmuk alapján. Potosíban és Spanyolországban készült korabeli ezüstérmék elemzése szerint II. Fülöp (1556 - 1598) uralkodása idején a spanyol ezüstérmék nyomelem-tartalmuk alapján Potosíból származó ezüstből készültek. Az ellátás rövid idejű volt, mivel viszonylag hamar, már az 1650-es évektől a Potosí ezüst helyét a mexikói ezüst veszi át a spanyol pénzverdékben (Guerra, 1998; Guerra, 2011).



10. ábra: Különböző korú angol ezüstérmék ezüst- és rézizotóp-összetétele a középkori európai, a Potosíból (Perui Alkirályság, mai Bolívia) származó és a mexikói ezüstérmékkel összehasonlítva (Desaulty et al. 2011 és Desaulty & Albarède 2013 nyomán)

Fig. 10.: Silver versus copper isotopic composition of English silver coins of various age compared to silver coins from Medieval Europe, Mexico and Potosí (Viceroyalty of Peru, now Bolivia) after Desaulty et al. 2011 and Desaulty and Albarède 2013)

Összegzés

A fenti irodalmi áttekintés alapján megállapíthatjuk, hogy ólomizotópok jól használhatók a különböző forrásterületű és korú ércesedési provinciák elkülönítésére, jóllehet a térben elkülönülő, de hasonló korú ércesedések ólomizotópos adatai átfedést mutatnak egymással. Az ezüstizotópok ígéretesnek bizonyulnak az (akár hasonló korú) ezüstércesedések elkülönítésében. A rézizotópok az alacsony hőmérsékleten lejátszódó frakcionáció miatt a primer és a szekunder rézérctelepek elkülönítéséhez használhatók, ami révén tovább finomítható a tárgyakhoz használt nyersanyag eredetének behatárolása.

Irodalomjegyzék

ALBARÈDE, F. (2004): The stable isotope geochemistry of copper and zinc. Reviews in *Mineralogy and Geochemistry* **55** 409–427.

ALBARÈDE, F., DESAULTY, A. M. & BLICHERT-TOFT, J. (2012): A geological

perspective on the use of Pb isotopes in archaeometry. *Archaeometry* **54/5** 853–867.

ALBARÈDE, F., BLICHERT-TOFT, J., RIVOAL, M. & TELOUK, P. (2016): A glimpse into the Roman finances of the Second Punic War through silver isotopes. *Geochemical Perspectives Letters* **2** 127–137.

ARTIOLI, G., ANGELINI, I., NIMIS, P. & VILLA, I. M. (2016): A lead-isotope database of copper ores from the Southeastern Alps: A tool for the investigation of prehistoric copper metallurgy. *Journal of Archaeological Science* **75** 27–39.

ASAEL, D., MATTHEWS, A., BAR-MATTHEWS, M. & HALICZ, L. (2007): Copper isotope fractionation in sedimentary copper mineralization (Timna Valley, Israel). *Chemical Geology* **243** 238–254.

ATTENDORN, H. G. & BOWEN, R. (1988): *Isotopes in the Earth Sciences.* Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Amsterdam, 648 pp.

BALCAEN, L., MOENS, L. & VANHAECKE, F. (2010): Determination of isotope ratios of metals (and metalloids) by means of inductively coupled plasma-mass spectrometry for provenancing purposes – A review. *Spectrochimica Acta Part B* **65** 769–786.

BARON, S., LE-CARLIER, C., CARIGNAN, J. & PLOQUIN, A. (2009): Archaeological reconstruction of medieval lead production: implications for ancient metal provenance studies and paleopollution tracing by lead isotopes. *Applied Geochemistry* **24** 2093–2101.

BARON, S., TĂMAŞ, C. G., CAUUET, B. & MUNOZ, M. (2011): Lead isotope analyses of gold–silver ores from Roşia Montană (Romania): A first step of a metal provenance study of roman mining activity in Alburnus Maior (Roman Dacia). *Journal of Archaeological Science* **38/5** 1090–1100.

BENDALL, C., WIGG-WOLF, D., LAHAYE, Y., VON KAENEL, H.-M. & BREY, G. P. (2009): Detecting the changes of Celtic gold sources through the application of trace element and Pb isotope: laser ablation analysis of Celtic gold coins. *Archaeometry* **51/4** 598–625.

BLANCHARD, I. (1976): England and the International Bullion Crisis of the 1550s. In: COLEMAN, D. & JOHN, A. H. (eds.): *Government, and economy in pre-industrial England: Essays Presented to F. F. Fischer,* Weidenfeld & Nicolson, London, 21–44.

BODE, M., HAUPTMANN, A. & MEZGER, K. (2009): Tracing Roman lead sources using lead isotope analyses in conjunction with archaeological and epigraphic evidence – a case study from Augustan/Tiberian Germania. *Archaeological and Anthropological Sciences* **1** 177–194.

BOYLE, R. W. (1968): *The geochemistry of silver and its deposits.* Queen's Printer and Controller of Stationery, Ottawa, 282 pp.

BRILL, R. H. & WAMPLER, J. M. (1967): Isotope ratios in archaeological objects of lead. In: Young, W. J. (ed.): *Proceedings of the seminar "Applications of science in the examination of works of art",* September 7-16, 1965, Museum of Fine Arts, Boston, 155–166.

CATTIN, F., GUÉNETTE-BECK, B., BESSE, M. & SERNEELS, V. (2009): Lead isotopes and archaeometallurgy. *Archaeological and Anthropological Sciences* **1** 137–148.

CHUGAEV, A.V. & CHERNYSHEV, I.V. (2009): Variations of $^{107}Ag/^{109}Ag$ isotope ratio in ore deposits by high-precision MC-ICP-MS. Goldschmidt Conference; *Geochimica et Cosmochimica Acta Supplementum* **73** A225.

COOKE, C. A., BALCOM, P. H., KERFOOT, C., ABBOTT, M. B. & WOLFE, A. P. (2011): Pre-Colombian mercury pollution associated with the smelting of argentiferous ores in the Bolivian Andes. *AMBIO* **40** 18–25.

CRADDOCK, P. T. (2009): Scientific investigation of copies, fakes and forgeries. Elsevier Ltd., Oxford, 628 pp.

CUI, J., LEI, Y., JIN, Z. B., HUANG, B. L. & WU, X. H. (2010): Lead isotope analysis of Tang Sancai pottery glazes from Gongyi kiln, Henan Province and Huangbao kiln, Shaanxi Province. *Archaeometry* **52/4** 597–604.

CUI, J., WU, X. & HUANG, B. (2011): Chemical and lead isotope analysis of some lead-barium glass wares from the Warring States Period, unearthed from Chu tombs in Changde City, Hunan Province, China. *Journal of Archaeological Science* **38/7** 1671–1679.

DEGRYSE, P., SCHNEIDER, J., HAACK, U., LAUWERS, V., POBLOME, J., WAELKENS, M. & MUCHEZ, PH. (2006): Evidence for glass 'recycling' using Pb and Sr isotopic ratios and Sr-mixing lines: the case of early Byzantine Sagalassos. *Journal of Archaeological Science* **33/4** 494–501.

DESAULTY, A. M., TELOUK, P., ALBALAT, E. & ALBARÈDE, F. (2011): Isotopic Ag–Cu–Pb record of silver circulation through 16th–18th century Spain. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **108/22** 9002–9007.

DESAULTY, A. M. & ALBARÈDE, F. (2013): Copper, lead, and silver isotopes solve a major economic conundrum of Tudor and Early Stuart Europe. *Geology* **41** 135–138.

DICKIN, A. P. (1995): *Radiogenic isotope geology*. Cambridge University Press, Cambridge, 488 pp.

DURALI-MUELLER, S., BREY, G. P., WIGG-WOLF, D. & LAHAYE, Y. (2007): Roman lead mining in Germany: its origin and development through time deduced from lead isotope provenance studies. *Journal of Archaeological Science* **34/10** 1555–1567.

FLYNN, D. O. (1978): New perspective on the Spanish price revolution: The monetary approach to the balance of payments. *Explorations of Economic History* **15** 388–406.

FLYNN, D. O. & GIRÁLDEZ, A. (1996): China and the Spanish Empire. *Revista de Historia Económica* **14** 309–338.

GALE, N. H., GENTNER, W. & WAGNER, G. A. (1980): Mineralogical and geographical sources of Archaic Greek coinage. *Metallurgy in Numismatics* **1** 3–49.

GALE, N. H. & STOS-GALE, Z. A. (1981): Cycladic lead and silver metallurgy; *Annual of British School at Athens* **76** 169–224.

GALE, N. H. & STOS-GALE, Z. A. (2000): Lead isotope analyses applied to provenance studies. In: CILIBERTO, E. & SPOTO, G. (eds): Modern Analytical Methods in Art and Archaeology. *Chemical Analysis Series* **155** John Wiley & Sons, Inc., New York, 503–584.

GALE, N. H., STOS-GALE, Z. A., MALIOTIS, G. & ANNETTS, N. (1997): Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: *Archaeometry* Database 4, ores from Cyprus. *Archaeometry* **39/1** 237–246.

GALE, N. H., WOODHEAD, A. P., STOS-GALE, Z. A., WALDER, A. & BOWEN, I. (1999): Natural variations detected in the isotopic composition of copper: possible applications to archaeology and geochemistry. *International Journal of Mass Spectrometry* **184** 1–9.

GARNER, R. L. (2007): *Mining trends in the New World* 1500-1810. 89 pp. http://www.insidemydesk.com/lapubs/miningtrends.pdf

GIUNTI, I. (2011): Geochemical and isotopic tracers in copper deposits and ancient artefacts: a database for provenance (unpublished PhD thesis), Universitá degli Studi di Padová, 165 pp.

GÖBEL, F. (1842): *Über den Einfluß der Chemie auf die Ermittlung der Völker der Vorzeit oder Resultate der chemischen Untersuchung metallischer Alterthümer, insbesondere der in den Ostseegouvernements vorkommenden, behufs der Ermittlung der Völker, von welchen sie abstammen.* Enke Verlag, Erlangen. 38 pp.

GÖPEL, C., MANHES, G. & ALLÈGRE, C. J. (1985): U-Pb systematics in iron meteorites: Uniformity of primordial lead. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **49** 1681–1695.

GRAHAM, S., PEARSON, N., JACKSON, S., GRIFFIN, W. & O'REILLY, S. Y. (2004): Tracing Cu and Fe from source to porphyry: in situ determination of Cu and Fe isotope ratios in sulfides from the Grasberg Cu–Au deposit. *Chemical Geology* **207** 147–169.

GRÖGLER, N., GEISS, J., GRÜNENFELDER, M. & HOUTERMANS, F. G. (1966): Isotopenuntersuchungen zur Bestimmung der Herkunft römischer Bleirohre und Bleibarren. *Zeitschrift für Naturforschung* **21a** 1167–1172.

GUÉNETTE-BECK, B., MEISSER, N. & CURDY, P. (2009): New insights into the ancient silver production of the Wallis area, Switzerland. *Archaeological and Anthropological Sciences* **1/3** 215–229.

GUERRA, M. F. (1998): Analysis of archaeological metals. The place of XRF and PIXE in the determination of technology and provenance. *X-ray Spectrometry* **27**: 73–80.

GUERRA, M. F. (2011): Authenticity verification of jewellery and coinage. In: IAEA (ed.) *Nuclear Techniques for Cultural Heritage Research. IAEA Radiation Technology* **Series 2** International Atomic Energy Agency, Vienna, 110–112.

HABICHT-MAUCHE, J. A., GLENN, S. T., MILFORD, H. & FLEGAL, A. R. (2000): Isotopic tracing of Prehistoric Rio Grande glaze-paint production and trade. *Journal of Archaeological Science* **27/8** 709–713.

HABICHT-MAUCHE, J. A., GLENN, S. T., SCHMIDT, M. P., FRANKS, R., MILFORD, H. & FLEGAL, A. R. (2002): Stable lead isotope analysis of Rio Grande glaze paints and ores using ICP-MS: A comparison of acid dissolution and laser ablation techniques. *Journal of Archaeological Science* **29/9** 1043–1053.

HADAS, G., SEGAL, I., YOFFE, O. & STEIN, M. (2009): Study of Roman anchor from the Dead Sea shore. *Archaeometry* **51/6** 1008–1014.

HAMILTON, E. J. (1934): *American treasure and the price revolution in Spain, 1501–1650.* Harvard University Press, Harvard Economic Studies, Cambridge, Massachusetts, 428 pp.

HAURI, E. H., CARLSON, R.W. & BAUER, J. (2000): The timing of core formation and volatile depletion in solar system objects from high-precision ^{107}Pd–^{107}Ag isotope systematics. *Lunar Planetary Science* **XXXI** Abst 1812. http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2000/pdf/1812.pdf

HENDERSON, J., EVANS, J. A., SLOANE, H. J., LENG, M. J. & DOHERTY, C. (2005): The use of oxygen, strontium and lead isotopes to provenance ancient glasses in the Middle East. *Journal of Archaeological Science* **32/5** 665–673.

HUDSON-EDWARDS, K. A., MACKLIN, M. G., FINLAYSON, R. & PASSMORE, D. G. (1999): Mediaeval lead pollution in the River Ouse at York, England. *Journal of Archaeological Science* **26/7** 809–819.

HUNTLEY, D. L., SPIELMANN, K. A., HABICHT-MAUCHE, J. A., HERHAHN, C. L. & FLEGAL, A. R. (2007): Local recipes or distant commodities? Lead isotope and chemical compositional analysis of glaze paints from the Salinas pueblos, New Mexico. *Journal of Archaeological Science* **34/7** 1135–1147.

HUISMAN, D. J., DE GROOT, T., POLS, S., VAN OS, B. J. H. & DEGRYSE, P. (2009): Compositional variation in Roman colourless glass objects from the Bocholtz burial (The Netherlands. *Archaeometry* **51/3** 413–439.

HULL, S., FAYEK, M., MATHIEN, F. J., SHELLEY, P. & DURAND, K. R. (2008): A new approach to determining the geological provenance of turquoise artifacts using hydrogen and copper stable isotopes. *Journal of Archaeological Science* **35/5** 1355–1369.

HULL, S., FAYEK, M., MATHIEN, F. J. & ROBERTS, H. (2014): Turquoise trade of the Ancestral Puebloan: Chaco and beyond. *Journal of Archaeological Science* **45** 187–195.

IÑAÑEZ, J. G., BELLUCCI, J. J., RODRÍGUEZ-ALEGRÍA, E., ASH, R., MCDONOUGH, W. & SPEAKMAN, R. J. (2010): Romita pottery revisited: a reassessment of the provenance of ceramics from Colonial Mexico by LA-MC-ICP-MS. *Journal of Archaeological Science* **37/11** 2698–2704.

KISS, V. (2012): Arany, réz és bronztárgyak kutatása a középső bronzkorig – Az archeometallurgia aktuális kérdései. *Archeometriai Műhely* **9/2** 61–74.

KISS, V. BARKÓCZY, P. & VÍZER, ZS. (2013): A zalaszabari bronzkincs archeometallurgiai vizsgálatának előzetes eredményei. *Gesta* **XIII** 72–82.

KISS, V. (2014): Régészeti fémtárgyak kutatásának új eredményei és kérdései Magyarországon. *Archeometriai Műhely* **11/3** 169–176.

KLEIN, S., LAHAYE, Y., BREY, G. P. & VON KAENEL, H. M. (2004): The early Roman imperial ages coinage II: Tracing the copper sources by analysis of lead and copper isotopes — Copper coins of Augustus and Tiberius. *Archaeometry* **46/3** 469–480.

KLEIN, S., DOMERGUE, C., LAHAYE, Y., BREY, G. P. & VON KAENEL, H. M. (2009): The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena (Spain). *Journal of Iberian Geology* **35/1** 59–68.

KLEIN, S., BREY, G. P., DURALI-MÜLLER, S. & LAHAYE, Y. (2010) Characterisation of the raw metal sources used for the production of copper and copper-based objects with copper isotopes. *Archaeological and Anthropological Sciences* **2** 45–56.

LARSON, P. B., MAHER, K., RAMOS, F. C., CHANG, Z., GASPAR, M. & MEINERT, L. D. (2003): Copper isotope ratios in magmatic and hydrothermal ore-forming environments. *Chemical Geology* **201** 337–350.

LE BOT, B., OULHOTE, Y., DEGUEN, S. & GLORENNEC, P. (2011): Using and interpreting isotope data for source identification. *Trends in Analytical Chemistry* **30/2** 302–312.

LING, J., HJÄRTHNER-HOLDAR, E., GRANDIN, L., BILLSTRÖM, K. & PERSSON, P.-O. (2013): Moving metals or indigenous mining? Provenancing Scandinavian Bronze Age artefacts by lead isotopes and trace elements. *Journal of Archaeological Science* **40/1** 291–304.

LING, J., STOS-GALE, Z., GRANDIN, L., BILLSTRÖM, K., HJÄRTHNER-HOLDAR, E. & PERSSON, P.-O. (2014): Moving metals II: provenancing Scandinavian Bronze Age artefacts by lead isotope and elemental analyses. *Journal of Archaeological Science* **41** 106–132.

LU, D., LIU, Q., ZHANG, T., CAI, Y., YIN, Y. & JIANG, G. (2016): Stable silver isotope fractionation in the natural transformation process of silver nanoparticles. *Nature Nanotechnology* **11** 682–687.

LUO, Y., DABEK-ZLOTORZYNSKA, E., CELO, V., MUIR, D. C. G. & YANG, L. (2010): Accurate and precise determination of silver isotope fractionation in environmental samples by multicollector-ICP-MS. *Analytical Chemistry* **82/9** 3922–3928.

MARÉCHAL, C. N., TÉLOUK, P. & ALBARÈDE, F. (1999): Precise analysis of copper and zinc isotopic compositions by plasma-source mass spectrometry. *Chemical Geology* **156** 251–273.

MARKL, G., LAHAYE, Y. & SCHWINN, G. (2006): Copper isotopes as monitors of redox processes in hydrothermal mineralization. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **70** 4215–4228.

MARZO, P., LABORDA, F. & PÉREZ-ARANTEGUI, J. (2009): Medieval and post-medieval Hispano-Moresque glazed ceramics: new possibilities of characterization by means of lead isotope ratio determination by Quadrupole ICP-MS. In: DEGRYSE, P., HENDERSON, J. & HODGINS, G. (eds.): *Isotopes in Vitreous Materials*. Leuven University Press, Leuven, 131–144.

MATHUR, R., TITLEY, S., HART, G., WILSON, M., DAVIGNON, M. & ZLATOS, C. (2009): The history of the United States cent revealed through copper isotope fractionation. *Journal of Archaeological Science* **36/2** 430–433.

MECKING, O. (2013): Medieval lead glass in Central Europe. *Archaeometry* **55/4** 640–662.

MOLOFSKY, L. J., KILLICK, D., DUCEA, M. N., MACOVEI, M, CHESLEY, J. T., RUIZ, J., THIBODEAU, A. & POPESCU, G. C. (2014): A novel approach to lead isotope provenance studies of tin and bronze: applications to South African, Botswanan and Romanian artifacts. *Journal of Archaeological Science* **50** 440–450.

MU, D., B, SONGA, G., CUI, B., WANG, H., WANG, W. & LUO, W. (2014): Provenance study on Chinese bronze artefacts of E in the Zhou Dynasty by lead isotope analysis. *Journal of Archaeological Science* **52** 515–523.

MUNRO, J. (2007): Hamilton and the price revolution: A revindication of his tarnished, reputation and of a modified quantity theory. *EH.net Encyclopedia* https://eh.net/book_reviews/american-treasure-and-the-price-revolution-in-spain-1501-1650/

NIEDERSCHLAG, E., PERNICKA, E., SEIFERT, T. H. & BARTELHEIM, M. (2003): The determination of lead isotope ratios by multiple collector ICP-MS: A case study of Early Bronze Age artefacts and their possible relation with ore deposits of the Erzgebirge. *Archaeometry* **45/1** 61–100.

NORD, A. G., BILLSTRÖM, K., TRONNER, K. & OLAUSSON, K. B. (2015): Lead isotope data for provenancing mediaevel pigments in Swedish mural paintings. *Journal of Cultural Heritage* **16/6** 856–861.

NRIAGU, J. O. (1994): Mercury pollution from the past mining of gold and silver in the Americas. *The Science of the Total Environment* **149** 167–181.

PERNICKA, E. (1984): Instrumentelle Multi-Elementanalyse archäologischer Kupfer- und Bronzeartefakte Ein Methodenvergleich. *Jahrbuch Römisch-Germanisches Zentralmuseum* **31** 517–531.

PERNICKA, E. (2013): Analyses of Early Bronze age metal objects from the Museum Debrecen, Hungary. *Gesta* **XII** 48–55.

PERNICKA, E. (2014): Provenance determination of archaeological metal objects. In: ROBERTS, B.W. & THORNTON, C. P. (eds): *Archaeometallurgy in global perspective: Methods and syntheses*. Springer, New York, 239–268.

PHILLIPS, C. R. (1983): Spanish merchants and the wool trade in the sixteenth century. *The Sixteenth Century Journal* **14/3** 259–282.

POLLARD, M. & BRAY, P. (2014): Chemical and isotopic studies of ancient metals. In: ROBERTS, B.W. & THORNTON, C. P. (eds): *Archaeometallurgy in global perspective: Methods and syntheses*. Springer, New York, 217–239.

RENSON, V., COENAERTS, J., NYS, K., MATTIELLI, N., VANHAECKE, F., FAGEL, N. & CLAEYS, P. H. (2011): Lead isotopic analysis for the identification of Late Bronze Age pottery from the Hala Sultan Tekke (Cyprus). *Archaeometry* **53/1** 37–57.

ROHL, B. M. (1996): Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: *Archaeometry* Database 2, galena from Britain and Ireland. *Archaeometry* **38/1** 165–180.

RUSSEL, R. D. & FARQUHAR, R. M. (1960): *Lead isotopes in geology*. Interscience Publishers, Inc., London, 243 pp.

SANTOS ZALDUEGUI, J. F., GARCÍA DE MADINABEITIA, S. & GIL IBARGUCHI, J. I. (2004): A lead isotope database: the Los Pedroches – Alcudia area (Spain): implications for archaeometallurgical connections across southwestern and southeastern Iberia. *Archaeometry* **46/4** 625–634.

SCHÖNBÄCHLER, M., CARLSON, R. W., HORAN, M. F., MOCK, T. D. & HAURI, E. H. (2008): Silver isotope variations in chondrites: Volatile depletion and the initial ^{107}Pd abundance of the solar system. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **72** 5330–5341.

SCHWAB, R., HEGER, D., HÖPPNER, B. & PERNICKA, E. (2006): The provenance of iron artefacts from Manching: a multi-technique approach. *Archaeometry* **48/3** 433–452.

SHAW, H., MONTGOMERY, J., REDFERN, R., GOWLAND, R. & EVANS, J. (2016): Identifying migrants in Roman London using lead and strontium stable isotopes. *Journal of Archaeological Science* **66** 57–68.

SHIELDS, W. R., MURPHY, T. J. & GARNER, E. L. (1964): Absolute isotopic abundance ratio and the atomic weight of a reference sample of copper. *Journal of Research of NIST/NBS* **68A** 589–592.

http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/68A/jresv68An6p589_A1b.pdf

SHIELDS, W. R., GOLDICH, S. S., GARNER, E. L. & MURPHY, T. J. (1965): Natural variations in the abundance ratio and the atomic weight of copper. *Journal of Geophysical Research* **82** 479–491.

SIKLÓSI, ZS., PRANGE, M., KALICZ, N. & RACZKY, P. (2015): New data on the provenance of Early Copper finds from the Great Hungarian Plain. In: HANSEN, S., RACZKY, P., ANDERS, A. & REINGRUBER, A. (eds.): Neolithic and Copper Age between the Carpathians and the Aegean Sea. Chronologies and technologies from the 6th to the 4th Millenium BCE. International Workshop Budapest 2012. *Archäologie in Eurasien* **31** 57–92.

STOS-GALE, Z., GALE, N. H., HOUGHTON, J. & SPEAKMAN, R. (1995): Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry Database 1, ores from the Western Mediterranean. *Archaeometry* **37/2** 407–415.

STOS-GALE, Z. A., GALE, N. H. & ANNETTS, N. (1996): Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry Database 3, ores from the Aegean part 1. *Archaeometry* **38/2** 381–390.

STOS-GALE, Z. A., GALE, N. H., ANNETTS, N., TODOROV, T., LILOV, P., RADUNCHEVA, A. & PANAYOTOV, I. (1998): Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry Database 5, ores from Bulgaria. *Archaeometry* **40/1** 217–226.

STOS-GALE, Z. A. & GALE, N. H. (2009): Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID). *Archaeological and Anthropological Sciences* **1/3** 195–213.

TURNER, B. L., KAMENOV, G. D., KINGSTON, J. D. & ARMELAGOS, G. J. (2009): Insights into immigration and social class at Machu Picchu, Peru based on oxygen, strontium, and lead isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science* **36/2** 317–332.

TYLECOTE, R. F., GHAZNAVI, H. A. & BOYDELL, P. J. (1977): Partitioning of trace elements between the ores, fluxes, slags and metal during the smelting of copper. *Journal of Archaeological Science* **4** 305–333.

VALENTINE, B., KAMENOV, G. D. & KRIGBAUM, J. (2008): Reconstructing Neolithic groups in Sarawak, Malaysia through lead and strontium isotope analysis. *Journal of Archaeological Science* **35/6** 1463–1473.

VILLA, I. M. (2009): Lead isotopic measurements in archaeological objects. *Archaeological and Anthropological Sciences* **1/3** 149–153.

VON FELLENBERG, L. R. (1860-1867): Analysen von antiken Bronzen. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft* Bern, **448-449** 65-79.

VON BIBRA, E. (1869): *Die Bronzen und Kupferlegierungen der alten und ältesten Völker, mit Rücksichtnahme auf jene der Neuzeit.* Salzwasser Verlag GmbH, Paderborn, 224 pp.

WALKER, E. C., CUTTITTA, F. & SENFTLE, F. E. (1958): Some natural variations in the relative abundance of copper isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **15** 183–194.

WALTON, M. S. & TRENTELMAN, K. (2009): Romano-Egyptian red lead pigment: a subsidiary commodity of Spanish silver mining and refinement. *Archaeometry* **51/5** 845–860.

WEEKS, L., KEALL, E., PASHLEY, V., EVANS, J. & STOCK, S. (2009): Lead isotope analysis of Bronze Age copper-base artefacts from Al-Midamman, Yemen: towards the identification of an indigenous metal production and exchange system in the southern Red Sea region. *Archaeometry* **51/4** 576–597.

WOODLAND, S. J., REHKÄMPER, M., HALLIDAY, A. N., LEE, D. C., HATTENDORF, B. & GÜNTHER, D. (2005): Accurate measurement of silver isotopic compositions in geological materials including low Pd/Ag meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **69** 2153–2163.

ZHU, X. K., O'NIONS, R. K., GUO, Y., BELSHAW, N. S. & RICKARD, D. (2000): Determination of natural Cu-isotope variation by plasma-source mass spectrometry: implications for use as geochemical tracers. *Chemical Geology* **163** 139–149.

KÖZLEMÉNYEK

*

Örökségtudományi Laboratórium kiépítése az MTA Atomkiban (GINOP-2.3.3-15-2016-00029) az E-RIHS együttműködés kapcsán

Az örökségtudományi műszeres vizsgálatok terén a debreceni MTA Atomki több évtizedes hagyományokkal rendelkezik a gyorsítós elemanalitika és a radiokarbonos kormeghatározás módszerein keresztül. Ez a tudományterület dinamikusan fejlődik, melynek fontosságát a társadalom egésze szempontjából mind az EU, mind hazánk felismerte. Az European Research Infrastructure for Heritage Science (E-RIHS) kezdeményezés 2016 márciusában került fel az új ESFRI Roadmapre, amely magas színvonalú európai analitikai berendezések, laboratóriumok, múzeumok összefogása egy egyedülálló páneurópai kutatási infrastruktúra keretében az örökségtudomány témakörében. Ebben Magyarországot az MTA Atomki vezetésével az E-RIHS.hu konzorcium képviseli, az MTA Energiakutató Intézet, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, valamint a Magyar Nemzeti Múzeum mellett.

Ehhez a kutatási területhez kapcsolódik szervesen a GINOP-2.3.3-15-2016-00029 támogatott projekt, mely 2017 januárjában indult az MTA Atomkiban, aminek keretében a már rendelkezésre álló C-14 korolásra használt gyorsítós tömegspektrométerhez (AMS) beszereznek egy automatizált grafitizáló berendezést (AGE-3, Ionplus AG) a szerves régészeti minták még tisztább, jól reprodukálható előkészítésére. A hamvasztott csontok (a kollagén kiégése miatt) hagyományos AMS módszerrel nem mérhetők, ezeknél a szervetlen bioapatitból mérnek C-14 kort. Ennek előkészítéséhez elengedhetetlen egy karbonát-feltáró egység (CHS, Ionplus AG). A régészeti szempontból fontos csontmintáknál a pontos eredményekhez stabilizotóp-mérések is szükségesek, melyekhez egy speciális minta-előkészítő berendezés fog érkezni a pályázat keretében.

A projekt másik pillére egy világszínvonalú analitikai-képalkotó eszközpark összeállítása az MTA Atomkiban, amely széles mérettartományban ad információt a vizsgált tárgyakról. Erre a célra egy digitális, 3D mikroszkóp szereznek be, mely a képen túl kvantitatív információt nyújt a tárgyon lévő struktúrák méretéről, nemcsak horizontális, hanem vertikális skálán is, pl. vésetek, felületről kiemelkedő díszítő elemek mélységéről, illetve vastagságáról. A gyorsítós elemanalitikát kiválóan kiegészíti majd a beszerzendő mikro-XRF berendezés is, hiszen tárgytól és mérendő elemtől függően vagy az egyik, vagy a másik az optimális. A nanoskálán is informatív hagyományos elektronmikroszópia sokszor nem használható a kulturális örökség tárgyainál, mivel a tárgyak nem mindig helyezhetőek vákuumba. A beszerezni kívánt, világszínvonalú AirSEM berendezés viszont natív formában képes elvégezni a minták elektronmikroszkópos analízisét, úgy hogy nem szükséges vákuumtérbe helyezni azokat.

A fenti fejlesztésekkel és a már meglévő berendezéseinkkel együtt, egy olyan integrált eszközpark jön létre az MTA Atomkiban, amely nemzetközi szinten is az örökségtudományi műszeres vizsgálatok élvonalhoz tartozhat.

Bővebb információ:

www.atomki.hu/infrastruktura-projektek

Szikszai Zita

MTA Atomki, Debrecen

1. ábra:
Kihozott mikronyaláb az MTA Atomki Van de Graaff gyorsítójánál

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

Izotóp-klimatológiai és környezetkutató (IKER) központ az MTA Atomki-ban: a recens és paleo-környezetgeokémiai kutatás-fejlesztési irányok megerősítése– GINOP-2.3.2-15-2016-00009

Világviszonylatban is egyedinek mondható integrált kutatóműhely jön létre a projekt keretében az MTA Atommagkutató Intézetben, mely egy helyen koncentrálja a legmodernebb izotóp geokémiai és környezetanalitikai mérési módszereket és tapasztalatot annak érdekében, hogy rendszerszemléletű klimatológiai és környezetvédelmi kutatási programokat tudjon megvalósítani.

Az új Izotóp Klimatológiai és Környezetkutató Központ fejlesztésének célja a klíma és környezetváltozás átfogó természettudományos vizsgálata, a múltbeli eseményekből tanulva, a jelen folyamatait alaposan elemezve, annak érdekében, hogy felkészülhessünk a küszöbön álló változásokra és azok hatásaira. A vizsgálatok köre kiterjed a mélységi és felszíni kőzetekre, barlangi képződményekre, jégtakarókra, talaj- és üledékrétegekre, a mélységi- és csapadék vizekre, növény és állatmaradványokra, a levegőben szálló porra és a légköri üvegházhatású gázokra. A múltbeli globális és regionális átalakulások hatásai máig kiolvashatóak az egyes rétegekbe és közegekbe íródott izotópos és nyomelem jelekből, a rétegek kora elárulja azok képződési vagy lepusztulási ütemét is. A képződési és leszivárgási hőmérsékletek, s az egykori felszíni hőmérséklet hűen megőrződik egyes rétegvizek, illetve barlangi kiválások izotóp összetételében. A használt izotópos és elemanalitikai módszerek alkalmasak a múltbeli klímaváltozások mértékének, ütemének és hatásainak mélyebb feltárására, a korábbi hőmérsékletváltozások megállapítására, a csapadékjárás és a felszíni vizek alakulásának elemzésére és annak felmérésére, hogy ezek milyen hatással voltak az egykori élővilágra. Az alkalmazott komplex kutatási infrastruktúrával tanulmányozható a talajszerkezet átalakulása, a felszín- és domborzatformálódás, a jégborítottság dinamikus változásai, a gleccserek előre és hátrahúzódásának mértéke és üteme, az üledékes medencék feltöltődési sebességének alakulása, a löszök képződési dinamikája. A kiépülő világszínvonalú nagyérzékenységű műszerparkkal hatékonyan vizsgálhatóak a múlt és a jelen globális és regionális környezetszennyező hatásai és annak következményei is, például a sérülékeny mélységi ivóvízbázisok állapota.

A projekt keretében beszerezni vagy kifejleszteni kívánt főbb műszer és módszerfejlesztések: Multikollektoros induktív csatolású plazmaionforrású tömegspektrométer (MC-ICP-MS). Clumped izotóp geokémiai mérésekre alkalmas tömegspektrométer és karbonát feltáró egység. Cavity ring-down lézer spektrométerek (CRDS) beszerzése levegőmintákból CH4, CO2, CO koncentráció és stabilizotóp (d13C) mérésekhez, illetve vízminták stabil izotópjainak mérésére. Levegő preparáló berendezés nyomgázok C-14 mérésére. Módszertan kidolgozása aeroszolok automatizált C és d13C tartalom mérésére. Üzemanyag keverékek nagyérzékenységű izotópos biokomponens mérésének bevezetése. Automatizált faévgyűrű preparáló berendezés C-14 méréshez. Kőzetpreparáló berendezés in-situ C-14 kitettségi kormérésekhez. Vízben oldott szerves szén preparáló berendezés radiokarbon vízkor méréshez. Mintavevő rendszer kifejlesztése és Argonszeparáló berendezés megépítése vízmintákból kinyert oldott gázok argontartalmának elválasztására vízkorolás célból. Gáztöltésű proporcionális számlálórendszer felszín alatti vizek Argon-39 izotópon alapuló radiometriai kormeghatározásához. Geo- és termokronológiai laboratórium létrehozása hidrotermás rendszerek és üledékes medencék termokronológiai vizsgálata K-Ar, Ar-Ar és fission track módszerek segítségével.

A kutatóközpontban végzendő komplex vizsgálatok célja a hiánypótló adatok megmérésén túlmenően az egyes környezeti és klimatikus paraméterek egymásra hatásának elemzése, hogy felderítse a múltra és a jelenre megállapítható összefüggéseket.

A pályázatba foglalt kutatási témák az izotópklimatológiai kutatások jelenlegi élvonalát jelentik. Szinte minden megcélzott téma gyorsan fejlődő kutatási terület. Ilyen például: a clumped isotope termometria paleoklimatológiai kutatásokban, in-situ izotópos kőzetfelszín korolás a gleccserek mozgásainak megértéséhez, a légköri nagypontosságú fosszilis szén-terhelés mérése, nemesgázizotópos szénhidrogén kutatás. Jelentős eredményeket hozhat a fenti módszerek alkalmazása a Kárpát-medence utolsó 30.000 évének paleohidrológiai, paleoklimatológiai és paleoökológiai sajátosságainak megismerésében is.

Bővebb információ:

www.atomki.mta.hu/iker

Projektfelelős: Palcsu László

MTA Atomki, Debrecen

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

Az Archeometriai Műhely 2016 XIII. évfolyam 1-4 számainak lektorai voltak:

*

anon.

Bácskay Erzsébet, régész, Budapest

Bárány Annamária, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Bendő Zsolt, okl. geológus, laborvezető, Flame Spray Hungary Kft.

Bradák Balázs, Research Center for Inland Seas, Kobe University, Japan

Dani János, Déri Múzeum, Debrecen

Fórizs István, MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budapest

Gál Erika, MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Régészeti Intézet, Budapest

Godfrey, Evelyne, Uffington Heritage Watch

Gödér Hajnal, keramikus

Gömöri János, régész, Sopron

Gryneus András, Hungarian Dendrochronological Laboratory, Budapest

Hajnal Zsuzsa, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Horváth Tünde, Universität Wien, Historisch-Kulturwissenschaftlichen Fakultät, Bécs

Ilon Gábor, régész, Kőszeg

Katarzyna Gubała, Institute of Archaeology and Ethnology, Warszawa

Kázmér Miklós, ELTE TTK Őslénytani Tanszék, Budapest

Kertész Róbert, Damjanich János Múzeum, Szolnok

Markó András, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Mester Zsolt, ELTE BTK Régészeti Tanszék, Budapest

Morgós András, vegyész-restaurátor, Budapest

Patay-Horváth András, régész, ELTE BTK Ókortörténeti Tanszék, Budapest

Péterdi Bálint, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest

Sági Tamás, ELTE TTK Kőzettan-Geokémiai Tanszék

Sümegi Pál, Szegedi Tudományegyetem, Földtani és Őslénytani Tanszék

Szabó Géza, Wosinsky Mór Megyei Múzeum, Szekszárd

Szente István, ELTE TTK Őslénytani Tanszék, Budapest

Szilágyi Veronika, MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

T. Biró Katalin, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest

Tóth Endre, régész, Budapest

Tóth Erzsébet, geológus, ELTE Ásványtani Tanszék, Budapest

Török Béla, Miskolci Egyetem, Miskolc

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)