

A C-14 KORMEGHATÁROZÁS ALAPJAI ÉS PROBLÉMÁI

RADIOCARBON DATING: BASICS AND PROBLEMS

SVINGOR ÉVA

MTA ATOMKI, 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

E-mail: svingor.eva@gmail.com

Abstract

Any material which is composed of carbon originated from the atmosphere may be dated. The radiocarbon age of a sample is obtained by measurement of the residual radioactivity. A radiocarbon age, termed a conventional radiocarbon age (or CRA) is obtained using a set of parameters. A time-independent level of ^{14}C activity for the past is assumed in the measurement of a CRA. The activity of this hypothetical level of ^{14}C activity is equal to the activity of the absolute international radiocarbon standard. A CRA embraces the following recommended conventions:

- a half-life of 5568 years;
- the use of Oxalic acid I or II;
- correction for sample isotopic fractionation ($\delta^{13}\text{C}$) to a normalized or base value of -25.0‰
- the use of 1950 AD as 0 BP, i.e. all ^{14}C ages head back in time from 1950;
- the assumption that all ^{14}C reservoirs have remained constant through time.

The CRA is accompanied by a standard error, based on the statistic error of the measurements of the sample, standard and background, the $\delta^{13}\text{C}$, the uncertainty of the equipment, partly the sample pretreatment. The statistical uncertainty of the age determination, i.e. the standard error of the CRA, is given as \pm one sigma deviation. The atmospheric ^{14}C concentration is not constant in time and space, so the conventional ^{14}C ages have to be converted/transformed to a calibrated age range (on the historical timescale). The error in years BP (yr BP) on the estimated ^{14}C age (CRA) must be also transformed to give the corresponding error on the calendar year scale. The CRA can be estimated using a Gaussian model. After calibration the resulted stochastic model for the calibrated age is no longer Gaussian; it is often multimodal and asymmetric. The net effect is that often the calibrated result has a greater uncertainty and this uncertainty cannot be presented as a simple \pm term; rather, the result must be quoted in the form of a range, from t_1 to t_2 within 1σ or 2σ confidential level.

Kivonat

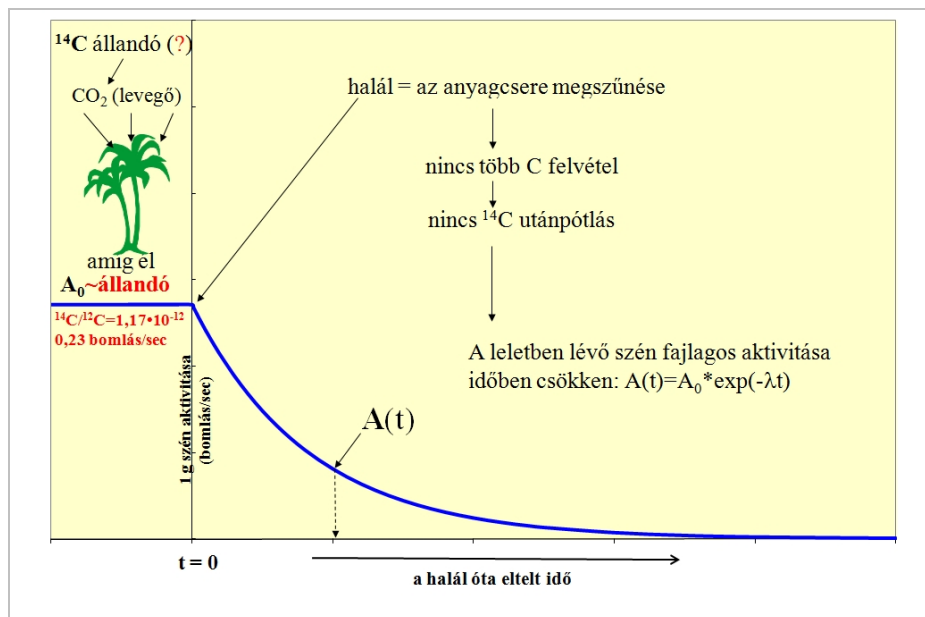
A radiokarbon módszer a kozmogén ^{14}C izotóppal nyomjelzett légköri eredetű szén tartalmazó, 60 ezer évnél nem idősebb anyagok korának megállapítására ad lehetőséget. Amit mérünk, az a minták aktivitása. A minta aktivitása a mintán mért beütésszám vagy $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ arány ($A \pm 1\sigma$) az NBS oxálsav sztenderdre, $\delta^{13}\text{C} = -25\text{‰}$ -re és 1950-re korrigálva. A mérési adatokat leíró valószínűségi sűrűségfüggvény Gauss görbe (normál eloszlás), „A” a legvalószínűbb értéket, az 1σ a mérési bizonytalanságot (statisztikus hiba) jelenti, ami tartalmazza a minta, a sztenderd és a háttér mérésének statisztikus hibáját, az egyes műszerek és a $\delta^{13}\text{C}$ mérési bizonytalanságát. Nem tartalmazza a mintavételből, a minta inhomogenitásából, szennyeződésből, csak részben tartalmazza a minta-előkészítésből származó hibákat.

Konvencionális radiokarbon kor (BP): a mért ^{14}C aktivitás a bomlástörvény alapján évekre átszámítva (fix kezdeti aktivitás, felezési idő 5568 év). Kor: ($t \pm 1\sigma$) BP (1950). A valószínűségi sűrűségfüggvény szimmetrikus (normál eloszlás), t a legvalószínűbb érték, 1σ a mérés statisztikus hibája.

Naptári kor (cal BC/cal AD): a ^{14}C aktivitás a bomlástörvény alapján a legújabbban elfogadott felezési idővel átszámítva évekre úgy, hogy a halál idején valós légköri ^{14}C aktivitást tekintjük kezdeti aktivitásnak. Bizonytalanság: mérés + kalibrációs görbe bizonytalansága. A kort leíró valószínűségi sűrűségfüggvény nem szimmetrikus, nincs legvalószínűbb értéke, a korok intervallumokkal, t_1 -től t_2 -ig adhatók meg 1σ (68.2%), ill. 2σ (95.4%) valószínűséggel.

KEYWORDS: RADIOCARBON DATING (BP), CALENDAR AGE (CAL AD, CAL BC, CAL BP), UNCERTAINTY, BAYESIAN METHOD

KULCSSZAVAK: RADIOKARBON KOR (BP), NAPTÁRI KOR (CAL AD, CAL BC, CAL BP), MÉRÉSI BIZONYTALANSÁG, BAYESIAN MÓDSZER



1. ábra: A radiokarbon kormeghatározás elve.
 A_0 : a minta aktivitása a halál idején,
 λ : bomlási állandó,
 $A(t)$: a t éve elpusztult minta aktivitása

Fig. 1.: Principle of radiocarbon dating.
 A_0 : activity of the sample at the time of death,
 λ : decay constant,
 $A(t)$: residual activity

Bevezetés

Nem sokkal a II. világháború után Willard F. Libby, a chicagói egyetem professzora a kozmikus sugárzás légkörre gyakorolt hatását vizsgálta. Ehhez olyan érzékeny berendezést épített, amivel a levegőben keletkező radioaktív atommagok nagyon gyenge sugárzását, a bomláskor kibocsátott kis energiájú töltött részecskéket mérni tudta. A radioaktív izotópokat a felezési idejük alapján azonosította. Ekkor figyelt fel a szén 14-es tömegszámú radioaktív izotópjára, amely a kozmikus sugárzás hatására a sztratoszférában folyamatosan, közelítőleg állandó mennyiségben keletkezik és felezési ideje 5730 ± 30 év. A keletkezett ^{14}C a légkörben oxidálódik, és a többi, stabil szén-dioxid molekulával együtt belép a földi szén ciklusba: 94,3%-a hidroszférába kerül, 3,8%-a fotoszintézissel beépül a növényekbe és a táplálékláncon keresztül az egész élővilág biológiai szénébe, 1,9%-a található az atmoszférában. Az anyagcsere-folyamatok során a radiokarbon is folyamatosan beépül és távozik az élő szervezetekből. Így, amíg élnek, az élőlények biológiai szénének fajlagos aktivitása folyamatosan követi az atmoszférikus szén fajlagos radiokarbon aktivitását, azaz értéke közel állandó. Az anyagcsere megszűnt (halál) után további ^{14}C beépítésére nincs lehetőség, ezért az elhalt élőlény

maradványaiban biológiai formában kötött ^{14}C -atomok száma a bomlástörvénynek megfelelően időben exponenciálisan csökken. Ha ismerjük az adott szervezet biológiai szénének fajlagos ^{14}C tartalmát a halála idején, akkor a lelet jelenlegi ^{14}C tartalmából kiszámítható az anyagcsere megszűnt óta eltelt idő (**1. ábra**). Ezt a lehetőséget látta meg Libby és 1960-ban megkapta a kémiai Nobel-díjat „módszeréért, amely a szén-14-et a régészetben, geológiában, geofizikában és más tudományágakban kormeghatározásra alkalmazza.”

A történetet idáig mindenki ismeri. Akár reklámszöveg is lehetne. Nem tudja hány éves a csontváza? Nem gond, csak a ^{14}C -tartalmát kell megmérni! A gyanútlan régész elhiszi, viszi a mintáját. Ha nincs szerencséje, akkor a laborban azt mondják, hogy nem tudjuk megmérni, mert rossz a csont, kevés a minta, stb. Ha szerencsés, megméri és kap egy ilyen papírt: (**1. táblázat**)

Ha ismeri a módszert, tudja, hogy mi mit jelent. Ha nem, jó esetben megkérdezi, hogy akkor most hány éves is a csontváz? Ami sokkal rosszabb, beteszi a fiókba az eredményt. Pedig nem az ő hibája, hogy nem tudja. Amikor a TV-ben gyógyszert reklámoznak, hozzáteszik, hogy „A kockázatokról és mellékhatásokról olvassa el a betegájékoztatót...”

1. táblázat: Mérési jegyzőkönyv

Table 1.: Measurement logbook

minta kód	minta név	$\delta^{13}\text{C(PDB)}$ $\pm 0,2$ [‰]	konvencionális radiokarbon kor (BP)	kalibrált kor (BC) (1σ)
kod-21000	Valahol II-4 obj.	-27,0	5980 ± 30	4950–4790

Ez az áttekintés ilyen tájékoztatónak készült. Adja ég, hogy a „kockázatokkal és mellékhatásokkal” ne elriasszon, hanem segítse az eredmények értelmezését.

A lelet radiokarbon tartalmának meghatározása

A radiokarbon módszer minden olyan anyagra alkalmazható, amely a légköri szénnel valaha szoros kapcsolatban volt, majd később ez a kapcsolat megszakadt. Ez az oka, hogy a régészetben kívül sok más tudományág is használja, pl. a hidrológia, oceanológia, légkörkutató, klímakutató, stb. Ennek következtében egyre nagyobb az igény a mérésekre, így a radiokarbon laboratóriumok gombamód szaporodnak. Jelenleg a világon közel 200 – ha nem több – működik. A laborok felszereltsége különböző, eltérő mérés technikát alkalmaznak, de szigorú mérési protokoll szerint dolgoznak (Long 1990), a mérési folyamat mindenütt ugyanazokból a lépésekből áll:

1. Minta kiválasztása
2. Minta előkezelése
 - tisztítás (mechanikai)
 - *szerves* minta: éghető komponens kivonása, beszáritása.
 - *karbonátok*: mechanikai aprítás, porítás, homogenizálás.
3. Nagytisztaságú CO₂ gáz előállítás a minta széntartalmából (égetés vagy savas feltárás, gáztisztítás, AMS-hez ezt követően grafitizálás).
4. A minta radiokarbon tartalmának (fajlagos aktivitásának vagy a minta ¹²C/¹⁴C arányának) meghatározása.

Egyetlen labor sem kort mér, hanem a minta aktivitását, amiből – mint látni fogjuk – rögzös út vezet a naptári korhoz. A mérésnek határt szab a ¹⁴C felezési ideje. Egy radioaktív anyag mennyisége 10 felezési idő alatt kb. az ezredrészére csökken, ami a mérhetőség alsó határa. Tehát az 5730 éves felezési idejű radiokarbonnal az emberiség történetének utolsó 60 ezer éve vizsgálható. Ennél idősebb leletek esetén már más radioaktív izotópokat kell segítségül hívni.

A ¹⁴C mennyisége az összes szén mennyiségéhez viszonyítva nagyon kevés, a leggyakoribb, 12-es tömegű stabil szénizotóphoz hasonlítva egy ma élő szervezetben aránya mindössze $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1,17 \cdot 10^{-12}$.

Ez ~ 0,2 Bq/1gC aktivitáskonzentrációnak felel meg, ami azt jelenti, hogy az élő szervezetben található biológiai szén 1 grammjában kb. 5 másodpercenként bomlik el egy ¹⁴C-atom. A mérésre két lehetőség van. Az egyik, hogy a minta aktivitását mérjük, azaz a másodpercenkénti bomlásokat számoljuk. Ennek hátránya, hogy legalább 1 g szerves szén (nem minta!) szükséges a méréshez és még akkor is napok, nagyon idős mintáknál hetek telnek el, míg statisztikailag értékelhető számú esemény történik. A másik lehetőség a ¹⁴C/¹²C arány közvetlen mérése. Ez még az előzőnél is nehezebb feladat, hiszen a két izotóp gyakorisága között 12, idős mintáknál 13–14 nagyságrendi különbség van. A 70-es évek végére dolgozták ki az erre alkalmas AMS technikát (Accelerator Mass Spectrometry). Előnye a hagyományos számlálási technikákkal szemben, hogy akár egyetlen fogon vagy néhány virágporszemen elvégezhető a mérés, és nem napok vagy hetek, hanem 20–30 perc alatt.

Minta begyűjtése, dátumozható anyagok

A lelet radiokarbon tartalmának meghatározása a minta kiválasztásával kezdődik. Nagyon gondosan kell eljárni, hogy a minta valóban „minta”, azaz reprezentatív legyen. A kiválasztásnál elkövetett hibát semmilyen trükkel sem lehet utólag helyrehozni. Már ekkor fontolóra kell venni azt is, hogy a vizsgálatot milyen módszerrel szeretnénk elvégezni. A számlálós technikák hátránya, hogy anyag- és időigényesek, előnyük, hogy könnyebben biztosítható a homogenitásuk (reprezentativitás) és kevésbé érzékenyek a szennyeződésre (idegen szén jelenléte).

Radiokarbon kormeghatározásra alkalmas anyag a fa, faszén maradványok, mag, levél, vászon, tőzeg, humusz, csont, elefántcsont, szövet, szarv, haj, kagyló, csiga, karbonát üledék, cseppkő, talaj, vízben oldott szerves és szervetlen szén, jég. Általában nem dátumozható, mert nem ad reális kort pl. a vakolat, habarcs, kerámiában maradt szerves anyag. Különleges technikát igényel festmények, barlangrajzok, vaseszközökben lévő szén korának megállapítása. A szükséges mintamennyiséget a minta széntartalma, a szerves anyag állapota, a szennyezők mennyisége és az alkalmazott mérési technika határozza meg. A **2. táblázat**ban néhány gyakran használt anyag típus jellemző anyagszükséglete látható.

2. táblázat: Radiokarbon kormeghatározásra alkalmas minták széntartalma és a szükséges mintamennyiségek**Table 2.:** Carbon content and necessary amount of commonly radiocarbon dated materials

típus	széntartalom %	átlagos mennyiség (β számlálásos technika)	minimális mennyiség (AMS)
faszén, tőzeg, mag	50–90	3–6 g	1–50 mg
szövet, vászon	10–50	6–50 g	2–25 mg
fa, tőzeg (nedves)	2–10	30–150 g	10–125 mg
üledék, talaj	0,2–5	50–1500 g	20 mg–1 g
csont, fog	1–5	60–300 g	20–300 mg
karbonát, korall, cseppkő	10	10–30 g	25 mg
talajvíz, rétegvíz	0,01	50–500 liter	50–200 ml

A táblázatban megadott mintamennyiségeket akár többszörösére is meg kell növelni, ha a minta a kormeghatározás szempontjából használhatatlan anyagot tartalmaz. Ugyanez érvényes, ha a minta eredeti fizikai, kémiai összetétele jelentősen változott (pl. tőzeg oxidációja, kagylóhéj mállása). Ilyen esetben a használhatatlan mintarész az összes minta tömegének 98%-át is kiteheti, ezért a mintavételnél általános szabály:

A szükséges mennyiséget mindig be kell gyűjteni, de feleslegesen nem kell növelni a minta tömegét.

Ha nem vagyunk biztosak a minta állapotában, jobb több mintát venni, mint keveset.

A mintatárolás során meg kell akadályozni, hogy a tárolásra használt mintatartóból szén keveredjen a minta anyagához. Idegen szén jelenléte a minta hamis (látszólagos) korát eredményezi. A tényleges kor és a látszólagos kor közötti különbség függ a szennyezettség mértékétől és a szennyező anyag radiokarbon tartalmától. Ha a szennyező anyag fosszilis szenet tartalmaz, a látszólagos kor nagyobb, mint a tényleges kor. A kor hibája ekkor független a minta ^{14}C korától. 1% fosszilis szénszennyező 80 évvel növeli a radiokarbon kort.

Ha a szennyező nagyobb koncentrációban tartalmaz radiokarbonek (aktívabb), mint a minta, akkor a látszólagos kor kisebb, mint a tényleges kor. 1% modern szén hozzákeveredése 10, 200 ill. 7000 évvel fiatalítja meg az 1000, 10000 ill. 40000 éves mintát.

Könnyen belátható, hogy az AMS módszernél, ahol milligrammnyi mintákon is elvégezhető a mérés, sokkal nagyobb veszélyt jelent a szennyezés, mint a nagy mintaigényű aktivitásmérés esetén.

A minták kiválasztásáról és az optimális mintatárolásról részletes, fotókkal illusztrált leírás

található az új *Régészeti kézikönyvben* (Molnár & Svingor 2011).

A $\delta^{13}\text{C}$ fogalma és szerepe

Ennek az áttekintésnek nem célja a minta-előkészítések és mérés technikák ismertetése, ezekről részletes leírás található Hertelendi (1998), valamint ebben a kötetben (Molnár et al. 2012).

A minták aktivitását megmértük, az atmoszféra ^{14}C tartalmát ismerjük. Elvileg már kiszámíthatnánk a kort. Kérdés, hogy az élőlényekben ugyanaz-e a $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ arány, mint a levegőben?

A könnyű elemek izotópjai nagy relatív tömegkülönbségük [$\Delta m_{2,1} = (2m - 1m)^1$] miatt a fizikai, kémiai és biológiai folyamatokban eltérően viselkednek, ezért a kiindulási anyagban és a reakciótermékben eltér az izotópok relatív gyakorisága, azaz aránya (izotópfractionálás).

Az eltérés ezrelékben mérhető, ezért az izotóparányokat (R) egy referenciához viszonyítjuk:

$$\delta(\text{‰}) = \frac{R_{(\text{minta})} - R_{(\text{referencia})}}{R_{(\text{referencia})}} * 1000$$

Referencia C-re: Belemnite americana from the PeeDee formation (CaCO_3), PDB

Az légköri szén-dioxid jellemző $\delta^{13}\text{C}$ értéke -7 – -9‰. Már a fotoszintézis során komoly frakcionálás lép fel, amely még a fotoszintézis típusától is függ (C3 vagy C4). A növényekbe beépült szénben a $\delta^{13}\text{C} = -12 - -27\text{‰}$, azaz a nehezebb izotóp nehezebben épül be. Az anyagcsere folyamatok során további frakcionálás történik. A ^{13}C és ^{12}C izotópok relatív tömegkülönbsége: $\Delta m_{13} = (13-12)/12 = 1/12$.

Ez a ^{14}C -re kétszeres érték:

$$\Delta m_{14} = (14-12)/12 = 1/6.$$

A kétszeres relatív tömegkülönbség pedig kétszeres eltolódást okoz. Ez pedig azt jelenti, hogy a biológiai szén fajlagos aktivitása ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ aránya) sem azonos a légköri szén-dioxidéval. A leggyakrabban használt anyagok jellemző delta-értékeit táblázatokból kikereshetjük (pl. Calib 2005).

Izotópfractionálás nemcsak az anyagcsere során lehet, hanem a lelőhelyen eltöltött idő alatt, a minta előkészítése és – AMS mérés esetén – a mérés alatt is. Tehát a minta aktivitásán kívül mérni kell a $\delta^{13}\text{C}$ arányt is és ez alapján korrigálni az aktivitást.

Naptári korok számítása

Konvencionális radiokarbon kor, BP (Before Present)

A fentiekből kiderült, hogy a radiokarbon mérések során a minta *jelenlegi* ^{14}C tartalmát határozzuk meg (A_{minta}). Ebből a radioaktív bomlás törvénye alapján kiszámítható az az idő (t), ami azóta telt el, amikor a minta kilépett a szén-ciklusból:

$$t(\text{év}) = (T_{1/2}/\ln 2) * \ln(A_{\text{kezd}}/A_{\text{minta}})$$

A képlet látszólag egyetlen ismeretlent tartalmaz, az A_{minta} aktivitást, ami mérhető. A valóság az, hogy több paraméter is kérdéses:

- A ^{14}C felezési idejét ($T_{1/2}$) Libby 5568 évnek mérte, később a fejlettebb mérési technikákkal 5730 ± 30 évnek adódott, és nem zárható ki, hogy a technika fejlődésével ez is módosulhat.

- a légkör ^{14}C tartalma nem állandó.

- a minta aktivitása az anyagcsere folyamatok megszűnésekor (A_{kezd}) nem csak a légkör akkori aktivitásától függ, hanem az anyagcsere típusától is, ami befolyásolja a ^{14}C beépülését az élőlénybe (izotópfractionálás). Ezt a mintában lévő szén $\delta^{13}\text{C}$ értéke alapján korrekcióba kell venni.

- a kezdeti aktivitást befolyásolja az élőlény környezete, ahonnan a szenet beépítette.

- a minta jelenlegi aktivitása függ a mérés évtől: ugyanaz a minta 2010-ben mérve 50 évvel „idősebb”, mint 1960-ban volt. Tehát ha két különböző laborban, különböző időben mért radiokarbon kort össze akarunk hasonlítani, akkor ki kell deríteni, hogy mikor történt a mérés (ami egész biztosan nem azonos a publikáció megjelenésének idejével).

A fenti problémák kiküszöbölésére az alábbi megállapodás született (Stuiver & Polach 1977):

- a felezési idő 5568 év (a Libby által meghatározott érték)

- az atmoszféra ^{14}C tartalma állandó (A_{kezd} időben állandó)

- sztenderdként az NBS oxálsav használata (A_{kezd})

- a minta aktivitását $\delta^{13}\text{C} = -25\%$ -re normaljuk

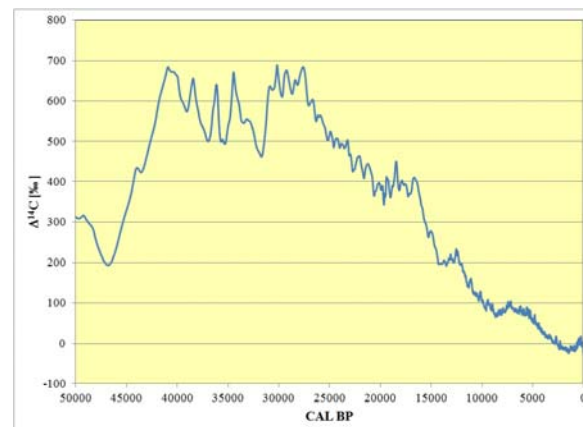
- a mért aktivitást korrigáljuk 1950-re (mennyi volt az aktivitása 1950-ben)

Az így kiszámított „korok” csak a mért aktivitástól függenek, a mérés típusától, idejétől, a légköri ^{14}C aktivitás változásától, az elhalt élőlény anyagcsere folyamataitól függetlenek, tehát összehasonlíthatók. Mivel megállapodáson, konvenciókon alapul, a neve *konvencionális radiokarbon kor*, jelölése BP (*Before Present*). A „Present” 1950-et jelent, azaz 1950 = 0 BP. A konvencionális radiokarbon jelentése: a minta 1950 előtt ennyi évvel került ki a szén-ciklusból. A feltételek többsége és az elfogadott felezési idő a módszer kidolgozójától, W. F. Libbytől származik, ezért a konvencionális radiokarbon kort szokás Libby-kornak is nevezni.

A légköri ^{14}C koncentráció változása

Ha a fenti kritériumok maradéktalanul teljesülnének, akkor a konvencionális radiokarbon korok egyszerűen átválthatók lennének naptári korokká: naptári kor = 1950 – BP. Ha BP < 1950, akkor i.sz. (AD), ha BP > 1950, akkor i.e. (BC). Ez, sajnos, nem így van.

Azt már láttuk az előző fejezetben, hogy a ^{14}C felezési ideje nem 5568, hanem (mai tudásunk szerint) 5730 ± 30 év. A másik fontos körülmény nem sokkal a módszer kidolgozása után vált ismertté: a légkör ^{14}C tartalma sem időben, sem térben nem teljesen állandó (**2. ábra**).



2. ábra: Az atmoszféra ^{14}C tartalmának változása az NBS oxálsav sztenderdhez képest, ‰-ben kifejezve. (Reimer et al. 2009 nyomán)

Fig. 2.: Temporal fluctuations in ^{14}C concentration relative to the NBS Oxalic acid standard. IntCal09, Reimer et al. 2009.

A globális ingadozásokat okozhatja:

(1) a Földet elérő kozmikus részecskék, ezáltal a keletkező ^{14}C atomok számának változása.

Mai ismereteink szerint ennek okai lehetnek:

- a Föld mágneses dipólmomentumának változása,

- heliomágneses moduláció (a Nap-szél okozta mágneses térerő változás),

- napfolttevékenység, szupernóva robbanás,

(2) változás az atmoszféra szén-dioxid tartalmában:

- az óceánok mélyéről feláramló inaktív CO_2 ,

- változás a szén-ciklusban (klímaváltozás).

(3) emberi tevékenység:

- Suess-effektus (a fosszilis tüzelőanyagok elégetése során ^{14}C -mentes CO_2 kerül a légkörbe),

- légköri nukleáris fegyverkísérletek,

- nukleáris energiatermelés.

A globális ingadozások mellett felléphetnek az adott élő környezetre jellemző helyi hatások is (reservoir effektus).

Az emberi tevékenységnek köszönhető ^{14}C szint változás az ipari forradalom előtt képződött leletek kormeghatározását nem befolyásolja. A földművelés kialakulásához kapcsolódó erdőégetések során légkörbe került CO_2 élő, azaz az akkori atmoszférával egyensúlyban lévő szén tartalmazott, így a légköri ^{14}C koncentrációt lényegesen nem módosította.

Kalibráció

A naptári korok számítására a következő megoldást választották:

Készüljön egy, az új felezési időt és az atmoszféra ^{14}C aktivitásának változását magában foglaló „kalibrációs görbe” (adatbázis), amelynek segítségével a konvencionális radiokarbon korok átszámolhatók naptári korrá.

Továbbra is meg kell tartani és a közleményekben megadni a (Libby-féle felezési idővel számolt!) konvencionális radiokarbon kort is (BP), mert így a régi és új mérések összehasonlíthatók, az újabb és újabb kalibrációs adatbázisok alapján újra kalibrálhatók.

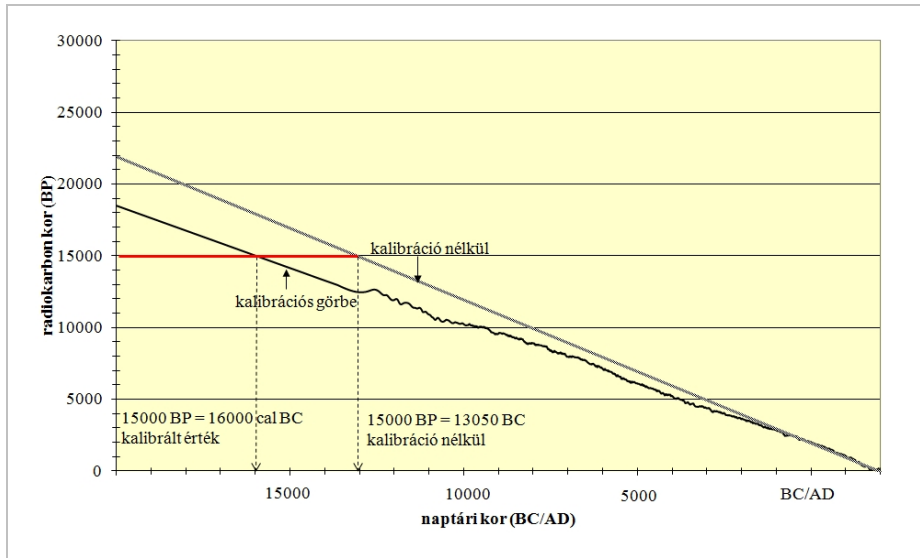
A kalibrált radiokarbon korok naptári korokat jelentenek, jelölésük: cal BC, ill. cal AD.

Használható a cal BP is, erre igaz, hogy cal BC (cal AD) = 1950 – cal BP.

A kalibráció azt jelenti, hogy a mérések alapján számított radiokarbon korokat korrigálni kell úgy, hogy a vizsgált minta *kezdeti* aktivitását az 1950-es érték helyett az atmoszféra múltbeli ^{14}C aktivitásának megfelelő értékével helyettesítjük. Az atmoszféra múltbeli radiokarbon koncentrációjának változását számos laboratóriumban mérték és mérik jelenleg is. Kezdetben ismert korú vagy dendrokronológiailag dátumozott faévgyűrűk ^{14}C tartalmát mérték és kiszámították a minták konvencionális radiokarbon korát. A minták valódi és mért kora közötti eltérésből megadható a légkör ^{14}C aktivitása a minta keletkezésének idején. Ezek alapján sikerült a légkör radiokarbon tartalmát rekonstruálni i.e. 10900-ig (10900 cal BC vagy 11850 cal BP). Mérésre alkalmas fák ennél régebről már nem kerültek elő, így a munkát U/Th módszerrel dátumozott korallak és cseppkövek ^{14}C tartalmának mérésével folytatták. A **2. ábrán** bemutatott görbe 2009-ben készült el, csaknem 60 éves munka eredményeként. Az általánosan elfogadott mérésorozatok eredményeit táblázatokban foglalták össze. A táblázatok tartalmazzák az ismert kort (naptári kor) és a mért radiokarbon kort. Ha ezeket egy olyan koordináarendszerben ábrázoljuk, amelynek az x tengelyén a naptári korokat, y tengelyén a hozzájuk tartozó mért radiokarbon korokat tüntetjük fel, megkapjuk az ún. kalibrációs görbét. Egy ismeretlen korú minta konvencionális radiokarbon korát megmérve a diagramról leolvasható a hozzá tartozó naptári kor.

A kalibráció fontosságát a **3. ábra** szemlélteti. Az ábrán a kalibrációs görbe 0–22000 cal BP közötti szakasza látható. Példaként egy 15000 „éves” (BP) mintát mutatunk: kalibrálás nélkül a minta keletkezési idejét i.e. 13050-re tennénk, holott csaknem 3000 évvel régebbi, valójában i.e. 16000-ból származik.

A konvencionális radiokarbon kort ezek után is minden esetben meg kell adni, mint tisztán a műszeres fizikai mérést tartalmazó eredményt, ezt bármikor kalibrálni lehet a legújabb, ingyenesen hozzáférhető (www.radiocarbon.org) kalibrációs adatbázisokkal, szoftverekkel és ennek eredményeként a konvencionális radiokarbon korból előáll a naptári kor.



3. ábra: Kalibráció. A naptári kor ≠ 1950 – radiocarbon kor.

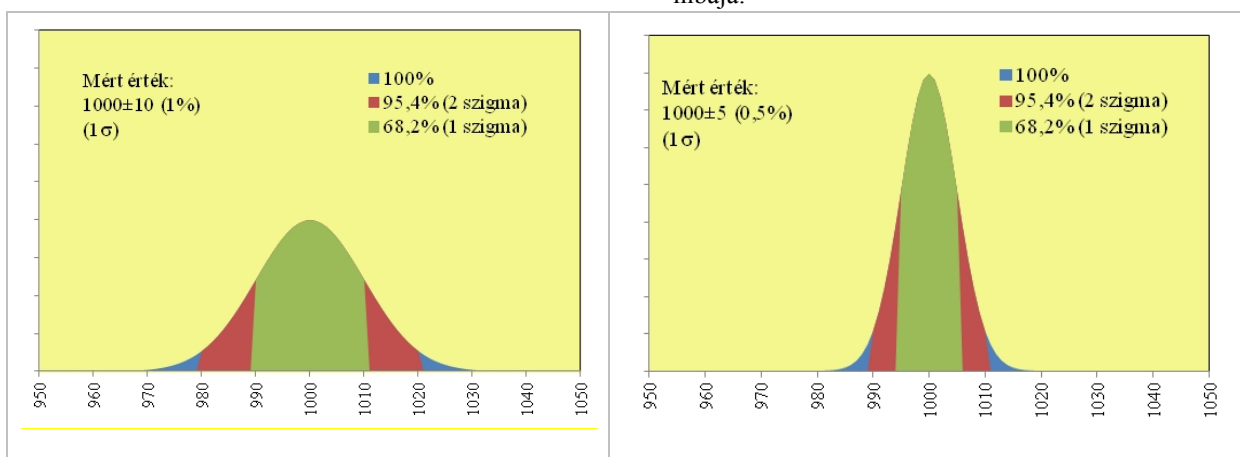
Fig. 3.: Calibration. Calendar age ≠ 1950 – radiocarbon age

A radiokarbon korok hibája

A mérések statisztikus hibája (mérési bizonytalanság)

Minden műszer pontossága korlátozott, ezért abszolút pontos mérés nincs. Az ismételt mérések eredménye kicsit eltérő, de nagyszámú mérés esetén egyes értékek többször ismétlődnek, mint mások. Ha az egyes értékek ismétlődésének számát (gyakoriság) ábrázoljuk az értékek függvényében, akkor elég nagyszámú mérés esetén egy szabályos harang-görbét (normál vagy Gauss eloszlást) kapunk (4. ábra). A „biztos” (100%) az, hogy a keresett érték valahol ez alatt a görbe alatt van. A legvalószínűbb értéket a görbe csúcsa mutatja. Az 1σ konfidencia szint a görbe alatti terület 68.2%-át, a 2σ a 95.4%-át, azaz azt jelenti, hogy 68.2%, ill. 95.4% a valószínűsége annak, hogy a valódi érték a

megadott hibahatáron belül van. Az intervallumok szélességét a mérés hibája szabja meg. Ez két tényezőtől függ: (1) a műszer pontosságától, azaz attól, hogy az ismételt mérések eredményei mennyire térnek el egymástól (mennyire „szórnak”); (2) a mérések számától. A legvalószínűbb értéket az eredmények átlaga adja, a mérés hibáját, azaz a szórást az egyes eredmények átlagtól való eltéréseiből és a mérések számából számítjuk. Mivel az eloszlási görbénk szimmetrikus, az eredményt így adhatjuk meg: átlag ± szórás. A 4. ábrán bemutatott két eloszlási függvény legvalószínűbb értéke azonos (1000), de a szórás a bal oldalin ±10 (1%), a jobb oldalin ±5 (0,5%). Előbbinél a keresett (valódi) érték 68,2% valószínűséggel 990 és 1010, utóbbinál 995 és 1005 között van. Ez a mérés eredménye. A mérési adat nem egyetlen szám, hanem kettő: az érték és a hibája.



4. ábra: Mérések statisztikus hibája. A mért érték: a mérések átlaga ± szórás (1σ). A szórás határozza meg az eloszlási függvény szélességét. Jelentése: a keresett érték 68,2% valószínűséggel az (átlag ± szórás), 95,4% valószínűséggel az (átlag ± 2 x szórás) intervallumban van.

Fig. 4.: Measurement uncertainty. Measured value: mean ± spread (1σ). It means: the interval around the mean of the measured data that contains the true value with 68,2% (1σ) or 95,4% (2σ) probability

A konvencionális radiokarbon korok hibája

Az előzőekből következik, hogy a radiokarbon kor sem egyetlen szám, hanem a legvalószínűbb érték és a hibája. A mérés és az abból számított konvencionális radiokarbon kor statisztikus hibáját leíró függvény egy szabályos haranggörbe, így a terület 68.2%-a a görbe közepén, a csúcsra szimmetrikusan helyezkedik el. A csúcs mutatja a legvalószínűbb értéket, és a hibahatárt megadhatjuk \pm értékben. A megadott $\pm x$ év az 1σ konfidencia szintet jelöli. Természetesen itt is megadható a 2σ érték is, ami egyszerűen az előbbi kétszerese. A konvencionális radiokarbon kort kerekítve adjuk meg, kerekítésének mértékét a standard hiba nagysága határozza meg (Stuiver & Polach 1977). A standard hiba megadásánál a két első számjegyet kell megtartani, a többit pedig kerekíteni. Például 8234 ± 256 és 42786 ± 2322 esetén a kerekítés helyesen 8230 ± 260 és 42800 ± 2300 . Ha a standard hiba kisebb 100 évnél, akkor 50 és 100 év között tízre, 50 év alatt 5-re kerekítünk.

A mérési bizonytalanság, azaz a szórás vagy standard hiba tartalmazza a minta, a sztenderd és a háttér mérésének statisztikus hibáját, az egyes műszerek és a $\delta^{13}\text{C}$ mérési bizonytalanságát. Ezekből számítjuk a hibaterjedési függvény segítségével a kor hibáját. Nem tartalmazza a mintavételből, a minta inhomogenitásából, szennyeződésből, csak részben tartalmazza a minta-előkészítésből származó hibákat (Scott et al. 2007).

A mintavételből származó hiba kivételével AMS mérések esetén ezek a hibák is számíthatók a teljes folyamat (előkészítés, feltárás, grafitizálás, mérés) ismétlésével. Ebben az esetben hibaként már nem a szórást, hanem az *ismételhetőséget*, azaz *precizitást* adjuk meg. Minta- és időigényességük miatt a számlálásos technikák alkalmazásával ez korlátozottan végezhető el.

Jó ismételhetőség mellett is előfordulhat, hogy a teljes folyamatban van egy állandó hiba, amit nem tudunk észlelni. Ha a fenti ismétlést egy másik laboratórium végzi el, akkor a független mérések összehasonlításából a mérések *reprodukálhatóságáról* kapunk információt. Ez már magában foglalja az állandó rendszerhibákat is.

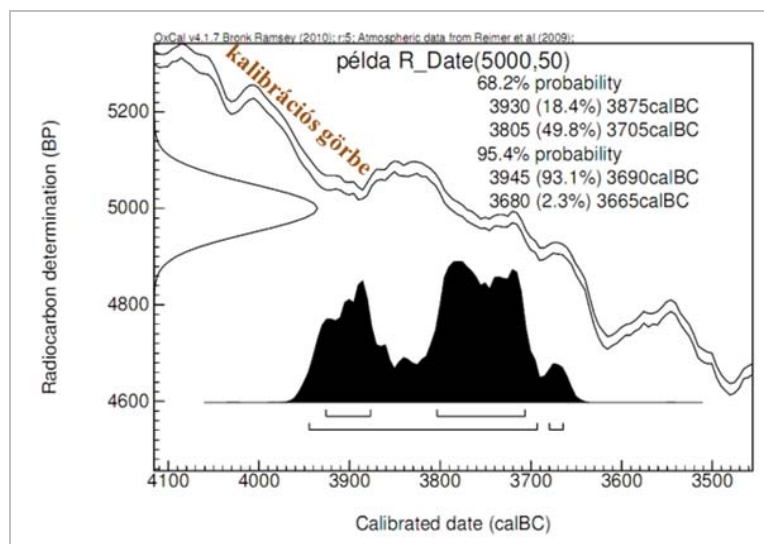
Ismeretlen korú mintákon végzett összehasonlító méréseknél az egyezés mindkét labor eredményét megerősíti. Szisztematikus eltérésnél nem lehet eldönteni, hogy melyik sorozat a helyes. Ezért hasznosak a rendszeresen szervezett nemzetközi

összemérések, amiken minden résztvevő labor ellenőrizheti saját teljesítményét. Az összemérésekre a laborok a mintatípusok és korok széles skáláját képviselő, de azonos mintákból származó, jó minőségű mintákat kapnak (Cook et al. 1990). Az eredményeket a szervezők kiértékelik, majd közlik a mérési eredményeket, a konszenzus értékeket (pl. Scott 2009) és a tapasztalatokat (pl. Scott et al. 2010a; 2010b). A nyilvánosságra hozott eredményekben az egyes laborok csak egy azonosító számmal szerepelnek. Ez alapján minden labor kiértékelheti a saját eredményeit, meghatározhatja mérési *pontosságát*, de a hiányosságait is.

Nagyon fontos: nem biztos, hogy a kisebb hibával megadott mérési eredmény a pontosabb (Scott et al. 2007). Egy példa: a mohácsi vészben elpusztult emberek csontvázain végez mérést két labor. Az egyik szerint a leletek kora 1465 – 1495 cal AD, a másik szerint 1510 – 1580 cal AD. Az első ugyan *precíz* (a megadott intervallum, azaz az 1σ konfidencia intervallum mindössze 30 év), de nem tartalmazza a valódi kort (amit ebben az esetben szerencsére ismerünk). A második labor esetében az 1σ intervallum ugyan 70 év, de a keresett dátumot tartalmazza, ezért ez a *pontos*. Ismeretlen korú minták esetében ezt nem tudjuk eldönteni, hajlamosak vagyunk arra, hogy a kisebb mérési hibával megadott értéket tekintsük a pontosabbnak, holott sok esetben a hiba alulbecsléséről van szó. A mérési pontosságot a laborok házon belül nemzetközi sztenderdek rendszeres mérésével ellenőrzik (Long 1990), ami viszont a minta előkezelésénél fellépő hibákat nem tartalmazza.

A kalibrált radiokarbon korok hibája

A naptári korokat (kalibrált kor, cal BC vagy cal AD, illetve lehet cal BP is) úgy kapjuk, hogy a kalibrációs görbéről leolvassuk a konvencionális radiokarbon kort leíró valószínűségi függvény minden pontjának naptári korát (év \pm hiba). Így egy másik valószínűségi eloszlást kapunk, ami már nem szimmetrikus, tehát csak a határokat tudjuk megadni, vagyis azt, hogy 68,2%, vagy 95,4% valószínűséggel milyen időintervallum(ok)ba esik a minta naptári kora (**5. ábra**). A naptári korok bizonytalansága nagyobb, mint a konvencionális koroké, mert tartalmazza a minta mérési hibáján kívül a kalibrációs görbe hibáját is.



5. ábra: Függőleges tengelyen ábrázolva: konvencionális radiokarbon kor: 5000±50 BP. Szimmetrikus haranggörbe, a hiba csak a mérési bizonytalanságot tartalmazza. Középen: a kalibrációs görbe 1σ sávja. A kalibrációs görbét mérési pontok (érték±1σ) alkotják, a két görbe az (érték+1σ) és (érték-1σ) pontoknak felel meg. Vízszintes tengelyen: a kalibrált (naptári) kor valószínűségi eloszlása. Nem szimmetrikus, a hiba tartalmazza a radiokarbon mérés és a kalibrációs görbe hibáját is. A 68,2% és 95,4% valószínűség gyakran több intervallumból adódik össze.

Fig. 5.: Vertical axe: radiocarbon age: 5000±50 BP. Probability density distribution is symmetrical bell shaped around the mean of the data. Uncertainty: analytical error. Middle: +1σ and -1σ range of the calibration curve. Horizontal axe: Probability density distribution of the calibrated date. Asymmetric, the uncertainty cannot be presented in ± term. The result must be quoted in the form of 1σ or 2σ range.

Az eredmények kiértékelése

Kalibrációs szoftverek

Az előző fejezetből látható, hogy a kalibráció bonyolult művelet. A módszer kidolgozásának kezdetén még kevés adata illesztett görbe alkotta a kalibrációs görbét, a kalibráció valóban milliméterpapíron történt: egyenként olvasták le a mért és a hozzárendelt + és - 1 és 2σ értékekhez rendelhető naptári korokat. A számítógépek megjelenése, gyors fejlődése lehetővé, az adatok növekvő száma pedig szükségessé tette a számítógépes kiértékelést. Ma számos kalibrációs program létezik, amelyek ingyenesen letölthetők a www.radiocarbon.org honlapról, a kalibráció bármelyikkel elvégezhető.

A programok ugyanazt, illetve ugyanazokat a kalibrációs görbéket alkalmazzák. A szárazföldi és tengeri élőlények más környezetben élnek, amelyben más a beépíthető szén izotóp-összetétele is (reservoir effektus). Emiatt külön kalibrációs görbe készült a szárazföldi és tengeri eredetű leletek kalibrálására. Az is bebizonyosodott, hogy az északi és déli féltekén sem teljesen azonos a rendelkezésre álló szén izotóp-összetétele, így itt is számolni kell a reservoir effektussal (SHCal04, McCormac et al. 2004; Zimmerman et al. 2010). A görbék pontosításán folyamatosan dolgoznak, a legújabbak az IntCal09 és Marine09 (Reimer et al.

2009). Az IntCal04 (Reimer et al. 2004) kb. 1500, az IntCal09 több mint 3500 mérési adatot tartalmaz. A Radiocarbon honlapon található szoftvereket frissítik, valamennyi a legújabb, legrészletesebb adatbázissal dolgozik.

A szoftverek nemcsak egy-egy radiokarbon kor kalibrálására alkalmasak, hanem adatsorok statisztikus kiértékelésére is. Itt már jelentős eltérések vannak köztük, különböző statisztikai módszerekkel dolgoznak, illetve egy részük speciális kérdések vizsgálatára készült, mások komplex modellek kidolgozására is alkalmasak. Ez utóbbiak az ún. Bayesian módszert alkalmazzák.

Bayesian módszer

A Bayesian-elv szerint két vagy több statisztikus hibával rendelkező adat együttes kiértékelésénél az eredmény hibáját a klasszikus statisztikus módszer általában felülbecsüli. A hiba csökkenthető, ha az adatokra vonatkozó, más forrásokból származó ismereteinket, az ún. priorokat a statisztikus kiértékelésnél figyelembe vesszük. A Bayesian módszer egy adathalmaz kiértékelésére szolgáló statisztikus módszer, amely a statisztikus hibával terhelt mérési adatokat és az adatokra vonatkozó egyéb ismereteinket együttesen értékeli. Az eredményül kapott értékek (poszteriorok) hibája kisebb lesz, mint a hagyományosan számított bizonytalanság, azaz – ha ismereteink helytállóak –

az eredmény pontosabb lesz. A módszer széles körben elterjedt, bár sokan elutasítják, mivel szubjektív elemeket tartalmaz: az eredményt befolyásolják a modellbe beépített plusz információk.

Esetünkben a kalibráció során két statisztikus hibával terhelt adatot, a mérési eredményt és a szintén statisztikus hibával rendelkező kalibrációs görbe pontjait kell együttesen értékelni. A kalibrált korok (eloszlások) mindkét hibát tartalmazzák. Amennyiben nem egyetlen mérési adatunk, hanem egy mérési sorozatunk van, a Bayesian-elv alapján az egyes adatok bizonytalansága, azaz a hibahatárok csökkenthetők, ha a mérési adatokat a mintákra vonatkozó további információkkal kiegészítjük.

Modellek

Az 1990-es évek elején jelentek meg az első közlemények, amelyek felvetették a Bayesian-elv használatát a radiokarbon korok kiértékelésére és szinte ezzel egyidőben megjelentek az adathalmazok komplex elemzésére is alkalmas kalibrációs szoftverek (pl. Buck et al. 1991; Buck et al. 1992; Buck et al. 1994; Bronk Ramsey 1994). Ezek közül jelenleg talán a legelterjedtebb a Christopher Bronk Ramsey által kifejlesztett (Bronk Ramsey 1994) – és folyamatosan továbbfejlesztett (Bronk Ramsey 1995; 1998; 2000; 2001; 2008; 2009a; 2009b; Bronk Ramsey et al. 2001; 2004; 2006) – OxCal kalibrációs program, amely a radiokarbon korok egyszerű kalibrációján túl alkalmas kronológiai vagy üledékképződési modellek kidolgozására, évgyűrű (fa, cseppkö) sorozatok kiértékelésére. Segítségével kronológiai modellek állíthatók fel úgy, hogy a radiokarbon mérések mellett a vizsgált leletanyagra vonatkozó minden rendelkezésre álló történelmi, relatív kronológiai vagy természettudományos vizsgálatból (dendrokronológia, U/Th módszer, TL, archeomágnes mérések, stb.) származó ismeretünket beépítjük (Bayesian módszer). A modell az általunk megadott kezdeti-, illetve határfeltételeket (*priorok*, pl. a leletek időbeli sorrendje ismert/nem ismert, egyidejűek, egy fázisba tartoznak/nem tartoznak, a fázisok átfedhetik/nem fedhetik egymást, nem tudjuk, valami után/előtt, stb.) figyelembe véve újra kalibrálja a korokat és becslést ad határookra (poszteriorok). A jelenleg elérhető OxCal 4.1.7 verzió szinte bármilyen modell felállítását lehetővé teszi, a kapott eredmények természetesen ebben az esetben is modellfüggőek. Ugyanakkor segítségünkre van abban, hogy a lehetséges értelmezések közül a legvalószínűbbet kiválaszthassuk. Ha a modell paramétereit helyesen

adtuk meg, akkor a számítás eredményeként kapott naptári korok eloszlásai egybeesnek a kalibrációval kapott eloszlásokkal, sőt a modell-korok statisztikus bizonytalansága kisebb lesz, mint a külön-külön kalibrált koroké. Az OxCal 4.1.7 program minden egyes adatra vizsgálja az egyezést (*agreement index*). Ez az érték teljes átfedés esetén 100%. Ha a kalibrált és számított kor (eloszlás) nem egyezik, az egyezés mértékét %-ban adja meg. Ha ez 60%-nál kisebb, akkor vagy a mérési adat, vagy a modell (esetleg valamelyik kezdeti feltétel) hibás. Az index lehet 100%-nál nagyobb: ekkor az eredeti kalibrált görbe teljes egészében magában foglalja a modellel számított görbét (poszterior), és ez utóbbi kisebb bizonytalansággal terhelt (szűkebbek a határok), mint az eredeti. A modell annál jobb, minél nagyobb az egész modell helyességét jellemző A_{modell} értéke (Hua et al 2012).

Összegzés

Mint láttuk, a radiokarbon laborok nem a leletek korát mérik, hanem a minták megmaradt ^{14}C tartalmát. A konvencionális radiokarbon kor egy modell kor, amit úgy kapunk, hogy a mért aktivitást ($A \pm 1\sigma$) a „konvenciók” elfogadásával átszámítunk évekre ($t \pm 1\sigma$). A konvenciókat speciális prioroknak tekinthetjük, amik nem valószínűségi változók, hanem konstansok. Ahogy az ismereteink és a mérések halmaza nőtt, kiderült, hogy a modell nem helyes, és a konstansnak tekintett kezdeti aktivitás valójában egy változó, ami ráadásul nem írható le normál eloszlással. A radiokarbon kort kalibrálni kell, hogy a naptári kort megkapjuk. A naptári kor tehát ismét modell kor ($t_1 - t_2, 1\sigma$), ami már két valószínűségi változó kombinálásával számítható. A kalibrációs görbe pontosítása a naptári korok megbízhatóbb becslését, de egyúttal változását is eredményezi. Nem véletlen tehát, hogy a közleményekben meg kell adni a nem változó radiokarbon korokat (BP) is, a naptári korok (cal AD/cal BC vagy cal BP) mellé pedig az alkalmazott kalibrációs adatbázist, illetve kalibrációs szoftvert. Egy mérési adathalmaz kronológiai értelmezésénél több radiokarbon adatot vizsgálunk egyszerre, és az eddigi két változó mellé belépnek az adatok kapcsolatára vonatkozó feltételek is, amik szintén valószínűségi eloszlásokkal írhatók le. Nyilvánvaló, hogy az általunk megadott feltételek alapvetően befolyásolják a számítás eredményét. Épp ezért célszerű többféle lehetséges modellt vizsgálni, és az eredményeket részletesen összehasonlítani, elemezni. Nem szabad elfelejteni, hogy véges számú mérési adatunk van, és ismereteink is korlátozottak. Új adatok és információk szükségessé tehetik a modell újragondolását (Weninger et al. 2011).

Köszönetnyilvánítás

Magyarországon az első ^{14}C mérésére alkalmas számlálót és alacsony háttérű mérőhelyet Csongor Éva építette. A 9 számlálóból álló, ma is üzemelő alacsony háttérű mérőhely, a szintén ma is használt mintafeltáró, égető és gáztisztító berendezések, valamint az izotópfractionálódás mérésére alkalmas tömegspektrométer Hertelendi Ede műve. Ők teremtették meg a debreceni labort, de mai nemzetközi elismertsége elsősorban szellemi hagyatékuknak köszönhető.

Irodalom

BRONK RAMSEY, C. (1994): Analysis of Chronological Information and Radiocarbon Calibration: The Program OxCal. *Archaeological Computing Newsletter* **41**:11–16.

BRONK RAMSEY, C. (1995): Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program. *Radiocarbon* **37/2**:425–430.

BRONK RAMSEY, C. (1998): Probability and dating. *Radiocarbon* **40/1**:461–474.

BRONK RAMSEY, C. (2000): Comment on 'The Use of Bayesian Statistics for ^{14}C dates of chronologically ordered samples: a critical analysis'. *Radiocarbon* **42/2**:199–202.

BRONK RAMSEY, C. (2001): Development of the radiocarbon calibration program OxCal. *Radiocarbon* **43/2A**:355–363.

BRONK RAMSEY, C. (2008): Deposition models for chronological records. *Quaternary Science Reviews* **27/1-2**:42–60.

BRONK RAMSEY, C. (2009a): Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* **51/1**:337–360.

BRONK RAMSEY, C. (2009b): Dealing with outliers and offsets in radiocarbon dating. *Radiocarbon* **51/3**:1023–1045.

BRONK RAMSEY, C., BUCK, C. E., MANNING, S. W., REIMER, P. & VAN DER PLICHT, H. (2006): Developments in radiocarbon calibration for archaeology. *Antiquity* **80/310**:783–798.

BRONK RAMSEY, C., MANNING, S. W. & GALIMBERTI, M. (2004): Dating the volcanic eruption at Thera. *Radiocarbon* **46/1**:325–344.

BRONK RAMSEY, C., VAN DER PLICHT, J., & WENINGER, B. (2001): 'Wiggle matching' radiocarbon dates. *Radiocarbon* **43/2A**:381–389.

BUCK, C.E., KENWORTHY, J.B., LITTON, C.D. & SMITH, A.F.M. (1991): Combining Archaeological and Radiocarbon Information – a Bayesian-Approach to Calibration. *Antiquity* **65/249**:808–821.

BUCK, C.E., LITTON, C.D. & SCOTT, E. M. (1994): Making the most of radiocarbon dating - some statistical considerations. *Antiquity* **68/259**:252–263.

BUCK, C.E., LITTON, C.D. & SMITH, A.F.M. (1992): Calibration of radiocarbon results pertaining to related archaeological events. *Journal of Archaeological Science* **19/5**:497–512.

CALIB (2005): Isotopic fractionation. CALIB Manual - Chapter 5.

<http://calib.qub.ac.uk/calib/manual/chapter5.html>

COOK, G.T., HARKNESS, D.D., MILLER, B.F., SCOTT, E.M., BAXTER, M.S. & AITCHISON T.C. (1990): International collaborative study; structuring and sample preparation. *Radiocarbon* **32/3**: 267–270.

HERTELENDI, E. (1998): Radiokarbon kormeghatározás. In: ILON, G. (szerk.) A régésztechnikus kézikönyve I. *Panniculus, Ser. B. 3* Szombathely. 311–335.

HUA, Q., McDONALD, J., REDWOOD, D., DRYSDALE, R., LEE, Sh., FALLON, S. and HELLSTROM, J. (2012): Robust chronological reconstruction for young speleothems using radiocarbon, *Quaternary Geochronology*, doi:10.1016/j.quageo.2012.04.017.

LONG, A. (1990): A quality assurance protocol for radiocarbon laboratories. *Radiocarbon* **32/3**: 393–397.

McCORMAC, F.G., HOGG, A.G., BLACKWELL, P.G., BUCK, C.E., HIGHAM, T.F.G. & REIMER, P.J. (2004): SHCal04 Southern Hemisphere calibration, 0–11.0 cal kyr BP. *Radiocarbon* **46/3**:1087–1092

MOLNÁR, M., RINYU, L., JANOVICS, R., MAJOR I. & VERES M. (2012): Az új debreceni AMS laboratórium bemutatása. *Archeometriai Műhely* **IX/3** 147–160

MOLNÁR M. & SVINGOR É. (2011): Radiokarbon kormeghatározás. In: MÜLLER, R. (főszerk), *Régészeti kézikönyv* (CD). Magyar Régész Szövetség, Budapest 2011. 532–545.

REIMER, P.J., BAILLIE, M.G.L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J.W., BERTRAND, C.J.H., BLACKWELL, P.G., BUCK, C.E., BURR, G.S., CUTLER, K.B., DAMON, P.E., EDWARDS, R.L., FAIRBANKS, R.G., FRIEDRICH, M., GUILDERSON, T.P., HOGG, A.G., HUGHEN, K.A., KROMER, B., McCORMAC, F.G., MANNING, S.W., BRONK RAMSEY, C., REIMER, R.W., REMMELE, S., SOUTHON, J.R., STUIVER, M., TALAMO, S., TAYLOR, F.W., VAN DER PLICHT, J. & WEYHENMEYER, C.E. (2004): IntCal04 terrestrial radiocarbon age

calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* **46/3**:1029–1058.

REIMER, P.J., BAILLIE, M.G.L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J.W., BLACKWELL, P.G., BRONK RAMSEY, C., BUCK, C.E., BURR, G.S., EDWARDS, R.L., FRIEDRICH, M., GROOTES, P.M., GUILDERSON, T.P., HAJDAS, I., HEATON, T.J., HOGG, A.G., HUGHEN, K.A., KAISER, K.F., KROMER, B., McCORMAC, F.G., MANNING, S.W., REIMER, R.W., RICHARDS, D.A., SOUTHON, J.R., TALAMO, S., TURNEY, C.S.M., VAN DER PLICHT, J. & WEYHENMEYER, C.E. (2009): IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* **51/4**:1111–50.

SCOTT, E.M. (2009): VIRI Consensus values. <http://www.radiocarbon.org/>

SCOTT, E.M., COOK, G.T. & NAYSMITH, P. (2007): Error and uncertainty in radiocarbon measurements. *Radiocarbon* **49/2**:427–440.

SCOTT, E.M., COOK, G.T. & NAYSMITH, P. (2010a): The Fifth International Radiocarbon Intercomparison (VIRI): An Assessment of Laboratory Performance in Stage 3. *Radiocarbon* **52/3**: 859–865.

SCOTT, E.M., COOK, G.T. & NAYSMITH, P. (2010b): A Report on Phase 2 of the Fifth International Radiocarbon Intercomparison (VIRI). *Radiocarbon* **52/3**: 846–858.

STUIVER, M. & POLACH, H. (1977): Discussion: reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon* **19/3**:355–363.

WENINGER, B., EDINBOROUGH, K., CLARE, L. and JÖRIS, O. (2011): Concepts of probability in radiocarbon analysis. *Documenta Praehistorica XXXVIII*. DOI: 10.4312\dp.38.2

ZIMMERMAN, S., GUILDERSON, T., BUCKLEY, B. & COOK, E. (2010): Extension of the Southern Hemisphere atmospheric radiocarbon curve, 2120-850 years BP: Results from Tasmanian Huon Pine. *Radiocarbon* **52/3**:887–894.

AZ ÚJ DEBRECENI C-14 AMS LABORATÓRIUM BEMUTATÁSA

INTRODUCTION OF THE NEW AMS C-14 LABORATORY IN DEBRECEN

MOLNÁR MIHÁLY, RINYU LÁSZLÓ, JANOVICS RÓBERT,
MAJOR ISTVÁN, VERES MIHÁLY

Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratórium,
MTA ATOMKI – ISOTOPTECH Zrt., 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

E-mail: molnar.mihaly@atomki.mta.hu; www.radiocarbon.hu

Abstract

A new MICADAS type accelerator mass spectrometry (AMS) system was installed in Debrecen during the summer of 2011. The Hungarian AMS is dedicated for C-14 environmental research. Its maximum measurable C-14 age limit is about 50,000 yr BP. A normal measurement time is about half an hour for a sample. A new AMS C-14 sample preparation lab was also established to serve the AMS measurements in Debrecen. This paper give an overview of AMS C-14 sample analyses in the Debrecen laboratory to show how samples are pretreated in a long process which leads to get a reliable C-14 result on it. More than two thousand samples were analysed in the first year of the operation using the new AMS system in Debrecen. Long term stability of the instrument is presented via the variation of Oxa-II normalization standard and the processed blank targets level for the first half of 2012.

In this project, a multipurpose gas handling system was developed for the gas ion source of EnvironMICADAS at ETH Zürich that is designed for the measurement of small environmental origin samples (<50 µg carbon) with moderate precision requirements aiming an automated device for high sample throughput.

Kivonat

2011 nyarán egy MICADAS típusú új gyorsító tömegspektrométer (AMS) került beüzemelésre Debrecenben. A magyar AMS környezeti C-14-es mérésekre is lett specializálva. A maximális mérhető C-14 kor 50.000 év BP körüli. Egy-egy minta átlagos mérési ideje fél óra. Ugyanitt egy új minta-előkészítő laboratórium is ki lett alakítva, mely az AMS minták előkészítését szolgálja. Ez a tanulmány egy átfogó képet ad a debreceni AMS laboratóriumban alkalmazott komplex mintaalkészítési folyamatokról, melyek biztosítják, hogy a mintákon végzett AMS mérések megbízható C-14 eredményt adjanak. A működésének első évében több mint kétezer AMS mérést hajtottunk végre az új debreceni laboratóriumban. Egy félév alatt mért összes normalizációs standard (Ox-II) és preparált háttér minta együttesen bemutatott eredményein keresztül demonstráltuk az AMS berendezésünk kiváló hosszútávú stabilitását és megbízhatóságát.

A projekt keretében a svájci ETHZ intézet kutatóival együtt egy többfunkciós minta előkészítő és gázkezelő rendszer is ki lett fejlesztve az AMS berendezés gázionforrása számára, mely lehetővé tesz nagyon kis minta mennyiségű (<50 µg szén) minták rutinszerű és akár automatizált mérését is, nagy mintaszám és elfogadható mérési bizonytalanság mellett.

KEYWORDS: C-14, AMS, SAMPLE PREPARATION, GAS ION SOURCE

KULCSSZAVAK: C-14, AMS, MINTA-ELŐKÉSZÍTÉS, GÁZIONFORRÁS

Bevezetés

Sokan vitatják, sokan egyenesen tagadják, de még többen használják, és nagyon sokszor sikerrel alkalmazzák a régészetben a C-14 kormeghatározás módszerét.

Az a tény, hogy a régészeti tudománytól lényegében független, alapvetően fizikai alapokon nyugvó, abszolút kormeghatározási módszerről van szó rendkívül vonzó, s ugyanakkor óvatlan kezében természetesen rendkívül veszélyes is lehet. A C-14 módszer alkalmazásának sikereire, és visszasságaira is sok példát lehet találni az

irodalomban. Ha a sikereket természetesnek tekintők táborába tartozunk, akkor a kudarcok, visszasságok okait a részletekben kell keresnünk, melynek néha nyilvánvaló, másszor csak nehezen érthető okai vannak.

Minden esetre a radiokarbon laborokban dolgozó fizikusok/kémikusok felelőssége minimálisan onnan kezdődik, hogy a minta beérkezik egy-egy laboratóriumba, és leghamarabb ott érhet véget, hogy a mintára a lehető legkorrektebb fizikai mérési eredményt (fajlagos C-14 tartalmat) mérik és közlik, általában konvencionális radiokarbon kor

formájában (év dimenzióban, 1950-re vonatkoztatva, a Libby-féle definíció szerint).

Az így kapott konvencionális C-14 kort, mely általában nem egyezik meg a valódi naptári korról (azaz a lelet elpusztulása óta 1950-ig eltelt idővel) aztán, már több tudományág együttes erőfeszítésével kalibrálhatjuk és naptári korrá számíthatunk át, az aktuális legjobb tudásunk mellett. Ma a radiokarbon kor kalibrálása általában alapvetően egy egyszerű összehasonlítás egy adatbázisban szereplő ismert korú mintákra mért C-14 adathalmazzal, melyben az aktuális mintánkkal egyező konvencionális C-14 korú kalibrációs minta naptári korával azonosítjuk a saját mintánk naptári korát. A C-14 módszer fejlesztői ezzel az elegáns „huszárvágással” azaz, hogy tisztán kísérleti, mérési tapasztalaton nyugvó kalibrációs adatbázist hoztak létre (ami ingyenesen hozzáférhető az elmúlt 50 ezer évre!) kerülnek meg azt a csapda helyzetet, hogy fizikai ismereteink végesegek és a C-14 múltbeli koncentrációját térben és időben befolyásoló nagyszámú független folyamatot a teljesség igényével, egyenként feltárni és analitikusan figyelembe venni reménytelen feladat lenne.

A C-14 módszer rendkívül széleskörű, a régészeti alkalmazásokon ma már messze túlmutató tudományos felhasználási területeinek hatására számos olyan laboratórium épül ma is a világban, melynek feladata a radiokarbon mennyiségének meghatározása a legkülönbözőbb szerves és szervetlen mintákban, a lehető legkevesebb anyaghasználat és a lehető legrövidebb mérési idő mellett. Magyarországon a radiokarbonméréseknek több évtizedes hagyománya van az MTA debreceni Atommagkutató Intézetében (Csongor & Hertelendi, 1986). Ezen hagyomány továbbvitelét biztosíthatja az ETHZ svájci szövetségi műszaki kutatóintézettel (Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich) közös fejlesztésben, jórészt magánberuházás keretében (Isotoptech Zrt, Debrecen) 2011 nyarán üzembe helyezett MICADAS típusú gyorsító-tömegspektrométer (Accelerator Mass Spectrometer: AMS). A berendezés beszerzését az Új Magyarország Fejlesztési Terv (GOP-2.1.1-09/A-2009-2008) és az MTA is támogatta.

Ebben a tanulmányban végigkalauzoljuk az érdeklődőket a minták útján a debreceni AMS laboron belül, annak érdekében, hogy ha valaki beküld egy mintát, világos képe legyen arról, hogy hogyan alakul át a féltve őrzött lelete egy számmá, azaz pontosabban kettővé ugye, mert a mérés eredménye mindig a kor és a hibája együtt, lásd Svingor Éva írását ugyanebben a kötetben (Svingor, 2012). Az egyszerűség kedvéért nem fogunk részletekbe menő kérdéseket tisztázni, illetve komplett receptúrákat leírni, inkább az áttekinthetőség és érthetőség a célunk.

A minta útja a AMS C-14 mérésig, előkészítés

Egy C-14 laboratóriumban egy-egy minta számos egymást követő kémiai és fizikai eljárásnak van alávetve, mely láncolat minden egyes tagjának tökéletesen kell illeszkednie az öt megelőző előkészítési folyamatokhoz, annak érdekében, hogy a mérés végén egy használható, megbízható C-14 kort kaphassunk. Míg a klasszikus „béta-számlálásos” laboroknál (amilyen a debreceni is volt eddig a gázproporcionális számláló csöveivel) a több grammos minták feldolgozásánál még megengedett lehet egy 1-2 mg-os mintaszennyezés, addig ez a gyorsító tömegspektrométeres mérésnél már biztosan és végzetesen meghamisítja a mérés eredményét.

Hogy mennyire nem triviális egy-egy jól, megbízhatóan működő AMS C-14 laboratórium létrehozása még ma sem, azt az irodalomban megjelent számos beszámoló bizonyítja, ahol sokszor arról kénytelenek beszámolni, hogy évek kemény munkájával sem tudták egyes laborokban a megfelelő minta-előkészítési reprodukálhatóságot, vagy az elvárt alacsony háttérrel (maximális mérhető kort) biztosítani.

Az AMS alapú ^{14}C mérésekhez általában grafit céltárgyat szokás készíteni a minta széntartalmából, hacsak nem a ma még kurióznak számító gáz-ionforrást használják. Ennek érdekében tiszta körülmények között ki kell vonni a minta széntartalmát megfelelő kémiai formában, amit általában szén-dioxidra alakítanak égetéssel vagy savas feltárással, melyből aztán legtöbbször hidrogénes redukcióval állítják elő az AMS berendezéssel már közvetlenül mérhető grafitot.

A megfelelő kémiai előkezelések és szén-dioxid gyártás egyes lépései klasszikus kémiai receptek alapján történnek, speciális tisztasági követelmények mellett. Az egyes mintákból a méréshez szükséges mennyiséget az anyag típusa, széntartalma, annak kémiai formája, valamint a konkrét minta tisztasága határozza meg. Néhány tipikus mintaféleség esetén a debreceni labornak szükséges mennyiségeket, valamint az előkezelés és szén-dioxid előállítás módját sorolja fel az **1. táblázat**.

Ami előnye az egyben a gyengéje is az AMS ^{14}C mérésnek: az hogy igen kis mintamennyiségeket használ (0,01 – 1 mg szén). Ez a tulajdonsága próbára teszi egyrészt a mintavételt végzőt is, hiszen megnehezül ez által a minta reprezentativitásának biztosítása, másrészt igen kényes kérdéssé válik a minta tisztán kezelése és preparálása a terepen és a laboratóriumban.

1. táblázat: Az debreceni AMS ¹⁴C méréshez szükséges tipikus mintamennyiségek és előkészítési módszerek**Table 1.:** Typical sample size and preparation requirements for AMS C-14 analyses in Debrecen

Minta típus	Szükséges mennyiség	Előkezelés módja	CO ₂ előállítás módja
faszén, tőzeg	2-10 mg	tisztítás, karbonátmentesítés	égetés
szövet, vászon	5-25 mg	tisztítás, karbonátmentesítés	égetés
fa, mag	10-125 mg	α-cellulóz kivonás	égetés
üledék, talaj	0,2 - 1 g	tisztítás, karbonátmentesítés	égetés
csont	0,5 - 2 g	kollagénkivonás	égetés
karbonát, cseppkő	0,2* - 10 mg	mechanikus tisztítás	savas feltárás
talajvíz	1* - 100 ml	nincs előkezelés	savas feltárás

* csak gáz-ionforrás alkalmazása mellett

Ezen feladatok megoldására a Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratóriumban (HEKAL) speciális AMS radiokarbon minta-előkészítő laboratórium lett kialakítva, mely megfelel a jelenlegi legmagasabb elvárásoknak, azaz a régészeti alkalmazásoknak is. A minta-előkészítő laboratórium kiépítését az Új Magyarország Fejlesztési Terv támogatta (GOP-1.3.1-09/A-2009-0032).

Mechanikai előkészítés

Az általános gyakorlatban a minták természetesen nem az AMS méréshez alkalmas tisztaságban és kémiai formában, illetve méretben érkeznek be. Gyakran más anyaghoz, hordozóhoz keverten (talajba ágyazva, homokkal, vagy más szennyezőkkel) kerülnek a laboratóriumba. A HEKAL-ban nagyfelbontású optikai sztereo mikroszkóppal vizsgáljuk a minta felszínét, állapotát, illetve elvégezzük a megfelelő válogatási és aprítási, tisztítási eljárásokat. Mindez egy szűrt levegőjű, megfelelő tisztaságú, modern kémiai előkészítő laboratóriumban történik sterilizálható vagy egyszer használatos eldobható eszközökkel, ultrahangos tisztítóval, nagytisztaságú szénmentes ioncserélt vízzel.

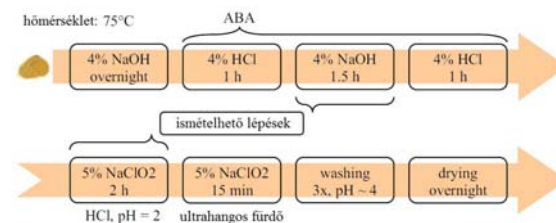
Kémiai előkészítés

A megfelelő kémiai előkészítés nagyban függ az aktuális minta típusától, anyagától, az esetleges szennyezőktől. Szerves szilárd fázisú minták esetén az általános gyakorlat a vízkő (felületre kivált karbonát) savas eloldása, majd a humusz szennyezők lúgos kivonása, végül egy enyhén savas közegben történő stabilizálás (sav-bázis-sav: ABA kezelés), majd óvatos beszárítás. Karbonátos minták esetén is érdemes megpróbálni óvatosan eloldani legalább a minta felszíni rétegeit (ekkor az előzetes aprítás tilos). Vannak speciális mintatípusok, ahol célszerűbb a minta egy adott komponensét kivonni. Ilyen például a cellulóz faminták esetén, illetve csontoknál a csontenyv (kollagén). Ezek a kémiai jól definiált frakciók igen nagy biztonsággal garantálják, hogy valóban a

minta eredeti széntartalmát mérjük a C-14 módszerrel, nem pedig valamilyen utólagosan beépült más anyagot, szennyezőt.

A cellulózkivonás módszerét a zürichi ETHZ gyakorlatából adaptáltuk (Névec, 2010). Ebben a fenti hagyományos sav-bázis-sav (ABA) módszert módosították (BABAB) és plusz fehérítési lépéssel egészítették ki. A BABAB előbb egy lúgos lépést használ a folyamat elején, hogy az alkoholokat, fenolokat és karboxil csoporttal rendelkező szennyezőket eltávolítsa. Ezt a módszert széles körben alkalmazzák a papírgyártásban is. Ezzel a cellulóz jobban hozzáférhető lesz. A második különbség az, hogy van egy további lúgos fehérítő lépés az ABA után. A folyamat végén a kinyert anyagot enyhén savas pH-ig mossák, majd óvatosan szárítják (1. ábra).

A csontok kollagénjének kivonását is a szokásos sav-lúg-sav (ABA) kezelés előzi meg, melyhez az etalonnak számító oxfordi ORAU laborban használatos mintájára egy folyamatos átfolyású, zártcellás automatizált rendszert fejlesztettünk ki (Bronk Ramsey et al. 2004). A számítógéppel vezérelt automatizált ABA csontminta kezelő rendszerünk egy összesen 17 órás előre programozott folyamatsorozatban, négy különböző oldószert felváltva adagolva a lehető legóvatosabb módon, a külső levegő teljes kizárása mellett végzi el a megfelelő szemcseméretre őrölt csontminták tisztító előkezelését.



1. ábra: A BABAB cellulóz preparálási technika folyamatábrája (Névec et al. 2010)

Fig. 1.: Steps of BABAB cellulose preparation technique (Névec et al. 2010)



2. ábra: A HEKAL saját fejlesztésű automatizált csonttisztító ABA rendszere

Fig. 2.: The automatized bone ABA cleaning line, developed by HEKAL

A rendszerünk úgy lett kialakítva, hogy két egyenként 6-6 minta fogadására alkalmas cellasorral van ellátva, ahol ezek a minták mind egyszerre, párhuzamosan preparálódnak (**2. ábra**). A csontenyv kifőzése a BABAB módszerrel előkezelt, majd szűrt mintából enyhe savas pH-n történik, 75 Celsius fokon egy éjszakán át, kémcsőben. A kinyert kollagént leszűrjük, s egy pH beállítást követően fagyaszttva beszárítjuk.

Szén-dioxid fejlesztése a minta szenéből

A megfelelő kémiai előkészítési lépések után a tisztítás egy következő radikális lépése történik, melyben a minta széntartalmát szén-dioxiddá alakítjuk. Ez szerves/éghető mintáknál égetést, vagy vegyszeres oxidálást jelent, míg szervesetlen, karbonátos mintáknál savas feltárást.

Az égetési folyamat megoldására a nagy tapasztalatokkal rendelkező NSF AMS laborban (Tucson, AZ, USA) használt on-line égető feltáró rendszer elvét vettük alapul.



3. ábra: A HEKAL-ban fejlesztett on-line AMS ^{14}C mintaégető és gáztisztító rendszer

Fig. 3.: On-line AMS ^{14}C sample combustion and CO_2 purification line, developed by HEKAL



4. ábra: A karbonátos minták feltárására használt „két-ujjas” csapos vákuumozható mintatartó

Fig. 4.: „Two-finger” vacuum tight carbonate pretreatment cell, with valve

Ebben a minták égetése/feltárása a külső levegő teljes kizárása mellett, speciális vákuumrendszerekben történik, hiszen a levegő mai modern széndioxidot, s benne a mintákhoz képest jelentős mennyiségű ^{14}C -et tartalmaz. Erre a feladatra egyedi on-line égető és gáztisztító rendszer épült a Hertelendi Laboratóriumban, mely a legbonyolultabb, lépcsőzetes alacsony/kontrollált hőmérsékletű égetést és megfelelő gáztisztítást is képes megoldani (**3. ábra**). Ezen szofisztikált on-line égető rendszer mellett, természetesen a jóval egyszerűbb zárt reakciócsöves égetési és gáztisztítási módszer is rendelkezésre áll a laboratóriumban.

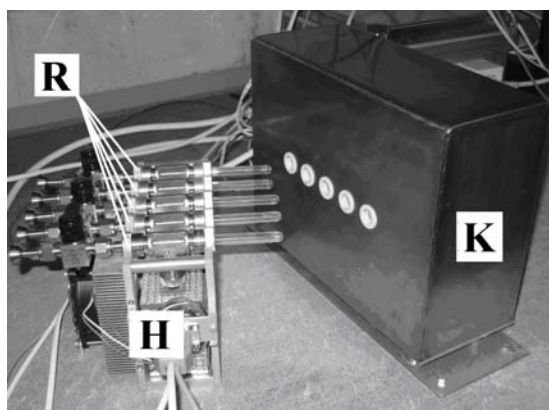
A szerves éghető minták oxidálásához vagy szilárd granulátum formájú, nagy tisztaságú réz-oxidot, vagy gázfázisú reagensként nagy tisztaságú oxigén gázt használunk. A rendszerhez csatlakoztatott kvarc kémcsőbe helyezett minta elégetéséhez szükséges magas hőmérsékletet vagy direkt gázlánggal érjük el, vagy egy hőmérséklet kontrollált csökemencét húzunk rá, mellyel akár lépcsőzetesen melegítve fokpontosan stabilizált fokozatos frakcionált oxidációt is végezhetünk (például kerámiákon maradt ételmaradék korolásához).

A csiga, kagyló vagy egyéb karbonátos kiválások savas feltárására két-ujjas, csappal ellátott vákuumozható mintatartót használunk, melynek egyik ágába a minta, a másikba pedig foszforsav kerül (4. ábra). A cella vákuumozását követően, lezárt állapotban a sav az egyik ujjból ráontható a másikban elhelyezett karbonátra, s így a vákuumban a szén-dioxid gáz felszabadul a minta szénéből.

Grafitizálás és „target” készítés

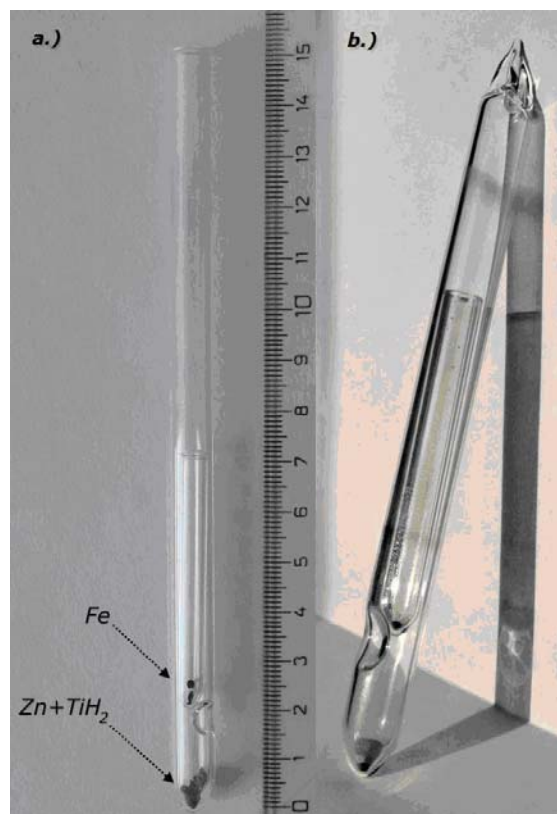
A szén-dioxidá alakítás, és kriogenikus tisztítás után a gázfázisú mintát általában grafitizálni szokás, ugyanis az AMS berendezés legkönnyebben és legmegbízhatóbban grafitból képes a C-14 mérését végrehajtani. A grafit nagy előnye, hogy szilárd, könnyen bejuttatható az AMS vákuumrendszerébe, és kémiaileg rendkívül stabil, nem lép reakcióba a környező levegővel sem. Hátránya, hogy a kémiaileg szintén igen stabil szén-dioxidból csak körülményes redukációs folyamatokkal lehet előállítani, magas hőmérsékleten, katalizátor és más reagensek hozzáadása mellett, amely lépések és reagensek mind egy-egy potenciális hiba és szennyező forrást jelenthetnek.

Sok AMS laboratórium számára ma is komoly kihívást jelent az égetéssel/feltárással előállított kis mennyiségű (1-5 cm³) CO₂ megbízható kezelése és redukciója, megfelelően tiszta és reprodukálható körülmények között. Erre a célra egyedi gázkezelő rendszer és grafit-előállító egység lett kifejlesztve a HEKAL-ban (Rinyu et al., 2007) az oxfordi ORAU C-14 AMS laboratóriumban használt módszert alapul véve. Az összeállítás négy darab kemence és Peltier-hűtő párosból áll, melyek egyenként öt-öt mintát tudnak fogadni, így összesen egyszerre húsz darab párhuzamos grafitizáció végezhető el velük (5. ábra).



5. ábra: Az öt darab reakciócella (R) fogadására alkalmas Peltier-hűtő (H) és kemence (K) pár az AMS ¹⁴C méréshez szükséges grafit előállításához

Fig. 5.: The Peltier-cooler unit (H) and oven unit (K) pair for 5 reaction cells of AMS C-14 sample graphitization



6. ábra: Balra a „zártcsöves” grafitizáláshoz felhasznált üveg kémcsövek a reagensekkel még nyitott állapotban a CO₂ befagyasztása előtt (a.) és jobbra a már leforrasztott üveg reakciócella grafitizálásra készen (b.)

Fig. 6.: The prepared closed tube graphitization reaction cell with all the solid reagents in open status (a), before sample CO₂ freeze in (on the left), and after that (on the right) when it is closed (b) by a torch

A teljes rendszer számítógépről digitálisan vezérelt és programozható, egyenként és fokonként stabilizálva a kemencék és a hűtőegységek hőmérsékletét.

A HEKAL-ban az oxfordi mintára hidrogén gázzal történő fejlett, de bonyolultabb grafitizálás mellé kifejlesztettünk egy egyszerűbb módszert is, mely kisebb költségek (egyszer és munkaidény) és rövidebb idő mellett is jó minőségű grafit előállítására képes. Ez a „zártcsöves” grafitizálási módszer, mely eredetileg orvosbiológiai C-14 nyomjelzéses mérésekhez lett kitalálva, de többek között mi is megmutattuk azt, hogy akár régészeti pontosságához is alkalmazható lehet, szilárd cinkkel és titán-hidriddel történő grafitizálás mellett (Rinyu et al, 2012).

Ennél a módszernél a reagenseket (cink és titán-hidrid) egy, az egyik végén zárt üvegcsöbe (kémcsöbe) mérjük be.

A nagyobb, külső cső aljától ~2 cm-re fentebb egy benyomódás lett kialakítva az üvegen, ez tartja a reagensek fölött a kisebb, 5 cm hosszú és 6 mm átmérőjű belső kémcsövet, amelybe a vas katalizátor por kerül. Ebbe a kétsöves reakcióterbe fagyasztjuk be egy gázkezelő rendszeren a mintákból kinyert 1 mg széntartalomnak megfelelő mennyiségű szén-dioxid gázt folyékony nitrogén segítségével, majd $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ mbar vákuum alatt szűrőlánggal leforrasztjuk (lezárjuk) az üveget (6. ábra).

A forrasztással lezárt reakciócellákat ezután kemencében 500°C-on tartjuk 3 órán keresztül a hidrogén gáz felszabadításához a titán-hidridből, majd 550°C-on 4 órán keresztül a grafitizáció lezajlásához. A reakció végén a lehűlt üvegeket feltörjük, és a kész grafitot pneumatikus présrel alumínium target-tartóba préseljük, így a minta készen áll az AMS-sel történő ^{14}C mérésre (7. ábra).

Az AMS berendezés és a $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ izotóparány mérés, ^{13}C korrekcióval

A Mini radioCarbon DAting System (MICADAS) gyorsító tömegspektrométer koncepcióját a svájci Paul Scherrer Institute és ETH Zürich kutatóintézet dolgozta ki. A berendezés 1+ töltésű ionnyalábot hoz létre a gyorsító szakaszban a negatív szén-ionokból, és a többszörös molekula-ütköztetési módszert kihasználva csökkenti az interferáló molekulaionok mennyiségét a ^{14}C analízisre használt nyaláiban. Fontos megjegyezni, hogy a MICADAS AMS a ^{14}C mérés mellett a radiokarbon korrekciójához elengedhetetlen $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ arányt is egyidejűleg képes mérni a mintából, ami más AMS-ek esetén a napi gyakorlatban sokszor nem megoldható és csak nehezen, részben pótolható. A rendszer elvi felépítése a 8. ábrán látható.

A más AMS-ekhez képest lényegesen egyszerűbb felépítés egy az eddigieknél jóval kisebb alapterületű (2,5 x 3,0 m) berendezést eredményezett. A dedikáltan rutinszerű ^{14}C mérésekhez fejlesztett MICADAS rendszeren (ETHZ, Zürich) más AMS-ekhez képest több olyan lényeges újítást vezettek be, melyek nagyban megkönnyítik és stabilabbá teszik az AMS üzemeltetését (Synal et al. 2007).

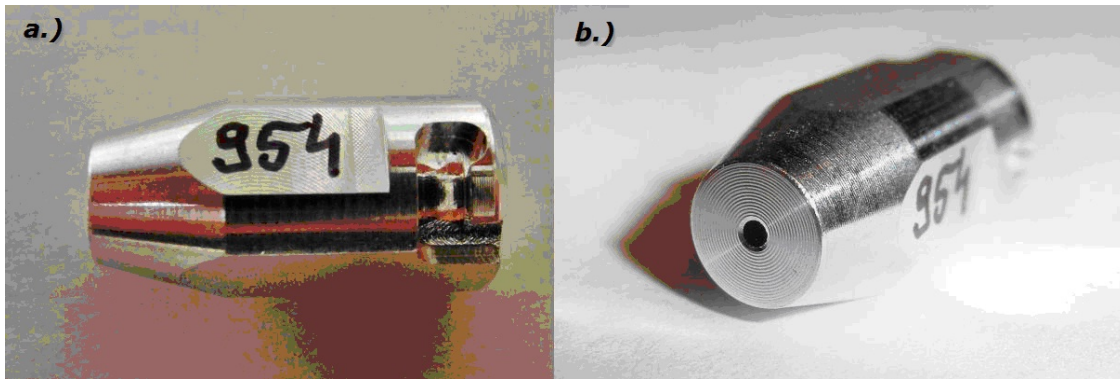
Az ionforrás (8. ábra A-szakasz) kialakításánál fő szempont volt, hogy a forrást befogadó kamra földpotenciálón legyen, azaz működő AMS esetén is könnyen kezelhető maradjon. Ennek érdekében az ionforrás minden nagyfeszültségű bevezetése egy földpotenciálón lévő vákuumkamrába alulról lett megoldva, izoláltnak. A nagyfeszültségű tápegységek az ionforrás tartóvázának alsó részében lettek elhelyezve, egy Faraday-kalitikával védett térrészben. Ez a kialakítás 50 keV-os kivonási energia elérését teszi lehetővé a C- ionok

számára. A cézium-tartály az ionforrás kamrában kapott helyet. A tipikus C- ionáram 30-50 μA közötti érték. Az ionforrás egy többkatódos mintaváltó-rendszerrel van ellátva, mely egy lineáris elrendezésű tárbán (9. ábra.) összesen egyszerre maximum 23 minta (target) kezelésére képes, a vákuumkamrán belül. A szilárd katódokon túl a forrás gázalmazállapotú CO_2 direkt mérését is lehetővé teszi. A gázkezelő rendszert és az ionforrást egy kapillárisal kötik össze, melyen keresztül hélium és CO_2 keverékét lehet a céltárgy pozíciójába juttatni. Titán betéttel ellátott mintatartókat használnak gáz-targetként.

Az alacsonyenergiás tömegspektrométer (8. ábra B-szakasz) szakasz kialakítása egy megfelelően elhelyezett detektorral lehetővé teszi az ionforrásból kilépő szén-ionáram mérését a gyorsító előtt, így folyamatosan ellenőrizhető a transzmissziós tényező a gyorsító szakaszon keresztül (mivel a gyorsító után is folyamatosan mérhető az átjutó ionáram). Ebben a szakaszban kapott helyet az a gyors működésű pulzáló rendszer (fast beam switching system: „pulsing”), mely az egyes eltérő tömegszámú szén-ionok gyorsítón való átjutásának sorrendjét szabályozza, megfelelő időzítés mellett (^{12}C , ^{14}C , ^{13}C majd ^{14}C : 50 μs , 40 ms, 500 μs majd 40 ms sorrendben). Az alkalmazott összeállítás mellett, a mágneses térerősség elég széles tartományában biztosítható volt a megfelelően stabil $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ és $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ arány érték a nagyenergiás detektor oldalán, ami alapfeltétele a megbízható izotóparány mérésnek.

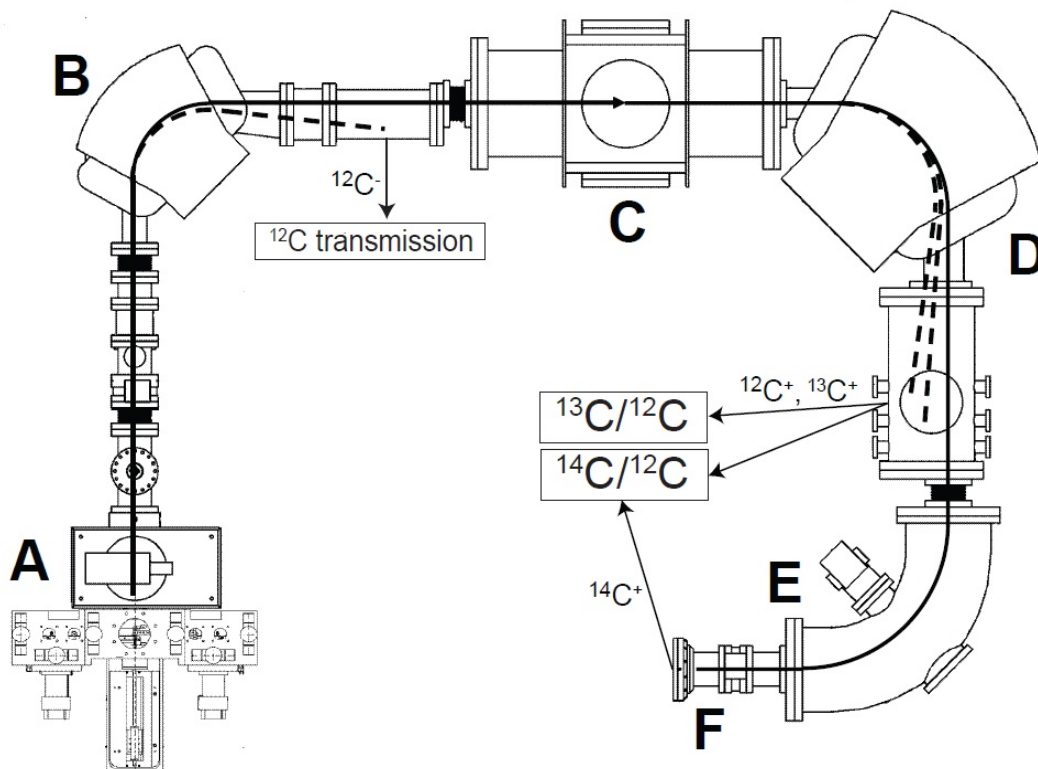
A tandem elrendezésű, maximum 200 kV terminálfeszültségen üzemelő gyorsító (8. ábra C-szakasz) egy vákuum izolált kamrában lett elhelyezve, melynek külső felülete földpotenciálón van. A nagyfeszültséget egyedi módon, egy kereskedelmi forgalomban is kapható tápegységgel (Heinzinger Type: PNC 200,000-5) biztosítják, mely a gyorsítót tartó váz alsó részébe van beépítve. Fosztó gázként („stripper gas”) nitrogéngázt használunk, melynek sűrűségét a fosztó szakaszban egy teljesen fémből készült szabályozható túszelep segítségével állítják be (gáznyomás $\sim 10^{-6}$ mbar), oly módon, hogy a teret folyamatosan három darab, egymástól független, földpotenciálón tartott nagy teljesítményű turbó-pumpa tartja szívás alatt.

A gyorsító szakaszt követő nagyenergiás tömegspektrométerben (8. ábra D-szakasz) történik meg az egyes szén-izotópok szétválasztása. Ebben a szakaszban három független Faraday-kalitka detektor lett elhelyezve. Kettő ezek közül a gyorsítón átjutó $^{12}\text{C}^+$ és $^{13}\text{C}^+$ ionáramot méri. Ezek között kapott helyet a harmadik detektor, ami szintén $^{13}\text{C}^+$ ionáramot mér, de azon frakcióját (energia szerint kiválasztva), amely $^{13}\text{CH}^-$ molekulaion formában indulva jutott át a gyorsítón és jelentős hozzájárulást adhat a mért ^{14}C jelhez.



7. ábra: Alumínium target-tartó (a.) az 1mm-es homlokfuratába bepréselt grafit mintával (b.)

Fig. 7.: Aluminium target holder (a) with the graphite sample pressed into its 1 mm front hole (b)



8. ábra: A MICADAS ^{14}C AMS rendszer elrendezése és részei. A: ionforrás; B: kisenergiás tömegspektrométer; C: gyorsító; D: nagyenergiás tömegspektrométer; E: elektrosztatikus-tér analizátor; F: gázionizációs ^{14}C detektor (Schulze-König et al. 2010).

Fig. 8.: Scheme of the MICADAS ^{14}C AMS setup. A: Ion Source; B: Low Energy Mass Spectrometer; C: Accelerator; D: High Energy Mass Spectrometer; E: Electrostatic Analyser; F: Gas Ionization Chamber ^{14}C detector (Schulze-König et al. 2010).



9. ábra: 22 db grafit targettel feltöltött mérési tár a MICADAS AMS ^{14}C méréshez

Fig. 9.: MICADAS AMS ^{14}C target magazine, filled with 22 graphite samples



10. ábra:
A HEKAL-ban
üzembe helyezett
EnvironMICADAS,
Debrecen

Fig. 10.:
EnvironMICADAS
installed in
HEKAL, Debrecen,
Hungary

Ennek az egyedi „molekulaion” detektornak a jele a háttérkorrekció során jól használható.

A nagyenergiás mágneset egy ESA (elektrosztatikus-tér) analízátor (8. ábra E-szakasz) követi, mely kondicionálja az ionnyalábot a megfelelő ^{14}C detektálás érdekében, s melyben becsúsztható kapuk segítségével további geometriai korlátozással csökkenthető, vágható a nyalábnak azon részlete, mely a berendezés háttéréhez jelentős hozzájárulást adna, míg a ^{14}C jelhez csak kevés jár hozzá.

A ^{14}C ionok számlálására a detektor (8. ábra F-szakasz) szakaszban egy gázionizációs kamra lett kialakítva, melynek ablaka egy 5 x 5 mm-es területű 50 nm vastagságú $\text{Si}_3\text{N}_3,1$ fólia. A kamra számlálógáza 15 mbar nyomású iso-bután gáz.

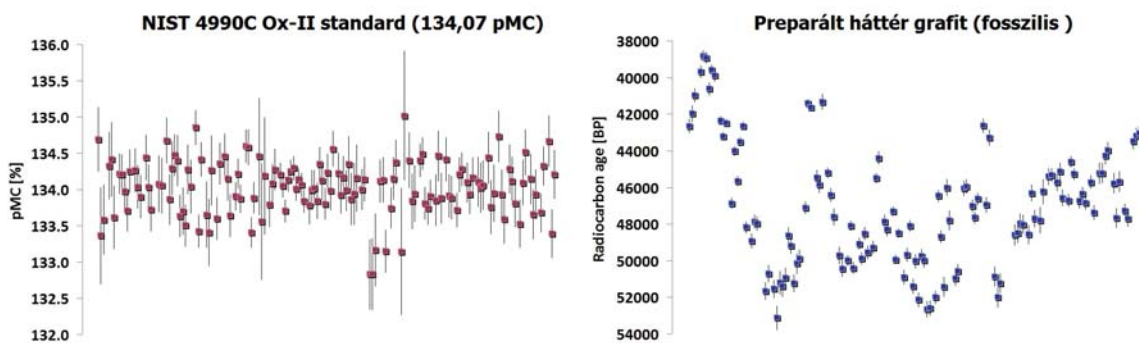
A MICADAS rendszerek használata 2007 óta megmutatta, hogy ez az eddigi egyik legstabilabban üzemelő AMS rendszer, mely alig kíván újra-

hangolást akár több napos mérés esetén sem. A hangolási folyamat önmagában is rendkívüli módon egyszerűsítve lett más AMS berendezésekhez képest. A régészeti mérési pontosság ($\pm 3\%$ számlálási statisztikus bizonytalanság, modern minta esetén) már egy-egy minta 30 perces mérésével is elérhető. Megfelelően növelve az alkalmazott normalizációs és háttér minták számát, illetve kétszer hosszabb mérési idő mellett a nagy pontosságú (hiba $< 2\%$) mérések kivitelezésére is alkalmas ez a rendszer (Wacker et al. 2010). Mindennek egyik alapfeltétele az a körülmény, mely más kompakt AMS rendszereknél korántsem triviális, hogy ez az AMS a ^{14}C analízissel egyszerre, on-line módon végez $\delta^{13}\text{C}$ mérést a megbízható frakcionációs korrekció érdekében. A berendezés háttére fosszilis szénből preparált grafitminta esetén ~ 50.000 év BP, ami megfelel a más kompakt AMS berendezésekkel elérhető értéknek.

2. táblázat: Az EnvironMICADAS gyári elfogadási tesztjének összefoglalása.

Table 2.: Summary of Factory Acceptance Test of the EnvironMICADAS.

Vizsgált paraméterek	Eredmény	+/- SD
Iontranszmisszió	37,9%	0,9%
Kivont ionáram ($^{12}\text{C}^-$)	44,2 μA	7,8 μA
Oxa-II normalizációs standard (NIST 4990C)	-2355 év BP	17,9 év
Oxa-I NIST standard (-313 év)	-314,5 év BP	26,2 év
IAEA-C7 referenciaanyag (49,53 pMC)	49,43 pMC	0,11 pMC
IAEA-C8 referenciaanyag (15,03 pMC)	15,17 pMC	0,05 pMC
Háttérminta	46,300 év BP	1300 év
Legmagasabb háttérminta-érték	42,500 év BP	-
Legalacsonyabb háttérminta-érték	50,000 év BP	-



11. ábra: Az EnvironMICADAS hosszú távú stabilitása a normalizációs standard (Ox-II) és a háttérnek fél éves alakulása tükrében

Fig. 11.: Half-year stability of Oxa-II normalization standard (on the left) and processed blank (on the right) signal from the EnvironMICADAS

A debreceni új ¹⁴C AMS laboratórium tesztjei (az adatok közlés alatt a Radiocarbon folyóiratban, Molnár et al. 2012)

A debreceni EnvironMICADAS ¹⁴C AMS rendszer fejlesztése sikeresen lezajlott az ETHZ-ben 2010 tavasza és 2011 tavasza között. 2011 áprilisában sikeresen elvégezték a gyári átadási tesztet az ETH laboratóriumában, Zürichben. Összesen 110 minta mérése történt meg 4 nap alatt a gyári átvételi teszt során. A minták között 21 NIST oxálsav-I, 35 NIST SRM 4990C oxálsav-II standard, 6 IAEA-C7, 6 IAEA C-8 és 39 háttérminta szerepelt, mind ismert ¹⁴C aktivitású nemzetközi referencia anyag. Hat minta eredményeit el kellett vetni az alacsony ionáram miatt. A méréseket a valódi mérési körülményeknek megfelelően végezték. A 104 target mérés összefoglalója a **2. táblázatban** látható.

A kifejlesztett AMS rendszer megfelel az összes olyan követelménynek, amelyek a nagy pontosságú ¹⁴C mérésekhez szükségesek. 2011 júniusa és szeptembere között az EnvironMICADAS-t sikeresen üzembe helyezték a HEKAL laboratóriumában, Debrecenben. A végső elrendezésről készült fotót a **10. ábra** mutatja.

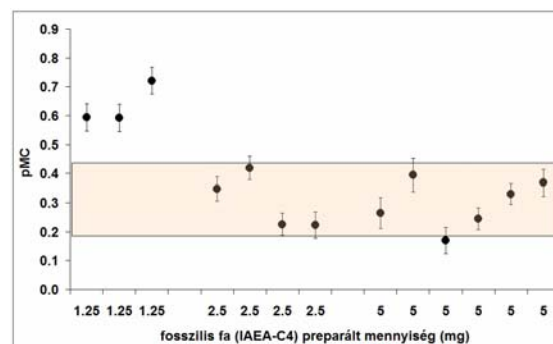
A debreceni végső installálás óta összesen több mint kétezer grafit target került lemérésre az új AMS rendszerrel. A berendezés hosszú távú stabilitását a normalizációs standard és a háttérszint változásán keresztül mutatjuk be az első fél év üzemidő után (**11. ábra**)

Az alkalmazott AMS vizsgálati technikák láncolatának teljes körű validálása érdekében teszteltük a minta-előkészítési folyamatokat az új laboratórium kémiai eszközeivel és az üzembe helyezett EnvironMICADAS berendezéssel.

Fa és egyéb szerves minták

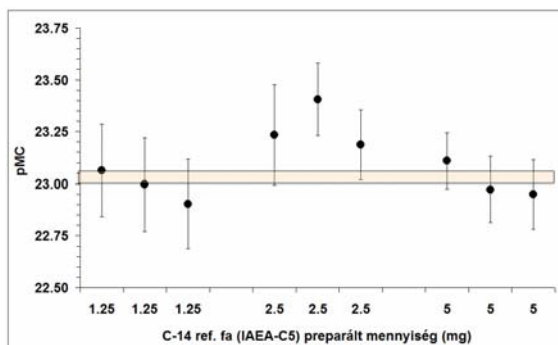
A HEKAL-ban a szerves minták előkészítési folyamatainak tesztelését a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségtől (IAEA) beszerzett ismert ¹⁴C aktivitású nemzetközi referenciaanyagokkal vizsgáltuk.

Az AMS vizsgálatok során a mintafeldolgozás által okozott esetleges ¹⁴C szennyezés mérésére IAEA-C4 referencia famintát (fosszilis, nem tartalmaz ¹⁴C-t) preparáltunk különböző mintamennyiségekből. Ily módon vizsgálhatjuk az esetleges laboratóriumi szennyezés mértékét és annak hatását a különböző méretű valódi mintákban. A kapott vak eredmények (**12. ábra**) azt mutatták, hogy a HEKAL laboratóriumban a szennyezettségi szint nem jelentős a normál méretű mintákra egészen 0,5 mg széntartalomig lemenve.



12. ábra: A vak szint függése a mintamérettől IAEA-C4 fa nemzetközi ¹⁴C referencia anyag felhasználásával

Fig. 12.: Sample size dependence of processed blank level using IAEA-C4 wood international ¹⁴C reference material.



13. ábra: A feldolgozott IAEA-C5 faminta ^{14}C eredményeinek mintaméret-függése

Fig. 13.: Sample size dependence of ^{14}C results of processed IAEA-C5 wood

Kisebbs méretű minták esetében (<0,5 mg C) már fontos, hogy azonosan kis mennyiségű vakmintát preparáljunk a ténylegesen ismeretlen aktivitású mintákkal párhuzamosan az aktuális szennyezettségi szint mérésére, a megfelelő háttérkorrekció érdekében.

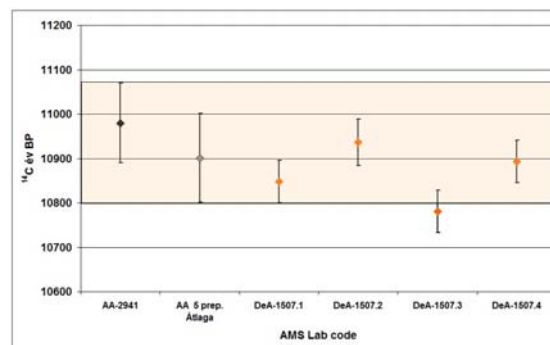
A minta-előkészítés reprodukálhatóságának vizsgálata érdekében ismert ^{14}C aktivitású szerves referenciaanyagot (IAEA-C5: fa, C-14 arány: $23,05 \pm 0,02$ pMC) preparáltunk és mértünk, különböző mintamennyiségekben. A kapott eredmények (**13. ábra**) kiváló egyezést mutattak a referenciaértékkel minden mintaméret esetében.

Csont/kollagén minták

A csontpreparálás és kollagén extrakciós folyamatok ellenőrzése érdekében ismert ^{14}C korú csontmintákat vizsgáltunk a HEKAL-ban. Ezeket a csontmintákat korábban már lemérték az NSF ^{14}C AMS intézetben (Tucson, AZ, USA) több különböző minta-előkészítési módszer alkalmazása mellett (Stafford et al. 1991).

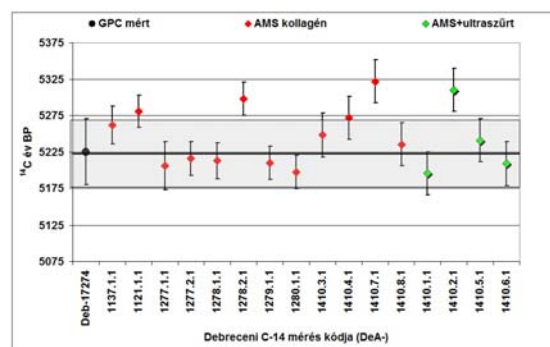
A minta-előkészítés során bekövetkező esetleges ^{14}C szennyezés mérését az idős (10 ezer év BP), Dent Mammoth Bone nevű csontminta preparálásával (Stafford et al. 1991) vizsgáltuk. A Debrecenben mért idős csont eredmények (DeA-kóddal a **14. ábrán**) kiváló egyezést mutattak a korábban az arizonai NSF labor által publikált adatokkal (AA- kód a **14. ábrán**), mely azt mutatja, hogy a HEKAL laboratóriumi gyakorlatban bevitt ^{14}C szennyezés nem kimutatható a normál méretű (kb. 0,5 g) csontminták esetében.

A minta-előkészítés reprodukálhatóságának és az opcionális ultrafiltrációs folyamat által okozott többlet-szennyezés vizsgálata érdekében egy ismert korú csontmintát (korábban a debreceni GPC-vel mértük a HEKAL-ban) készítettünk elő több ismétlésben AMS ^{14}C mérésre.



14. ábra: Az NSF labor által (AA) és a HEKAL által előkészített és mért (DeA-) eredményeinek összehasonlítása egy idős mamut csont (Dent Mammoth Bone) esetén

Fig. 14.: Comparison of NSF (AA-) and HEKAL (DeA-) AMS results for the same old mammoth bone (Dent Mammoth Bone)



15. ábra: Reprodukálhatósági és ultrafiltrációs teszt a HEKAL által GPC-vel korábban datált csontminta esetén

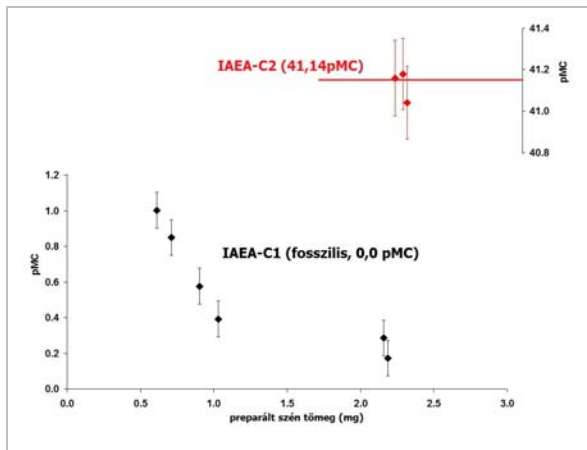
Fig. 15.: Repeatability and ultra filtration test using a GPC dated bone sample of HEKAL

A kapott eredmények (**15. ábra**) nagyon jó reprodukálhatóságot és kiváló egyezést mutattak a klasszikus GPC-vel kapott értékhez képest, még az ultrafiltráció alkalmazása esetén is.

Karbonát minták

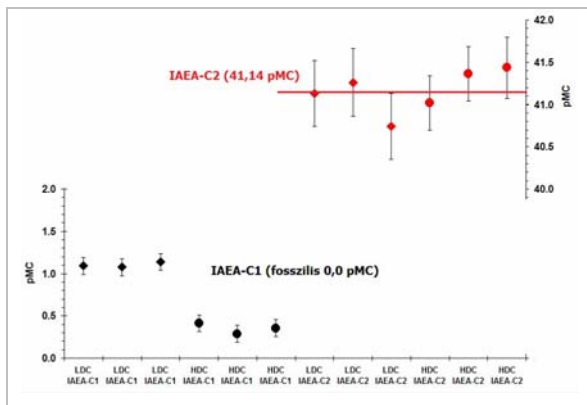
A HEKAL karbonátminta-előkészítési eljárásainak tesztelése érdekében ismert ^{14}C aktivitású, az IAEA-tól beszerzett nemzetközi ^{14}C referenciaanyagokat vizsgáltunk.

A minta-előkészítés során bekövetkező esetleges ^{14}C szennyezés mérését IAEA-C1 referencia karbonát minta, különböző mintamennyiségekben történő preparálásával vizsgáltuk. Ezzel a módszerrel a szennyezettségi szintet és annak hatását vizsgálhatjuk a különböző mennyiségű valódi mintákra. A kapott vakszint-eredmények (**16. ábra**) azt mutatják, hogy a HEKAL laboratórium ^{14}C szennyezése nem kimutatható a normálméretű karbonát mintákra, egészen 1 mg széntartalomig.



16. ábra: A vak (IAEA-C1) és az ismert aktivitású (IAEA-C2) karbonát referenciaanyag ^{14}C eredményei

Fig. 16.: ^{14}C results obtained for blank (IAEA-C1) and a known activity (IAEA-C2) reference carbonate material



17. ábra: A vak (IAEA-C1) és az ismert aktivitású (IAEA-C2) karbonát referenciaanyag ^{14}C eredményei az alacsony oldott karbonát-tartalmú (LDC módszer) mintákhoz, valamint a magas oldott karbonát-tartalmú (HDC módszer) vízmintákhoz használt feltárási módszerek esetén

Fig. 17.: ^{14}C results obtained for blank (IAEA-C1) and a known activity (IAEA-C2) reference carbonate material using the Low Dissolved Carbonate (LDC) and High Dissolved Carbonate (HDC) type water sample preparation methods

Kisebbs mintamennyiségek esetén (<1 mg C) hasonló méretű párhuzamos vakmintát kell preparálni a valódi ismeretlen mintával együtt az aktuális szennyezési szint meghatározása és a megfelelő korrekció érdekében.

A minta-előkészítés reprodukálhatóságának vizsgálata érdekében ismert ^{14}C aktivitású karbonát referenciaanyagot (IAEA-C2 travertin, $41,14 \pm 0,03$ pMC) preparáltunk. A kapott eredmények (16. ábra) kiváló egyezést mutatott a referencia-értékkel mindhárom ismételt minta-előkészítés esetében.

Vízminták oldott karbonátjának mérése

Mivel C-14 referencia-talajvíz minta nem létezik, mi magunk készítettünk ismert ^{14}C koncentrációjú referenciaanyagot a talajvizekhez oly módon, hogy nagy tisztaságú, szénmentes (MilliQ) ioncserélt vizet adtunk az IAEA-C2 ($41,14 \pm 0,03$ pMC) és az IAEA-C1 (vak) nemzetközi referencia anyagokhoz. A karbonátokat vízben oldottuk foszforsav adagolása közben, majd az oldott szervesetlen szén a talajvízre alkalmazott normál előkészítési módszerrel preparáltuk.

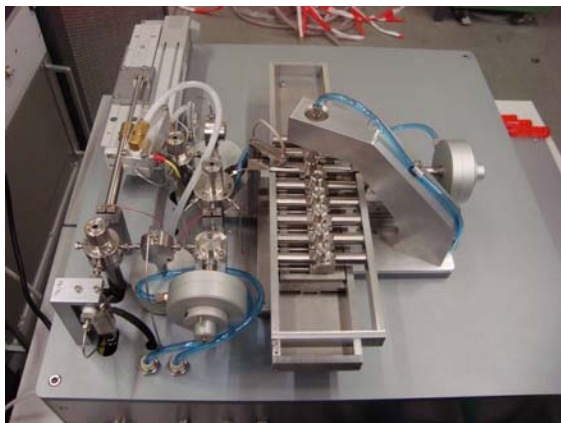
Két különböző vízminta-előkészítési módszert fejlesztettünk és teszteltünk a HEKAL-ban. Az egyik az alacsony oldott karbonát-tartalmú mintákhoz való (LDC módszer; Low Dissolved Carbonate), ahol 20-500 ml vízminta szükséges a megfelelő mennyiségű szén kinyeréséhez (>0,5 mg) a grafitizáción alapuló AMS ^{14}C méréshez. A másik a magasabb oldott karbonát-tartalmú mintákhoz lett kidolgozva (HDC módszer; High Dissolved Carbonate), ahol maximum 20 ml víz elegendő a megfelelő mennyiségű szénmennyiséghez (>0,5 mg) a grafitizáción alapuló AMS ^{14}C méréshez.

A minta-előkészítés során bekövetkező esetleges ^{14}C szennyezés mérését IAEA-C1 referencia karbonátmintának a két különböző feltárási módszerrel (LDC és HDC) történő preparálásával vizsgáltuk. Ezzel a módszerrel a szennyezetségi szintet és annak hatását vizsgálhatjuk a különböző mennyiségű valódi mintákra, mindkét minta-előkészítési mód esetén. A kapott vakszint-eredmények (17. ábra) azt mutatják, hogy az LDC esetében a ^{14}C szennyezetségi szint magasabb, mint a HDC módszer esetében, de megfelelő vakszint-korrekcióval a normál AMS mérésekhez ez is megfelelő.

A minta-előkészítés reprodukálhatóságának vizsgálata érdekében ismert ^{14}C aktivitású karbonát referenciaanyagot (IAEA-C2 travertin, $41,14 \pm 0,03$ pMC) preparáltunk mindkét módszerrel. A kapott eredmények (17. ábra) teljes egyezést mutattak a referencia-értékkel mindkét minta-előkészítési módszer (LDC és HDC) esetében.

Gázkezelő rendszer építése az EnvironMICADAS gázionforrásához

A közvetlen CO_2 gáz AMS mérésében nagy lehetőség rejlik például környezeti alkalmazásokban, amelyek gyakran szükségessé teszik, hogy nagyszámú ^{14}C mérést végezzünk el rendkívül kis mennyiségű szénből (aeroszok, cseppköröttegek, a talaj szerves komponensei), amelyek a rutin AMS grafitizációs folyamatokkal általában nehezen megoldhatóak. Ehhez az alkalmazáshoz gyakran <50 μg szén érhető el mintánként, a grafitizációs hozamokat pedig a reakciógázok interferenciája gyakran lecsökkenti.



18. ábra: Az EnvironMICADAS gázionforrásához kifejlesztett gázkezelő rendszer

Fig. 18.: The gas ion source interface system of EnvironMICADAS

Erre a célra egy többfunkciós gázkezelő rendszert fejlesztettünk ki az EnvironMICADAS gázionforrásához az ETH-ban, Zürichben, amelyet a kis mennyiségű (<50 µg szén) környezeti mintákhoz terveztünk mérsékelt precíziós követelményekkel, megcélozva egy nagy mintakapacitású automatizált berendezést (Wacker et al. 2012).

A megbízható gázkezelő rendszer központi eleme egy léptetőmotorral meghajtott fecskendő, amely a héliummal kevert CO₂ mintát folyamatosan a gázionforrásba nyomja. Míg korábban csak egy ampulla-törő szolgált a gáz-interfész mintaelállítására, a minták a jelenlegi elrendezéssel már három további úton juttathatók be. A különböző CO₂-források között gyorsan válthatunk egy többutas szelep segítségével. Vakmintaként, valamint standard és tesztmérésekre két, 4% CO₂-t tartalmazó hélium gázpalackot szereltünk be. Az egyik palack ¹⁴C-mentes CO₂-t tartalmaz, a másik pedig elégetett OX-II sztenderdet. A fecskendőt megtöltjük a preparált gázkeverékkel a jól reprodukálható teszt-, standard- és vak mérésekhez. Másrészt, a mintákat elégetjük egy elemanalizátorban (EA) vagy egy termooptikai OC/EC analizátorral, a képződött CO₂-t pedig a fecskendőbe juttatjuk egy zeolit csapda segítségével. Harmadrészt, a CO₂-t a karbonátokból vagy a vízmintából foszforsavval szabadítjuk fel a szeptummal fedett ampullákban, ahonnan Hé-árammal juttatjuk az EA-nál használt mintacsapdára.

Az EnvironMICADAS gáz interfésze nagyon különböző minták rugalmas beeresztését teszi lehetővé (18. ábra). Jelentős fejlesztéseket végeztünk a minta-bevezetési rendszerek automatizálása érdekében, hogy hatékony radiokarbon méréseket végezhessünk. A gázminták felügyelet nélküli mérései immár lehetséges.

A legtöbb mintát eddig egy törőrendszerrel mérjük, amely lehetővé teszi a CO₂ gáz üveg- vagy kvarcammullából történő mérését. Ez egy relatíve egyszerű megoldás, de ¹⁴C háttérnövekedés is velejárója lehet. A CO₂ előállítása elválik a tényleges radiokarbon méréstől, így különböző körülmények közötti, bármilyen célú, megbízható minta előkészítést tesz lehetővé. A CO₂-ot viszont előzetesen elő kell készíteni, ami nagyszámú minta esetén munkaerő-igényes feladat.

A karbonát- és vízmintákból az újonnan kifejlesztett közvetlen CO₂ mérés nagyon vonzó lehetőség kicsi és normál mintaméretűk esetén is, ugyanis a minta-előkészítési igény minimális, így gyakran ezt alkalmazzuk.

Az elemanalizátorral való csatolás hatékony módja annak, hogy bevonjuk a mérési folyamatba a minta égetését. Míg a minta elemanalizátorral való égetése behoz némi szennyezést a Zn vagy Ag kapszulákból, a folyamatot behatóan ismerjük, így nagyon jól reprodukálható. Nagy mintasorozatokat lehet hatékonyan mérni, és akár egy egész éjszakán keresztül is megvalósítható a felügyelet nélküli mérés. Ez a tulajdonság vonzó lehet az olyan nagyobb minták esetén is (>100 µg), ahol a kisebb mérési pontosság is elegendő a jelentősen lecsökkent minta-előkészítési idő érdekében.

Összefoglaló

A radiokarbon (¹⁴C) kormeghatározás széles körben használatos a környezetvédelemben, régészetben, geológiában, hidrológiában, klíma-kutatásban és számos további kutatási területen is. Magyarországon a régészet és a nukleáris környezetvédelem szintén jelentős mértékben használja a C-14 módszert, már az 1980-as évektől kezdve.

2011 tavaszán egy új, fejlettebb technológia vette át a korábbi mérés technika helyét hazánkban, mely immár gyorsító tömegspektrométeres izotópszeparáción alapul az eddigi aktivitásmérési módszer helyett. Az új módszer előnye, hogy sokkal kisebb mintamennyiségeket igényel (0,1-100 mg) a régebbi módszerhez képest (1-100 g), ami eddig nagyban korlátozta a módszerrel vizsgálható kutatási témák körét. Mindemellett az új gyorsító tömegspektrométer (AMS) technika tízszeres mérési kapacitásnövekedést is jelent a korábban használt módszerhez képest.

A debreceni labor számára egy olyan továbbfejlesztett AMS berendezést alkottak meg, mely a régészeti alkalmazásokon túl speciálisan a környezeti minták mérésére is lett fejlesztve, elsősorban egy különleges gázkezelő rendszer által, mely a CO₂ formába hozott környezeti minták direkt AMS mérését teszi lehetővé. Az így összeállított egyedi EnvironMICADAS típusú AMS berendezés a világon elsőként Magyarországon

került telepítésre, segítve ezzel a már eddig is nagy múltú magyar ^{14}C mérési kultúra további fenntartható továbbvitelét nem csak kelet-európai, de immár világviszonylatban is.

Az EnvironMICADAS ^{14}C AMS berendezés sikeres telepítése és átvételi tesztje Debrecenben 2011 őszén történt meg. A háttér vak mintákra mért látszólagos ^{14}C kor háttér 46-48 ezer év BP. Az ionáram az alacsonyenergiás oldalon $36\ \mu\text{A}$ (^{12}C). Ionoptikai transzmisszió a gyorsító szakaszban 38%. Relatív mérési hiba fél napos mérést követően az elsődleges normalizációs standardra (Ox-II, NIST 4990C) jobb mint $\pm 0,3\%$. A másodlagos standardra (Ox-I NIST 4990) és a nemzetközi ^{14}C referencia anyagokra (IAEA-C1, -C2, -C7 és C8) kapott mérési eredmények kiválóan egyeztek a várt referencia értékekkel.

Az EnvironMICADAS berendezés debreceni telepítését követően sikerrel elvégeztük az új AMS ^{14}C minta-előkészítő laboratóriumban kidolgozott preparatív módszerek átfogó tesztjét és értékelését. A laboratórium 2012. eleje óta képes fogadni, és megfelelően kezelni a legváltozatosabb anyagi összetételű régészeti és környezeti mintákat, és azokra megbízható AMS ^{14}C mérést végezni. A 2011 nyarán történt installálást követően egy év alatt összesen több mint kétezer sikeres AMS mérést hajtottunk végre Debrecenben, melyben az utolsó fél évben már több mint 600 db valódi (addig ismeretlen korú) ^{14}C minta volt.

A debreceni AMS ^{14}C mérések nemzetközi azonosítója a „DeA-” jelzés, ami jelzi az azonos laboratóriumot, de mégis megkülönbözteti a már évtizedek óta „Deb-” kóddal jelölt gáztöltésű proporcionális radiometrikus ^{14}C mérésektől, melyek egymás mellett párhuzamosan tovább folytatódnak a laboratóriumunkban.

Köszönetnyilvánítás

Külön köszönet illeti az ETH Zürich és a HEKAL (MTA ATOMKI és Isotoptech Zrt.) mérnökeinek és technikai személyzetének kiváló munkáját, mellyel jelentős mértékben segítették az EnvironMICADAS, annak gázionforrása és a HEKAL ^{14}C AMS minta-előkészítő laboratóriumának fejlesztését és tesztjeit.

Az infrastrukturális fejlesztéseket az Isotoptech Zrt (Debrecen) és a Magyar Tudományos Akadémia finanszírozta, továbbá az Új Magyarország Fejlesztési Terv (GOP-2.1.1-09/A-2009-2008 és GOP-1.3.1-09/A-2009-0032) támogatta.

A kutatási programot az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA) és a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség (NFÜ) is anyagilag támogatta (ref. szám: OTKA MB08-A 81515).

A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Felhasznált irodalom

BRONK RAMSEY, C., HIGHAM, T., BOWLES, A. & HEDGES REM. (2004): Improvements to the pretreatment of bone at Oxford. *Radiocarbon*. **46/1** 155–63.

CSONGOR, É. & HERTELENDI, E. (1986): Low-level counting facility for ^{14}C dating. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*. **17** 493–497.

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. (2012): Status report of the new AMS C-14 sample preparation lab of the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies, Debrecen, Hungary. *Proceedings of the 21th Radiocarbon Conference, Radiocarbon* (submitted).

NÉMEC, M.; WACKER, L.; HAJDAS, I. & GÄGGELER, H. (2010): Alternative methods for cellulose preparation for AMS measurement. *Radiocarbon* **52/2–3** 1358–1370.

RINYU, L., FUTÓ, I., KISS, Á.Z., MOLNÁR, M., SVINGOR, É., QUARTA, G. & CALCAGNILE L. (2007): Performance test of a new graphite target production facility in Atomki. *Radiocarbon* **49** 217–224.

RINYU, L., MOLNÁR, M., MAJOR, I., NAGY, T., VERES, M., KIMÁK, Á., WACKER, L. & SYNAL H.-A. (2012): Optimization of Sealed Tube Graphitization Method for Environmental C-14 Studies Using MICADAS, *Nucl. Instr. And Meth. In Phys. B* In press, available on-line, doi: 10.1016/j.nimb.2012.08.042

SCHULZE-KÖNIG, T., WACKER, L. & SYNAL, H.A. (2010): Direct radiocarbon analyses of exhaled air. *J. Anal. At. Spectrom.* **26** 287–292.

STAFFORD, T.W., HARE, P.E., CURRIE, L., JULL, A.J.T. & DONAHUE, D.J. (1991): Accelerator Mass Spectrometry at the Molecular Level. *Journal of Archaeological Science* **18** 35–72.

SVINGOR, É. (2012): A C-14 kormeghatározás alapjai és problémái. (Radiocarbon dating: basics and problems) *Archeometriai Műhely* **IX/3** 135–146.

SYNAL, H.A., STOCKER, M. & SUTER, M. (2007): MICADAS: a new compact radiocarbon AMS system. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. **259** 7–13.

WACKER, L., BONANI, G., FRIEDRICH, M., HAJDAS, I., KROMER, B., NÉMEC, M., RUFF, M., SUTER, M., SYNAL, H.A. & VOCKENHUBER, C. (2010): MICADAS: Routine and high-precision radiocarbon dating. *Radiocarbon*, **52/2–3** 252–262.

WACKER, L., FAHRNI, S.M., HAJDAS, I., MOLNÁR, M., SYNAL, H.A., SZIDAT, S. & ZHANG, Y.L. (2012): A versatile gas interface for routine radiocarbon analysis with a gas ion source. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. In press, available on-line, doi: 10.1016/j.nimb.2012.02.009.

ADATOK A SOPRONI ÁRPÁD-KORI SÁNC ÉPÍTÉSÉT MEGELŐZŐ KORA KÖZÉPKORI RÉTEGEK KRONOLÓGIAI KÉRDÉSÉHEZ

DATA ON THE CHRONOLOGY OF EARLY MEDIAEVAL LAYERS BEFORE THE CONSTRUCTION OF THE ÁRPÁD AGE FORTIFICATION IN SOPRON

MERVA SZABINA¹; SIPOS GYÖRGY², TÓTH ORSOLYA²

¹MTA BTK Régészeti Intézet, 1014 Budapest, Úri utca 49. E-mail: merva.szabina@btk.mta.hu

²Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

E-mail: gysipos@geo.u-szeged.hu

Abstract

Although, the first archaeological excavations at Városház str., Sopron were already made in the 1960s, the detailed processing of findings and the publication of results are still unfinished. Based on short archaeological reports, however, it has been claimed that there is a 10th c. settlement layer just below the well known, Árpád Period wooden structure rampart. Nevertheless, in the light of more recent works there is a chance that ceramic findings excavated from the layer and suggested to represent the 9-10th/9-11th/10-11th c. AD were originally misinterpreted. In order to resolve the problem above, thermoluminescence dating (TL) was applied for 3 representative pottery fragments originating from the questionable layer.

Samples were performing well during TL measurements, their sensitivity and TL signals were high. Nevertheless, as a matter of uncertainties in the radioactive background the relative error of age calculations was as much as 13-15 %. Two of the specimens, forming one group by typological means as well, were dated to be of similar age, and were fired in the 310 BC –250 AD time interval. The third pottery fragment was significantly older and was dated to the Late Bronze Age. The validity of these results was reinforced by the measurement of a fourth, archaeologically well established Late Bronze Age sherd.

Considering the age results, the investigated specimens certainly do not represent the youngest group of ceramic fragments of the investigated layer, thus they seem to be improper for telling the minimum age of the Sopron dark earth layer, from where no other unambiguously Middle Age fragments were excavated either. As a consequence, considering both typological and absolute dating results we claim that the present pottery family cannot be used for proving the existence of a Conquest Period settlement layer beneath the Sopron fortification. Moreover, the early or mid 11th c. origin of the fortification cannot be supported either by the dark earth layer and its pottery findings alone..

Kivonat

Bár a Sopron-Városház utcai ásatások már az 1960-as években elkezdődtek az ásatási anyag részletes feldolgozása és közlése még várat magára. Rövid jelentésekre hivatkozva ugyanakkor máig a szakmai köztudatban él egy, az Árpád-kori sáncot megelőző, 10. századi soproni településréteg. A szóban forgó rétegből előkerült, 9-10/9-11/10-11. századra keltezett leletkörrel kapcsolatban azonban felmerül a félrekeltezés lehetősége. E probléma, illetve a hozzá kapcsolódó településtörténeti kérdés megoldásához termolumineszcens (TL) méréseket végeztünk a leletgyűttes három reprezentatív darabján, melyeket az ásató a 9-10/9-11/10-11. századra keltezett.

A minták lumineszcens szempontból megfelelően viselkedtek, érzékenységük és a kapott TL jelek magasak voltak. A háttér sugárzásból adódó bizonytalanságok miatt a kapott korok hibája ugyanakkor 13-15 % körül alakult. Méréseink alapján két kerámiatöredék készítési ideje 310 BC és 250 AD közé datálódik, ezek a töredékek régészetiileg is egy leletcsoportot képviselnek. A harmadik lelet ennél korábbra, a késő bronzkorra keltezhető. Utóbbi eredmény elfogadhatóságát egy negyedik, régészetiileg a késő bronzkorra keltezett soproni kerámia TL mérései is megerősítették. A koradatok alapján megállapítható, hogy az általunk vizsgált leletanyag nem a réteget valójában datáló, legkésőbb készült kerámia töredékeket képviselik, így a soproni fekete réteg kormeghatározására a vizsgált cserepek illetve a kapcsolódó kerámiakör nem alkalmas. Hozzá kell tennünk, hogy a leletanyagban egyéb kora középkori töredéket sem találtunk! A rendelkezésre álló kerámiaanyag esetében így a régészeti-tipológiai, és a TL eredmények alapján sem látjuk bizonyítottnak, hogy az a honfoglalás kori megtelepedés nyomát dokumentálná a sánc építését megelőző rétegben. Így a réteg korábban vélt keltezése a továbbiakban nem szolgálhat érvként a sánc 11. század eleji vagy közepi eredete mellett sem.

KEYWORDS: THERMOLUMINESCENCE DATING, SOPRON-VÁROSHÁZ UTCA, FORTIFICATION, EARLY ÁRPÁD AGE, CERAMIC FINDS, 10-11TH CENTURY, DARK EARTH LAYER

KULCSSZAVAK: TERMOLUMINESZCENS KELTEZÉSI MÓDSZER, SOPRON-VÁROSHÁZ UTCA, KORA ÁRPÁD-KORI SÁNCOK, 10-11. SZÁZADI KERÁMIA, FEKETE RÉTEG

Bevezetés - a problematika ismertetése

Jelen tanulmányt a kora Árpád-kori sáncvárak kerámiával való keltezésének igénye hívta életre. A kutatástörténeten végigtekintve sok esetben az tapasztalható, hogy a tárgyalt objektumtípusok keltezésében az előkerült leletek csupán az egyéb argumentumokkal alátámasztott kormeghatározás illusztrálására szolgáltak, s valójában az objektummal keltezték a leletet, nem fordítva. (A témáról részletesebben: Merva 2012.)

Meg kell állapítsuk: az ispáni várak keltezésének kérdése máig nem tért nyugvópontra. Az ezen objektumtípus régészeti kormeghatározásánál alkalmazott módszerek részletes ismertetésétől itt el kell tekintenünk, kutatásunkat elsősorban a sáncok stratigráfiai helyzetének vizsgálata kapcsán felmerülő kérdések indokolták. Több esetben olvashatunk ugyanis egy, a sáncot megelőző települési rétegről, amely az erődítés terminus post quem keltezésében alapvető fontosságú. Magának a (kora középkori) települési rétegnek a kormeghatározása pedig – evidens módon – nem nélkülözheti az előkerült leletek (nagy részét kerámialeletek) kronológiáját, sőt, elsősorban azon kell alapuljon.

Bóna István Árpád-kori várakról írt munkájában a sáncok előzményeként hét 8-9. századi, illetve további hét 10. századi, sánc alatt húzódó településsel számol a Kárpát-medencében (Bóna 1995, 19). Illusztris példa erre az egyik legjobban megkutatott ilyen jellegű objektum, a borsodi sáncvár, melynek építési korát, többek között a sánc alatt húzódó 10. századra keltezett települési objektumok miatt keltezte Wolf Mária a 10. század végére – a 11. század elejére (Wolf 1996, 243, Wolf 2001, 179, 182). Megjegyzendő, hogy későbbi munkájában már az 1020-1050-es intervallumot valószínűsíti (Wolf 2008, 90, 173), érveléséhez elsősorban régészeti és természettudományos keltezési módszert alkalmazva. A lelőhely stratigráfiája kapcsán a közelmúltban megfogalmazódott egy ellenvélemény, mely szerint az eddig publikált adatok alapján megkérdőjelezhető, hogy a telepobjektumok és a sánc valóban két külön horizontba sorolható-e, s nem lehet-e egykorú? (Mordovin 2010, 182-186).

Kutatásunk során három északnyugat-magyarországi sáncot vizsgáltunk, különös tekintettel azok stratigráfiai helyzetére. Az 1970-es évek Győr-káptalandombi ásatai nyomán a győri objektumról bebizonyosodott, hogy a feltételezen sánchoz köthető horizont alatt a 11. századnál

korábbra keltezhető településrétegek húzódnak (Tomka 1987, 153). A rétegek alsó kronológiai határa azonban bizonytalan, azt a rendelkezésre álló csekély leletmennyiség alapján a 9-10. századon belül nem tudjuk pontosítani. (Merva 2012, 10-12)

A bácsa-szent vidi lelőhely közelmúltban végzett elemzésével világossá vált, hogy a sánc alatt húzódó település objektumai a 9-10. századra keltezhetők (Merva-Tomka s.a.). Ennél a lelőhelynél egyúttal az is végleg bizonyítást nyert, hogy magát a sáncot törölnünk kell Árpád-kori (ráadásul "határvédő") váraink sorából, valószínűsíthetően egy újkori objektumról van szó (Tomka 2000, 13-14, Merva 2012, 12-17).

Jelen tanulmányunkban a harmadik általunk vizsgált északnyugat-magyarországi objektum, a legrégebb óta kutatott soproni sánc alatt húzódó településréteg kapcsán tesszük közzé észrevételeinket. Amellett, hogy a vizsgált településréteg kronológiája a sánc építési korának terminus post quem-jét határolja be, adatokkal szolgálhat az 5-6. században felhagyott Scarbantia újratelepülésének idejét illetően is.

A lelőhely ismertetése és kutatástörténete

A 8,7 ha területű, szabálytalan ovális alakú, észak-déli tájolású Árpád-kori erősség pontosan követi a késő római Scarbantia városfalának belső vonalát (Gömöri 2007, 199). A soproni sánc szerkezetét első ízben az 1890-es években kutatták, behatöbb vizsgálatok 1959 óta folynak (Holl et al. 1962), napjainkig összesen mintegy húsz alkalommal történt meg a sánc kutatása (Gömöri 2002, 51-53). A kazettás szerkezetű, ún. széles talpú fa-föld védmű teljes hosszában vörösre égett, innen kapta a régészeti szakirodalomban elterjedt „vörös sánc” nevet (Gömöri 2002, 86-89). Az erősség jól illeszkedik a korszak közép-európai hadi-építészetének emlékei közé.

A sáncvár a soproni várispánság központja volt, keltezéséről máig megoszlanak a vélemények. Györffy György Szt. István államszervező munkájához kapcsolta többek között e sánc emelését is (Györffy 1977, 191-210), de így vélekednek erről a vár ásatói, Gömöri János (Gömöri 2002, 89, 91-93) és Tomka Péter is (Tomka 1976, 392-393). Kristó Gyula egy 1071-es adata támaszkodva a 11. század közepe utánra teszi Sopron megye kialakulását – és így magának a soproni székhelynek a kiépítését is. (Kristó 1988, 268-273). Az 1990-es évek elején, egy multidiszciplináris együttműködésnek köszönhe-

tően a sáncon az archeomágneses, a ^{14}C és a termolumineszcens keltezési módszerek együttes alkalmazásával próbálták a kronológián pontosítani. A kalibrált adatok azonban végül mindhárom módszerrel oly széles időintervallumot adtak meg, melyet a régészeti megfigyelések már korábban valószínűsítettek (Gömöri et al. 1994, 36–38).

Buzás Gergely e témához kapcsolódó tanulmányának már a címe is kizárja a 10. századi eredet lehetőségét. A kazettás szerkezetű sánccokat, így többek közt Sopront vizsgálva, azokat hadtörténeti adatokkal 1042 és 1074 közé helyezi, I. András uralkodásához kötve emelésüket. A kutató álláspontja szerint ezen objektumok a német támadásokkal szemben határvárként funkcionáltak, az államszervezés első évtizedeire való datálást ezért elfogadhatatlannak tartja (Buzás 2006, 46–51).

A sánc kronológiája kapcsán a legújabb várostörténeti összefoglalásban egy óvatosabb vélekedésről olvashatunk: a történeti összefüggések figyelembe vételével Géza fejedelem (972–997) és Szt. László (1077–1095) uralkodása közti csaknem egy évszázadon belül szűkebb időhatár kijelölésére kell törekednünk. A megépült erősség mindenestre 1096-ban már állt és alkalmasnak bizonyult Bouillon Gottfried keresztes hadainak megállítására, 1241/42-ben pedig a tatárok támadásának kivédésére is (Szende 2010, 13).

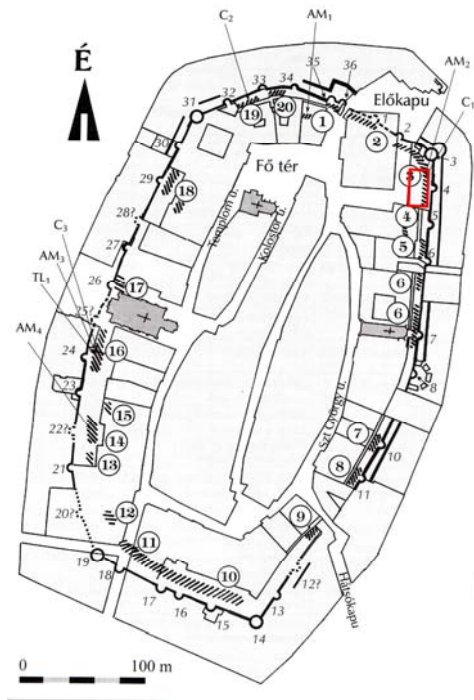
Az 1967-71 között végzett Sopron-Városház utcai ásítás rövid ismertetése

Sajnálatos módon a Tóth Sándor-féle ásításról, teljes körű feldolgozás híján, csupán rövid jelentésekből (Póczy & Tóth 1968, 29, Tóth 1969, 46, Tóth 1970, 33–35, Tóth 1971, 51–52) illetve a rendelkezésre álló, rendkívül precíz ásítási és leletdokumentációból tájékozódhatunk.

A sánc által körbefogott terület északkeleti sarkában, a lebontott mozi helyén, egy tervezett parkolóhely kialakítását megelőzően 1967-ben kezdett régészeti kutatásba Tóth Sándor (az első évben Póczy Klárával, aki már 1966-ban végzett a területen kutatást). Az öt idényen át folyó ásítás során mintegy 550 nm-nyi terület feltárását végezték el. Az ásítási szelvény a késő római északkeleti (3.) sarokbástyától délnyugatra kezdődött és hossz tengelye megközelítőleg a falsíkkal párhuzamosan húzódott (1. ábra).

A fekete réteg és annak korábbi keltezése

Az ásítás során a sánccserekesztet maradványai kerültek elő, emellett a késő római időszaktól a sánc építéséig lerakódott rétegek vizsgálatára nyílt lehetőség. Témánk szempontjából a római és a kora népvándorlás kori fölött, illetve a sánc alatt húzódó réteg vizsgálata lényeges, így a továbbiakban először annak korábbi értékelését ismertetjük.



1. ábra: A soproni ispáni vár alaprajza és Tóth Sándor 1967-71-es ásítási szelvényének helye (pirossal jelölve). GÖMÖRI 2002, 52, 21. kép nyomán.

Fig. 1.: The ground plan of the fortification in Sopron and the location of the 1967-71 excavation (marked by red) lead by Sándor Tóth, after GÖMÖRI 2002, 52, Fig. 21.

Az ásító a sánc alatt egy olyan fekete réteget dokumentált, amelyben települési objektumot nem sikerült megfigyelni (2–3. ábra). Az előkerült leletek vizsgálata során Tóth Sándor elkülönített egy, a legkésőbbinek, s így módon a réteg keltezésére alkalmasnak vélt leletkört, egy hullámvonalas kerámia csoportot, amelynek datálása, a megfigyelések gyarapodásával (természetszerűleg) az évek folyamán alakult.

Az ásítás második évében a kutató következőképpen vázolta fel a kronológiát: „Mindenek előtt egyértelműen meghatározható volt mindenütt, hogy a közvetlenül a sánc alatt húzódó, hullámvonalas kerámiát tartalmazó réteg nagyjából egyenletesen 20-30 cm vastagságú, és bár leletanyaga a terület különböző pontjain nem teljesen azonos, kétségtelenül egységesen fedi valamennyi ponton a korábbi rétegeket. A leletanyag eddigi elemzése arra vall, hogy inkább az eredetileg feltételezett X. századi keltezésnél későbbi, mint korábbi időszakban keletkezhetett a réteg; keltezése tehát a X-XI. századra rögzíthető, és így elképzelhető esetleg az is, hogy a sánc építése nem a XI. század legelején, hanem később következett be.” (Tóth 1968, 1)



2. ábra: Metszefotó az 1967-es ásatásról. A sáncmetszet északi szakaszának részlete: a kép jobb szélén a kora népvándorlás kori épület maradványai láthatók. Forrás: MTA BTK Művészettörténeti Intézet, Adattár. Tóth Sándor hagyatéka, 1967-es ásatási dokumentáció.

Fig. 2.: Archaeological section photograph from the 1967 excavation. Northern part of the rampart cross-section with the remains of a building dated back to the early Migration Period on the right. Source: archive of the Research Centre for the Humanities, Hungarian Academy of Sciences, Institute for Art History. Heritage of Sándor Tóth, 1967 excavation documentation.

Az ásatási eredmények egy későbbi summázásában pedig ezt találjuk: „A sánc kronológiai helyzetét lefelé egyértelműen meghatározta az, hogy alatta elkülöníthetően jelentkezett egy olyan kulturperiódus emlékanyaga, amelyet hullámvonalas kerámia jellemzett, amely tehát egyértelműen a 9-11. századra keltezhető” (Tóth 1976, 15).

Bár az ásatás és a szóban forgó réteg részletes közlése elmaradt, a sáncot megelőző középkori periódusra (Holl 1973, 205, 47.j.), illetve a későbbiekben egyöntetűen egy 10. századi rétegre

hivatkozik a kutatás (Tomka 1987, 153, Gömöri 2002, 90, 93, Wolf 2008, 110, a legutóbb publikált várostörténeti atlaszban szintén szerepel ez az információ: Szende 2010, 12).

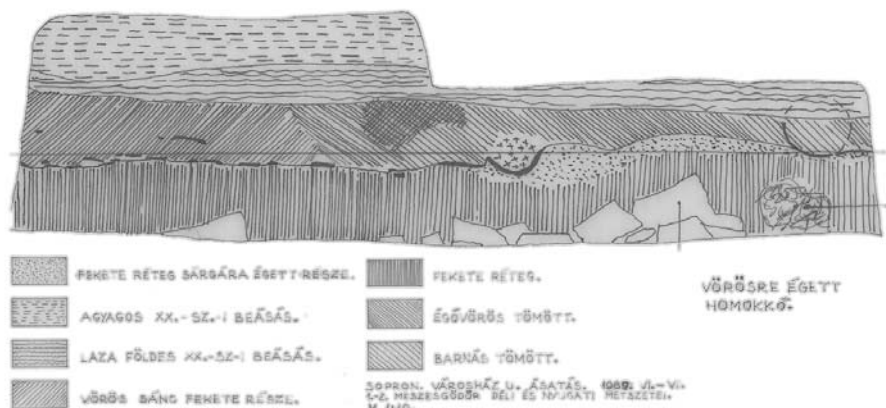
Az utóbbi évtized osztrák szakirodalmában olvashatunk a *Schwarzen Schicht*-ről, az angol kutatásban pedig, mint *dark earth* találkozunk a jelenséggel. Ahogy példának okáért a bécsi (Gaisbauer 2001, 218), úgy a győri városi ásatásokon is megfigyelték a késő római – kora népvándorláskori rétegekre boruló fekete réteget (Gabler et al. 1990, 21-22). Az osztrák kutatásban „késő antik pusztulási réteg”-ként, „400 körülre datált pusztulási horizontként” értelmezték korábban. A réteget ma már egy talajképződési folyamat eredményeként tartják számon, és semmiképp nem interpretálják a késő antikvitás és a középkor közötti településkontinuitás bizonyítékaként (Gaisbauer 2001, 218) – ahogy a magyar kutatásban erre korábban sem történt kísérlet.

A réteget datáló leletanyag

Az ásató precizitásának köszönhetően a leletek és az adattári hagyatéka felkutatásával sikerült egyértelműen beazonosítani azokat – az ásatási anyagnak egyébként igen csekély százalékát képező – kerámia töredékeket, amelyeket a kutató egy csoportba sorolt és 9-10./9-11./10-11. századra keltezett (**4. ábra, 5. ábra**).

A településréteg további kerámiaanyagát tekintve fontosnak tartjuk itt is megemlíteni, hogy a szóban forgó ásatás fekete rétegeből egyéb középkori leletanyagot nem sikerült fellelnünk.

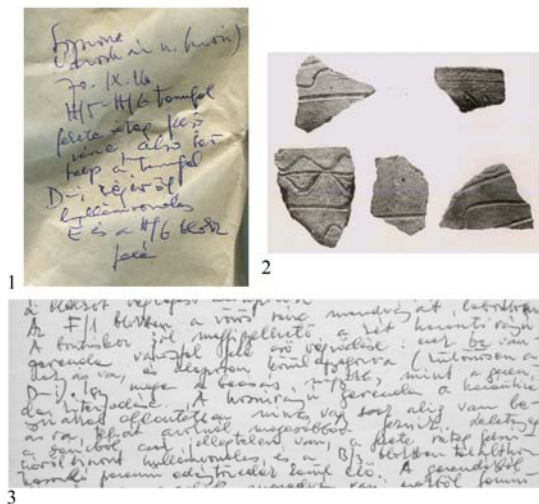
A régió kora Árpád-kori leletanyagának ismeretében az adott leletcsoport makroszkópikus vizsgálata azt mondatta velünk: jelen tudásunk szerint ez a datálás egyértelműen kizárható. A leletek anyagtípusa, a soványítása és kiegészítés módja alapján nem azonosítható a korszak jellemző fazekasáruival.



3. ábra: Metszetrész az 1967-es ásatásról. 1-2. meszesgödör déli és nyugati metszetei.

Forrás: Soproni Múzeum Régészeti Adattár 1131.

Fig. 3.: Cross-section of the 1967 excavation. Southern and western sections of the lime-pits (feature 1-2). Source: archaeological archive, Museum of Sopron Nr.1131.

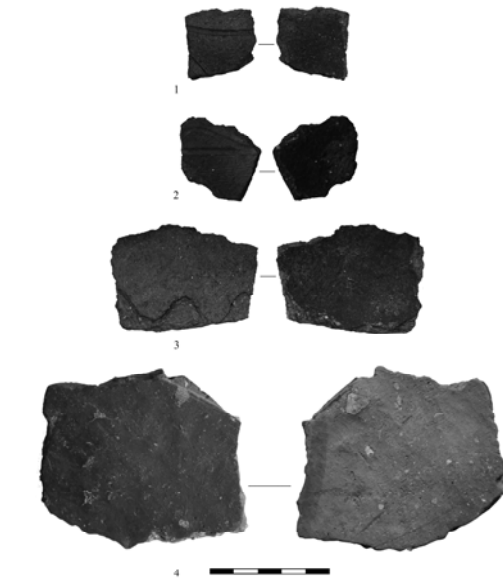


4. ábra: 1: A hullámvonalas kerámia lelet-zacskójának felirata. 2: Fénykép az ásató által meghatározott hullámvonalas kerámia csoport egy részéről. Forrás: MTA BTK Művészettörténeti Intézet, Adattár. Tóth Sándor hagyatéka, a leletanyagra vonatkozó feljegyzések dossziéjából, ltsz.: C-I-213-39.) 3: Az 1968. 05.09-ei ásatási naplórészlet a 2. minta előkerüléséről. Forrás: MTA BTK Művészettörténeti Intézet, Adattár. Tóth Sándor hagyatéka, 1968-es ásatási napló.

Fig. 4.: 1: Recordings on the paper bag of the pottery decorated with wavy line. 2: representative sherds from the wavy line decorated pottery group, dated by the leader of the excavation. Source: archive of the Research Centre for the Humanities, Hungarian Academy of Sciences, Institute for Art History. Heritage of Sándor Tóth, from the notes on the excavation material. No.: C-I-213-39. 3: Excerpt from the excavation diary on the finding of sample 2. on 09.05.1968. Source: archive of the Research Centre for the Humanities of the Hungarian Academy of Sciences, Institute for Art History. 1968 excavation diary.

Emellett, a 10-11. századi kerámia problematikájának részletesebb kifejtése nélkül ugyan, de meg kell itt említsük: a 2010-es évek elején is küszködünk a kora Árpád-kori (azaz 10-11. századi) kerámiakör keltezésének pontosításával.

Egyelőre nem azonosítható olyan edény- vagy peremforma, díszítéstípus vagy edénytípus, amely egyértelműen csak a 10. századra lenne keltezhető, így a rétegnek a szakirodalomban később elterjedt datálása, csupán kerámialetek alapján, kétségessé vált. (Felmerül a kérdés, elkülönült-e vajon élesen a 10. századi kerámiakör a megelőző, illetve az államalapítást követő század kerámiaanyagától?)



5. ábra: 1: 1.minta: Sopron, Városház utca, (mozi), H/5-H/6 tanúfal fekete réteg felső része, a tanúfal déli részéről, a zacskófeliraton feltüntetve: hullámvonalas 1970. 09.16., 2: 3. minta: Sopron, Városház utca, (mozi), F1 blokk, fekete réteg felszínén, 1968.V.9. 3: 2. minta: Sopron, Városház utca, (mozi), H/5-H/6 tanúfal fekete réteg felső része, a zacskófeliraton feltüntetve: hullámvonalas, 1970. 09.11. 4.: 4. minta: Sopron-Potzmann-dűlő II., 178. objektum.

Fig. 5.: 1: Sample 1 – Sopron, Városház utca (Mozi), upper part of the dark earth layer at section H/5-H/6, from the southern parts of the wall remains, text on the paper bag: wavy line decoration, 1970.09.16., 2: Sample 3 – Sopron, Városház utca (Mozi), F1 block, from the surface of the dark earth layer, 1968. V. 9. 3: Sample 2 – Sopron, Városház str. (cinema), upper part of the black layer at section H/5-H/6, text on the paper bag: wavy line decoration, 1970.09.11. 4: Sample 4 – Sopron-Potzmann dűlő II., Feature 178.

Meg kell azonban azt is jegyeznünk, hogy mivel a 10-11. századi kerámia kutatása az 1970-es években indult (Mesterházy 1975, Fodor 1975) s az első összefoglalások is csak az 1980-as években születtek (Kvassay 1982, Takács 1986), a 60-as évek végén – 70-es évek elején még könnyebben megeshetett a leletanyag félrekeltezése.

Abból a meggyőződésből, hogy a leletek keltezése az eddigi levont következtetések helyességének eldöntésében, illetve egy településtörténeti kérdés megoldásában is kulcsfontosságú szerepet játszhatnak, s mivel klasszikus régészeti tipológiai alapon nem tudtuk megnyugtató módon keltezni a cserepeket, a termolumineszcens keltezési módszert hívtuk segítségül.

A minták régészeti leírása**1. minta (OSZ 583)**

Előkerülés ideje: 1970. 09.16.

Előkerülés helye: Sopron, Városház utca, (mozi), H/5-H/6 tanufal fekete réteg felső része, a tanufal déli részéről, a zacskófeliraton feltüntetve: hullámvonalas

A lelet régészeti leírása: Homokkal és apró kavicszal és mésszel (?) soványított, kézikorongolt edény oldaltöredéke. Redukáltan szürke színűre égett, másodlagosan is megégett, a töredék belső oldalán az edény felülete lyukacsos. Díszítése csigavonal illetve hullámvonal.

Méret: 2,9*3 cm, falvastagsága: 0,71 cm.

Régészeti korhatározás: ? (kora)középkori eredete kizárható.

2. minta (OSZ 670)

Előkerülés ideje: 1970. 09.11.

Előkerülés helye: Sopron, Városház utca, (mozi), H/5-H/6 tanufal fekete réteg felső része, a zacskófeliraton feltüntetve: hullámvonalas

A lelet régészeti leírása: Homokkal és apró kavicszal erősen soványított, korongolatlan, nagyméretű edény oldaltöredéke. Égetése redukált, másodlagosan is megégett. Díszítése mélyen bekarcolt hullámvonal.

Méret: 6,2*4,5 cm, falvastagság: 0,87 cm.

Régészeti korhatározás: ? (kora)középkori eredete kizárható

3. minta (OSZ 671)

Előkerülés ideje: 1968.V.9.

Előkerülés helye: Sopron, Városház utca, (mozi), F1 blokk, fekete réteg felszínén

A lelet régészeti leírása: Homokkal és apró kavicszal és mésszel (?) erősen soványított, kézikorongolt edény oldaltöredéke. Égetése redukált, másodlagosan is megégett, a töredék belső oldalán az edény felülete lyukacsos. Díszítése hullámvonal és csigavonal, a felületen enyhe sörpülés nyoma látható.

Méret: 3,3*2,8 cm, falvastagság: 0,73 cm.

Régészeti korhatározás: ? (kora)középkori eredete kizárható

1 földminta: 1970.08.06. H/6. blokk, ény-i sarok, kőfal mellett feltárt ép edény belsejéből.

4. minta (OSZ 754)

Előkerülés ideje: 2008.

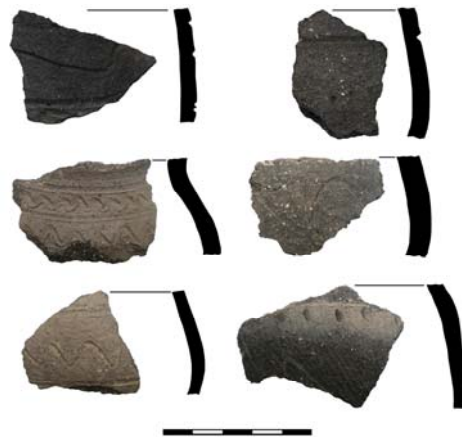
Előkerülés helye: Sopron-Potzmann-dűlő II., 178. objektum

Régészeti korhatározás: késő bronzkor (Polgár Péter szíves szóbeli közlése alapján)

Anyag és módszer

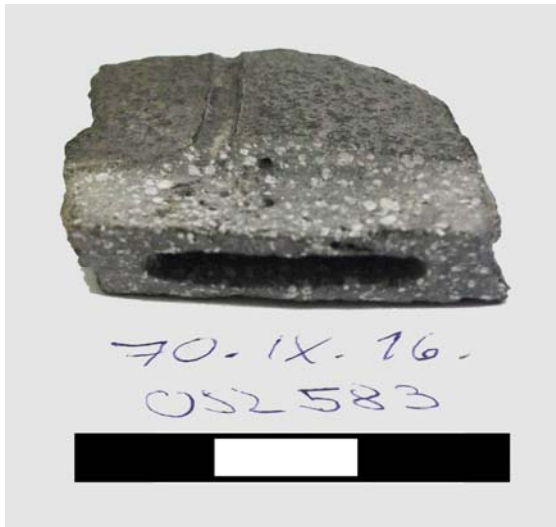
A lumineszcens kormeghatározás (TL: termolumineszcencia, OSL: optikailag stimulált lumineszcencia) archeometriai és archeológiai alkalmazása széleskörű (Wintle 2008). A módszer fizikai alapjait részletesen ismerteti M. Aitken (1985), magyarul áttekintést nyújt Novothny & Újházi (2000), illetve Sipos & Papp (2009). A módszer segítségével indirekt módon megállapítható, hogy a vizsgált kerámia földpát és kvarc kristályai mekkora radioaktív dózist nyeltek el környezetükből a tárgy kiégetése óta. Amennyiben megadható a környezet természetes radioaktív elemeinek bomlásából származó, egységnyi időre jutó radioaktív dózis nagysága, akkor a két érték hányadosából a kiégetés óta eltelt idő számítható.

E két fenti érték, azaz az elnyelt dózis (továbbiakban egyenérték dózis), illetve az egységnyi időre jutó radioaktív dózis (továbbiakban dózisteljesítmény) mérése számos lépésben történik. Kettejük közül általában a dózisteljesítmény pontos meghatározása okozza a nagyobb problémát, hiszen a kerámia töredékek anyagi összetételén túl nagyban befolyásolja a befogadó üledék radioaktív elem és nedvesség tartalma, ami sok régészeti kerámia esetében csak nehezen rekonstruálható. Az ebből adódó relatív bizonytalanság csak in situ mérésekkel szorítható 8-10 % alá.



6. ábra: A soproni sánc alatti fekete réteg felső feléből származó kerámialeletek, amelyeket az ásató Tóth Sándor hullámvonalas kerámiaként írt le, és a 9-10., 9-11., illetve a 10-11. századra keltezett

Fig. 6.: Pottery findings, described as decorated with wavy line and dated to be 9-10., 9-11 and 10-11. c. by Sándor Tóth, found in the upper half of the dark earth layer below the rampart



7. ábra: Az 1. minta (Labor kód: OSZ 583) mintavételezés után

Fig. 7.: Sample 1 (Lab. ID: OSZ 583) after sampling

A TL mérések segítségével meghatározható elnyelt dózis értéke ideális esetben mindössze 1-2 %-os hibát eredményez. Összességében azonban a végső koradat így is 10-12 % os hibával lesz terhelve (1 σ konfidencia mellett). Mindez azt jelenti, hogy a fentebb ismertetett, 1000-2000 éves időtávlatban jelentkező probléma vizsgálatokor a TL mérések elsősorban a nagyobb régészeti és történeti időszakok elkülönítésére lehet alkalmas, évtizedes pontosságú eredmények nem produkálhatók.

A TL-vizsgálat tárgyát 4 kerámia töredék képezte (**6. ábra**). Fontos hangsúlyozni, hogy régészeti szempontból az 1. és 3. minta képviseli a hullámvonalas csoport tipikus részét (azaz minden bizonnyal valóban egy kerámiakörbe tartoznak). A 2. mintát az ásató szintén ebbe a csoportba sorolta, anyag típus alapján azonban véleményünk szerint jól elkülöníthető az előzőektől. Mivel a 2. minta TL-eredménye olyan korai datálást adott meg, ami a bronzkorral foglalkozó szakemberek erős kételyét ébresztette, ezért egy további minta mérésére is vállalkoztunk.

A kontroll-minta (4. minta) egy soproni, régészeti késő bronzkorra keltezett töredék volt.

A mintagyűjtés és laboratóriumi feltárás a Sipos et al. (2010) által ismertetett módon történt. A mintákat porítással, illetve fúró segítségével gyűjtöttük, ügyelve arra, hogy a súrlódás hatására ne hevüljenek föl az eszközök. A TL mintázás a kerámiák belsejéből történt, a külső 2-3 mm-es réteget a mintavétel előtt eltávolítottuk (**7. ábra**), ezáltal kizártuk a befoglaló üledékből származó α és β sugárzási komponensek hatását. A külső anyagot elemösszetétel meghatározás céljából félretettük. A TL mérésekre szánt mintából savas kezelést követően szeparáltuk a 4-11 μm átmérőjű

frakciót, majd a poliminerális mintát 30-35 db alumínium korongra ülepítettük.

A minták által elnyelt dózis, vagyis az egyenérték dózis nagyságát a már klasszikusnak tekinthető hozzáadott dózis módszerrel határoztuk meg (Sipos & Papp 2009). Ennek során korongcsoportokat alkottunk, s az egyes csoportokat növekvő laboratóriumi dózissal sugároztuk be. Az egyre nagyobb dózissal növekvő TL válaszokat eredményeztek, melyek alapján felállítottuk a mintára jellemző dózis-lumineszcencia összefüggést. Ennek extrapolálásával indirekt módon meghatározható, hogy a mintára jellemző természetes TL válasz mekkora természetes dózis hatására alakult ki. A sokszor nem lineáris TL növekedést regenerációs dózissal segítségével számszerűsítettük (Sipos & Papp 2009). A földpátokat is tartalmazó poliminerális mintákra esetenként jellemző spontán jelvesztés (fakulás) meglétét egyenlő besugárzások késleltetett mérésével teszteltük. A TL méréseket automatizált RISØ DA-15 TL/OSL műszerrel végeztük. A laboratóriumi besugárzás 0,084 Gy/s dózisteljesítményű (alumínium korongra kalibrált) $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ béta sugárforrással történt. A mérések során a mintákból származó lumineszcens fényt Corning 7-59 és Schott BG 39 típusú szűrők kombinációján keresztül detektáltuk.

A dózisteljesítmény megadásához a kerámia belső (α és β komponens) és környezetének külső (γ komponens) sugárzását határoztuk meg lehetőségeinkhez mérten. A kerámia anyagából származó belső dózisteljesítmény legjelentősebb részét a ^{40}K izotóp bomlása során keletkező β részecskék adják (Sipos & Papp 2009), ezért a K-tartalom meghatározása elsődleges fontosságú, ez irányú méréseinket HORIBA XGT 5000 típusú μXRF segítségével végeztük. A korlátozott mintamennyiség miatt urán és tórium tartalom mérésére nem nyílt mód. Mindazonáltal a K koncentrációk átlagosak voltak, így nem volt okunk feltételezni, hogy az U-nat és ^{232}Th tartalom jelentősen eltérne más kerámiák értékeitől. A becsült U-nat és ^{232}Th értékeket, jelentős, 30 %-os hibával terheltük. Mivel a kerámiák korábbi ásatások során kerültek elő, ezért *in situ* méréseket a környezeti dózisteljesítmény meghatározásához értelemszerűen nem tudtunk végezni. Szerencsére azonban a szóban forgó ásatásról rendelkezésre állt a kerámiákhoz köthető szelvényből (1970.08.06. H/6 szelvény, ÉNy-i sarok) mintegy 200 g üledék minta, melyet gamma spektroszkópiás méréseknek vetettünk alá, így meghatározhatóvá vált az üledék ^{40}K , U-nat és ^{232}Th tartalma, illetve a környezeti γ dózisteljesítmény. A száraz mintára kapott értékeket a becsült nedvességtartalommal korrigáltuk. Mivel a kerámia töredékek a talajvízszinthez közeli mélységből kerültek elő, ezért viszonylag magas, 10 % körüli

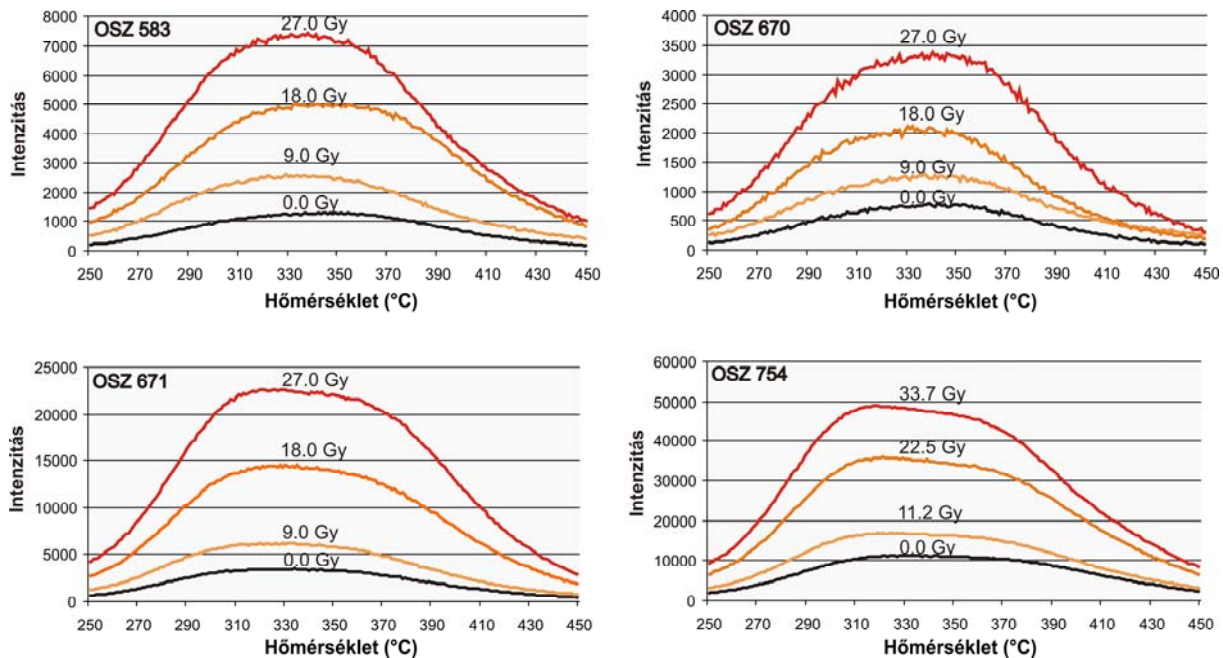
nedvességtartalommal számoltunk. A kozmikus sugárzás értékét Prescott & Hutton (1994) alapján határoztuk meg.

Eredmények

A kerámia minták jelentős TL intenzitást mutattak, azaz érzékenyséjük megfelelő volt, melyet a hozzáadott dózisokra adott TL válaszok is alátámasztottak. A **8. ábrán** a 4 minta átlagos TL görbéi láthatók, jól megfigyelhető a dózis növekmények által előidézett emelkedő TL intenzitás. Azt, hogy a görbék mely szakaszának értékeit integráljuk a dózis-lumineszcens válasz összefüggések megadásához, dózis-plató tesztek segítségével döntöttük el (**8. ábra**). Ezek során 10 °C-os hevítési intervallumokra bontottuk a TL görbéket, és minden egyes intervallumra

kiszámítottuk az egyenérték dózis nagyságát. Az így kapott egyenérték dózis görbe platója adja meg azt a tartományt, ahol a TL görbék a legstabilabbak, és ahol a legpontosabb eredmények várhatók. 250-300 °C, illetve a 300-350 °C-os régióban rajzolódott ki markáns plató (**9. ábra**). A fentieknek megfelelően viszonylag pontos összefüggéseket kaptunk az egyenérték dózisokra vonatkozóan (**10. ábra**).

A TL mérésekből adódó relatív egyenérték dózis hiba két esetben mindössze 1,3 % volt (**1. táblázat**). A késleltetett mérések során nem tapasztaltunk spontán jelvestést, így a fakulás jelenségével nem számoltunk a továbbiakban.



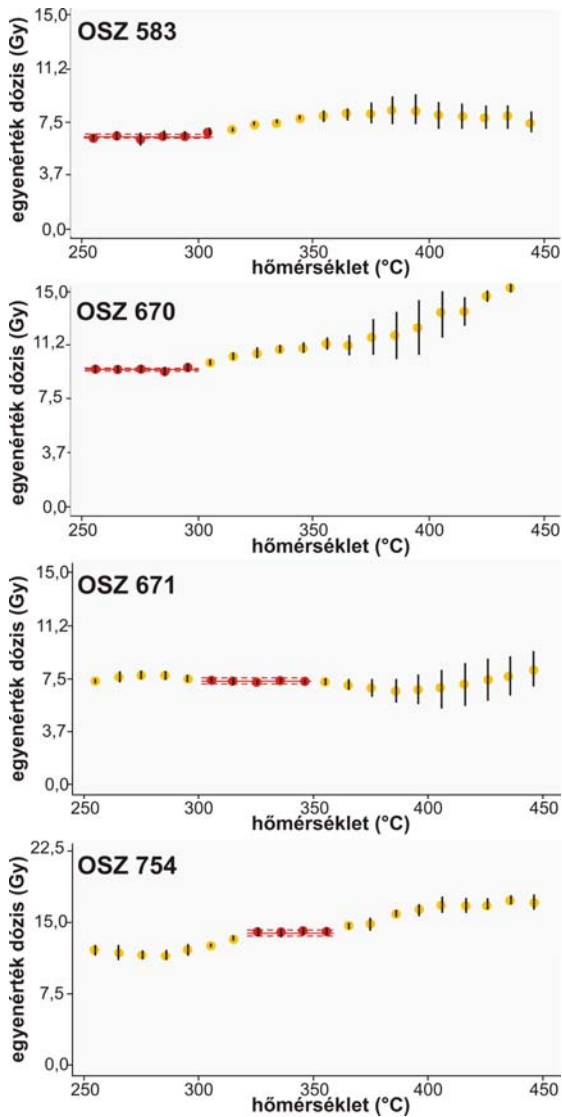
8. ábra: A vizsgált minták átlagolt természetes és hozzáadott dózis TL görbéi.

Fig. 8.: Average natural and additive dose TL curves of the investigated samples.

1. táblázat: A minták dózisteljesítmény, egyenérték dózis és kor adatai. Jelmagyarázat: w: nedvességtartalom, D*: dózisteljesítmény, D_e: egyenérték dózis.

Table 1.: Dose rate, equivalent dose and age data of the samples. Abbreviations: w: water content, D*: dose rate, D_e: equivalent dose.

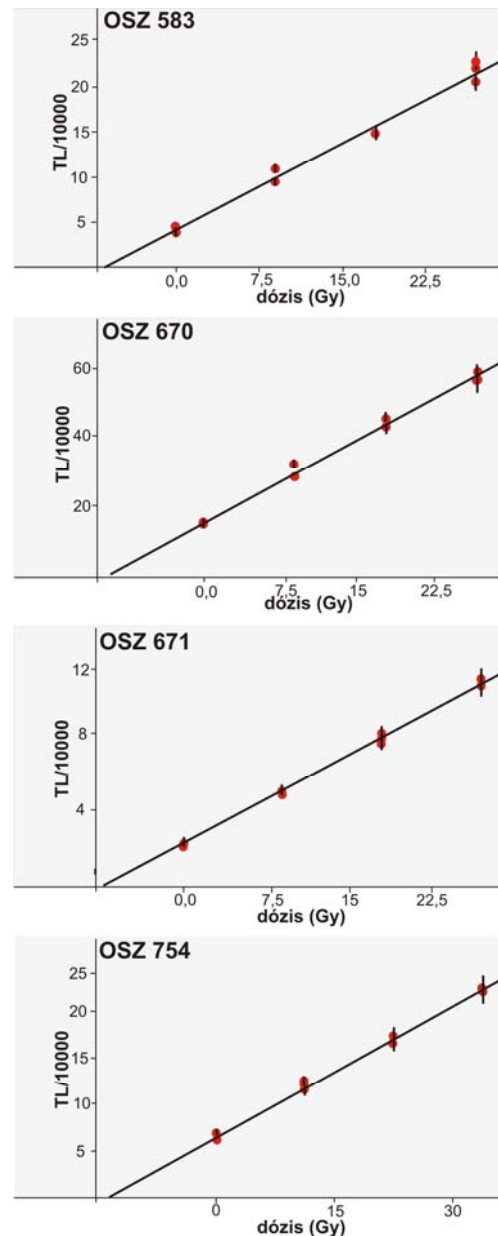
	Labor kód	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	w (%)	D* (Gy/ka)	D _e (Gy)	Kor (ka)	Naptári kor
1. minta	OSZ 583	3,0 ± 1,0	10,0 ± 3,3	2,29 ± 0,02	10,0 ± 2,0	4,16 ± 0,50	8,38 ± 0,34	2,01 ± 0,25	AD 0 ± 250
2. minta	OSZ 670	3,0 ± 1,0	10,0 ± 3,3	1,77 ± 0,02	10,0 ± 2,0	3,80 ± 0,47	11,25 ± 0,15	2,96 ± 0,37	950 ± 370 BC
3. minta	OSZ 671	3,0 ± 1,0	10,0 ± 3,3	2,11 ± 0,02	10,0 ± 2,0	4,04 ± 0,50	8,23 ± 0,45	2,04 ± 0,28	30 ± 280 BC
4. minta	OSZ 754	3,0 ± 1,0	10,0 ± 3,3	2,00 ± 0,02	10,0 ± 2,0	3,96 ± 0,49	14,54 ± 0,18	3,67 ± 0,46	1660 ± 500 BC



9. ábra: 10 °C-os hevítési intervallumonként kiszámított egyenérték dózisos. Minden esetben jól kirajzolódnak a stabil eredményeket szolgáló platók.

Fig. 9.: Equivalent doses calculated for every 10 °C heating intervals. Plateaus of stable results appear clearly in each case.

A dózisteljesítmény meghatározása kapcsán a lelőhelyi bizonytalanságokat igyekeztünk beépíteni a becsült értékekbe, így ez esetben a relatív hiba 12-13 %-nak adódott. Összességében a kapott korok hibája így 13-15 % körül alakult, ami megfelel a körülményektől elvárható pontosságnak (1. táblázat). A TL kormeghatározás alapján az egy kerámia körbe tartozó 1. és 3. minta készítési ideje a 310 BC és 250 AD közötti időszakra esik. A másik két kerámia töredék ennél számottevően idősebb. A 2. minta készítési ideje 1320 BC és 580 BC közé, míg a 4. mintáé 2160 BC és 1160 BC közé tehető, azaz ezek, a késő, illetve középső bronzkorban készülhettek.



10. ábra: Dózis-TL összefüggések a 4 mintára vonatkozóan.

Fig. 10.: Dose-TL response curves of the 4 investigated samples.

A kontrollnak szánt kerámia átlag kora a vártnál idősebbnek adódott, ugyanakkor a régészeti alapon megállapított késő bronzkori készítési idő még hibahatáron belül esik.

Következtetések

A leletanyag stratigráfiai helyzete ellenére ezt a korhatározást nem tartjuk az eddigi régeltani vizsgálatokkal összeférhetetlennek, tekintve, hogy más korábbi anyag, így például kelta grafitos perem is származik ebből a rétegből. Egyébiránt az 1. és 3. minta TL-keltezése megerősíti Horváth Friderika sejtését, miszerint kora császárkori bennszülött kerámia lehetnek a fenti töredékek.

Az eredmények alátámasztják azon megállapításunkat is, hogy a vizsgált tárgyak valószínűleg nem a réteget datáló, legkésőbbi leletanyagot képviselik. Ez alapján a tárgyalat réteget, eredményeinket figyelembe véve sem értékeljük késő bronzkori vagy kora császárkori jelenségként. A soproni fekete réteg kormeghatározására összességében ezen kerámiatöredékek nem alkalmasak.

Módszertani szempontból nem hagyhatjuk figyelmen kívül a leletek másodlagos eltemetődésének lehetőségét (Bahn & Renfrew 2005, 112-113), hiszen ezzel a jelenséggel a sánc betöltésében található leletanyag vizsgálatánál is találkozunk: a cserepek több lelőhelyről és több korszakból származtak, a datálásra ott is csupán a legkésőbbi leletanyag alkalmazható. Emellett a természetes folyamatoknak és az antropogén hatásoknak köszönhetően a lelőhely különböző rétegein belüli függőleges elmozdulás lehetősége sem zárható ki (Bahn & Renfrew 2005, 307, 309), így fordulhat elő, hogy akár őskori bronzkori vagy kora császárkori leletanyag keveredik a későbbi rétegekbe.

A rendelkezésre álló kerámiaanyagoknak, mind a régészeti-tipológiai, mind a TL vizsgálatai alapján mindenesetre a továbbiakban nem látjuk bizonyítottnak, hogy az adott esetben a római s kora népvándorlás kori rétegeket követő, és a sánc építését megelőző rétegben a honfoglalás kori megtelepedés nyomát dokumentálták volna. Hangsúlyoznunk kell, hogy ez az állítás az itt tárgyalt ásatás eredményeire (s e témában az egyetlen vélt bizonyítékra) vonatkozik, nem kívánunk ebből teljes érvényű következtetést levonni Sopron középkori történetét illetően. Úgy gondoljuk, a jelenlegi adatok alapján (a tárgyalt kerámiaacsoport segítségével) a sánc alatt húzódó 9-10/9-11./10. századi településréteg léte nem bizonyítható, s ily módon nem szolgálhat érvként a sánc 11. század eleji vagy közepi keletkezése mellett sem.

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány tárgyát a mainzi Römisch-Germanisches Zentralmuseum 'Reiterkrieger-Burgenbauer. Die Ungarn und das Deutsche Reich vom 9. bis zum 11. Jahrhundert' című projektje keretében vizsgáltuk. Itt szeretnénk megköszönni a projektmenedzsernek, Falko Daimnak, illetve a projekt magyar koordinátorának, Feld Istvánnak, hogy a kutatásban részt vehettünk. Hálás köszönet illeti Tomka Pétert a konzultációkért, ami a téma kutatására sarkallt minket. Ezúton köszönjük Horváth Friderikának, hogy a TL-vizsgálatok elvégzése előtt a leletanyagot megtekintette. A 4. mintának rendelkezésre bocsájtásáért Polgár Pétert illeti köszönet. Emellett szeretnénk köszönetet mondani Balassa Krisztina soproni gyűjtemény-

kezelőnek, aki különösen nagy segítséget nyújtott a leletanyag felkutatásában. Az XRF mérésekért Bozsó Gábort (SZTE Ásványtani, Geokémiai és Közöttani Tanszék) illeti köszönet. Továbbá köszönjük a két bírálónak, Novothny Ágnesnek és Ilon Gábornak a kézirat átolvasását és véleményezését.

Bibliográfia

- AITKEN, M. J. (1985): *Thermoluminescence Dating*. Academic Press, London. 359 p.
- BAHN, P., & RENFREW, C. (2005): *Régészet - elmélet, módszer, gyakorlat*. Budapest. 644 p.
- BÓNA, I. (1995): *Az Árpádok korai várairól. 11-12. századi ispáni várak és határvárak*. Debrecen. 136 p.
- BÓNA, I. (2001): Várak Szent István korában. In: KRISTÓ, GY. ed.: *Államalapítás, társadalom, művelődés. Társadalom- és művelődéstörténeti tanulmányok 27*. Budapest. 101-106.
- BUZÁS, G. (2006): 11. századi ispáni várainkról. In: KOVÁCS, GY. & MIKLÓS, ZS. eds., *"Gondolják, látják az várnak nagy voltát..."* Tanulmányok a 80 éves Nováki Gyula tiszteletére. Szerk.: Kovács Gyöngyi és Miklós Zsuzsa. Budapest. 43—53.
- FODOR, I. (1975): Cserépüstjeink származása. *ArchÉrt* **102** 250–262.
- GABLER, D., SZÖNYI, E., TOMKA, P. (1990): The settlement history of Győr (Arrabona) in the Roman period and in the Middle Ages. In: GEREVICH, L. ed., *Towns in Medieval Hungary*. Budapest. 9–25.
- GAISBAUER, I. (2001): Ein Beitrag zu spätantiker und erster mittelalterlicher Besiedlung in Wien. Am Beispiel der Grabungsergebnisse in Wien 1., Tuchlauben 17. In: *Zwischen Römersiedlung und mittelalterlicher Stadt. Archäologische Aspekte zur Kontinuitätsfrage. Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich*. **17** 215–222.
- GÖMÖRI, J. (2002): *Castrum Supron. Sopron vára és környéke az Árpád-korban*. Sopron. 278 p.
- GÖMÖRI, J. (2007): A nyugati határvidék sánccvárairól, különös tekintettel Sopronra. In: *Korai várépítészet a Nyugat-Dunántúlon. A Castrum Bene Egyesület 13. vándorgyűlésének előadásai. Kőszeg 2007. május 11-13. Savaria* **31/2** 187–216.
- GÖMÖRI, J., MÁRTON, P., HERTELENDI, E., BENKŐ, L. (1994): Sopron és Darufalva (Drassburg) égett sáncainak kormeghatározása fizikai módszerekkel. *Arrabona* **31-33** 49–71.
- GYÖRFFY, GY. (1977): *István király és műve*. Budapest. 667 p.

- HOLL, I. (1973): Sopron középkori városfalai. IV. *ArchÉrt* **100** 180–207.
- HOLL, I., NOVÁKI, GY., PÓCZY, K. (1962): Városfalmaradványok a soproni Fabricius-ház alatt. *ArchÉrt* **89** 47–67.
- JANKÓ, F., KÜCSÁN, J., SZENDE, K. (2010): *Magyar várostörténeti atlasz I. Sopron*. Sopron. 87 p.
- KRISTÓ, GY. (1988): *A vármegyék kialakulása Magyarországon*. Budapest. 641 p.
- KVASSAY, J. (1982): Kerámia X–XI. századi sírokban. *Bölcsészdoktori disszertáció*. Kézirat. Budapest. 248 p.
- MERVA, SZ. (2012): A kora Árpád-kori sáncvárak keletkezési lehetőségeiről. *Castrum* **15** 5–31.
- MERVA, SZ., TOMKA, P. s.a.: Bácsa - Szent Vid domb, eine Siedlung vom 9-10. Jahrhundert entlang der Mosoner Donau. In: *Siedlungen aus dem 8-11. Jahrhundert im Karpatenbecken*. Ed.: Miklós Takács. RGZM, Mainz. Megjelenés alatt.
- MESTERHÁZY, K. (1975): Honfoglalás kori kerámiánk keleti kapcsolatai. – Östliche Beziehungen der ungarischen Landnahmenzeitlichen Keramik. *FolArch* **26** 99–120.
- MORDOVIN, M. (2010): A vártartomány-szervezet kialakulása a kelet-közép-európai államokban. 10–12. századi központi várak a Cseh, Lengyel és Magyar Királyságban. Közöletlen PhD dolgozat. Budapest. 288 p.
- NOVOTHNY, Á., UJHÁZY, K. (2000): A termo- és optikai lumineszcens kormeghatározás elméleti alapjai és gyakorlati kérdései a negyedidőszaki kutatásokban. *Földrajzi Értesítő* **49/3-4** 165–187.
- PÓCZY, K., TÓTH, S. (1968): Sopron, Városház u. (Győr-Sopron m.) *RégFüz Ser I. No. 21*. 28-29.
- PRESCOTT, J. R., HUTTON, J. T. (1994): Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements* **23** 497–500.
- SIPOS, GY., KISS, T., PÁLL, D. G., TÓTH, O., SCHUBERT, G., TÓTH, M. (2010): Mintagyűjtés, minta-előkészítés, mintavesztés TL kormeghatározás során. *Archeometriai Műhely* **VII/2** 131-136.
- SIPOS, GY., PAPP, SZ. (2009): Terrakotta műalkotások eredetiségvizsgálata és kormeghatározása termolumineszcens módszerrel, Szépművészeti Múzeum, Budapest. *Archeometriai Műhely* **VI/1**: 61–74.
- TAKÁCS, M. (1986): Die arpadenzeitlichen Tonkessel im Karpatenbecken. *Varia Arch.Hung* **1**. Budapest, 172 p.
- TOMKA, P. (1976): Erforschung der Gespanschaftsburgen im Komitat Győr-Sopron. *AAH* **28** 391–410.
- TOMKA, P. (1987): Régészeti adatok a győri, mosoni és soproni koraközépkori sáncvárak történetéhez. *Soproni Szemle* **41** 147–155.
- TOMKA, P. (2000): Staatsgründung. Gespansburg, komitat. Führer zur Millenniumsausstellung. Weltliche und kirchliche Zentren an der Wende vom 10. zum 11. Jahrhundert. In: TOMKA, P. ed., *Artificium et historia* **5**. Győr, 3–21.
- TÓTH, S. (1968): Jelentés a Sopron-Városház utcai ásatastról (1968. XI. 16). *Soproni Múzeum Régészeti Adattár* 1007. 4 p.
- TÓTH, S. (1969): Sopron, Városház u. (Mozi) (Győr-Sopron m.) *RégFüz Ser I. No. 22*. 46.
- TÓTH, S. (1970): Sopron, Városház u. (Mozi) (Győr-Sopron m.) *RégFüz Ser I. No. 23*. 33–35.
- TÓTH, S. (1971): Sopron, Városház u. (Mozi) (Győr-Sopron m.) *RégFüz Ser I. No. 24*. 51–52.
- TÓTH, S. (1976): Belvárosi műemléki ásataások összefoglaló értékelése. *Soproni Múzeum Régészeti Adattár* 535.
- WINTLE, A. G. (2008): Fifty years of luminescence dating. *Archaeometry* **50/2** 276–312.
- WOLF, M. (1996): A borsodi földvár. In: Wolf, M. & RÉVÉSZ, L. eds., *A magyar honfoglalás korának régészeti emlékei*. Miskolc. 242–254.
- WOLF, M. (2001): Északkelet-Magyarország ispáni várai. *HOMÉ* **XL** 179–198.
- WOLF, M. (2008): A borsodi földvár. Egy államalapítás kori megyeszékhelyünk. *Közöletlen PhD dolgozat*. Budapest. 227 p.

INTEGRÁLT ARCHAEOBOTANIKAI VIZSGÁLATOKRA ALAPOZOTT OBJEKTUMON BELÜLI TÉRHASZNÁLAT-ELEMZÉS: MÓDSZERTANI ESETTANULMÁNY GYŐR–MÉNFOCSANAK- SZÉLES-FÖLDEK LELŐHELYRŐL

SPATIAL ANALYSIS OF THE USE OF INNER SPACE BASED ON INTEGRATED ARCHAEOBOTANICAL ANALYSES: A METHODOLOGICAL CASE STUDY FROM GYŐR–MÉNFOCSANAK- SZÉLES-FÖLDEK ARCHAEOLOGICAL SITE

PETŐ ÁKOS¹, KENÉZ ÁRPÁD¹, BAKLANOV SZANDRA¹, ILON GÁBOR²

¹Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ, Restaurálási és Alkalmazott
Természettudományi Laboratórium, 1113 – Budapest, Daróci út 3.

²Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ, II. sz. Régió, 9700 – Szombathely, Szófia u. 33-35.

E-mail: peto.akos@mmn-nok.gov.hu

Abstract

In addition to the archaeological interpretation of artefacts, the scientific analysis of soil samples – collected systematically and with required precision – is also an adequate method for defining activity areas within a site or even within an archaeological feature. The spatial distribution of data stored in the form of chemical and physical parameters, and plant or animal remains in the soil reflect the economic life and the everyday customs of ancient cultures. This paper presents the results of an integrated archaeobotanical analyses conducted on 68 samples collected systematically during the excavation of two features (houses) at the site of Győr–Ménfőcsanak–Széles-földek. The samples represent a Celtic and a Roman period indigenous building/house. Samples were collected in 50×50 cm quadrats laid on the surface of the buildings. We attempted to demonstrate possible differences between the use of inner space of the two features by the methods of macro-floral and phytolith analyses. The identified micro and macro-archaeobotanical remains found within the archaeological features imply that a large amount of plant material connected to cereals (stem, leaf, glume, spike fragment, cereal grain fragment) was stored inside the buildings. The overall interpretation of the distribution pattern projected on the floor levels, and the spatial evaluation of the data enabled us to put forward hypotheses regarding the use of inner space. While it was not possible to determine unequivocal differences of spatial use of the inner space of the Roman period indigenous feature (129/4645), two distinct spatial sections could be observed in the case of the Celtic feature (127/5111). It is supposed that the examined buildings were used for hay or straw storage, dung depots or utilised as (littered) barns, possibly for caprovines. Based on the presence of graphite fragments in the flotation material and the possible presence of dung and straw material, it might also be imagined that the inner space of these building were in close connection with ceramic production.

Kivonat

Egy lelőhelyen, illetve egy objektumon belüli tevékenységi körzet lehatárolására a régészeti leletanyag interpretációján kívül a – szisztematikusan és kellő precizitással gyűjtött – talajminták természettudományos vizsgálata is alkalmas. A talajban – kémiai, fizikai paraméterek, illetve növényi és állati maradványok formájában – tárolódó információhordozók térbeli eloszlása az egykoron élt kultúrák gazdasági életéről és mindennapjairól árulkodnak. Győr–Ménfőcsanak–Széles-földek lelőhelyről két épületobjektum feltárásából származó 68 darab mintán elvégzett, komplex archaeobotanikai vizsgálat eredményeit mutatjuk be. A minták egy kelta, valamint egy római kori bennszülött épületobjektum belső terét jelentik meg. A mintagyűjtés az objektumok felületére helyezett 50×50 cm-es négyzetekben valósult meg. A két objektum belső térhasználatában megmutatkozó különbségeket, illetve azonosságokat a makro-archaeobotanika és a fitolitelemzés módszerével kíséreltük meg feltárni. Célunk az volt, hogy a meghatározott növényi maradványok segítségével következtetéseket vonjunk le az épületek egykori, belső térhasználatára vonatkozóan. A járósíntek anyagában megtalált és meghatározott mikro- és makro-archaeobotanikai maradványok arra utalnak, hogy az objektumok belső terében nagy mennyiségű, gabonához köthető növényi anyag (szár, levél, pelyvalevelek, kalászorsó töredék, gabonaszem töredékek) került felhalmozásra. Az objektumok felszínére vetített eloszlástérképek együttes értelmezése, valamint az adatok kiértékelése lehetővé tette a belső tér használatára vonatkozó hipotézisek felállítását. Míg a római kori bennszülött (129/4645) objektum esetében nem lehetett egyértelmű térhasználati különbségeket kimutatni a belső térben, addig a kelta korú objektumnál (127/5111) két, egymástól jól

elkülönülő térrész figyelhető meg. Ennek ellenére mindkét épületobjektum egykori használata során a következő tevékenységeket, térhasználati lehetőségeket feltételezhetjük: széna- vagy szalmatárolás, almos istálló kiskérődzők számára, trágyatároló. Ez utóbbi a megtalált grafitföredékek fényében akár a kerámiakészítéssel kapcsolatos térhasználatra is utalhat.

KEYWORDS: SPATIAL ANALYSIS OF THE USE OF INNER SPACE, SEMI-SUBTERRANEAN BUILDING, ANALYSIS OF CHARRED SEEDS AND FRUITS (CARPOLOGY), PHYTOLITH ANALYSIS, HOUSEHOLD ARCHAEOLOGY, CELTIC AND ROMAN AGE

KULCSSZAVAK: BELSŐ TÉRHASZNÁLAT-ELEMZÉS, FÉLIG FÖLDBEMÉLYÍTETT ÉPÜLET OBJEKTUM, MAG- ÉS TERMÉSELEMZÉS, FITOLITELEMZÉS, HÁZTARTÁS RÉGÉSZET, KELTA ÉS RÓMAI KOR

Bevezetés

A Kisalföldön, az Ős-Rába és az Ős-Marcal teraszain, Győr–Ménfőcsanak határában található az az összefüggő, megközelítőleg 150 hektáros lelőhely-komplexum, amelyből 1990–2006 között – az M1 autópálya építése, a 83. sz. főút korszerűsítése, a Metro, a Tesco és egyéb építkezések során megközelítőleg 23 hektárt tártak fel (**1. ábra**). A feltárt felületek csak kis részeken kapcsolódtak egymáshoz, ugyanakkor különböző régészek, különböző módszerekkel a neolitikumtól az Árpád-korig terjedően tudtak régészeti emlékeket kimutatni a területről. E feltárások leletanyaga szinte teljes egészében közöletlen.

Ugyanakkor Ménfőcsanak neve az 1970-es évek eleje óta jól ismert a hazai és a nemzetközi régésztudományban (Uzsoki 1970, 1987). Ez a bronzkori Halomsíros kultúra sírjai (Kovács T. 1997; Egry 2001, 2004, 2006), a késő vaskori kelta temető (Vaday 2006) és telepjelenségek (Tankó 2004, 2010; Tankó & Egry 2009), a római kori temető (Varga 2007) és telepjelenségek (Szönyi 2003; Vaday 2003a), valamint népvándorláskori (Tomka 2003; Bartosiewicz 2009), továbbá Árpád- és későközépkori településrészletek (Takács 1993, 1996) és ingó örökség elemei (pl. kiemelkedő tárgyi emlékek, kutak, állatsontok) publikálásának köszönhető.

Ménfőcsanak–Széles-földek lelőhelyen (KÖH azonosító: 34305), egy jövődó bevásárlóközpont teljes területén a Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat (jogutód szervezete: Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ) II. számú, szombathelyi régiójának munkatársai végeztek megelőző feltárást Ilon Gábor régész irányításával 2009 októberé és 2011 szeptemberé között. A 239 ásátásra alkalmas munkanapon 277.165 m²-en közel tizenegyezer jelenséget tártak fel. Ennek eredményeként megállapítható, hogy itt az újkőkorban (Dunántúli vonaldíszes kerámia kultúrája), a rézkorban (Balaton-Lasinja kultúra), a bronzkorban (Kisapostag, Halomsíros, Urnamezős kultúrák), a vaskorban (Hallstatt kultúra, szkíták és kelták) és a római korban is megtelepedtek vagy temetkeztek. A legintenzívebb időszakot – a

jelenségek kb. 90 %-a – a kelta és a római kor jelenti. Mindkét időszakban a faluszerű települések több évszázados megtelepedését konstatáltuk az Ős-Marcalba tartó kis vízfolyás mindkét teraszán. A korábbi kutatások alkalmával elmaradt vizsgálatok miatt már a feltárás megkezdése előtt elhatároztuk, hogy nagy hangsúlyt fektetünk a környezetregészeti kérdésekre, ezért az első naptól szisztematikusan gyűjtöttük a kérdéskör későbbi tanulmányozásához szükséges alapanyagot. Ebből a célból – többek között – 145 db M30-as lánycsont talajminta szisztematikusan begyűjtése is megvalósult. Ezek egy része a hagyományosan „háznak” nevezett jelenségekben származik.

A lelőhely környezetregészeti feldolgozásának egyik alappillére az egyes kultúrák növényhasznosítási jellegzetességeinek megismerése. Ennek szellemében választottunk ki több késő vaskori kelta (La Tène), illetve római kori bennszülött félig földbemélyített épületobjektumot belső térhasználat-elemzés céljára (**1. ábra**). A cikkben tárgyalt objektumok részletes régészeti talajtani elemzését másutt közöltük (Pető et al. 2012).

Számos interdiszciplináris módszert alkalmaznak a régészet tudományán belül annak érdekében, hogy a lelőhelyen kívüli (pl.: gyűjtőkörzet elemzés (SCA = site catchment analysis, Roper 1979), lelőhelyen belüli, illetve objektumon belüli térhasználat egyes mintázata felderíthető, megérthető legyen (Vyncke et al. 2011). Az agrokémiai vonatkozású, de talajtanhoz kapcsolódó módszerek közül a legismertebb talán a foszfortartalom elemzés, amelynek fontosságára már az 1920-as években rámutatott Olaf Arrhenius (Arrhenius 1929). Az elmúlt közel egy évszázad során számos módszertani fejlesztés történt (Bethell & Máthé 1989; Holliday & Gartner 2007), amelyek nemcsak a régészeti talajtan témaköréből merítettek, hanem egyéb tudományok eszközeit is bevonták a térhasználat-elemzés vizsgálatkörébe. Az említett módszertani fejlesztésekkel párhuzamban megindult a lelőhelyen belül és objektumszinten megismert eloszlásmintázatok összekapcsolása az egyes emberi tevékenységekkel (Hutson et al. 2009; Knudson & Frink 2010).



1. ábra: Ménfőcsanak–Széles-földek lelőhely; a 127/5111 (távolabb) és a 129/4645 objektum helyzete a feltárási területen (2011 szeptember).

Fig. 1.: Ménfőcsanak–Széles-földek archaeological site in September 2011; archaeological feature 127/5111 is located further from the road (black arrow), whilst archaeological feature 129/4645 is situated closer to the road (black arrow).

A módszer és – az elsősorban kulturális antropológiai, valamint néprajzi párhuzamokra építő – recens ismeretek összekapcsolása további lökést adott a régészeti lelőhelyek tevékenységi területeinek térképezéséhez. A tevékenységi területek (v.ö.: *activity area* fogalma *in sensu* Kent 1984; Middleton & Price 1996) egyre precízebb lehatárolásának érdekében számos talajkémiai és -fizikai paraméter, valamint állati és növényi makro- és mikromaradvány precíz kiértékelését, feltérképezését (Abrahams et al. 2010; Holliday et al. 2010; López Varela & Dore 2010), valamint régészeti talaj-mikromorfológiai megközelítéseket (Kovács G. 2006, 2011; Milek 2006; Parma et al. 2011) is beemelték a térhasználat elemzés módszertani körébe.

A talajtani módszerekkel egy-egy tevékenység térbeli elhelyezkedésének „láthatatlan” lenyomatát fejthetjük meg. Ugyanakkor egy telep gazdasági életének, illetve az egyes objektumokban megvalósuló mindennapi tevékenységeknek a megismeréséhez az archaeobotanikai lelet- és ismeretanyagot keresztül juthatunk el (Jones 1941,

Jacomet & Kreuz 1999, Palmer & van der Veen 2002). Az a tény, hogy a makro-archaeobotanikai leletanyag térbeli eloszlása tudatos emberi cselekvések lehatárolására alkalmas, régóta ismert, ugyanakkor a mikro-archaeobotanikai maradványok azonos elvek szerinti felhasználását csak később kapcsolták be a térhasználat-elemzés tárgykörébe (Bryant & Weir 1986; Scott Cummings 1998; Sullivan & Kealhofer 2004).

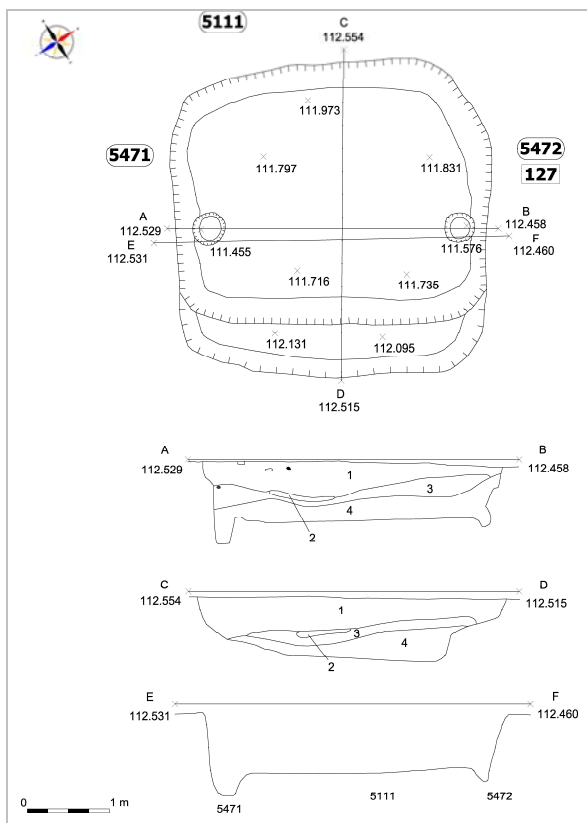
A fent említettek tükrében ez a dolgozat azt a módszertani „kísérletet” hivatott bemutatni, amelynek keretében kettő – közel azonos korú, mégis más kultúrkörhöz kapcsolható – objektum belső terének komplex archaeobotanikai vizsgálata megvalósult. A több szempontú archaeobotanikai feldolgozás, valamint a nagy mintaszámú precíziós mintavétel célja az volt, hogy egy adott régészeti jelenség funkcionalitását ne – illetve ne kizárólag – a leletanyag megismerésén keresztül ítéljük meg, hanem a vizsgált objektumok belső terében megmutatkozó és természettudományos módszerekkel kimutatható mintázatra és jelenség-együttesre alapozzuk.

Anyag és módszer

A vizsgálati anyag

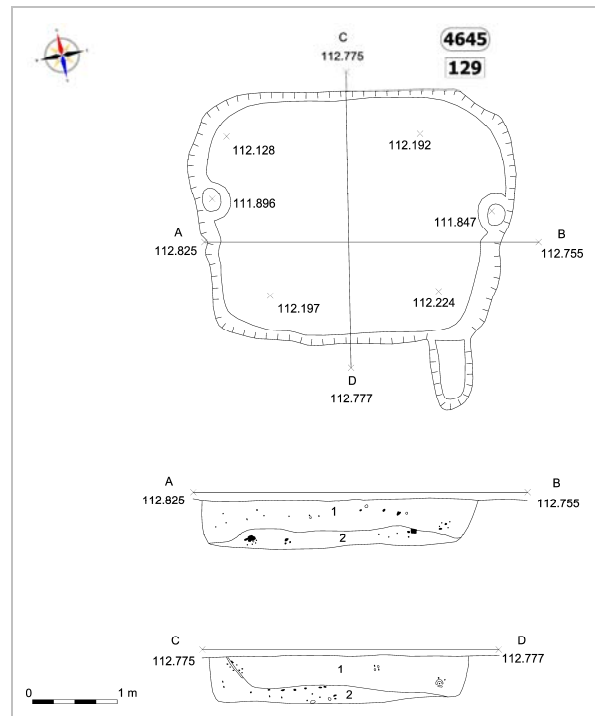
A lelőhelyen feltárt 127/5111-es római kori bennszülött és 129/4645-ös kelta korú objektumokból összesen 68 darab talajminta került begyűjtésre.

A 127/5111-es objektum, amelyet 2010. október 13-án és 21-én tártunk fel és mintáztunk meg, egy 386 cm x 375 cm alapterületű, nyugat-keleti tájolású, a kelta megtelepedéssel összefüggésbe hozható téglalap alakú régészeti jelenség, amelyből összesen 35 darab mintát vizsgáltunk be. Az objektum déli oldalán padka húzódik végig. Gödrének mélysége 20–75 cm között változik. Északkeleti és délnyugati oldala közepe táján egy-egy oszlophely volt, amelyek a tetőszerkezet függőleges fa tartóelemének adtak helyet (**2. ábra**). Az oszlophelyek alja a humuszolás tükörszintjétől 100, illetve 88 cm-t mélyedt le, azaz az objektum kibontott járószintjétől további 30–35 cm-t. Az épületobjektum betöltése 3–4 rétegű, de egykorú – megközelítőleg a Kr.e. III. század második felére



2. ábra: A 127/5111-es objektum rajza; 1) meszes, vörösesbarna homokos; 2) sárgászörös patics; 3) szürkésbarna, homokos humusz; 4) szürke homokkal kevert, fekete humusz.

Fig. 2.: Line drawing of archaeological feature 127/5111; 1) calcareous, reddish-brown sand; 2) yellowish-reddish daub; 3) dun, sandy humus; 4) black humus mixed with grey sand.

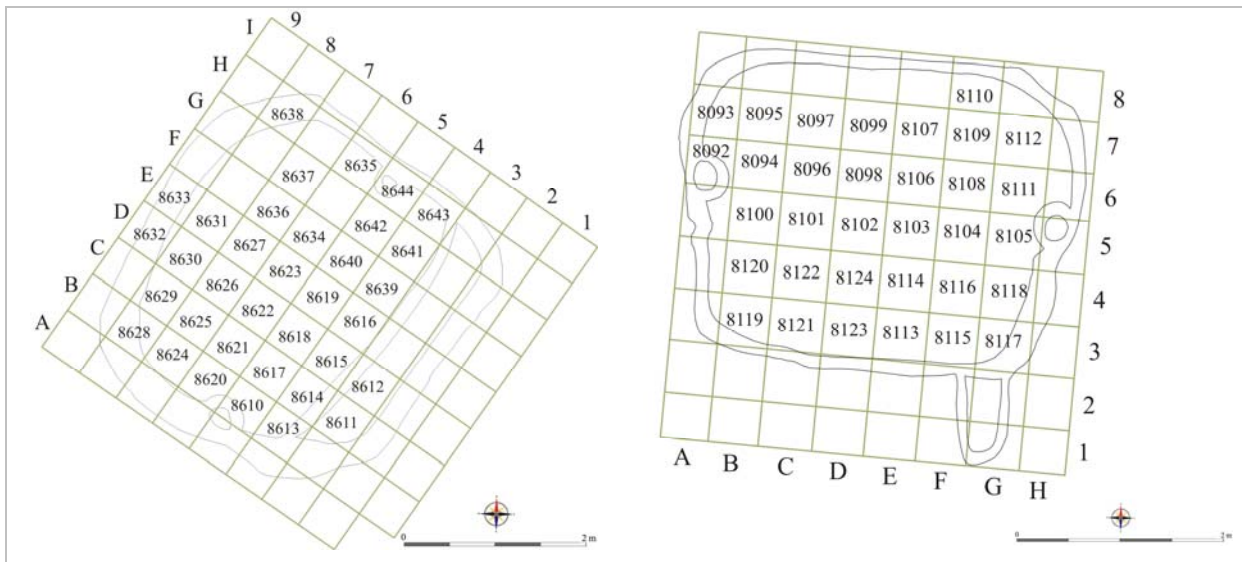


3. ábra: A 129/4645-ös objektum rajza; 1) sötétbarna, homokkal, paticcsal és faszénnel kevert agyagos humusz; 2) világosbarna, homokkal, faszénnel és paticcsal kevert agyagos humusz.

Fig. 3.: Line drawing of archaeological feature 129/4645; 1) clay-textured, dun humus material mixed with sand, daub and charcoal particles; 2) clay-textured light brown humus material mixed with sand, charcoal and daub.

tehető – rétegeiből a faszénmaradványos alsó réteget mintáztuk. Betöltéséből edénytöredékek és állatsontok kerültek kibontásra, meghatározásuk folyamatban van.

A 129/4645-ös objektum közel hasonló méretű, 380 x 310 cm felületű, délkelet-északnyugati tájolású, római kori épület, amelyből 33 darab mintát vontunk vizsgálat alá. 2010. szeptember 23–24-én tártuk fel és mintáztuk meg. Téglalap alakú objektum délkeleti sarkánál egy nyúlvány található, amely talán a bejárat maradványa. Gödrének mélysége 50–60 cm között változik. Keleti és nyugati oldala közepe táján egy-egy oszlophely volt, amelyek a tetőszerkezet függőleges fa tartóelemének adtak helyet (**3. ábra**). Az oszlophelyek alja a humuszolás tükörszintjétől 90, illetve 93 cm-t mélyedtek le, azaz az épületobjektum kibontott járószintjétől további 30–40 cm-t. Az objektum kétrétegű, de egykorú (Kr.u. I. század vége) rétegeiből a faszénmaradványos alsó réteget mintáztuk. Betöltéséből néhány kő, edénytöredékek, állatsontok és egy bronzveret kerültek kibontásra.



4. ábra: Mintavételi háló a mintaszámok és a kvadrátok feltüntetésével a (a) 127/5111-es és a (b) 129/4645-ös objektumon.

Fig. 4. Sampling net with the designated sample quadrats of archaeological features (a) 127/5111 and (b) 129/4645.

A mintavétel módszertana

A feltárt épület objektumok kipreparált felszínére 50 cm x 50 cm-es négyzethálót fektettünk és az egyes mintavételi kvadrátokat egy betű és egy szám kombinációjával jelöltük meg (4. ábra). Az így kialakuló négyzethálós felszínen (5. ábra) gyűjtöttünk mintát minden olyan kvadrátból, amelyben tetten érhető volt a járószint/betöltés anyaga. A begyűjtött talajanyagból a laboratóriumban almintákat képeztünk, amelyek mérete az adott vizsgálati módszer anyagigényéhez igazodott. Míg a fitolitelemzéshez viszonylag kis mennyiség is elég (ca. 5-10 gramm), addig a makrobotanikai feldolgozás nagyobb volumenű anyagot igényel, így igyekeztünk minél több anyagot megartani erre a célra.



5. ábra: Mintavételi háló kialakítása és mintavétel a feltárt objektumokból.

Fig. 5.: Setting up the sampling quadrats and sampling the feature.

Az ún. horizontális teljes mintavételi protokoll (total sampling) kialakítása azt a célt szolgálta ebben az esetben, hogy a teljes épületbelső térképszerűen részterületekre oszthatassuk, és az egyes térrészek között fennálló azonosságokat és hasonlóságokat megvizsgálhassuk. A mintázás során az azonos genetikájúnak tartott rétegeket nem vágtuk át, egy-egy objektumon belül az adott régészeti jelenségre jellemző réteget mintáztuk meg.

Az archaeobotanikai elemzés módszertana

A hazánkban is egyre nagyobb teret hódít az ún. integrált archaeobotanikai szemléletmód, amelynek lényege, hogy egy-egy lelőhelyről több, minőségében, tafonómiájában és értelmezésében is különböző, de az egykoron élt emberek mindennapjaihoz, táplálkozási szokásaihoz, illetve gazdálkodásuk jellemzőihez köthető növényi leletanyag együttes értelmezésével segíti a régészet tudományát. Ezen szemlélet alapján végeztünk makro-, illetve mikro-archaeobotanikai vizsgálatot a két épületobjektum mintáin. A mag- és termésmaradványok elemzéséhez (karpológia) az előkészítés során eltávolítottuk a mintákból a talajanyag iszap frakcióját. A visszamaradt szervesanyagot (kavics, patic, közettörmelék, kerámia- és paticstörödékek) és szerves alkotórészeket egy 1,5 mm-es és egy 0,5 mm-es lyukbőségű szitákból álló sorozaton válogattuk szét. Az utóbbi csoport maradványait mikroszkóp segítségével különböző egységekre válogattuk, majd elkülönítettük a tanulmány szempontjából fontos növényi eredetű elemeket, úgy mint: ételmaradványok, termések, magvak, valamint a *Gramineae* család szárai és virágzati részei. Az előkészítési és határozási folyamatok során DP25 digitális kamerával

felszerelt Olympus SZX7 mikroszkópot használtunk. A határozáshoz Schermann (1966), Radics (1998), Cappers et al. (2006) és Brecher (1960) munkáit, illetve egy, az összehasonlítás célját szolgáló recens mag/termés gyűjteményt hívtunk segítségül. A növényfajok tudományos elnevezése Király (2009) és Zohary et al. (2012) nomenklatúráját követi.

A növényi opálszemcséket az egyes kvadrátok talajanyagából egy több lépcsős szeparálási folyamatban tártuk fel, a talajmátrix agyag-, homok-, vályog- és szervesanyag-tartalmának elválasztásával. A vizsgálatokban használt labor protokollt Pearsall (2000) nyomán módosítva alkalmaztuk.

Az egyes mintákban megfigyelt artikulált növényi opálszemcséket az ICPN (International Code for Phytolith Nomenclature 1.0) által javasolt 3 tagú nomenklatúráját használva neveztük el. Rögzítettük az adott fitolit formáját, textúráját és amennyiben lehetőség adódott növényanatómiai származását (Madella et al. 2005). A növényi opálszemcsék leszámolását – az egyes kvadrátok mintáinak összehasonlíthatósága végett – $200 \pm 10\%$ meghatározható opálszemcsé megfigyeléséig végeztük. Az objektumokból felvett mintákból feltárt növényi opálszemcsék meghatározásában a növényanatómiai, illetve taxonómiai megközelítési mód bizonyult sikeresnek.

Adatfeldolgozás

Šoštarić & Küster (2001) alapján a makro-archaeobotanikai alapadatokból az alábbi növénymaradvány-csoportokat képeztük:

- I. gabonák,
- II. hüvelyesek,
- III. szántóföldi gyomok,
- IV. gyűjtögetett növényi maradványok,
- V. ételmaradványok,
- VI. természetes vegetáció fajai.

Az egyes kvadrátokra számított százalékos eloszlásokat keretmátrixba vittük fel, amely alapján megrajzoltuk az objektumok járófelszínének makro-archaeobotanikai eloszlási térképét. Ezenkívül, az egyes objektumok növénymaradvány-csoport adatait összevontan és a csoport elemeire lebontva is megadtuk. A maradványok eloszlásának horizontális ábrázolását Microsoft Excel és PAST programcsomag segítségével valósítottuk meg (Hammer et al. 2001). Az egyes objektumok fitolitvizsgálati eredményeit a mintákra vetített eloszlási értékekkel alapgrafikonokba rendezve adtuk meg. Ezenkívül, a növényi opálszemcsék esetében is összevontan – funkcionális csoportokban – kezeltük az egyes morfortípusokat. Egy adott funkcionális csoportba az azonos növényanatómiai származású

morfortípusok kerültek. Ezek alól kivételt képeznek a kiemelt jelentőséggel bíró morfortípusok, mint például a gabonákat indikáló elongate dendritic LC morfortípus. Az adatokat mintáenként és morfortípusonként rögzítettük, belőlük abszolút és százalékos értékeket tartalmazó eredménymátrixot készítettünk, amelyet C2 paleoökológia adatfeldolgozó és statisztikai szoftverrel (Juggins 2007) dolgoztunk fel. Mindkét objektum esetében megadtuk a mintasorozatban mért morfortípusok eloszlásának leíró statisztikáját.

Eredmények

A makro-archaeobotanikai vizsgálat tételes eredményei

A 68 mintából összesen 732 darab, szenült növényi eredetű maradványt tártunk fel és határoztunk meg. Az 127/5111-es objektum 159 darab szenült növényi maradványának közel 70%-át adták a gabonák, amelyet csökkenő részarány szerint a szántóföldi gyomok kategóriája követ 17,61%-kal (**1. táblázat**). A 129/4645-ös objektum vizsgálata valamivel több, mint 3,5-szer annyi növényi maradványt eredményezett, mint a 127/5111-es objektumé. Az arányokat tekintve hasonlóak az eredmények, hiszen itt is a gabonák teszik ki a vizsgálati anyag közel háromnegyedét, amelyet másodikként az ételmaradványok magas részaránya követ, és a szántóföldi gyomok csak igen kis részarányban vannak jelen (**1. táblázat**).

1. táblázat: A 127/5111-es és a 129/4645-ös objektum makro-archaeobotanikai vizsgálatának összesítő táblázata

Table 1.: Summary of the macro-archaeobotanical record of features 127/5111 and 129/4645

	Növénymaradvány-csoportok	127/5111		129/4645	
		n	%	n	%
I.	gabonák	110	69,2	408	71,2
II.	hüvelyesek	4	2,52	2	0,35
III.	szántóföldi gyomok	28	17,61	42	7,33
IV.	gyűjtögetett növényi maradványok	7	4,40	0	0,00
V.	ételmaradványok	4	2,52	118	20,6
VI.	természetes vegetáció fajai	6	3,77	3	0,52
		159	100	575	100

Gabonák

Az 127/5111-es objektum mintáiban 110 szenült növényi maradvány kapcsolható a gabonák jelenlétéhez. A 85, faj- vagy nemzetség szinten meg nem határozható gabonaszem töredék mellett 7 fajt és egy genust különítettünk el (**2. táblázat**). A helyi cséplésre általában a különböző virágzati (villa, pelyvalevél, toklász, kalászorsó tag) részek maradványai utalnak egy mintában.

2. táblázat: A 127/5111-es objektum makro-archaeobotanikai anyagában meghatározott gabonamaradványok eloszlása**Table 2.:** Cereal distribution in the archaeobotanical record of feature 127/5111

Növényi maradvány taxonómiai besorolása	Maradvány jellege	Öko-csoport	n	%
<i>cerealia</i>	szemtöredék, scutellum töredék, villa töredék	diverz	85	77,27
<i>Hordeum vulgare</i> L.	pelyvás szemtermés	9.1	4	3,64
<i>Hordeum vulgare</i> L. subsp. <i>distichum</i> Zoh. var. <i>nudum</i>	csupasz szemtermés	9.1	1	0,91
<i>Panicum miliaceum</i> L.	csupasz szemtermés	9.1	5	4,55
<i>Triticum aestivum</i> L. subsp. <i>compactum</i> (Host.) MacKey	csupasz szemtermés	9.1	1	0,91
<i>Triticum aestivum</i> L. subsp. <i>spelta</i> (L.) Thell.	csupasz szemtermés	9.1	1	0,91
<i>Triticum monococcum</i> L.	villa	9.1	2	1,82
<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>dicoccum</i> (Scranks) Thell.	csupasz szemtermés, villa	9.1	9	8,18
<i>Triticum</i> sp.	csupasz szemtermés	9.1	2	1,82
			110	100

* 9.1 = kultúrnövény (Jacomet et al. 1989 és Gyulai 2001 nyomán)

3. táblázat: A 129/4645-es objektum makro-archaeobotanikai anyagában meghatározott gabonamaradványok eloszlása**Table 3.:** Cereal distribution in the archaeobotanical record of feature 129/4645

Növényi maradvány taxonómiai besorolása	Maradvány jellege	Öko-csoport	n	%
<i>cerealia</i>	szemtöredék	diverz	266	64,88
<i>Hordeum vulgare</i> L.	pelyvás szemtermés	9.1	53	12,93
<i>Hordeum vulgare</i> L. subsp. <i>distichum</i> Zoh. var. <i>nudum</i>	csupasz szemtermés	9.1	1	0,24
<i>Panicum miliaceum</i> L.	csupasz szemtermés	9.1	35	8,54
<i>Triticum aestivum</i> L. subsp. <i>compactum</i> (Host.) MacKey	csupasz szemtermés	9.1	2	0,49
<i>Triticum aestivum</i> L. subsp. <i>spelta</i> (L.) Thell.	csupasz szemtermés	9.1	11	2,68
<i>Triticum aestivum</i> L. subsp. <i>vulgare</i> (Vill.) MacKey	szemtermés	9.1	11	2,68
<i>Triticum monococcum</i> L.	csupasz szemtermés, villa	9.1	3	0,73
<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>dicoccum</i> (Scranks) Thell.	csupasz szemtermés	9.1	27	6,59
<i>Triticum</i> sp.	csupasz szemtermés	9.1	1	0,24
			410	100

* 9.1 = kultúrnövény (Jacomet et al. 1989 és Gyulai 2001 nyomán)

Az alakor (*Triticum monococcum* L.) és a tönke (*Triticum turgidum* L. subsp. *dicoccum* (Schrank) Thell.) villája kis számban jelentkezett a mintákban, ugyanakkor ezek nem jelölik ki egyértelműen a cséplés helyszínét.

A 129/4645-ös objektum mintáiban jóval magasabb maradványszámot mértünk ($n_{129/4645} = 408$). A

közelebről meg nem határozható szentült szemtöredékek száma 266, amely az objektum gabonamaradványainak valamivel több mint 65%-át adja. Emellett hét fajt tudunk azonosítani, amelyek közül – hasonlóan a 127/5111-es objektumhoz – a kölesé (*Panicum miliaceum* L.) a legmagasabb részarány (8,54%) (**3. táblázat**). Minden maradvány szentült állapotban került elő.

4. táblázat: A vizsgálatba vont házak mintáiban meghatározott hüvelyes növények adatai**Table 4.:** Archaeobotanical data of leguminous plants found in the examined samples of both archaeological features

Növényi maradvány taxonómiai besorolása	Maradvány jellege	Öko-csoport	n	%
127/5111-es objektum				
<i>Vicia angustifolia</i> L.	magtöredék	9.3	1	25
<i>Vicia sativa</i> L.	mag	9.1	3	75
			4	100
129/4645-ös objektum				
<i>Lens culinaris</i> Medic. subsp. <i>microsperma</i> Bar.	mag	9.1	1	50
<i>Vicia sativa</i> L.	mag	9.1	1	50
			2	100

* 9.1 = kultúrnövény; 9.3 = őszi gabonagyom (Jacomet et al. 1989 és Gyulai 2001 nyomán)

5. táblázat: A vizsgálatba vont házak mintáiban meghatározott gyomfajok maradványainak adatai**Table 5.:** Archaeobotanical data of weed species found in the examined samples of both archaeological features

Növényi maradvány taxonómiai besorolása	Maradvány jellege	Öko-csoport	n	%
127/5111-es objektum				
<i>Brassica</i> sp.	magtöredék	diverz	1	3,57
<i>Chenopodium album</i> L.	mag	10.2/9.2/9.3	18	64,29
<i>Chenopodium hybridum</i> L.	mag	9.2/9.3	1	3,57
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	mag	9.3	1	3,57
<i>Galium spurium</i> L.	félkaszat	9.3	2	7,14
<i>Polygonum aviculare</i> L. agg.	makk lepellel törredéssel	10.2	4	14,29
<i>Veronica hederifolia</i> L.	termés	6/9.3	1	3,57
			28	100
129/4645-ös objektum				
<i>Avena fatua</i> L.	szemtermés töredék	9.3/9.2	1	2,38
<i>Chenopodium album</i> L.	mag	10.2/9.2/9.3	36	85,72
<i>Chenopodium hybridum</i> L.	mag	9.2/9.3	4	9,52
<i>Setaria viridis</i> (L.) PB./ <i>verticillata</i> (L.) R. et Sch.	csupasz szemtermés	9.2/9.3	1	2,38
			42	100

* 6 = árnyékos erdő; 9.1 = kultúrnövény; 9.2 = tavaszi gabonagyom; 9.3 = őszi gabonagyom; 10.2 = átlagos termőhelyű ruderalia (Jacomet et al. 1989 és Gyulai 2001 nyomán)

Hüvelyesek

A két objektum mintáiból mindösszesen hat darab, a hüvelyesek rendjéhez (*Fabales*) tartozó növényi maradvány került elő. A 127/5111-es objektumból a keskenylevelű (*Vicia angustifolia* L.) és a takarmánybükköny (*Vicia sativa* L.) magjai, illetve magtöredékei kerültek elő, míg a 129/4645-ös objektum mintáiban az emberi fogyasztásra is alkalmas főzeléknövény, a kismagvú lencse (*Lens culinaris* Medic. subsp. *microsperma* Bar.) magját is megtaláltuk (**4. táblázat**). A Kárpát-medencében a kora neolitikumtól megjelenő bükkönyöket (Gyulai 2001, 2010) elsősorban zöldtakarmányként termesztették. Egyes nézetek szerint a gabonákkal vegyesen vetve a bükköny megtámasztja a gabonák szárát, elősegítve ezzel a gabonatermesztés sikerességét.

Szántóföldi gyomok

A szántóföldi gyomok közül egyértelműen a fehér libatop (*Chenopodium album* L.) dominál mindkét objektum gyom szortimentjében.

A többi faj is elsősorban őszi gabonagyom, mint például a 127/5111-es objektumból előkerült vetési

galaj (*Galium spurium* L.), illetve az apró szulák (*Convolvulus arvensis* L.). Tavaszai vetésű kapás kultúrák gyomfaja a pokolvar libatop (*Chenopodium hybridum* L.), amely mindkét objektumban előfordult. Összességében e fajok minden típusú kultúrában megjelenhetnek, amennyiben a kedvező életfeltételeiket megtalálják, de túlnyomó többségben teljesen közönséges európai flóraelemekről van szó. További előkerült gyomok még a borostyánlevelű veronika (*Veronica hederifolia* L.), a madárkeserűfű (*Polygonum aviculare* L.), a hélazab (*Avena fatua* L.), illetve a zöldragadós muhar (*Setaria viridis* (L.) PB./ *verticillata* (L.) R. et Sch.) (**5. táblázat**).

Gyűjtögetett növények

Gyűjtögetett gyümölcsökre utaló maradványok csak a 127/5111-es objektumból kerültek elő. A gyűjtögetett növények és a természetes vegetációt megjelenítő kategóriák átfednek. Szétválasztásukat a potenciálisan ehető és nem ehető terméseket, gyümölcsöket létrehozó növényfajok leválogatásával valósítottuk meg (vö.: **6. és 8. táblázat**).

6. táblázat: A 127/5111-es objektum mintáiban meghatározott, gyűjtögetett növényi maradványok adatai

Table 6.: Archaeobotanical data of gathered plant species of archaeological feature 127/5111

Növényi maradvány taxonómiai besorolása	Maradvány jellege	Öko-csoport	n	%
127/5111-es objektum				
<i>Corylus avellana</i> L.	makktöredék	5	1	14,29
<i>Fragaria vesca</i> L.	aszmag	7.1	1	14,29
<i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.	mag	4.2	2	28,57
<i>Prunus spinosa</i> L.	csontár	7.2	2	28,57
<i>Sambucus nigra</i> L.	mag	10.2/7.1	1	14,29
			7	100

* 5 = világos keverékerdő; 4.2 = ligeterdő/száraz erdő; 7.1 = erdőirtás, cserjés; 7.2 = erdőszéli társulás (átlagos termőhely); 10.2 = átlagos termőhelyű ruderália (Jacomet et al. 1989 és Gyulai 2001 nyomán)

Az objektum mintáinak makro-archaeobotanikai anyaga felveti annak lehetőségét, hogy a gyűjtögetett gyümölcsök fogyasztása jellemző lehetett a telepen. A fogyasztható termésű fajok maradványainak alacsony száma (**6. táblázat**) ugyanakkor nem teszi lehetővé annak kijelentését, hogy készletezték volna őket.

Ételmaradványok

Az objektumok mintáiból – a késztermék morfológiáját és elkészítési technológiáját tekintve

– több típusú ételmaradvány került elő: kenyér, kelesztett kenyér, sütemény, kása, köleses kása (**7. táblázat**). A két objektum közel azonos mennyiségű vizsgálati anyagából eltérő mennyiségben kerültek elő ételmaradványok. Amíg a 127/5111-es objektum mintáiból csupán 4 darab, addig a 129/4645-ös objektumból 118 db ételmaradványt határoztunk meg. Az utóbbi objektumban a kása típusú ételmaradványok dominálnak, amelyek együttesen vizsgálati anyag 94,07%-át adják (**7. táblázat**).

7. táblázat: A vizsgálatba vont mintákban meghatározott ételmaradványok adatai

Table 7.: Data of food remains found in the examined samples of both archaeological features

Maradvány jellege		n	%
127/5111-es objektum			
ételmaradvány	kenyér	1	25
	kelesztett kenyér	1	25
	kása/sütemény	1	25
	kása kölessel	1	25
		4	100
129/4645-ös objektum			
ételmaradvány	kenyér	7	5,93
	kása	28	23,73
	kása/kenyér	22	18,64
	kása/sütemény	61	51,69
		118	100

A természetes vegetáció fajai

Az objektumok vizsgálati anyagában több olyan fajt is sikerült detektálni, amelyeket az egykori természetes növénytakaró elemeiként azonosíthatunk. A meghatározott fajok egyaránt

megjelenítenek fás szárúak által dominált, illetve nyílt élőhelyeket, társulásokat. A természetes vegetáció fajai, illetve a táplálkozás céljából gyűjtögetett fajok adatai átfedést mutatnak (**6. táblázat**), hiszen a lelőhely egykori környezetében előforduló fajok ehétő gyümölcsöket és terméseket érlelnek, így megtalálásuk egyaránt mutatja előfordulásukat a lelőhely környezetében és utal közvetetten a telep lakóinak táplálkozási szokásaira. Ide sorolhatjuk a mogyorót (*Corylus avellana* L.), a kökényt (*Prunus spinosa* L.), a vadalmát (*Malus sylvestris* (L.) Mill.). A szamáca (*Fragaria vesca* L.) erdőtalajokon él, míg a fekete bodza (*Sambucus nigra* L.) és a fekete csucor (*Solanum nigrum* L.) a cserjés erdőszéli társulások fajai. Mindhárom faj előnyben részesíti a nitrogénben gazdag, tápanyagban dús termőhelyeket, ugyanakkor a csucor a szántóföldeken és azok szegélyében is előfordulhat. A természetes vegetációt megjelenítő fajok közül 5 a pillangósvirágúak családjába (*Leguminosae*) tartozik (*Medicago lupulina* L., *Medicago minima* (L.) L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Melilotus dentatus* (W. et K.) Pers., *Trifolium arvense* L.). Közös tulajdonságuk, hogy valamennyien a fátlan vegetáció, így elsősorban gyepek, legelők, kaszálók fajai. A komlós lucerna (*Medicago lupulina* L.) hazánkban mindenféle talajon közönséges fajnak tekinthető. Üde, vagy nedves réteken, legelőkön, szikeseken, parlagokon, utak mentén, kertekben, gyümölcsösökben és szántóföldeken egyaránt megjelenik, de csak ez utóbbi helyeken tekinthető gyomnak.

8. táblázat: A vizsgálatba vont mintákban meghatározott, a természetes vegetációt megjelenítő növényi maradványok adatai

Table 8.: Archaeobotanical data of species of the natural vegetation in the examined samples of both archaeological features

Növényi maradvány taxonómiai besorolása	Maradvány jellege	Ökocsoport	n	%
127/5111-es objektum				
<i>Malva sylvestris</i> L.	magtöredék	10.3/9.2	1	16,67
<i>Medicago lupulina</i> L.	magtöredék	8.2	2	33,33
<i>Medicago minima</i> (L.) L.	mag	8.3	1	16,67
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	mag	9.3/8.2	1	16,67
<i>Solanum nigrum</i> L.	mag	7.1/9.2	1	16,67
			6	100
129/4645-ös objektum				
<i>Medicago lupulina</i> L.	magtöredék	8.2	1	33,33
<i>Melilotus dentatus</i> (W. et K.) Pers.	mag	8.1	1	33,33
<i>Trifolium arvense</i> L.	mag	9.3	1	33,33
			3	100

* 7.1 = erdőirtás, cserjés; 8.1 = rét/legelő (nedves termőhely); 8.2 = rét/legelő (átlagos termőhely); 9.2 = tavaszi (kapás) gyom; 9.3 = őszi gabonagyom; 10.3 = száraz termőhelyű ruderalia (Jacomet et al. 1989 és Gyulai 2001 nyomán)

A tarlóhere (*Trifolium arvense* L.) pedig gyakran a gabonák betakarítása után, a tarlón megjelenő növény, de parlagokon, legelőkön egyaránt előfordul. Mindkét épületobjektum esetében rendkívül alacsony értékeket mértünk (**8. táblázat**).

Egyéb maradványok

A makro-archaeobotanikai elemzés során különválasztottuk a flotálással kinyert nem növényi maradványokat (csiga- és kagylóhéj, csontszilánk és pikkely, grafit), illetve a mikroszkopikus faszénzemcséket is. Az egyes minták átvizsgálásakor jelöltük jelenlétüket a mintában. Az objektumokra vetítve pedig a pozitív eredményt adó minták számát adtuk meg a teljes mintaszám ellenében (ún. ubiquity érték) (**9. táblázat**). Tehát a tört szám azt mutatja, hogy az adott vizsgálati objektum mintakvadrátjai közül hányban találtuk meg az adott maradványt.

9. táblázat: A makro-archaeobotanikai vizsgálat során előkerült nem növényi maradványok és meg nem határozható faszéntöredékek előfordulási gyakorisága

Table 9.: Frequency of non-vegetal and charcoal remains in the examined samples of both archaeological features

Maradvány jellege	127/5111	129/4645
faszéntöredék	23/35	22/33
csiga/kagyló héjtöredék	25/35	22/33
csontszilánk/pikkelytöredék	25/35	22/33
grafitszemcse	16/35	0/33

A mikro-archaeobotanikai (fitolit) vizsgálat tételes eredményei

A 127/5111-es objektum fitolitvizsgálati eredményei

A 127/5111-es objektum mintáiban összesen 6458 darab növényi opálszemcsét, 98 darab – eltérő méretű és megtartású – elkovásodott szövetmaradványt, 74 szivacsüstüske töredéket, illetve 48 darab – töredezett és épségben megmaradt – kovamoszat vázat írtunk le. A 35 megvizsgált mintából 4 mintát tekintettünk sterilnek (8617, 8641, 8642, 8643). Ezekben többszöri átszámolással sem tudtunk 50 növényi opálszemcsénél többet meghatározni, így ez a 4 minta nem képezi részét a statisztikai elemzésnek. A 6458 darab növényi opálszemcse összesen 23 különböző morfortípusra oszlik, amelyek között epidermális rövid sejtek, idioblaszt sejtek, epidermális hosszú sejtek, trichómák, illetve egyéb

nem bőrszöveti képletek, valamint a kétszikűeket megjelenítő szöveti elkovásodás található (**6. ábra**). A mintákat három morfortípus, a rondel SC, az elongate smooth psilate LC, valamint az elongate dendritic LC dominálta (**10. táblázat**). Az elongate smooth psilate LC általános pázsitfű (*Gramineae*) indikátor, amely sejtforma elsődlegesen a pázsitfűvek szár- és levélepidermiszében képződik. Ezzel ellentétben az elongate dendritic LC morfortípus a gabonák toklásának (*lemma*) és pelyvalevelének (*gluma*) indikátora. A rondel SC egyszerre jeleníti meg a pázsitfűvek generatív és vegetatív szerveinek epidermiszét. Ugyanakkor rendkívül magas részaránya az egyes mintákon belül – kitüntetetten pedig az a jelenség, hogy több mintában a rondel SC: elongate smooth psilate LC aránya meghaladja az 1-et (**6. ábra**) – annak indikátora, hogy a vizsgálati ponton megtalálható rondel SC morfortípusok virágzati képletek megjelenítői is egyben. A rondel SC maximumát – 48,72%-ot – a 8620-as mintakvadrátban mértük. A legmagasabb elongate dendritic LC részaránya a 8616-os mintakvadrátban mutatkozott. A 23 morfortípusból csupán kettő – a rondel SC és az elongate smooth psilate LC – fordult elő minden nem steril mintában. Összesen 17 mintában sikerült artikulált, tehát nem önmagában álló, hanem szöveti rendben elkovásodott növényi maradványt megfigyelni (**10. táblázat**), amelyek a pázsitfűvek helyszíni felhalmozásának jelei. A pázsitfűvek indikátorai mellett a kétszikűek családját (*Dicotyledonopsida*) megjelenítő egyetlen morfortípus az ún. irregular scrobiculate plate, amely összesen 6 mintából került elő, 5,61%-os maximumot mutatva a 8640-es mintakvadrátban. A nem növényi szilikátos indikátorok közül a szivacsüstükék összesen 25 mintából kerültek elő. A legnagyobb egyedszámot a 8618-as mintakvadrátban érte el, amely egyezést mutat a diatóma vázak megjelenésével is, amelyből ugyanebben a mintakvadrátban mértük a legmagasabb egyedszámot (**10. táblázat**).

A 129/4645-ös objektum fitolitvizsgálati eredményei

A 129/4645-ös objektum 33 mintájában összesen 26 morfortípuson belül 6500 darab növényi opálszemcsét határoztunk meg. Ezen túlmenően 13 elkovásodott szövetmaradvány, 20 darab szivacsüstüske és 10 darab kovamoszat váz került szem elé. A vizsgálati anyagból mindösszesen három mintát értékeltünk sterilnek. Ebben a 3 mintában többszöri átszámolásra sem tudtunk megfelelő mennyiségű növényi opálszemcsét megfigyelni, éppen ezért ezek nem képezik a statisztikai feldolgozás részét.

10. táblázat: A 127/5111-es objektum mintáin végzett fitolitelemzés leíró statisztikája**Table 10.:** Descriptive statistics of the phytolith analysis conducted on the samples of archaeological feature 127/5111

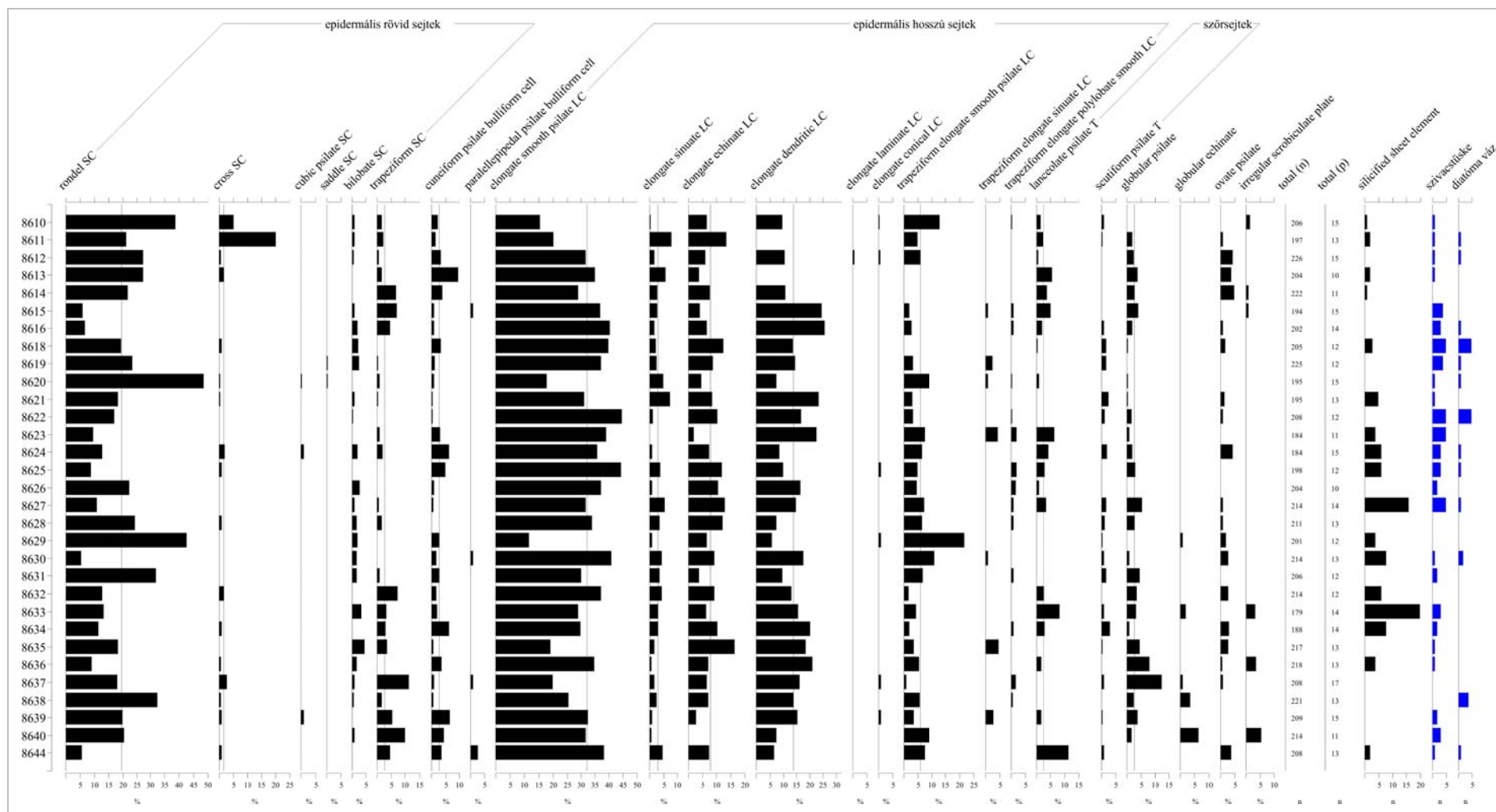
Diszartikulált növényi sejtmaradványok (%-ra vetítve)							
Morfotípus	n	n nem-zéró	Min.	Max.	Átlag	Középérték	Szórás
rondel SC	31	31	5,61	48,72	19,73	18,46	10,73
cross SC	31	17	0,00	20,30	1,43	0,51	3,62
cubic psilate SC	31	3	0,00	1,09	0,08	0,00	0,26
saddle SC	31	2	0,00	0,51	0,03	0,00	0,12
bilobate SC	31	22	0,00	4,61	1,25	0,97	1,15
trapeziform SC	31	24	0,00	11,54	2,82	1,90	3,09
cuneiform psilate bulliform cell	31	30	0,00	9,80	2,80	2,23	2,24
paralellepipedal psilate bulliform cell	31	4	0,00	2,88	0,19	0,00	0,57
elongate smooth psilate LC	31	31	11,94	44,71	31,80	32,54	8,33
elongate sinuate LC	31	30	0,00	8,12	3,03	2,71	2,03
elongate echinate LC	31	30	0,00	16,59	8,02	7,61	3,64
elongate dendritic LC	31	29	0,00	25,74	13,58	14,03	6,48
elongate laminate LC	31	1	0,00	0,88	0,03	0,00	0,16
elongate conical LC	31	6	0,00	1,01	0,17	0,00	0,36
trapeziform elongate smooth psilate LC	31	28	0,00	21,89	5,55	5,05	4,33
trapeziform elongate sinuate LC	31	7	0,00	4,61	0,56	0,00	1,25
trapeziform elongate polylobate smooth LC	31	14	0,00	2,17	0,53	0,00	0,70
lanceolate psilate T	31	20	0,00	11,54	2,31	1,46	2,78
scutiform psilate T	31	19	0,00	3,19	0,85	0,51	0,89
globular psilate	31	26	0,00	12,50	2,70	2,17	2,62
globular echinate	31	5	0,00	6,54	0,46	0,00	1,35
ovate psilate	31	19	0,00	10,00	1,62	0,96	2,10
irregular scrobiculate plate	31	6	0,00	5,61	0,52	0,00	1,29
Artikulált növényi sejtmaradványok (abszolútértékre vetítve)							
silicified sheet element	31	17	0,00	20,00	3,16	1,00	4,68
Egyéb szilikátos maradványok (abszolútértékre vetítve)							
szivacsüstüske	31	25	0,00	10,00	2,32	1,00	2,44
diatóma váz	31	13	0,00	27,00	1,52	0,00	4,79

Hasonlóan a másik vizsgálati objektumhoz, ennek az esetben is előkerültek epidermális rövid sejtek, idioblaszt sejtek, epidermális hosszú sejtek, trichómák, illetve egyéb nem bőrszöveti képletek, valamint a kétszikűeket megjelenítő szöveti elkövődások is (7. ábra). Arányaiban eltérő

módon, de lényegét tekintve hasonló morfortípus-dominancia rajzolódik ki a 129/4645-ös objektum fitolitvizsgálati anyagában is, így a rondel SC, az elongate smooth psilate LC és az elongate dendritic LC morfortípus együttesen a diszartikulált növényi opálszemcsék 73,14%-át teszik ki.

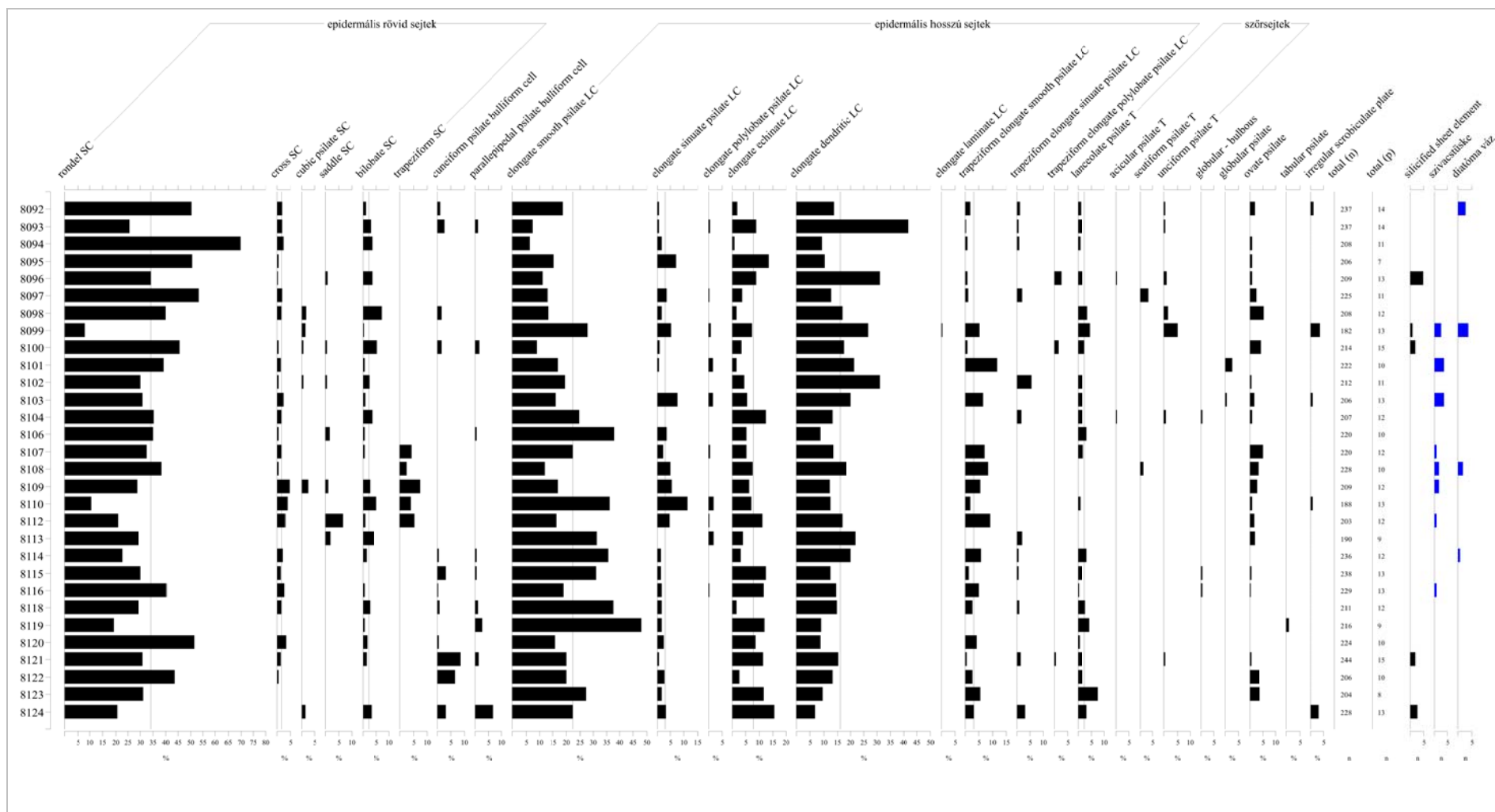
11. táblázat: A 129/4645-ös objektum mintáin végzett fitolitelemzés leíró statisztikája**Table 11.:** Descriptive statistics of the phytolith analysis conducted on the samples of archaeological feature 129/4645

Diszartikulált növényi sejtmaradványok (%-ra vetítve)							
Morfotípus	n	n nem-zéró	Min.	Max.	Átlag	Középérték	Szórás
rondel SC	30	30	8,24	70,19	34,51	32,05	12,93
cross SC	30	25	0,00	5,74	1,79	1,81	1,35
cubic psilate SC	30	6	0,00	2,87	0,34	0,00	0,73
saddle SC	30	7	0,00	6,90	0,50	0,00	1,32
bilobate SC	30	24	0,00	7,69	2,11	1,45	1,94
trapeziform SC	30	5	0,00	7,66	0,82	0,00	1,95
cuneiform psilate bulliform cell	30	12	0,00	9,02	1,13	0,00	2,11
parallepipedal psilate bulliform cell	30	9	0,00	7,02	0,62	0,00	1,38
elongate smooth psilate LC	30	30	6,73	48,15	21,90	19,51	10,00
elongate sinuate psilate LC	30	26	0,00	11,70	2,86	1,92	2,65
elongate polylobate psilate LC	30	10	0,00	2,13	0,41	0,00	0,69
elongate echinate LC	30	30	0,96	15,79	7,28	7,07	4,14
elongate dendritic LC	30	30	7,02	42,19	16,73	14,39	7,67
elongate laminate LC	30	1	0,00	0,55	0,02	0,00	0,10
trapeziform elongate smooth psilate LC	30	23	0,00	11,71	3,24	2,12	3,22
trapeziform elongate sinuate psilate LC	30	12	0,00	5,66	0,76	0,00	1,27
trapeziform elongate polylobate psilate LC	30	3	0,00	2,87	0,19	0,00	0,62
lanceolate psilate T	30	23	0,00	7,84	1,97	1,79	1,79
acicular psilate T	30	2	0,00	0,48	0,03	0,00	0,12
scutiform psilate T	30	2	0,00	3,56	0,18	0,00	0,70
unciform psilate T	30	7	0,00	5,49	0,41	0,00	1,06
globular bulbous	30	3	0,00	0,97	0,09	0,00	0,27
globular psilate	30	2	0,00	2,70	0,12	0,00	0,51
ovate psilate	30	21	0,00	5,77	1,63	0,96	1,71
tabular psilate	30	1	0,00	0,93	0,03	0,00	0,17
irregular scrobiculate plate	30	5	0,00	3,85	0,36	0,00	0,95
Artikulált növényi sejtmaradványok (abszolútértékre vetítve)							
silicified sheet element	30	5	0,00	5,00	0,43	0,00	1,12
Egyéb szilikátos maradványok (abszolútértékre vetítve)							
szivacsüstüske	30	8	0,00	4,00	0,60	0,00	1,17
diatóma váz	30	4	0,00	4,00	0,33	0,00	0,94



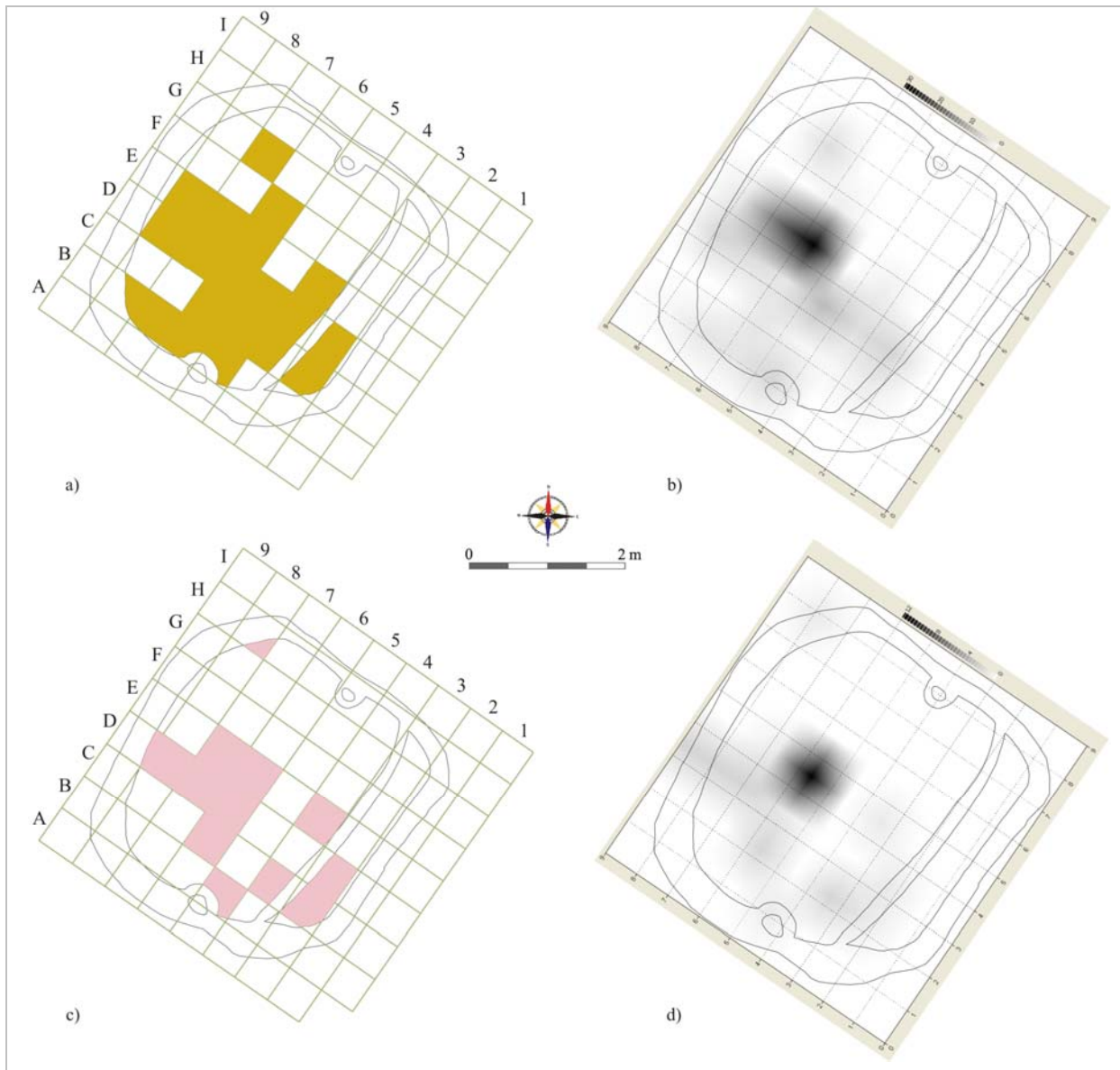
6. ábra: A 127/5111-es objektum mintáiban mért fitolitmorfológiatípus-eloszlás

Fig. 6.: Phytolith morphotype frequencies in the samples of archaeological feature 127/5111



7. ábra: A 129/4645-ös objektum mintáiban mért fitolitmorfológia-típus-eloszlás.

Fig. 7.: Phytolith morphotype frequencies in the samples of archaeological feature 129/4645.



8. ábra: A 127/5111-es objektum növénymaradványainak megjelenése és eloszlása; a) gabonamaradványok megjelenése, b) gabonamaradványok sűrűségi térképe, c) szántóföldi gyomok maradványainak megjelenése, d) szántóföldi gyomok sűrűségi térképe.

Fig. 8.: Distribution and density of archaeobotanical remains in feature 127/5111; a) appearance of cereals; b) density of cereals; c) appearance of weed species; d) density of weed species.

Érdekes megfigyelés, hogy a rondel SC maximuma több mintavételi kvadrátban is meghaladja az 50%-ot, és a 8094-es kvadrátban 70,19%-os mintán belüli részarányal adja a maximumát az objektumon belül (**11. táblázat, 7. ábra**). A pázsitfűvek szárának és levélének bőrszöveti képleteként értékelhető elongate smooth psilate LC 48,15%-os fajlagos részarányal a 8119-es kvadrátban éri el maximumát, míg a gabonák jelenlétével összefüggésbe hozható elongate dendritic LC ezt megközelítő 42,19%-os mintán belüli részarányt ért el a 8093-as kvadráton belül (**11. táblázat**). Ellentétben a 127/5111-es objektumban tapasztaltakkal, itt magasabb a minden, nem steril kvadrátban előforduló morfortípusok száma. Ezek a rondel SC, elongate

smooth psilate LC, elongate echinate LC és az elongate dendritic LC (**11. táblázat**).

Ezek közül kiemelten kell kezelni a gabonák indikátorát, illetve azt a megfigyelt jelenséget, hogy a tárgyalt objektum minden egyes megmintázott és növényi anyagtól nem mentes – azaz nem fitolitsteril – mintavételi kvadrátjából előkerültek ezek a morfortípusok. A pázsitfűvek indikátorai mellett a kétszikűek családját (*Dicotyledonopsida*) megjelenítő morfortípusok az irregular scrobiculate plate, illetve a tabular psilate elnevezésű morfortípusok, amelyek több mintavételi négyzetből is előkerültek. Az előbbi 5 kvadrátból 3,85%-os maximummal, az utóbbi csupán egy mintavételi négyzetből 0,93%-os értékkel került elő

(11. táblázat). A 129/4645-ös objektumból kevesebb nem növényi szilikátos indikátort mutattunk ki. Szivacstüskék összesen nyolc, diatóma vázak pedig négy mintából kerültek elő. Mindkét esetben a legnagyobb egyedszám 4 volt **(11. táblázat).**

Az eredmények értékelése

A 127/5111-es kelta épületobjektum belső térhasználatára vonatkozó archaeobotanikai adatok értékelése

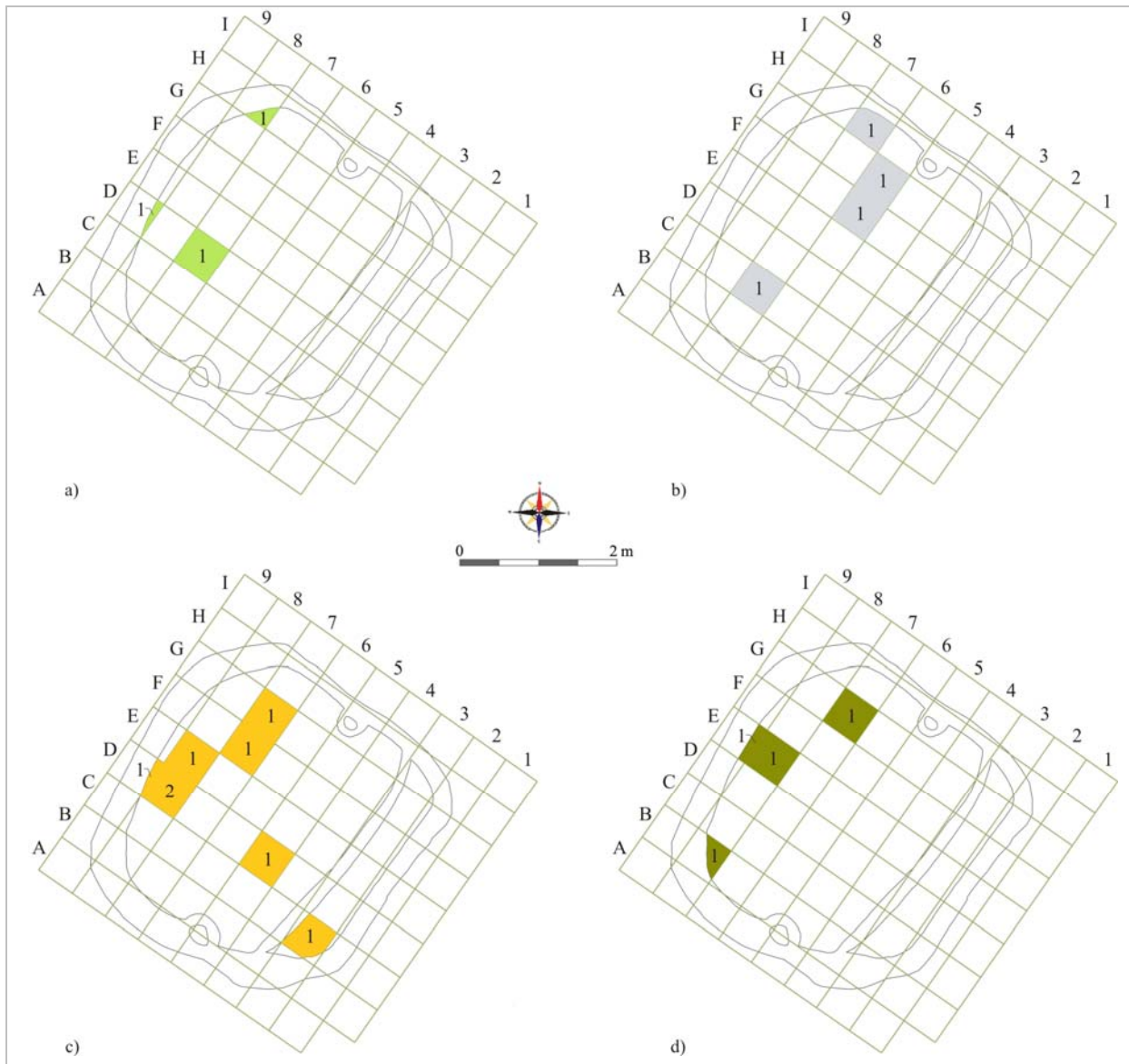
Ellentétben a – később bemutatandó fitolitvizsgálati eredményekkel és adatokkal – a makrobotanikai leletanyag eloszlását nem tudjuk kvadrátonkénti összehasonlításban bemutatni, mert az egyes kvadrátok talajanyagából feltárt makrobotanikai leletanyag mennyisége eltérő. Éppen ezért nem százalékos eloszlástérképet, hanem előfordulási térképet, illetve – ahol a leletszám ezt indokolta – az egyes kvadrátokban mért maradványszám alapján megszerkesztett eloszlástérképet rajzoltunk **(8. ábra).**

Az **8.a. ábra** szépen kirajzolja a gabonamaradványok megjelenését a 127/5111-es objektum belső terében. A gabonamaradványok – függetlenül a taxonómiai hovatartozástól – megközelítőleg egy gócpont körül csoportosulva az objektum közepén, illetve délnyugati szegmensében terülnek el. Összevetve ezt az ábrát a kvadrátokban mért abszolút értékek alapján megszerkesztett eloszlástérképekkel **(8.b. ábra)** kiderül, hogy a gabonamaradványok látszólag lefedik ugyan az objektum egy jelentős hányadát, de a koncentráció központja az E6-os (8623) kvadrátba esik. A mintázat alapján felmerül annak lehetősége, hogy a gabonamaradványok belső térben való szétterülése/szétterítése (!) ebből a pontból indult ki. A gabonamaradványok között az egészben, illetve töredékesen megmaradt szemtermések dominálnak. Gabonatisztításra utaló nyom minimális. Taxonómiai összetétel tekintetében a búzafajok (*Triticum* spp.) dominálnak, amelyekből összesen négy képviselteti magát. A meghatározott két árpafaj (*Hordeum* spp.) mellett megjelent még a köles is (*Panicum miliaceum* L.). Ugyanakkor mennyiségi szempontból nehéz különbséget tenni a gabona fajcsoportok között, hiszen az objektumban előkerült 110 gabonamaradványból csupán 25-t lehetett fajszinten meghatározni **(2. táblázat).** Ezek eloszlása pedig elég egyenletesnek tekinthető.

Jelenlegi ismereteink szerint a 127/5111-es objektum használata a keltákhoz (késői vaskor) köthető. Az i.e. 5. századtól számított, és Európa jelentős hányadát magában foglaló mezőgazdasági technológiai fejlettséget összevontan (késő) vaskori mezőgazdaságnak nevezzük (Gyulai 2001, 128; Gyulai 2010). A Kárpát-medencében és környékén a vaskori az egyik legrészletesebben kutatott

növénytermesztési kultúra. A korszak növényleleteinek részletes feldolgozása Németországtól (pl. Küster 1988; Göbel és Knörzer 1973), Csehországon (Wasylikowa et al. 1991) és Szlovákián (Hajnalová 1989) át Dél-kelet Európáig (pl. Wasylikowa et al. 1991) ismertek. Amíg számtalan La Tène lelőhelyen sikerült bizonyítani a köles – majdhogynem – egyeduralgó, de legalábbis erősen domináns szerepét a korszak mezőgazdasági termelési struktúrájában, addig ez nem érhető egyértelműen tetten a ménfőcsanaki kelta objektum esetében. Példaként hozható fel az alsó-ausztriai Michelstetten városánál végzett makro-archaeobotanikai elemzés, amely az ásatás vaskori (La Tène) anyagában a köles dominanciáját mutatta ki (Kohler-Schneider & Heiss 2010: 123. Abb. 6.). A ház makrobotanikai anyaga természetesen nem reprezentatív az ásatás teljes La Tène anyagára. A Ménfőcsanakhoz viszonylag közel eső, és makro-archaeobotanikai szempontból megfelelően megkutatott Thunau am Kamp (Alsó-Ausztria) település melletti több korszakos lelőhely késő vaskori archaeobotanikai anyaga arról árulkodik, hogy az erődítmény vaskori lakosainak életében az elsődleges gabona a közönséges árpa (*Hordeum vulgare* L.) volt, de részarányát tekintve rögtön utána következett a köles is (Popovtschak & Zwiauer 2003, 224).

Hazai vonatkozásban Siófok-Balatonszéplak kora vaskori gödrének átégett talajanyagában, Füzes Miklós határozott meg köles szemtermést (Gyulai 2001, 123). Ennél vitathatóbb, de a hazai párhuzamok sorában mindenképpen említést érdemel Deininger Imre 1876 és 1877 között folytatott ásatásának (Aggtelek-Baradla barlang) leletanyaga, amelyet éppen köles-szemtermésen végzett radiokarbon kormeghatározással datáltak a vaskorra (P. Hartyányi et al. 1967/68). Mosonszentmiklós-Pálmajor archaeobotanikai leletanyagának feldolgozása kapcsán Gyulai (2010) úgy vélekedik, hogy a kelták megváltozó növénytermesztési stratégiájában a köles meghatározó alappillére a vaskori népesség táplálkozási szokásainak. Mindez jó összefüggést mutat a ménfőcsanaki leletanyaggal, illetve azzal a megállapítással, hogy az árpa, és Ménfőcsanak esetében kisebb mértékben a köles együttes túlsúlya, a gyorsmozgású, állattartó népek jellegzetességei (Gyulai 2001, 124). A fent említett példák és azonosságok alapján feltételezhető, hogy a ménfőcsanaki kelta objektum leletanyagában megjelenő, közelebről meg nem határozható gabonatisztítás esetleg árpától is származhatnak. A korszakot érintő mikro-archaeobotanikai vizsgálatok közül Persaits et al. (2010) a késő vaskori Kemenespálfa–Zombékos lelőhelyről származó őrlőkövek használatában – a fentiekkel ellentétben – a búzafajok dominanciáját valószínűsíti.



9. ábra: A 127/5111-es objektum növénymaradványainak megjelenése és eloszlása; a) hüvelyes növények maradványainak megjelenése, b) ételmaradványok megjelenése, c) gyűjtögetett termékek maradványainak megjelenése; d) természetes vegetációt megjelenítő növények maradványainak megjelenése. (Megjegyzés: A számok a színnel jelölt kvadrátokban az ott megtalált maradványok számát jelentik meg.)

Fig. 9.: Distribution and density of archaeobotanical remains in feature 127/5111; a) appearance of leguminous plants; b) appearance of food remains; c) appearance of gathered fruits; d) appearance of plants reflecting the natural environment. (Note: Figures show the number of remains recovered from the coloured quadrats.)

(Kiemelendő ugyanakkor, hogy a búzafajok (*Triticum* spp.) diszartikulált növényi opálszemcséinek vizuális összehasonlításán alapuló elkülönítése számos módszertani bizonytalansággal terhelt.)

A 127/5111-es objektumban a szántóföldi gyomok eloszlása csak részben fed át a gabonamaradványok megjelenésével (8.c. ábra). Ugyanakkor érdekes egybeesés, hogy a gyomok esetében is az E6-os (8623) kvadrát mutatja a legmagasabb maradványkoncentrációt (8.d. ábra).

Ez nem meglepő, ha figyelembe vesszük azt a két ténytet, hogy a – vaseszközök előretörésével összefüggésben intenzifikálódó mezőgazdasági tevékenység eredményeképpen – (késő) vaskori gabonatermesztési rendszerek felgyomosodási potenciálja ugrásszerű növekedést mutathatott, amely nem minden esetben vonja maga után a betakarítás és gabonatisztítás határfokának növekedését. Ebből adódóan tehát a gabonakészletek magasabb gyomtartalmával kell számolnunk ebben a korszakban. Az azonos pontban való koncentráció megerősíteni látszik továbbá azt az elképzelést, hogy az objektum belső

terének – az E6 kvadrát által kijelölt pontján – szántóföldi növénytermesztésből származó késztermék, vagy hulladék anyag felhalmozása, lerakása valósulhatott meg.

Párhuzamokat más ásatások anyagaival a gyomflóra összetételében is találunk, hiszen több alsó-ausztriai lelőhelyen megközelítőleg azonos gyomfajok termései és maradványai kerültek elő, mint amelyek a ménfőcsanaki leletanyagban is előfordultak. Gyulai (2001) szerint a vaskor embere nem irtózott annyira a gyomfajok megjelenésétől, mint ahogyan az a korábbi mezőgazdasági kultúrák esetében feltételezhető; sőt egyes észak-európai vizsgálatok szerint fogyasztottak, akár természetek is egyes, ma gyomként értékelt fajokat (Knörzer 1991; Matterné-Zech 1996; Steen Henriksen & Robinson 1996). Dánia (Grauballe, Tollund, Borremose) és Németország (Kayhausen) mocsaraiban megtalált vaskori, mumifikálódott mocsári hullák gyomtartalmának vizsgálata során kiderült, hogy a gabonák mellett nagy mennyiségben fogyasztottak különböző gyomfajokat is. Egyes gyomok maradványait több múmia esetében is azonosították (Behre 2008). Ezen fajok közül a ménfőcsanaki lelet-együttesben is megtalálhatunk néhányat, így például a fehér libatopot (*Chenopodium album* L.), illetve az apró szulákot (*Convolvulus arvensis* L.).

Táplálkozástörténeti szempontból az objektumban talált kevés számú – a hüvelyes termésű növényekhez kapcsolható – régészeti növénytani maradvány ugyan fontos, de rendkívül alacsony számuk miatt messzemenő következtetések levonására nem alkalmas, hiszen csupán négy maradványból áll az együttes. Megjelenésük az épületobjektum belső terében látszólag semmilyen összefüggést sem mutat a gabona, vagy a szántóföldi gyomok, illetőleg a többi növényi maradvány megjelenésével (**9.a. ábra**).

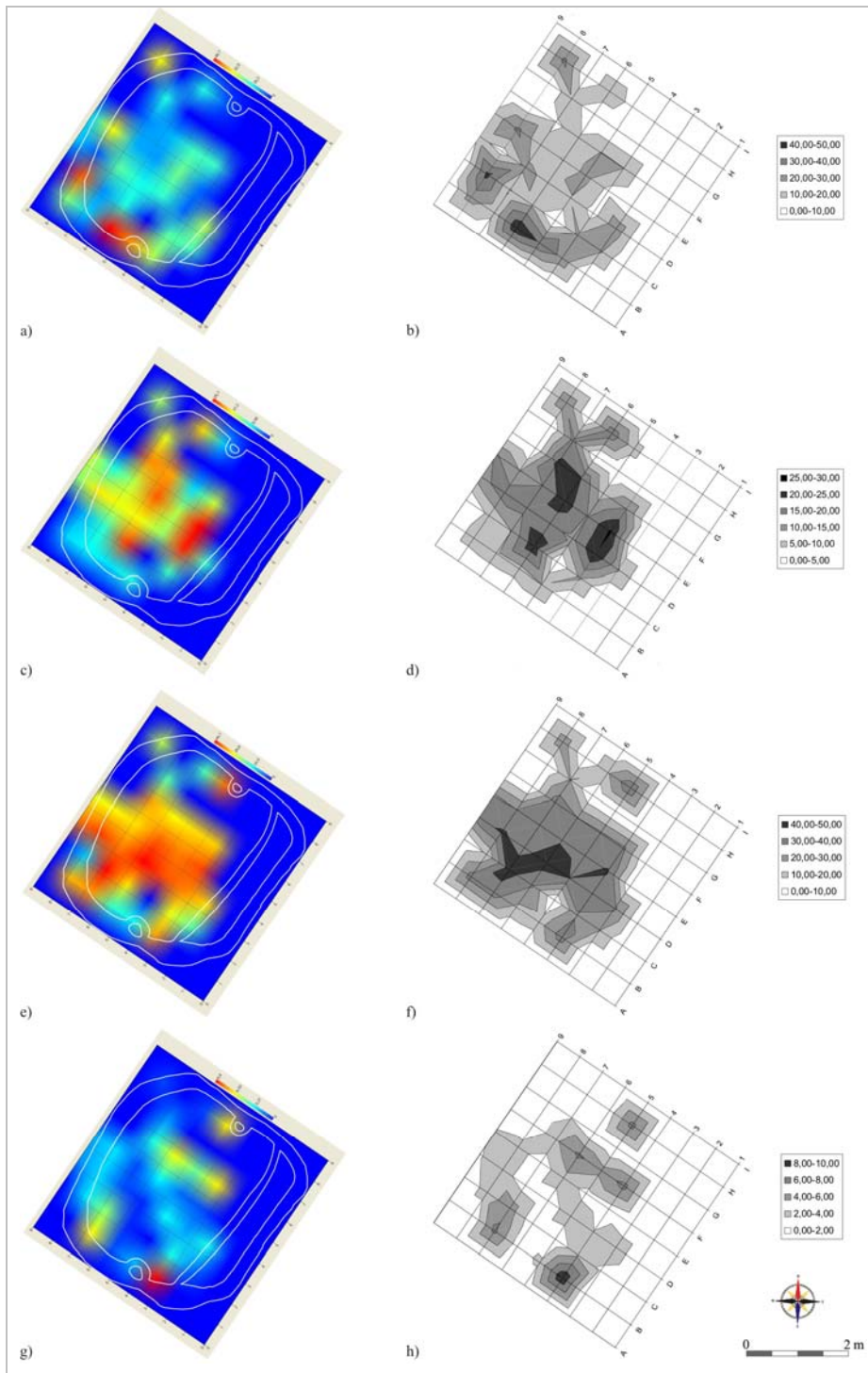
A lelőhely közelében egykoron megjelenő, ehető gyümölcsöket érlelő növényfajok hírmondói a mogyoró (*Corylus avellana* L.) makktöredéke, az erdei szamóca (*Fragaria vesca* L.) aszmag termése, a vadalma (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) két magja, a kőkény (*Prunus spinosa* L.) csontár töredéke, valamint a fekete bodza (*Sambucus nigra* L.) egy magja (**6. táblázat**). Igaz ugyan, hogy jelen esetben kőkény maradványa került elő, de figyelemre méltó, hogy egyes vélemények szerint pont a kelta kultúra játszotta az egyik legkiemelkedőbb szerepet a *Prunus* nemzetségbe tartozó nemes szilva európai terjesztésében is (Rapaics 1943; Sági & Füzes 1966). Mindenesre a 127/5111-es objektumban megjelenő, gyűjtögetésből származó és fogyasztásra alkalmas növények szortimentje jó példája a kelta társadalom táplálkozási szokásaiban megjelenő – a növénytermesztést kiegészítő – tevékenységének (**9.c. ábra**). Hasonló táplálkozástörténeti, illetve növény- és tájhasználati

kép rajzolódott ki az Ófehértó–Maró 76. lelőhely (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) kelta korú objektumainak anyagán végzett makroarchaeobotanikai elemzése során (Kenéz et al. *in press*).

A gyűjtögetett, ehető fajok növénycsoportjához kapcsolhatóak a természetes vegetációt megjelenítő fajok is (vö.: 3.1.4. és 3.1.6. alfejezet) (**9.d. ábra**). A belső térben való eloszlásuk és megjelenésük elsősorban nem az emberi térhasználatra vonatkozóan hordoznak információt, hanem a kelta (La Tène) kori telep közvetlen környezetének hírmondói. A fajok ökológiai igényeit áttekintve kijelenthető (vö.: **8. táblázat**), hogy alapvetően a szántó, a cserjés-erdőszerű, erdő, gyepléleg/kaszáló élőhelytípusokat képviselők kerültek elő az objektum anyagából, amelyek megjelenése – feltételezésünk szerint – nem tudatos emberi cselekedet, hanem a véletlen műve. A cserjés-erdőszerű élőhelytípus teremt meg az átmenetet a zártabb lombkoronával jellemezhető fás vegetáció és a mesterséges élőhelynek tekinthető szántó között, ezért ebben az életterben a másik két típus fajai is megjelenhetnek. Két élőhely közötti átmenetben jön létre az ún. „szegélyhatás”, amely eredményeképpen az ilyen életterek fajgazdagsága magasabb lesz. Érdekes megfigyelés, hogy csak a kelta (La Tène) kori objektum mintáiból kerültek elő gyűjtögetett és egyben ehető fajok maradványai. Ilyet a 129/4645-ös objektum anyagában nem találtunk.

További táplálkozástörténeti információ forrása a belső tér anyagából feltárt négy különböző típusú – négy különböző elkészítési módot képviselő – ételmaradvány (**9.b. ábra**). A feltárt szenült ételmaradványok mennyisége rendkívül alacsony, amely – hasonlóan több növényi maradványcsoporthoz – minden valószínűség szerint véletlenszerű bekerülés eredményeképpen jelent meg az objektum belső terében. Véleményünk szerint jelenlétük nem függ össze az objektum funkciójával.

A 127/5111-es objektum 35 mintájában összesen 23 különböző fitolit morfortípust határoztunk meg. A térhasználat elemzés szempontjából 3 morfortípus, illetve összevontan még kettő (bulliform sejtek), eloszlását ábrázoltuk folytonos, illetve izovonalas eloszlástérképeken (**10. ábra**). A rondel SC epidermális rövid sejtípus (**10.a. és b. ábra**) egyaránt megjelenik a pázsitfüvek vegetatív, illetve generatív szerveinek bőrszövetében (Metcalfé 1960). Tapasztalatunk azt mutatja, hogy nagyarányú megjelenése egy régészeti mintában általában a virágzati (generatív) képletek felhalmozását (is) indikálja a lomblevelzeti (vegetatív) mellett. Éppen ezért ennek – a mintákban egyébként domináns – morfortípusnak az eloszlása egyaránt megjeleníti a belső térben található levél és virágzati képleteket.



10. ábra:
A 127/5111-es objektum
rondel SC (a & b),
elongate dendritic LC (c
& d), elongate smooth
psilate LC (e & f),
valamint összesített
bulliform (g & h)
eloszlástérképe.
(Megjegyzés: A folytonos
eloszlástérképeken (a, c,
e, g) az objektum
alaprajza északnak
fordítva. Az y tengely
számai a kvadrátok
betűivel egyeznek meg, a
x tengely számai pedig a
kvadrátok számaival. Az
izovonalas térképek (b, d,
f, h) nincsenek északnak
fordítva.)

Fig. 10.:
Distribution patterns of
rondel SC (a & b),
elongate dendritic LC (c
& d), elongate smooth
psilate LC (e & f) and
bulliform (g & h)
morphotypes in the
quadrats of archaeological
feature 127/5111. (Note:
Continuous distribution
maps (a, c, e, g) are
positioned facing north.
Axis y equals the numbers
of the quadrats, while axis
x the numbers of the
quadrats. The isoline
maps (b, d, f, h) are not
directed north.)

Az elongate dendritic LC morfortípust, illetve azok lehetséges méret- és alakotani változatait a gabonákkal (*cerealia*) azonosítjuk. Ez a speciális sejtípus a gabonák toklászában (*lemma*) és pelyvalevelében (*gluma*) képződik. Megjelenésük természetes, nem bolygatott vegetáció alatt hazánkban még nem bizonyított (Petó és Barczy 2011), éppen ezen indikátor szerepe miatt döntöttünk úgy, hogy a belső térben való eloszlását térképen ábrázoljuk (10.c. és d. ábra).

Szintén a rondel SC eloszlási mintázatát kiegészítendő vettük fel az ábrázolandó morfortípusok körébe a smooth elongate psilate LC morfortípust (10.e. és f. ábra), amely a pázsitfűvek szár és lomblevélzeti bórszövetében képződik. Általános, biomassa indikátor szerepe mellett, a ménfőcsanaki 127/5111-es objektum esetében arra vonatkozóan közvetít információt, hogy a belső térben felhalmozott növényi anyag anatómiai szempontból milyen szervekből állt össze. Hasonló okokból döntöttünk az ún. bulliform sejtek

eloszlásának ábrázolása mellett is. Ezek a növényanatómiai szempontból egyértelmű indikatív szereppel bíró ún. idioblaszt sejtek a pázsitfűvek lomblevélzetében játszanak fontos szerepet. A levélfelület kinyíltságának befolyásolásával közvetetten szabályozzák a növény transzspirációját. Ebből adódóan képződésük helye egyértelműen a pázsitfűvek lomblevele. A mintákban megjelenő két morfortípus százalékos értékeit – értelmezési azonosságuk okán – együttesen ábrázoltuk (**10.g.** és **h. ábra**).

A belső tér fitolitanyagában – a természetes környezeti viszonyoktól jelentősen eltérően – nagy mennyiségű *elongate dendritic LC* morfortípus koncentrálódik, amely véleményünk szerint egyértelműen a gabonák helyben való tárolására, felhalmozására és/vagy kezelésére utal. Ezt a jelenséget támasztja alá a rondel SC magas százalékos részaránya az egyes mintákban, illetve az a megfigyelés, amely szerint 17 mintából került elő anatómiai rendben megmaradt szöveti elkövődés is (**10. táblázat**). Mennyiségi szempontból ezek az adatok jó összefüggést adnak a makro-archaeobotanikai elemzés során találtakkal, ugyanakkor minőségi szempontból egy fontos különbség mutatkozik meg. Amíg a gabona növénycsoportban mindösszesen nyolc villa, illetve villatörredék jeleníti meg a gabonák csépléséből származó gabonatisztítási hulladékot, addig a nagyarányú *elongate dendritic LC* és rondel SC koncentráció egyértelműen a szemterméseket körül ölelő toklászok, illetve a füzérkét védő pelyvalevél indikátora, amely – a makro-archaeobotanikai leletanyag figyelmen kívül hagyása esetén – egy gabonatisztítási funkciót kölcsönözne a 127/5111-es objektumnak.

A vegetatív képleteket megjelenítő *elongate smooth psilate LC*, illetve a két bulliform morfortípust hangsúlyosabban vesszük figyelembe az objektum értékelésénél. Ez a három morfortípus egyértelműen a szár és lomblevélzeti maradványok egykori felhalmozásának jelei, amely – ismerve a gabonatisztítás lehetséges technológiai változatainak lépéseit (Harvey & Fuller 2005) – nem zárja ki a gabonatisztítási funkciót, azonban eltolhatja az értelmezést egy gabonatisztítási hulladék-tároló, vagy tisztítás előtti tároló irányába. Fontos szempont ugyanakkor, hogy több pelyvás szemtermés is előkerült – a nagy mennyiségű, közelebbről meg nem határozható szemtermés-törredék mellett – a makro-archaeobotanikai elemzés során, amely adatok összekapcsolása a fitolitelemzéssel nyert adatokkal felveti annak lehetőségét is, hogy az objektum belső terében tisztítatlanul tároltak, halmoztak fel gabonaanyagot. Ez megmagyarázza a nem generatív szervek morfortípusainak nagyarányú jelenlétét is.

Az egyes morfortípusok eloszlását figyelembe véve – hasonlóan a makro-archaeobotanikai

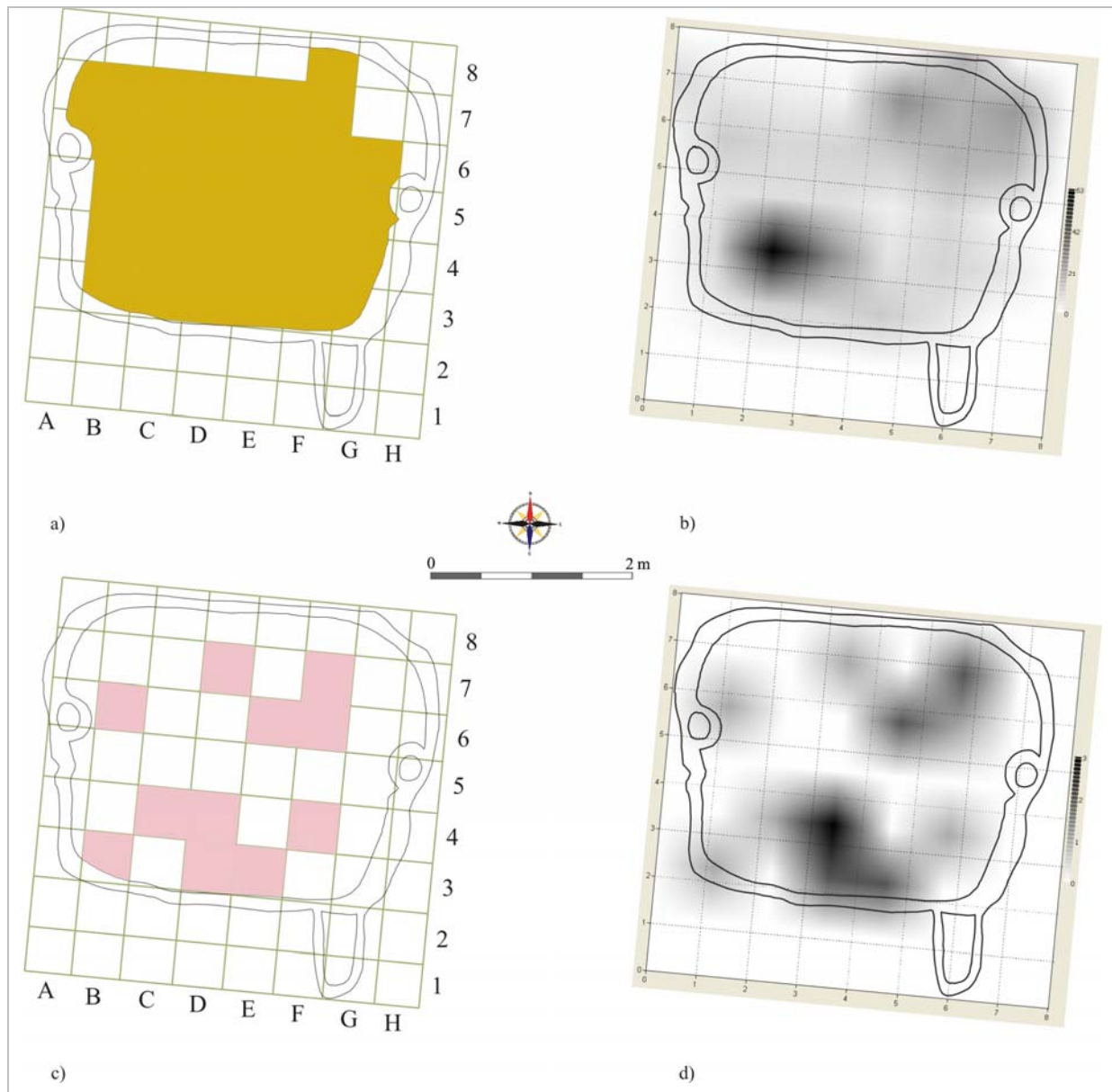
eloszlástérképekhez – ebben az esetben is az objektum középpontjára tehető az egyes morfortípusok feldúsulásának gócpontja. Különösen jól látszik ez az *elongate smooth psilate LC* (**10.e.** és **f. ábra**), illetve az *elongate dendritic LC* (**10.c.** és **d. ábra**) esetében. A kiemelt indikátor szereppel bíró fitolit morfortípusok horizontális eloszlása a korábban megfogalmazottakat mind mennyiségi, mind minőségi értelemben megerősíti. Az objektumon belül kitérítettt funkcióval bíró térrész/térrészek nem rajzolódna ki. Ugyanakkor a lehetséges használatok körét részben tovább szűkítve a fitolitelemzés rámutat arra, hogy a gabonák szár és virágzati maradványai kiemelt szerepet élveztek, vagy kaptak az objektum funkcionalitásában.

Az *elongate dendritic LC* mellett a szántó művelési ág alatt felvett talajok sajátjaként tekinthetünk az ovate morfortípusokra (Pető és Barcsi 2011), amelyek közül az ovate psilate 19 mintából is előkerült (**10. táblázat**). Pontos anatómiai hovatartozásukat nem tudjuk jelenleg megadni, annyi azonban bizonyosnak tűnhet, hogy megjelenésük valamilyen módon összefüggésben állhat a gabonák egykori jelenlétével az egyes régészeti mintákban. Pető (2010, 7.2.1. ábra) a szántó alatt felvett, feltehetően tehát a gabonák egykori jelenlétéhez kapcsolódóan említi a trapeziform SC morfortípusokat is. Mindkettő előfordulása köthető a toklász és a pelyvalevek borszövetéhez is, ami tovább erősíti a „gabonaszignált”.

A lelőhely környezeti viszonyainak értékelésében kiemelhetünk egyes morfortípusokat az objektum anyagában találtak közül. Ebben a tekintetben a lanceolate psilate T morfortípust, valamint a globular psilate és globular echinate morfortípusokat köthetjük az erdei vegetáció egykori jelenlétéhez. Mindhárom esetben azonban rendkívül alacsony a részarányuk, amely alapján az „erdei szignál” gyengesége, azaz a lelőhely környezetében előforduló zárt erdei vegetáció hiányára, illetve alulreprezentáltságára következtethetünk. Egyetértésben a makro-archaeobotanikai adatok értelmezésénél leírtakkal, feltételezzük, hogy a lelőhely közvetlen környezetében előforduló természetes ártéri ligeterdők (v.ö.: folyó közelsége) mellett a legeltetéssel és fakivágással (v.ö.: faanyag-igény megnövekedése a vaskorban, v.ö.: Sümei et al. 2003, 14. ábra) összefüggően csak kisebb ligetes foltokban volt jelen záródó erdei vegetáció a környezetben.

A 129/4645-ös római kori bennszülött épületobjektum belső térhasználatára vonatkozó archaeobotanikai adatok értékelése

A 129/4645-ös objektum makro-archaeobotanikai anyagában dominálnak a gabonák, amelyek az objektum teljes vizsgálati anyagának 71,20%-át teszik ki (**3. táblázat**).



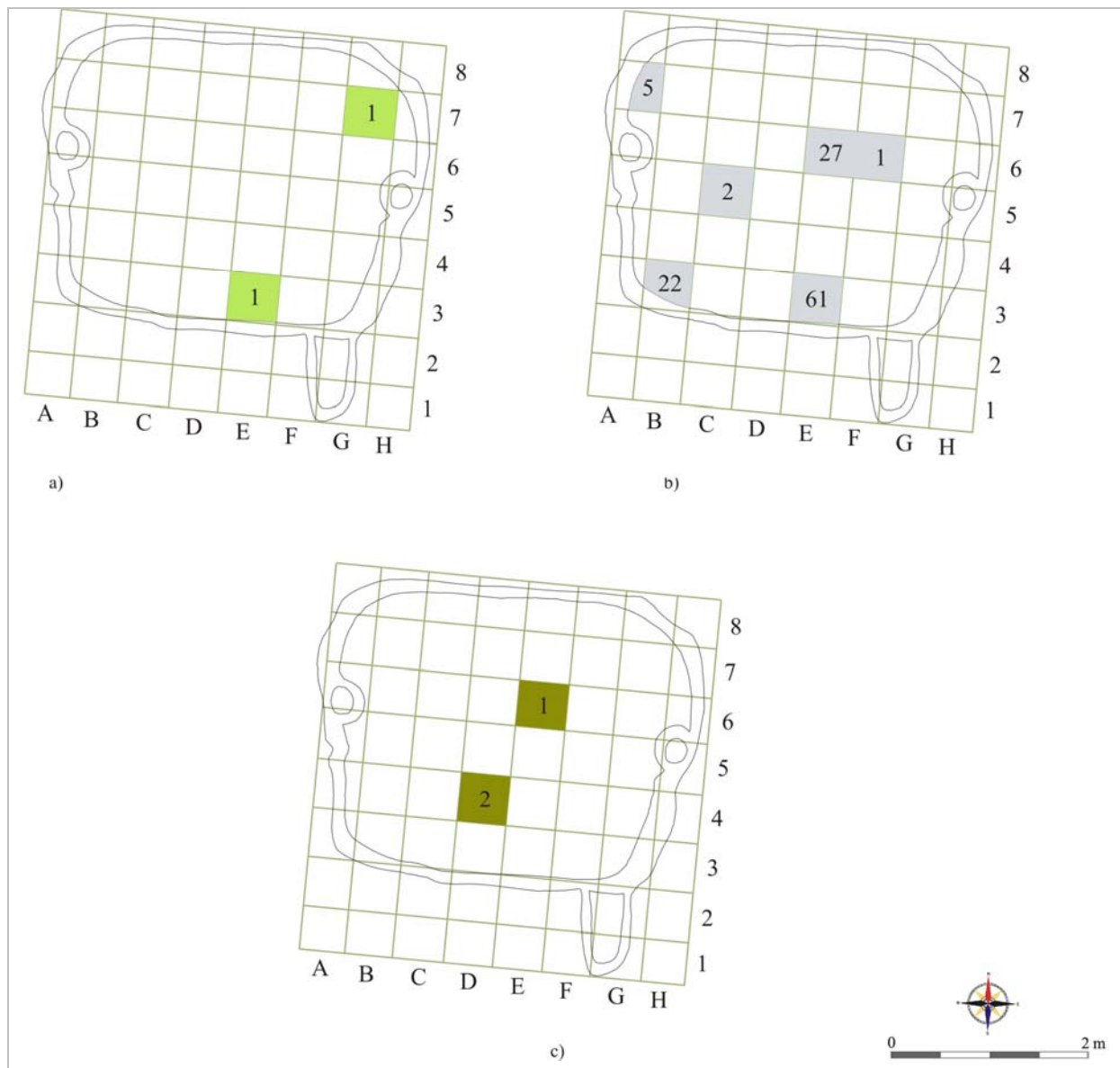
11. ábra: A 129/4645-ös objektum növénymaradványainak megjelenése és eloszlása; a) gabonamaradványok megjelenése, b) gabonamaradványok sűrűségi térképe, c) szántóföldi gyomok maradványainak megjelenése, d) szántóföldi gyomok sűrűségi térképe

Fig. 11.: Distribution and density of archaeobotanical remains in feature 129/4645; a) appearance of cereals; b) density of cereals; c) appearance of weed species; d) density of weed species

Az objektum belső terében a gabonaanyag megjelenése egyöntetű (**11.a. ábra**), egy-két kivételtől eltekintve gyakorlatilag minden értékelt kvadrátban jelen van ennek a maradványcsoportnak egy-egy képviselője. A megjelenés egyöntetűsége mellett a legnagyobb maradványszámot a C3-as kvadrátban, az objektum délnyugati negyedében mutatja ez a növénycsoport. Jól látható, hogy az egy ponton kiugró maradványszám mellett (**11.b. ábra**) ugyanakkor a teljes felületen – elszórtan(?) – megjelenik a gabonaanyag a 129/4645-ös objektum esetében. Az objektum gyomflórájának faji

összetétele alapján egyértelmű, hogy a gabonaanyag velejárójaként jelennek meg az objektumban. Előkerülésük az egyes mintakvadrátokban látszólag sporadikus, jól kivehető szabályosságát nem követ (**11.c. ábra**).

A 129/4645-ös objektum makro-archaeobotanikai leletanyagának diverzitása elmarad a 127/5111-es objektumban mérthez képest, ami elsősorban a gyűjtögetett és az ehető növényfajok maradványainak teljes hiányából adódik.



12. ábra: A 129/4645-ös objektum növénymaradványainak megjelenése és eloszlása a) hüvelyes növények maradványainak megjelenése, b) ételmaradványok megjelenése, c) természetes vegetációt megjelenítő növények maradványainak megjelenése. (Megjegyzés: A számok a színnel jelölt kvadrátokban az ott megtalált maradványok számát jelentik meg.)

Fig. 12.: Distribution and density of archaeobotanical remains in feature 127/5111; a) appearance of leguminous plants; b) appearance of food remains; c) appearance of gathered fruits; d) appearance of plants reflecting the natural environment. (Note: Figures show the number of remains recovered from the coloured quadrats.)

Emellett mind a hüvelyes (**12.a. ábra**), mind a természetes vegetációt megjelenítő fajok (**12.c. ábra**) száma, valamint ezek maradványszáma is rendkívül alacsony. Megjelenésüket az objektum belső terében véletlenszerűnek és sporadikusnak tekinthetjük. Ezzel ellentétben ugyanakkor, az ételmaradványok száma kimagasló értéket ér el. A 118 darab ételmaradvány összesen 4 különböző ételkészítési módról tanúskodik (**7. táblázat**).

Eloszlásmintázatukban (**12.b. ábra**) véleményünk szerint szabályszerűség nem mutatkozik, így

feltételezzük, hogy az nem függ össze az objektum funkciójával.

A 129/4645-ös objektum archaeobotanikai leletanyaga eltér a 127/5111-es kelta objektumétól. Alapvető különbséget tapasztalhatunk mind a fajösszetételben, mind pedig a leletgazdagságban. A 127/5111-es leletei között több, a természetes vegetációra (**8. táblázat**), valamint a gyűjtögetésre utaló faj (**6. táblázat**) is előfordult. A gabonafajok (árpa és főként pelyvás búzák: alakor, tönke, tönköly) is megtalálhatók, bár csak néhány szemterméssel képviseltetik magukat. A feltárt

gyomok is ezekhez a gabonákhoz köthető gabonagyomok. Mindez jól összecseng Gyulai (2001, 2010) által említett más hasonló korú lelőhelyek archaeobotanikai leletanyagával. Azonban, ha a római korúnak meghatározott objektumban talált mintákat elemezzük, rögtön szembetűnik, hogy a meghatározott 16 taxonból 10 természetű, a többi viszont ezen kultúrfajok gyomjai.

Összesen mintegy 575 db növényi eredetű (mag, termés, étel) maradványt sikerült elkülönítenünk (**1. táblázat**), amely mennyiségéből 71,20% gabonákhoz köthető. Ezen belül is dominálnak a pontosabban meg nem határozható gabonatöredékek (64,87%) (**3. táblázat**).

A továbbiakban a fajszinten meghatározott gabonákat soroljuk fel előkerülési mennyiségük (feltételezett fontossági) szerint csökkenő sorrendben, a megtalált gabonákhoz köthető összes darabszámhoz viszonyított arányban: árpa (*Hordeum vulgare*; 13,17%), köles (*Panicum miliaceum*; 8,53%), tönke (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccum*; 6,58%), tönköly (*Triticum aestivum* subsp. *spelta*; 2,68%), kenyérbúza (*Triticum aestivum* subsp. *vulgare*; 2,68%), törpe búza *Triticum aestivum* ssp. *compactum* alakor (*Triticum monococcum*; 0,48%).

A 10 természetű faj (őszi és tavaszi gabonák, kapások, takarmánynövények) a rómaiak – korabeli írók és tudósok (Varro; Plinius; Columella; Cato) által is említett – fejlett és sokrétű mezőgazdaságára utal, ugyanakkor az objektum természetű növényeinek szortimentje bonyolultabb helyzetképet sugall.

A római korra a növénytermesztés változásokon esett át, alapvetően előtérbe kerültek a csupasz búzák (kenyérbúza, törpebúza) és visszaszorultak az ősbibb pelyvás fajok, mint az alakor, a tönke és a tönköly (Gyulai 2001). Ez a tendencia szépen rajzolódik ki Keszthely–Fenekpuszta castrum esetében is (Gyulai & Kenéz 2009). Fontos megemlíteni, hogy a tönke továbbra is népszerű maradt. Ez azért érdekes, mert a ménfőcsanakai 129/4645-ös, római korúnak meghatározott objektum gabona szortimentjében az árpát követően ez a tetraploid búzafaj került elő legnagyobb mennyiségben.

Az egykori római birodalom területén végzett archaeobotanikai elemzés is arról számol be, hogy a római lelőhelyeken az árpa különböző alfajai és változatai voltak többségben (Britton és Huntley 2010; Rösch 2008; Gyulai & Kenéz 2009). Korábban azt hitték, hogy az árpa a rómaiak lovainak a takarmányaként szerepelt, de Britton & Huntley (2010) brit római légió fekália anyagán végzett elemzése alapján fény derült arra, hogy az árpa az egyik legkedveltebb ételalapanyag volt a légiósok körében, éppen ezért az árpa előkerülését

nem csak takarmánynövényként, hanem élelmezési alapanyagként is értékelhetjük. Táplálkozástörténeti szempontból érdekes, hogy az árpából nehezen keleszthető és nehezen is emészthető, ugyanakkor tápláló kenyeret lehet készíteni (Gyulai *ex verb.*).

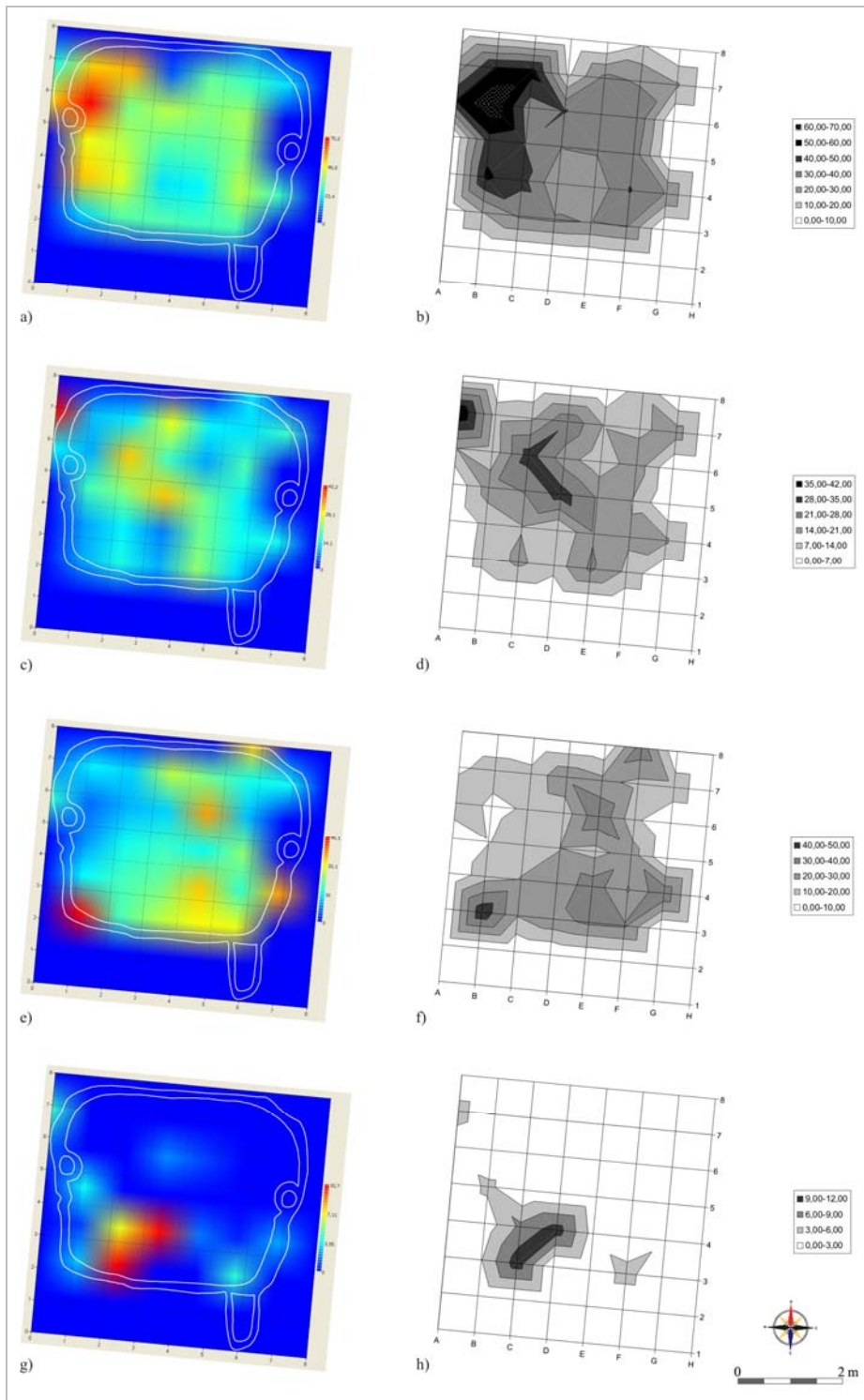
Az árpa mellett a köles is hasonló arányban fordult elő. Ez a tény, figyelembe véve a tönke mennyiségét is, elsősorban nem római, hanem római kori barbár növénytermesztési szokásokra utal, amelyek gyökere a vaskorban keresendő.

A természetű fajokhoz szorosan kapcsolódó gyomvegetációból összesen öt fajt sikerült kimutatnunk. Ezek mindegyike előfordul mind a mai napig a fent is említett gabonakultúrákban. Ilyen kevés fajból termőhelyi körülményekre való következtetés nehezen lehetséges, de annyit érdemes megemlíteni, hogy a Borhidi-féle relatív ökológiai mutatóértékek (Horváth et al. 1995) alapján a fajok nitrogénigénye a szervesanyaggal közepesen ellátott talajokra utalhat. A tarlóhere (*Trifolium arvense* L.) kivételt képez, ugyanis ez a faj, bár az egész országban elterjedt, de különösen a savanyú, tápanyagszegény talajokon él.

A megtalált pillangósok (*Fabaceae*) családjába tartozó négy fajból kettő természetű (lencse és takarmánybüköny), kettő pedig fátlan vegetáció növényei (*Melilotus dentatus* L., *Medicago lupulina* L.). Érdekes összefüggés bontakozik ki a lencse kapcsán, hiszen a lencse (*Lens culinaris* L.) nem csak az ember számára nyújthat élelmet. A lencseszéna kiválóan alkalmas például a lovak takarmányozására (Kovács 2001).

Összesen 118 db szenült, kisméretű ételmaradvány töredéket sikerült meghatározni (**7. táblázat**). Ezek három, egymástól kismértékben eltérő, gabonaalapú ételféleség maradványai. A határozás során ezek elkülönítése sokszor igen nehéz, de nagy valószínűséggel a telep lakói fogyasztottak kását, kenyeret és süteményt is. Annak eldöntése, hogy az ételmaradványok fogyasztása az objektumban valósult-e meg, nehézkes, de a többi növénytani információ figyelembe vételével valószínűsíthető, hogy nem helyben – objektumon belül – készített, hanem behurcolt maradványokról beszélhetünk.

Az archaeobotanikai eredmények alapján felmerül az az elképzelés, miszerint a 129/4645-ös objektum raktár, vagy istálló szerepét tölthette be. Az előkerült maganyag, illetve termések maradványaiból kirajzolódó kép többféleképpen is értelmezhető. Derreumaux (2005) részletesen elemzi egy gall-római telep három mintáját, amelyek egyike egy feltételezett istállóból (trágya, alom) származik. Felsorolja azt is, hogy mely maradványok azok, amelyek a trágyára utalnak: cserjék ágai és levelei, szalma, gabonák és hüvelyesek, kaszálók és legelők növényfajai. Az istállóalom pedig elsősorban szénából, szalmából és egyéb gabonatisztítási hulladékból áll.



13. ábra:
A 127/5111-es objektum rondel SC (a és b), elongate dendritic LC (c és d), elongate smooth psilate LC (e és f), valamint összesített bulliform (g és h) eloszlástérképe. (Megjegyzés: A folytonos eloszlástérképeken (a, c, e, g) az objektum alaprajza északnak fordítva. Az y tengely számai a kvadrátok betűivel egyeznek meg, a x tengely számai pedig a kvadrátok számaival. Az izovonalas térképek (b, d, f, h) nincsenek északnak fordítva.)

Fig. 13.:
Distribution patterns of rondel SC (a & b), elongate dendritic LC (c & d), elongate smooth psilate LC (e & f) and bulliform (g & h) morphotypes in the quadrats of archaeological feature 127/5111. (Note: Continuous distribution maps (a, c, e, g) are positioned facing north. Axis y equals the numbers of the quadrats, while axis x the numbers of the quadrats. The isoline maps (b, d, f, h) are not directed north).

A lelőhely két vizsgált objektumának anyagából kevés hasonló makro-botanikai maradvány került elő, ugyanakkor a fitolitelemzés nagy mennyiségű, a pázsitfűfélékhez (*Gramineae*) kapcsolható opálszemcsét mutatott ki. A Derreumaux (2005) által említett, feltételezhetően istállóból származó archaeobotanikai mintákban dominált a tönke szemtermése.

Ha figyelembe vesszük, hogy a takarmányozásra is alkalmas árpa mellett, a 129/4645-ös római kori

bennszülött objektum esetében is sok tönkét találtunk, valamint minimális gabonatisztítási hulladékra utaló virágzati képlet (villa) is előkerült, továbbá a takarmányként hasznosítható lencse és takarmánybűkköny mellett, a legelőkön is előforduló komlós lucerna magját is megtaláltuk, akkor mégis található összefüggést a Derreumaux (2005) által leírtakkal, és így elképzelhető, hogy az objektum valamilyen akol, istálló funkciót is betölthetett.

Felmerül azonban a kérdés, hogy ha az épületek a fenti elképzelések szerinti funkciót töltötték be, akkor miért nem került elő nagy mennyiségű szalmaszár és virágzati maradvány? Elképzelhető, hogy az épület pusztulásakor az alom és trágya már nem volt az épületben. Az ilyen jellegű épületeket ugyanis bizonyos időközönként kitakarítják, kialmozzák, ám ennek ellenére visszamaradhat a talajban nagy mennyiségű szervesanyag, foszfor és fitolitanyag. Mindezen feltételezéseknek viszont ellentmondhatnak a leletanyagban előforduló ételmaradvány töredékek.

A 129/4645-ös objektum 33 mintájában összesen 26 különböző fitolit morfortípust határoztunk meg. A térhasználat elemzés szempontjából 3 morfortípust, illetve összevontan még kettő eloszlását ábrázoltuk folytonos, illetve izovonalas eloszlástérképeken (**13. ábra**).

A két elemzésbe vont objektum fitolitadatai, illetve azok értelmezése sok hasonlóságot és párhuzamot mutat. Az eredmények értelmezése részben azonos következtetésekhez vezet, ugyanakkor az eloszlásmintázatokban megmutatkozó különbség árnyaltabb képet ad a 129/4645-ös objektum belső térhasználatának esetében.

A 129/4645-ös objektum esetében is éppúgy, mint a 127/5111-es objektum fitolitanyagában – a természetes környezeti viszonyoktól jelentősen eltérően – nagy mennyiségű elongate dendritic LC morfortípus koncentrálódik (**13.c** és **d. ábra**), amely véleményünk szerint egyértelműen a gabonák helyben való tárolására, felhalmozására és/vagy kezelésére utal. Ezt a jelenséget támasztja alá a rondel SC magas százalékos részaránya egyes kvadrátok mintáiban (**13.a** és **b.**), illetve az a megfigyelés, amely szerint 5 mintából is került elő anatómiai rendben megmaradt szöveti elkovásodás (**11. táblázat**). Mennyiségi szempontból ezek az adatok jó összefüggést adnak a makro-archaeobotanikai elemzés során találtakkal, ugyanakkor minőségi szempontból egy fontos különbség mutatkozik meg. Amíg a gabona növénycsoportban csupán egy villa árulkodik a gabonák csépléséből származó gabonatisztítási hulladékról, addig a nagyarányú elongate dendritic LC és rondel SC koncentráció egyértelműen a szemterméseket körül ölelő toklászok, illetve a füzérek védő pelyvalevél indikátora.

Ebben a tekintetben kiegészítő adat, hogy 53 db, az árpához köthető, pelyvás szemtermés került elő az objektum teljes területéről. A közelebről meg nem határozható szemtermés töredékek nagyszámú jelenlétének összekapcsolása a fitolitelemzéssel nyert adatokkal felveti annak lehetőségét is, hogy a belső térben tisztítatlanul tároltak, halmoztak fel gabonaanyagot, amely magyarázza a nem generatív szervek morfortípusainak nagyarányú jelenlétét is

(pl. kérében tárolás miatti lomblevél- és szármaradványok jelenléte).

Nem véletlen tehát, hogy a vegetatív képleteket megjelenítő elongate smooth psilate LC (**13.e** és **f. ábra**), illetve a két bulliform morfortípust (**13.g** és **h. ábra**) hangsúlyosabban vesszük figyelembe az objektum értékelésénél. Ez a három morfortípus egyértelműen a szár és lomblevélzeti maradványok egykori felhalmozásának jele, amely – ismerve a gabonatisztítás lehetséges technológiai változatainak lépéseit – nem zárja ki a gabonatisztítási funkciót, azonban eltolhatja az értelmezést egy gabonatisztítási hulladék-tároló, vagy tisztítás előtti tároló irányába.

Érdekesen egészítik ki egymást az egyes fitolit morfortípusok eloszlásmintázatai. Amíg a rondel SC és az elongate dendritic LC, azaz a gabonatisztítási hulladékot részben, illetve azt közvetlen megjelenítő indikátorok az objektum északnyugati negyedében koncentrálódnak, addig az egyértelműen (lomb)levél és szár indikátoroknak tekinthető elongate smooth psilate LC, valamint a két bulliform sejtípus az objektum délnyugati csücskében mutat felhalmozódási göcot. Ez a típusú, szemmel is jól nyomon követhető szétválás nem volt jelen a másik objektum esetében, ott viszonylag egyenletes eloszlási mintázatot lehetett megfigyelni (vö.: **10. ábra**).

Az a tény, hogy a rondel SC, illetve az elongate dendritic egy pont körül maximalizálódik felveti annak valószínűségét, hogy a rondel SC megjelenése inkább a virágzati fellevelek egykori jelenlétének a képviselője, tehát eloszlásmintázatának értelmezésében ez az irány hangsúlyosabb szerepet kap. A gabona és a gyomok megjelenése általánosnak és egyöntetűnek tekinthető, maradványszámbeli maximumok az objektum déli, délnyugati szegmensére esik. Ugyanitt található a bulliform sejtípusok maximuma és ehhez közel helyezkedik el az elongate smooth psilate LC morfortípus maximuma is. Utóbbi az objektum délnyugati csücskében, az objektum sarkában mutat felhalmozódási pontot. Az eloszlásmintázatokot többféleképpen is lehet magyarázni, ugyanakkor az tényszerű, hogy a gabonák szár és virágzati maradványai kiemelt szerepet élveztek, vagy kaptak az objektum funkcionalitásában.

Hasonlóan a kelta 127/5111-es objektumban leírtakhoz, ezen objektum esetében több – pontosan huszonegy – kvadrát mintájából tudtuk kimutatni az ovate psilate morfortípust, míg a trapeziform SC öt kvadrátból került elő (**11. táblázat**). Mindkettő előfordulása köthető a toklász és a pelyvalevek borszövetéhez is, ami tovább erősíti a gabonák jelenlétére vonatkozó következtetéseket.

A lelőhely környezeti viszonyainak értékelésében indikatív szereppel bíró morfortípusok közül az itt

jelentkező globular bulbous morfotípus előkerülése nem meglepő, hiszen az ártéri ligeterdők alatt fejlődött talajokból korábban igazolták ennek jelenlétét (Pető 2010, 5.7.2.1. táblázat). Ezek az élőhelyek pedig közvetlenül a lelőhely mellett megtalálhatóak voltak az Ős-Marcál mentén. A lelőhelyet ért vízhatás nyomait nem csak a lelőhelyen felvett talajszelvények makromorfológiai leírása (Peto et al., 2012), hanem a diatóma vázak, illetve szivacsüstök megjelenése is alátámasztja (11. táblázat).

Záró gondolatok

Mind a makro-, mind a mikro-archaeobotanikai elemzés kimutatta, hogy a vizsgált objektumok funkciójának köze van gabonátárolásához, és az objektumok belső terének hasznosítása gabona eredetű anyagok elterítésével valósult meg. A 127/5111-es kelta objektumban mért adatok kimutatták, hogy a gabonaindikátorok – amelybe beleértendők a szántóföldi gyomok is – az objektum közepén koncentrálnak és egy jól definiálható pont körül szóródva, közel egyenletesen jelentkeznek az objektum központi részén. A szenült állapotban megmaradt, de töredezett gabonaszemek sérüléseinek forrása nehezen rekonstruálható. Természetesen nem zárható ki, hogy az őrlést, és ebből adódóan a gabona előkészítésének egyik fázisát jelenítik meg ezek a magtöredékek, de nagyobb a valószínűsége annak, hogy a szenülést követően rendkívül sérülékennyé váló szemtermések talajmechanikai hatások miatt sérültek. Ugyan ezen elgondolás alapján nehéz állást foglalni abban a kérdésben is, hogy a szenülés tudatos emberi tevékenység hatására (pl. főzés, pörkölés), vagy az objektum véletlen leégése, esetleg eltemetődés utáni szenülés eredményeképpen valósult-e meg (Berzsényi & Dálnoki 2010). Ugyanennél az objektumnál a minőségi elemzés fényt derített arra, hogy a gabonák vegetatív (lomblevélzet és szár), valamint generatív (kalász, szemtermés, virágzati fellevelek) szervei egyaránt jelen vannak az objektum belső terében. Ez azért bír kiemelkedő jelentőséggel, mert ez kizárja annak lehetőségét, hogy egy adott és jól elkülöníthető funkciót rendeljünk az objektumhoz. Amennyiben például gabonatisztításra használták volna, abban az esetben szár és lomblevélzeti maradványok előkerülését csak kis mennyiségben várnánk, ugyanakkor ezt a fitolitelemzés cáfolja. Továbbá nagyobb mennyiségben kellene megjelennie a makro-archaeobotanikai anyagban villa, kalászorsó, pelyva és toklász maradványoknak, töredékeknek (Harvey & Fuller 2005). Az eredmények természetesen nem zárják ki egyértelműen egyik funkciót sem, de egyértelműen alátámasztják annak a lehetőségét, hogy az objektumot nem egy jól definiálható célra, hanem vagy szezonálisan, vagy

egyéb megosztásban több cél érdekében is hasznosították.

A fent említettek részben igazak lehetnek a 129/4645-ös római kori bennszülött objektumra is, ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy itt az egyes növényanatómiai indikátorok eloszlásmintázata nem egyenletes, hanem egymást részben kiegészítő, részben egymásnak ellentmondó. Amennyiben csak a rondel SC és az elongate dendritic LC maximumát vesszük figyelembe, akkor logikusnak tűnne, hogy az objektum északi, északnyugati szegmensén gabonatisztításból származó, esetleg trágyával kevert, növényi hulladék helyezkedett el. Ha elfogadjuk azt az eshetőséget, hogy egy azon belső térben megvalósulhatott a gabonatisztításból származó alapanyagok és melléktermékek – legalább időszakos – együtt tárolása, akkor a fent említettekkel jó összefüggést ad a gabonaszemek eloszlásmintázata, amely – a feltételezett hulladékanyagtól – elkülönítve az objektum déli-délnyugati oldalán mutat felhalmozódást. A fenti elképzelésnek némileg ellentmond az elongate smooth psilate LC és a bulliform sejtípusok közel azonos térrészen való felhalmozódása. Ez azt vetíti elénk, hogy az objektumban megjelenő pázsítfűvek – feltehetően gabona – levél és szármagmaradványai is a szemtermékekkel egyazon térrészen foglalnak helyet. Ezt az ellentmondást oldhatja fel az a megfigyelés, amely szerint az objektumban előkerült gabonaszemtermések jelentős hányada töredékes, valamint az, hogy készletezett gabonához képest számuk alacsony. Ebben az esetben nem közös, egy időben megvalósuló tárolásról, hanem a különféle tisztítási hulladékok együttes deponálásáról lehet szó. Ezt alátámasztja, hogy miért olyan szokatlanul magas az elongate dendritic LC részaránya a mintákban. Akármelyik elképzelést fogadjuk is el, annyi bizonyos, hogy ellentétben a 127/5111-es objektummal a 129/4645-ös esetében a makro- és mikro-archaeobotanikai indikátorok sajátos eloszlásmintázata alapján különbségek mutatkoznak a belső térhasználat tekintetében, akár az életmódhoz kapcsolódó tevékenységről, akár hulladéktárolásról – illetve másodlagos nyersanyag raktározásáról – van is szó.

A 127/5111-es objektum belső terében jelentkező eloszlási mintázat a gabonaanyag egyenletes elterítésével jöhetett létre, amely magában foglalta a teljes növényt és nem szorítkozott a megtisztított termésre, a szalmaanyagra (szár és levél) vagy a tisztítás után visszamaradó tisztítási hulladéokra (villa, pelyva, toklász, kalászorsó töredékek). Ez gazdasági, illetve agrotechnikai szempontból jelentheti egyfelől azt, hogy a gabona előkészítés és tisztítás, illetve a tisztítási hulladék tárolása is megvalósult ebben az objektumban, de másfelől – ha elfogadjuk a trágya lehetséges jelenlétét az objektumon belül akkor – egy alommal kevert

trágyaraktár funkciót is elképzelhetünk. Ebben a tekintetben érdekes összefüggés mutatkozik egy csehországi (Syrovice) La Tène kori lelőhely félig földbemélyített házainál találtakal. Parma et al (2011) a mikromorfológia és a fitolitelemzés módszerével nyert eredményekre támaszkodva szalmatárolási funkciót feltételez hasonló méretű és struktúrájú épületobjektumoknál.

Különösen érdekes kérdéseket nyit meg ez, hiszen az etnográfiai irodalomból ismert, hogy egyes kultúrákban a trágya sokrétű szerepe, illetve annak fontossága visszahatott az állattartási technológiákra is. Sillar (2000) kifejti például, hogy a trágya kalorikus értéke nagyban befolyásolja a kerámia kiégetésének sikerességét, azaz a trágya minősége kerámiatechnológiai lépéseket (is) szabályoz. Éppen ezért a vizsgált népesség nem csak az állatfajok hullatékának különválogatásával szelektált a nyersanyag tekintetében, hanem elkülönítetten, a szabadtartásból származó, védett helyen felgyülemlett, illetve védett helyen felgyülemlett és aláalmazott (!) trágyaanyagot. Az állati trágya kerámiakészítésben való fontosságát számtalan tanulmány alátámasztja (David & Hennig 1972; London 1981; Tobert 1984; Gosselain 1992; Wagner et al. 1999; Perryman 2000; Shimada et al. 2003). Ebben a felsorolásban számunkra az aláalmazott trágya magasabb használati és technológiai értéke az, ami megnyitja az archaeobotanikai leletanyag értelmezésének egy másik kapuját. Minden adat egybevág azzal, hogy feltételezzük, hogy aláalmazott trágyát tartottak, tároltak, halmoztak fel a 127/5111-es objektum járófelszínén. Ebben ugyanis számíthatunk mind a vegetatív, mind a generatív növényi szervek megjelenésére (Derreumaux 2005)! Felmerül tehát annak lehetősége is, hogy az objektumban a gabonát tisztítása előtti és/vagy utáni állapotában (is) tárolták, másfelől pedig az, hogy az erős gabona szignál a trágya deponálásával, annak velejárójaként jelenik meg az objektum belső terében, avagy a két „nyersanyag” felváltva történő, időszakos tárolása valósult meg ebben az objektumban.

Egy – további kérdéseket felvető – érdekes összefüggés mutatkozik abban a tekintetben, hogy a kelta korú 127/5111-es objektum tizenhat kvadrátjából előkerültek grafitzemcsék is (vö.: **9. táblázat**), amelyek kerámiakészítésben való felhasználása a kelta kerámia technológia egyik ismertető jele (Kreiter et al. 2009). A grafit megjelenése, mint a kerámiakészítéshez használatos soványító anyag, korábban feltárt kelta korú objektumokból is ismert a területen (Vaday 2003b). Ebben a tekintetben a grafit, valamint a trágya, mint a kerámia kiégetésének egyik potenciális forrása (Sillar 1997) megnyitja annak lehetőségét is, hogy a 127/5111-es objektum egy olyan munkagödör volt, amely (részben?) a kerámiakészítést (is) kiszolgálta.

Köszönetnyilvánítás

A talajminták előkészítésében nyújtott segítségért köszönet illeti Szilágyiné Gáborné Irát (Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ). Az 1. ábrán látható légifelvételt Rákóczi Gábor készítette, ezúton is köszönjük munkáját. A 2. és 3. ábra rajzai Bötsch Enikő, Csuti Tamás, Hatos János és Kovács Zoltán (Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ, II. sz. Régió) munkáját dicsérik.

Források

- CATO, P. M.: *De agricultura*. A földművelésről. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1966, ford.: KUN, J.
- PLINIUS, S. C.: *Naturalis Historiae*. A növényekről. Részletek a XII-XXI. Könyvekből. Natura, Veszprém, 1987, ford.: TÓTH, S.
- VARRO, T.M.: *Rerum rusticarum libri tres*. A mezőgazdaságról. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1971, ford.: KUN, J.
- COLUMELLA, L.J.M.: *De re rustica*. Columella XII könyvei a' mezei gazdaságról, és egy különös az élőfákról. Trattner, Pest, 1819, ford.: FABIÁN, J.

Felhasznált irodalom

- ABRAHAMAS, P.W., ENTWISTLE, J.A. & DODGSHON, R.A. (2010): The Ben Lawers Historic Landscape Project: Simultaneous Multi-element Analysis of Former Settlement and Arable Soils by X-ray Fluorescence Spectrometry. *Journal of Archaeological Method and Theory* **17**: 231–248.
- ARRHENIUS, O. (1929): Die Phosphatfrage. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* **10**: 185–194.
- BARTOSIEWICZ, L. (2009): A comparison between roman period and Langobard dogs from Western Hungary. In: BÍRÓ, SZ. (Hrsg.) *Ex officina.... Studia in honorem Dénes Gábler*. Győr, 29–42.
- BEHRE, K-E. (2008): Collected seeds and fruits from herbs as prehistoric food. *Vegetation History and Archaeobotany* **17**: 65–73.
- BERZSÉNYI, B. & DÁLNOKI, O. (2010): A növényi makromaradványok elemzésének szerepe a régészetben. In: PETŐ, Á. & KREITER, A. (szerk./ed.): *Mikroszkóppal a régészet szolgálatában*. A Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat Alkalmazott Természettudományi Laboratóriumában végzett természet- és környezettudományos vizsgálatok bemutatása. *A K.Ö.SZ. Tudományos-népszerűsítő füzetek* **2**: 44–50. Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat, Budapest.
- BETHELL, P. & MÁTHÉ, I. (1989): The use of soil phosphate analysis in archaeology: a critique.

- In: HENDERSON, J. (ed.), *Scientific analysis in archaeology*. Oxford, Oxford University Committee Monograph No. **19**: 1–19.
- BRECHER, GY. (1960): *A magisteret atlasza*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 223 pp.
- BRITTON, K. & HUNTLEY, J. (2010): New evidence for the consumption of barley at Romano-British military and civilian sites, from the analysis of cereal bran fragments in faecal material. *Vegetation History and Archaeobotany* **20**: 41–52.
- BRYANT, V.M., & WEIR, G. (1986): Pollen analysis of floor sediment samples: a guide to room use. In: MORRIS, D. (ed.): *Archeological Investigations at Antelope House. National Park Service Publication in Archaeology* **19**: 58–71.
- CAPPERS, R. T. J., BEKKER, R. M. & JANS, J. E. A. (2006): *Digital Seed Atlas of the Netherlands / Digitale Zadenatlas van Nederland*. Barkhuis, 502 pp.
- DAVID, N. & HENNIG, H. (1972): The ethnography of pottery: a Fulani case seen in archaeological perspective. *A McCaleb Module in Anthropology from the Series Addison-Wesley Modular Publications* **21**.
- DERREUMAUX, M. (2005): How to detect fodder and litter? A case study from the Roman site „Le Marais de Dourges”, France. *Vegetation History and Archaeobotany* **14**: 373–385.
- EGRY, M. I. (1999): Javarézkori település nyomai Ménfőcsanak határában. *Arrabona* **37**: 11–81.
- EGRY, M. I. (2001): Beszámoló a Győr–Marcalváros-Bevásárlóközpont területén végzett megelőző régészeti feltárásokról. *Arrabona* **39**: 57–78.
- EGRY, M. I. (2004): Halomsíros temető Győr–Ménfőcsanak-Bevásárlóközpont területén. In: ILON, G. (Hrsg.) *ΜΩΜΟΣ III. Óskoros Kutatók III. Országos Összejövetelének konferenciakötete. Halottkultusz és temetkezés*. Bozsok–Szombathely 2002. október 7–9. Szombathely, 121–137.
- EGRY, M. I. (2006): Előzetes beszámoló a Győr–Ménfőcsanak, Eperföldéken végzett megelőző feltáráról (2005–2006). *Régészeti Kutatások Magyarországon 2006*, 27–52.
- GOSSELAIN, O. P. (1992) Bonfire of the inquiries - pottery firing temperatures in archaeology - what for? *Journal of Archaeological Science* **19** (3): 243–259.
- GÖBEL, W. & KNÖRZER, K. H. (1973): Naturwissenschaftliche Untersuchungen an einer späthallstattzeitlichen Fundstelle bei Langweiler, Kr. Düren. *Bonner Jahrbuch* **173**: 301–315.
- GYULAI, F. (2001): *Archaeobotanika. A kultúrnövények története a Kárpát-medencében a régészeti növénytani vizsgálatok alapján*. Jászöveg Kézi Könyvek, Budapest, 221 pp.
- GYULAI, F. (2010): *Archaeobotany in Hungary. Seed, Fruit, Food and Beverage Remains in the Carpathian Basin from the Neolithic to the Late Middle Ages*. Archaeolingua Main Series **21**, Budapest, 280 pp.
- GYULAI, F. & KENÉZ, Á. (2009): Mediterrane Landwirtschaft in Pannonien? Makrobotanische Forschung in Keszthely-Fenekpuszta. In: HEINRICH-TAMASKA, O., STRAUB P. (eds.): *Keszthely-Fenekpuszta in Spiegel der Jahrtausende. A Balatoni Múzeum időszakos kiállításának katalógusa*. Yeloprint, (Szombathely-2009), 31–35.
- HAJNALOVÁ, E. (1989): Evidence of carbonized loaf bread and cereals from Bratislava-Devin. *Slov. Archaeol.* **37**: 89–104.
- HAMMER, Ø., HARPER, D. A. T., & RYAN, P. D. (2001) PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* **4**(1): 9.
- HARVEY, E. L. & FULLER, D. Q. (2005): Investigating crop processing using phytolith analysis: the example of rice and millets. *Journal of Archaeological Science* **32**: 739–752.
- HOLLIDAY, V.T., LAWRENCE-ZUNIGA, D. & BUCHLI, V. (2010): Prologue to Uses of Chemical Residues to Make Statements About Human Activity. *Journal of Archaeological Method and Theory* **17**: 175–182.
- HOLLIDAY, V.T. & GARTNER, W.G. (2007): Methods of soil P analysis in archaeology. *Journal of Archaeological Science* **34**: 301–333.
- HORVÁTH F., DOBOLYI K. Z., MORSCHAUSER T., LÖKÖS L., KARAS L. & SZERDAHELYI T. (1995): *FLÓRA Adatbázis 1.2. Taxon-lista és attribútum-állomány*. Flóra Munkacsoport MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete és MTM Növénytár, Vácrátót – Budapest.
- HUTSON, S.R., MAGNONIB, A., BEACH, T., TERRY, R.E., DAHLIN, B.H., & SCHABELF, M.J. (2009): Phosphate fractionation and spatial patterning in ancient ruins: a case study from Yucatan. *Catena* **78**(3): 260–269.
- JACOMET, S., BROMBACHER, CH. & DICK, M. (1989): *Archäobotanik am Zürichsee. Ackerbau, Sammelwirtschaft und Umwelt von neolithischen und bronzezeitlichen Seeufersiedlungen im Raum Zürich*. Berichte der Zürcher Denkmalpflege 7.
- JACOMET, S. & KREUZ, A. (1999): *Archäobotanik: Aufgaben, Methoden und Ergebnisse vegetations- und agrargeschichtlicher Forschung*. Stuttgart, 368 pp.

- JONES, V.H. (1941): The Nature and Status of Ethnobotany. *Chron. Bot.* **6(10)**: 219–221.
- JUGGINS, S. (2007): *C2 Version 1.5. User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation.* Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK.
- KENÉZ, Á., PETŐ, Á., CSÉKI, A., MAJERIK, V. & LARSSON, N. (in press.): Ember és növény kapcsolatának vizsgálata M3 Nyíregyháza-Vásárosnamény, Ófehértó–Maró 76. és Ófehértó–Kishomok 207. (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) lelőhelyek archaeobotanikai adatai alapján. In: KVASSAY, J. (szerk./ed.), *Évkönyv és jelentés a K.Ö.SZ./MNM-NÖK 2010. évi feltárásairól.*
- KENT, S. (1984): *Analyzing activity areas, an ethnoarchaeological study of the use of space.* University of New Mexico Press, New York, 259 pp.
- KIRÁLY, G. (2009): Új Magyar fűvészkönyv. Magyarország hajtásos növényei. Határozókulcsok. [New Hungarian Herbal. The Vascular Plants of Hungary. Identification key.] – Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság, Jósvafő. 616 p.
- KNUDSON, K.J. & FRINK, L. (2010): Ethnoarchaeological analysis of Arctic fish processing: chemical characterization of soils on Nelson Island, Alaska. *Journal of Archaeological Science* **37**: 769–783.
- KOVÁCS, E. (2001): Állattartás a vajdasági Doroszlón. *Agrártörténeti Szemle/Historia rerum rusticarum* **43(3-4)**: 581–583.
- KOVÁCS, G. (2006): A talajban előforduló régészeti anyagok mikromorfológiai vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan* **55(2)**: 499–514.
- KOVÁCS, G. (2011): Régészeti talaj-mikromorfológia. Antropogén rétegek talaj-mikromorfológiai vizsgálata. *Matrica Füzetek III.* Százhalombatta.
- KOVÁCS, T. (1997): Das Grab von Ménfőcsanak. Ein Beitrag zu Transdanubischen Denkmälern der Vorhügelgräberzeit. *Χρόνος. Beiträge zur prähistorischen Archäologie zwischen Nord- und Südosteuropa.* Festschrift für Bernhard Hänsel. *Studia Honoraria*, 1.: 297–301., Espelkamp.
- KNÖRZER K. H. (1991): Deutschland nördlich der Donau. In: VAN ZEIST W., WASYLIKOWA K. & BEHRE K. E. (eds.) *Progress in Old World Palaeoethnobotany.* Rotterdam, Balkema Press, 189–206.
- KOHLER-SCHNEIDER M. & HEISS A. (2010): Archäobotanische Untersuchung der latènezeitlichen Siedlung von Michelstetten, Niederösterreich. In: LAUERMAN E. (szerk./ed.). *Die latènezeitliche Siedlung von Michelstetten Die Ausgrabungen des Niederösterreichischen Museums für Urgeschichte in den Jahren 1994-1999.* Band 7, St. Pölten, 116–147.
- KREITER, A., BAJNÓCZY, B., HAVANCSÁK, I., TÓTH, M., & SZAKMÁNY, GY. (2009): Kelta kerámiák makroszkópos és archaeometriai vizsgálata. In: KVASSAY, J. (szerk./ed.) *Település- és temetőfeltárás Dunaszentgyörgy határában.* A 6. sz. főút 121 + 650 – 124 + 800 km szakasza között, a rehabilitációs munkálatokat megelőző régészeti feltárások (2007) eredményei. *VIA Kulturális Örökségvédelmi Kismonográfiák I.*: 157–199.
- KÜSTER H. (1988): Pflanzreste der Späthallstatt-/Frühlatènezeit aus Niederererlbach (Niederbayern). *Bayrische Vorgeschichtsblätter* **53**: 77–82.
- LONDON, G. (1981): Dung-Tempered Clay. *Journal of Field Archaeology* **8:2**: 189–195.
- LÓPEZ VARELA, S.L. & DORE, CH.D. (2010): Social Spaces of Daily Life: A Reflexive Approach to the Analysis of Chemical Residues by Multivariate Spatial Analysis. *Journal of Archaeological Method and Theory*, **17**: 249–278. nincs a helyén
- MADELLA, M., ALEXANDRE, A. & BALL, T. (2005): International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany* **96**: 253–260.
- MATTERNE-ZECH, V. (1996): A study of the carbonized seeds from a La Tène D1 rural settlement, "Le Camp du Roi" excavation at Jaux (Oise), France. *Vegetation History and Archaeobotany* **5**: 99–104.
- METCALFE, R. (1960): *Anatomy of the monocotyledons.* Vol. I. Gramineae. Oxford University Press, Oxford at the Clarendon Press, 731 pp.
- MIDDLETON, W.D. & PRICE, T.D. (1996): Identification of Activity Areas by Multi-element Characterization of Sediments from Modern and Archaeological House Floors Using Inductively Coupled Plasma-atomic Emission Spectroscopy. *Journal of Archaeological Science* **23**: 673–687.
- MILEK, K. (2006): 'Houses and households in Early Icelandic Society: Geoarchaeology and the interpretation of social space'. Ph.D. dissertation, University of Cambridge.
- PALMER, C. & VAN DER VEEN, M. (2002): Archaeobotany and the social context of food. *Acta Palaeobotanica* **42(2)**: 195–202.
- PARMA, D., LENKA, L., JAROŠOVÁ, M. & PETR, L. (2011): Geoarchaeology of La Tène Sunken Houses at Syrovice, Czech Republic: Importance for Understanding Living Strategies. *Interdisciplinaria Archaeologica* **2(1)**: 15–25.

- PEARSALL, D.M. (2000): *Paleoethnobotany. A handbook of procedures.* Academic Press, London, 700 pp.
- PERRYMAN, J. (2000): *Traditional pottery of India*, London, A & C Black Ltd, 192 pp.
- PERSAITS, G., FARKAS, CS., PAP, I.K. (2010): Késő vaskori (kelta), koraközépkori és kora-Árpád-kori őrlőkövek fitolitelemzése (Vas megye, Magyarország). *Archeometriai Műhely VII(3)*: 215–226.
- PETŐ, Á. (2010): *A Magyarországon előforduló meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolit profiljának katasztere.* „Közöletlen PhD dolgozat”, Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola, Természetvédelem és Tájökológia Tanszék, Gödöllő.
- PETŐ, Á. & BARCZI, A. (2011): A Magyarországon előforduló meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolit profiljának katasztere III. A vizsgált csernozjom és szikes eredményei. *Tájökológiai Lapok 9(1)*: 147–190.
- PETŐ, Á., KENÉZ, Á., BAKLANOV, SZ., ILON, G. & FÜLEKY, GY. (2012): Talajtani paraméterek alkalmazása régészeti térhasználat elemzésben. Módszertani esettanulmány Győr–Ménfőcsanak-Szélesföldek lelőhelyről. *Agrokémia és Talajtan 61(1)*: 57–76.
- P. HARTYÁNYI, B., NOVÁKI, GY. & PATAY, Á. (1967/68): Növényi mag- és termésleletek Magyarországon az újkőkortól a XVIII. századig I. *Magyar Mezőgazdasági Múzeum Közleményei*: 5–85.
- POPOVTSCHAK, M., & ZWIAUER, K. (2003): *Thunau am Kamp – Eine befestigte Höhensiedlung: Archaeobotanische Untersuchungen urnenfelderzeitlicher bis frühmittelalterlicher Befunde.* *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission.* Österreichische Akademie der Wissenschaften, 267 pp.
- RADICS, L. (1998): *Gyommaghatározó.* Mezőgazda, Budapest, 179 pp.
- RAPAICS, R. (1943): *Termesztett növényeink eredete.* Kincsestár 89, Budapest, 78 pp.
- ROPER, D.C. (1979): The Method and Theory of Site Catchment Analysis: A Review. *Advances in Archaeological Method and Theory 2*: 119–140.
- RÖSCH, M. (2008): New aspects of agriculture and diet of the early medieval period in central Europe: waterlogged plant material from sites in south-western Germany. *Vegetation History and Archaeobotany 17(Suppl 1)*: 225–238.
- SÁGI, K. & FÜZES, M. (1966): A régészeti növénytan alapelemei és néhány módszertani kérdése. *Múzeológiai Módszertani Füzetek 5*: 71.
- SCHERMANN, SZ. (1966): *Magismeret I-II.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 861pp.
- SCOTT CUMMINGS, L. (1988): Sampling prehistoric structures for pollen and starch granules. In: BRYANT, V.M. & WRENN, J.H. (eds.), *New Developments in Palynomorph Sampling, Extraction, and Analysis.* American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, *Contributions Series 33*: 35–51.
- SHIMADA, I., GOLDSTEIN, D., SOSA, J. & WAGNER, U. (2003): Early Pottery Making in Northern Coastal Peru. Part II: Field Firing Experiments. *Hyperfine Interactions 150(1)*: 91–105.
- SILLAR, B. (1997): Reputable pots and disreputable potters: individual and community choices in present-day pottery productions and exchanges in the Andes. *Not so much a pot, more a way of life.* Cumberpatch, C. G. Blinkhorn, P.W., Oxford, Oxbow, 1–20.
- SILLAR, B. (2000): Dung by Preference: The choice of fuel as an example of how Andean pottery production is embedded within wider technical, social, and economic practices. *Archaeometry 42(1)*: 43–60.
- ŠOŠTARIČ, R. & KÜSTER, H. (2001) Roman plant remains from Veli Brijun (Island of Brioni), Croatia. *Vegetation History and Archaeobotany 10*: 227–233.
- STEEN HENRIKSEN, P. & ROBINSON, D. (1996): Early Iron Age agriculture: archaeobotanical evidence from an underground granary at Overbygard in northern Jutland, Denmark. *Vegetation History and Archaeobotany 5*: 1–11.
- SULLIVAN, K.A. & KEALHOFER, L. (2004): Identifying activity areas in archaeological soils from a colonial Virginia house lot using phytolith analysis and soil chemistry. *Journal of Archaeological Science 31*: 1659–1673.
- SÜMEGI, P., KERTÉSZ, R. & RUDNER E. (2003): Magyarország rövid környezettörténete. In: VISY, ZS. (szerk./ed.): *Magyar régészet az ezredfordulón.* Nemzeti Kulturális Örökség Minisztériuma, Teleki László Alapítvány, Budapest, 51–56.
- SZŐNYI, E. (2003): Römische Brunnen in der Kleinen Tiefebene. *Antaeus 26*: 141–158.
- TAKÁCS, M. (1996): A honfoglalás és korai Árpád-kori telepfeltárások az M1 autópálya nyugat-magyarországi szakaszán. In: RÉVÉSZ, L. &

WOLF, M. (szerk.) *A magyar honfoglalás korának régészeti emlékei*. Miskolc, 197–217.

TAKÁCS, M. (1993): Falusi lakóházak és egyéb építmények a Kisalföldön a 10-16. században (Kutatási eredmények és további feladatok). In: CSERI, M & PERGER, GY. (szerk.) *A Kisalföld népi építésze* (a Győrött 1993. május 24-25-én megrendezett konferencia anyaga), Szentendre–Győr, 7–53.

TANKÓ, K. (2004) Rekonstruktion eines Laténezeitlichen grubenhauses aus Ménfőcsanak–Sezles (B 83). *Communicationes Archaeologicae Hungariae* **2004**: 105–112.

TANKÓ, K. (2010): Late Iron Age settlement in the vicinity of Ménfőcsanak. (Road no. 83. and Bevásárlóközpont). In: Borhy L. (eds.) *Studia Celtica Classica et Romana Nicolae Szabó septuagesimo dedicata*. Pytheas Kiadó, Budapest, 249–260.

TANKÓ, K. & EGRY, M. I. (2009): Kelta település Győr–Ménfőcsanak-Bevásárlóközpont területén. Az 1995. és 2006. évi ásatás. In: ILON, G. (szerk.) *ΜΩΜΟΣ VI. Őskoros kutatók VI. összejövetelének konferenciakötete. Nyersanyagok és kereskedelem*. Kőszeg, 2009. március 19–21. [Proceedings of the 6th meeting for the researchers of prehistory. Raw materials and trade.] Szombathely, 2009, 401–416.

TOBERT, N. (1984): Ethnoarchaeology of pottery firing in Darfur, Sudan: implications for ceramic technology studies. *Oxford Journal of Archaeology* **3(2)**: 141-156.

TOMKA, P. (2003): Die awarischen Brunnen in der Kleinen Tiefebene. *Antaeus* **26**: 159–177.

UZSOKI, A. (1970): Előzetes jelentés a ménfőcsanaki kelta temető ásatásáról. *Arrabona* **12**: 5–89.

UZSOKI, A. (1987) Ménfőcsanak. In: KOVÁCS, T., SZABÓ, M. & PETRES, É. (eds.) *Corpus of Celtic finds in Hungary*. Volume 1., Transdanubia 1. Akadémiai Kiadó, Budapest, 13–61.

VADAY, A. (2003a): Wells excavated in the Carpathian Basin during a decade. *Antaeus* **26**:25–68.

VADAY, A. (2003b): A ménfőcsanaki kelta lelőhely. In: VISY, ZS. (szerk./ed.) *Magyar régészet az ezredfordulón*. Nemzeti Kulturális Örökség Minisztériuma, Teleki László Alapítvány, Budapest, 201–202.

VADAY, A. (2006): A ménfőcsanaki kelta temető kronológiai modellje. *Arrabona* **44(1)**: 597–610.

VARGA, K. (2007): Előzetes beszámoló a Ménfőcsanak-Eperföldek lelőhelyen feltárt késő római temetőről. In: BÍRÓ, SZ. (szerk.) *Firkák I. Fiatal Római koros kutatók konferenciakötete*. 2006. március 8-10. Xantus János Múzeum, Győr, 35–49.

VYNCKE, K., DEGRYSE, P., VASSILIEVA, E., & WAELKENS, M. (2011): Identifying domestic functional areas. Chemical analysis of floor sediments at the Classical-Hellenistic settlement at Düzen Tepe (SW Turkey). *Journal of Archaeological Science* **38**: 2274–2292.

WAGNER, U., GEBHARD, R., HÄUSLER, W., HUTZELMANN, T., RIEDERER, J., SHIMADA, I., SOSA, J., & WAGNER, F.E. (1999): Reducing firing of an early pottery making kiln at Batán Grande, Peru: A Mössbauer study. *Hyperfine Interactions* **122(1)**: 163–170.

WASYLIKOWA, K., CARCIUMARU, M., HAJNALOVÁ, E., P. HARTYÁNYI, B., PASHKEVICH, G.A., & YANUSHEVICH, Z.V. (1991): East-Central Europe. In: VAN ZEIST, W., WASYLIKOWA, K. & BEHRE, K.E. (eds): *Progress in Old World Palaeoethnobotany*. Rotterdam, Balkema Press, 207–239.

ZOHARY, D., HOPF, M., WEISS, E. (2012): Domestication of Plants in the Old World: The origin and spread of domesticated plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. Oxford University Press, Oxford, UK.

A MULTI-ANALYTICAL APPROACH FOR CHARACTERIZING PIGMENTS FROM THE TOMB OF *DJEHUTYEMHAB* (TT194), EL- QURNA NECROPOLIS, UPPER EGYPT

FESTÉKANYAGOK AZONOSÍTÁSA *DJEHUTYEMHAB* (TT194) SÍRJÁBÓL TÖBBFAJTA VIZSGÁLATI MÓDSZER SEGÍTSÉGÉVEL

HUSSEIN HASSAN MAREY MAHMOUD

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

E-mail: marai79@hotmail.com

Abstract

The present paper aims to characterize some ancient pigments from the painted reliefs of the tomb of Djehutyemhab (TT194), (Ramesside Period, ca. 1298–1064 BC), Nobles tombs, El-Qurna necropolis (Luxor), Upper Egypt. The analytical techniques used in this study were: optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM) equipped with an energy dispersive X-ray detector (EDS), X-ray diffraction analysis, micro-Raman and Fourier transform infrared spectroscopies (μ -Raman and FT-IR). Based on the results of these analyses, the stratigraphic structure, the morphology and the chemical composition of the paint layers were identified. The results revealed that the blue pigment is Egyptian blue (cuprorivaite, $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$), the turquoise-green pigment is Egyptian green (Cu-wollastonite) together with traces of cuprorivaite, the yellow pigment is yellow ochre, and the red pigment is red ochre. Moreover, the preparation layer was identified as a mixture of gypsum and calcite. FT-IR analysis of the paint layers revealed the use of a proteinaceous binder (probably of animal glue). The obtained results will help in establishing a conservation plan of these murals.

Kivonat

A tanulmány célja Djehutyemhab (TT194), (Ramesszida periódus, ca. 1298–1064 BC) sírjából előkerült festékanyagok azonosítása. A sír egy jelentős személyiséghez tartozott, az El-Qurna temetőből került elő (Luxor, Felső Egyiptom). A festékanyagok a sírkamra festett reliefsjeiből származnak. A vizsgálati módszerek a következők voltak: optikai mikroszkópia (OM), szkennings elektron mikroszkópia (SEM), amelyet energia diszperzív röntgen detektorral szereltek fel (EDS), röntgen diffrakció, mikro-Raman és Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia (μ -Raman és FT-IR). Ezen vizsgálatok eredményeinek alapján azonosítható volt a festékanyagok rétegtani szerkezete, morfológiája és kémiai összetétele. Az alkalmazott kék szín az ún. egyiptomi kék-nek bizonyult (kalcium-réz-szilikát, kuprorivaite, $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$), a türkiz színű festékanyag ún. egyiptomi zöld (Cu-wollastonit) amiben kuprorivaite nyomok is előfordulnak. A sárga színt sárga okkerből nyerték, a vörös szín pedig vörös okkerből származik. Továbbá, az alapozó rétegben gipsz és kalcit keverékét mutattuk ki. A festékrétegek FT-IR vizsgálata szerint fehérje tartalmú kötőanyagot (valószínűleg állati eredetű enyvet) használtak. Az eredmények elősegítik a falfestmények megőrzését és segítenek a megfelelő konzerválási lépések kiválasztásában.

KEYWORDS: PIGMENTS; EL-QURNA NECROPOLIS; NOBLES TOMBS; SEM-EDS; μ -RAMAN; XRD; FT-IR

KULCSSZAVAK: FESTÉKANYAGOK; EL-QURNA TEMETŐ, FŐURI SÍROK; SEM-EDS; μ -RAMAN; XRD; FT-IR

Introduction

The ancient city of Thebes is located on the western bank of the Nile River, about 650 km south to Cairo, Egypt. The private or ‘Nobles’ tombs are scattered along the eastern slopes of the Thebes Mountain between the Queen’s Valley and the King’s Valley. There are around five hundred private tombs at least 415 catalogued tombs, signated TT for Theban Tomb belonging to officials of the New Kingdom (c.1570–1070 BC) (Kamil 1976) some of them very simple, the others more complex and beautifully decorated. The

typical Theban tomb type is the [rock-cut tomb](#) and consists of two main parts the subterranean or underground burial chamber, most often undecorated and the decorated chapel accessible for the living. The tomb *Djehutyemhab* (TT194) is located in the necropolis of El-Assasif in Thebes in Egypt, *Djehutyemhab* was an overseer of the marshland-dwellers of the Estate of Amun and a scribe in the temple of Amun during the Nineteenth dynasty of Egypt. This tomb is a part of the TT192 tomb complex (Porter & Moss 1960; Karl-Joachim 1995).

These tombs are carved in the Thebes Mountain (462 meter above present sea-level) composed of marine limestone [lower Eocene] and marls more than 350m thick (Marey Mahmoud 2004). According to Wüst & Schlüchter (2000), the rocks in the Thebes Mountains are composed of carbonate and clay minerals with minor amounts of halite, quartz, gypsum and anhydrite. The lower levels of the Theban Formation are composed of slightly clayey, sub-chalky limestone, which serves to enclose a few bedrock layers of flint nodules and becomes more massive at greater depths (Guillaume & Piau 2003). The microscopic observations of stone samples from the bedrock showed microcrystalline calcite matrix with fossils and quartz grains embedded in a micritic matrix (Marey Mahmoud 2010).

Research aims

There are only few published data on the ancient materials used in the Pharaonic monuments at the western Thebes in comparison with the studies on the weathering mechanisms affecting these monuments. Because of this, this research was devoted to characterize samples of wall paintings collected from the tomb of *Djehutyemhab* (TT194), (Ramesside Period, c. 1298–1064 BC), El-Qurna necropolis (Luxor), Upper Egypt. The analytical techniques utilized in this work were optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM) equipped with an energy dispersive X-ray detector (EDS), X-ray diffraction analysis (XRD), micro-Raman and Fourier transform infrared spectroscopies (μ -Raman and FT-IR).

Microscopic methods are necessary for identification of the paint layers. From this technique, one can gather information on the sequence and stratigraphy of paint layers, colour and texture of those layers and their thickness (Silva 2006). Scanning electron microscopy has been extensively used for the material characterization of objects of artistic and archaeological importance, especially in combination with energy dispersive X-ray microanalysis (SEM/EDS) (Schreiner et al. 2004). XRD is considered the most famous method used in the identification of crystalline compounds by their diffraction. Raman spectroscopy is a micro-analytical technique with certain features which are extremely advantageous for applications in the field of art and archaeology. This technique is particularly suitable for the identification of pigments in complex matrixes and inorganic pigments in artworks (Edwards et al. 2000). Infrared spectroscopy is an analytical technique that provides information about the chemical bonding or molecular structure of materials, whether organic or inorganic (Christy 2001).

The results of this study might bring us much information on materials and technologies used during the Ramesside period in Egypt. Furthermore, the obtained results will be used in establishing a conservation plan of the tomb.

Materials and methods

Sampling

During the inspections of the studied tomb, the visual observations of the damaged wall paintings led to diagnose the weathering forms; the condition of the wall paintings has been unfortunately decayed extensively and varies considerably. As a result of these deterioration processes, a large number of detached fragments were found at the tomb. Also, representative very small pigment samples (a few milligrams) were carefully scraped off the painted walls with a metallic scalpel from areas showing a good state of preservation. The investigations were undertaken to gather mineralogical, spectroscopic and chemical data of the studied wall paintings.

Analytical techniques

Optical investigation (OM)

In order to analyze the stratigraphy of the paint layers, polished cross-sections were prepared and examined. Tiny samples were embedded in epoxy resin (EpoFix), cross-sectioned using variable speed silicon carbide papers, and examined by a Zeiss (stemi DV4) stereomicroscope with Sony (DSC-S85) camera.

Scanning electron microscopy (SEM-EDS)

The morphology of the paint layers was investigated using a JEOL JSM-840A scanning electron microscope and the microanalysis was carried out using an energy dispersive X-ray detector (EDS) Oxford ISIS 300 micro analytical system, with a detection limit of less than 1% depending on the element. For matrix correction protocol, ZAF correction was used. Highly polished cross-sections prepared on the studied samples were examined using SEM. The investigation was carried out in the backscattered electrons mode (BSE), this mode usually provides more information than the secondary electron mode, thus the different grey range, a consequence of the atomic numbers of the elements constituent of materials, let us distinguish the different layers with different elemental composition.

X-ray powder diffraction analysis (XRD)

For the XRD measurements, the collected samples were ground into powder in an agate mortar. The measurements were performed using a Phillips PW1710 diffractometer with Ni-filtered $\text{CuK}\alpha$ radiation on randomly oriented samples. The

samples were scanned over the 3–63° 2 θ interval at a scanning speed of 1.2°/min. Quantitative estimates of the abundance of the mineral phases were derived from the XRD data, using the intensity of a certain reflection, the density and the mass absorption coefficient for CuK α radiation for the minerals present. Corrections were made using external standard mixtures of minerals. The detection limit was ± 2 % w/w.

μ -Raman spectroscopy

Micro-Raman spectra were recorded using a triple grating spectrometer (Dilor XY) equipped with a Charge Coupled Device (CCD) liquid-nitrogen cooled detector system. Raman spectra were recorded using the 632.8 nm excitation of an 35 mW air-cooled He–Ne laser (Spectra Physics, mod.127). The spectral resolution of the system was ~ 3 cm $^{-1}$. The laser was focused on the sample through the system's microscope equipped with a standard objective lens (100x). In order to avoid

damaging of samples, the laser power was kept at 0.1–0.3mW.

Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)

Infrared spectroscopy is a powerful tool for analyzing both organic and inorganic materials, including crystalline and amorphous minerals. FT-IR spectra were collected using a Jasco 4200 FT-IR Spectrometer. Freshly prepared KBr pellets of powdered samples were prepared and examined in transmission mode in the wavenumber range of 4000–400 cm $^{-1}$.

Results

The results of the semi-quantitative EDS microanalysis (atomic %) and the mineralogical composition determined by XRD method of the studied samples are given in **Tables 1. and 2.**, respectively.

Table 1.: SEM-EDS microanalysis (atomic %) of the studied samples

1. táblázat: A vizsgált minták SEM-EDS vizsgálata – kémiai összetétel (atom %)

Sample/ element	Na	Mg	Al	Si	S	P	K	Ca	Fe	Ti	Cu
Bedrock	–	–	3.58	4.60	1.4	–	–	41.66	–	–	–
	–	1.32	–	3.83	1.52	–	–	28.03	–	–	–
	–	2.23	2.43	4.87	0.97	–	–	31.27	–	–	–
Preparation layer	2.19	–	6.79	9.99	24.71	–	–	30.70	–	–	–
	–	–	9.74	7.42	5.39	–	–	27.37	–	–	–
	–	–	5.81	11.57	37.73	–	–	12.43	–	–	–
Blue pigment	10.09	2.39	5.47	45.22	18.46	3.69	1.5	19.08	1.84	–	4.19
	7.49	2.08	4.61	44.34	13.73	2.31	1.31	13.86	0.46	0.60	10.27
	5.85	1.52	2.22	39.52	14.59	2.03	1.45	19.05	1.27	–	21.75
Turquoise- green pigment	–	0.42	5.29	24.79	0.83	0.62	0.77	6.14	1.89	0.48	8.51
	–	1.81	4.95	13.37	4.10	0.46	1.01	6.53	1.13	–	6.68
	–	3.72	1.33	12.18	1.32	0.98	1.07	11.02	75.76	–	11.46
Red pigment	20.55	1.63	5.58	13.66	28.13	1.93	–	17.57	8.69	0.74	–
	11.81	2.06	10.32	21.01	17.04	3.00	–	16.18	15.61	1.29	–
	20.66	–	2.99	6.86	27.72	1.24	–	14.77	20.61	–	–
Yellow pigment	1.99	–	10.57	47.18	14.80	–	2.80	9.33	8.10	2.57	–
	0.72	–	14.09	27.91	7.65	–	0.87	18.21	11.53	1.09	–
	–	–	8.79	18.62	8.73	–	–	12.83	2.64	0.28	–

Table 2.: The mineralogical composition of the studied samples**2. táblázat:** A vizsgált minták ásványos összetétele

Sample/Component	C	Q	An	Gy	Pl	EB	Wol	He	Go	Ha	Cl
Bedrock	+++	++	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Preparation layer	++	+	++	+++	-	-	-	-	-	+	+
Blue pigment	+++	+	+++	++	-	+	-	-	-	-	-
Turquoise-green pigment	++	+++	+++	+++	-	-	++	-	-	-	-
Red pigment	++	+++	-	++	+	-	-	+	-	-	+
Yellow pigment	+++	-	++	+++	+	-	-	-	+	-	+

C= calcite; Q=quartz; An=anhydrite; Gy=gypsum; Pl= plagioclase; EB=Egyptian blue; Wol=wollastonite; He= hematite; Go= goethite; Ha=halite; Cl=clay minerals, - = not determined; + = traces; ++ = minor constituent; +++ = major constituent.

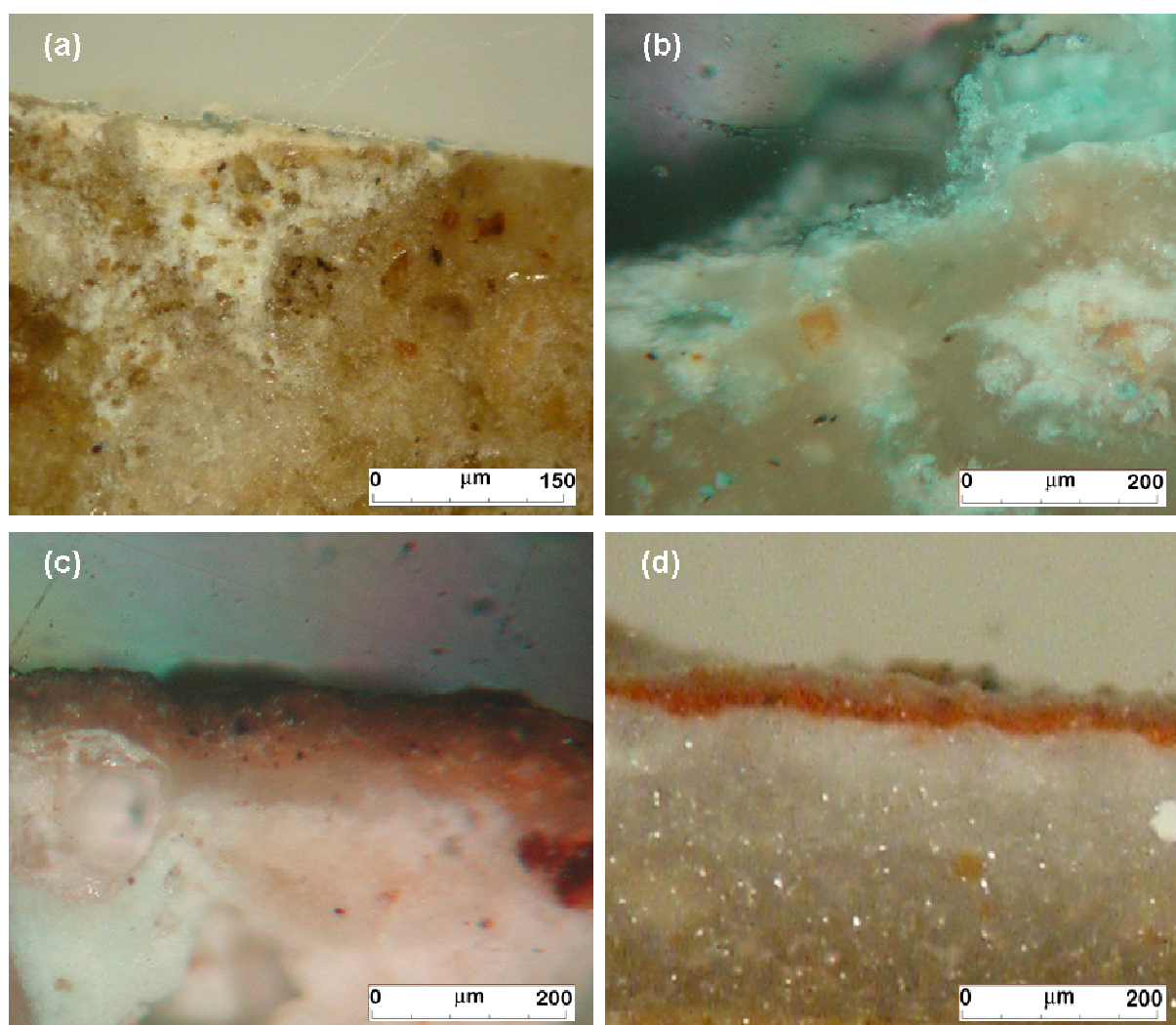


Fig. 1.: Optical photomicrographs of cross-sections of the paint layers. (a) The blue paint layer (microscope objective 10x magnification). (b) The turquoise-green paint layer (microscope objective 20x magnification, under reflected light). (c) The yellow-orange paint layer (microscope objective 20x magnification, under reflected light). (d) The red paint layer (microscope objective 20x magnification).

1. ábra: Mikroszkópos felvételek a festékrétegekről (a) kék festék (b) türkiz zöld festék. (c) sárga, narancssárga festék. (d) vörös festék

Optical examination

Figure 1. illustrates the optical photomicrographs obtained on the examined paint layers. In respect with the optical observation of the stratigraphic structure of the paint layers, it was clear that the paints are applied on a thin layer of the white preparation layer. In some areas of the wall, however, the paints were applied directly on the well-polished stone substrate. In the case of the blue paint layer, we can observe tiny particles of the blue pigment are scattered on a thin white wash (ranging from 100 to 200 μm) (**Fig. 1a**). The optical examination of the turquoise-green paint layer (**Fig. 1b**) shows that this layer is slightly thick and the colour of the sample is a brilliant turquoise, which suggests that the pigment has been produced in an oxidizing atmosphere. Different firing temperatures and cooling rates create a large range of hues (Marey Mahmoud 2004). The optical examination of the red pictorial layer (**Fig. 1c**) shows a thin red irregular layer with dark particles diffusing into the layer. In the case of the yellow

pictorial layer, the optical examination shows orange-yellow hues and a dark film covers the paint layer (**Fig. 1d**). Moreover, in most of the cross-sections we can observe that the stone substrate below the paint layers is rich in large grains of quartz.

BSE-EDS results

The backscattered electrons images (BSE) obtained on the outer surface of the studied samples are given in **Figure 2**. The microanalysis of the blue paint layer revealed as major elements silicon, calcium and copper, whose atomic percentage ratio are in agreement with the chemical formula of cuprorivaite ($\text{CuCaSi}_4\text{O}_{10}$). The BSE image obtained on the blue paint layer (**Fig. 2a**) shows the heterogeneity and coarse crystals of cuprorivaite. Other elements like iron, sodium, potassium, titanium, aluminium, magnesium, sulphur and phosphorus were also detected. The presence of Ti in the studied samples could be a result of the presence of ilmenite (FeTiO_3) which is found in the Egyptian sand (Berry 1999).

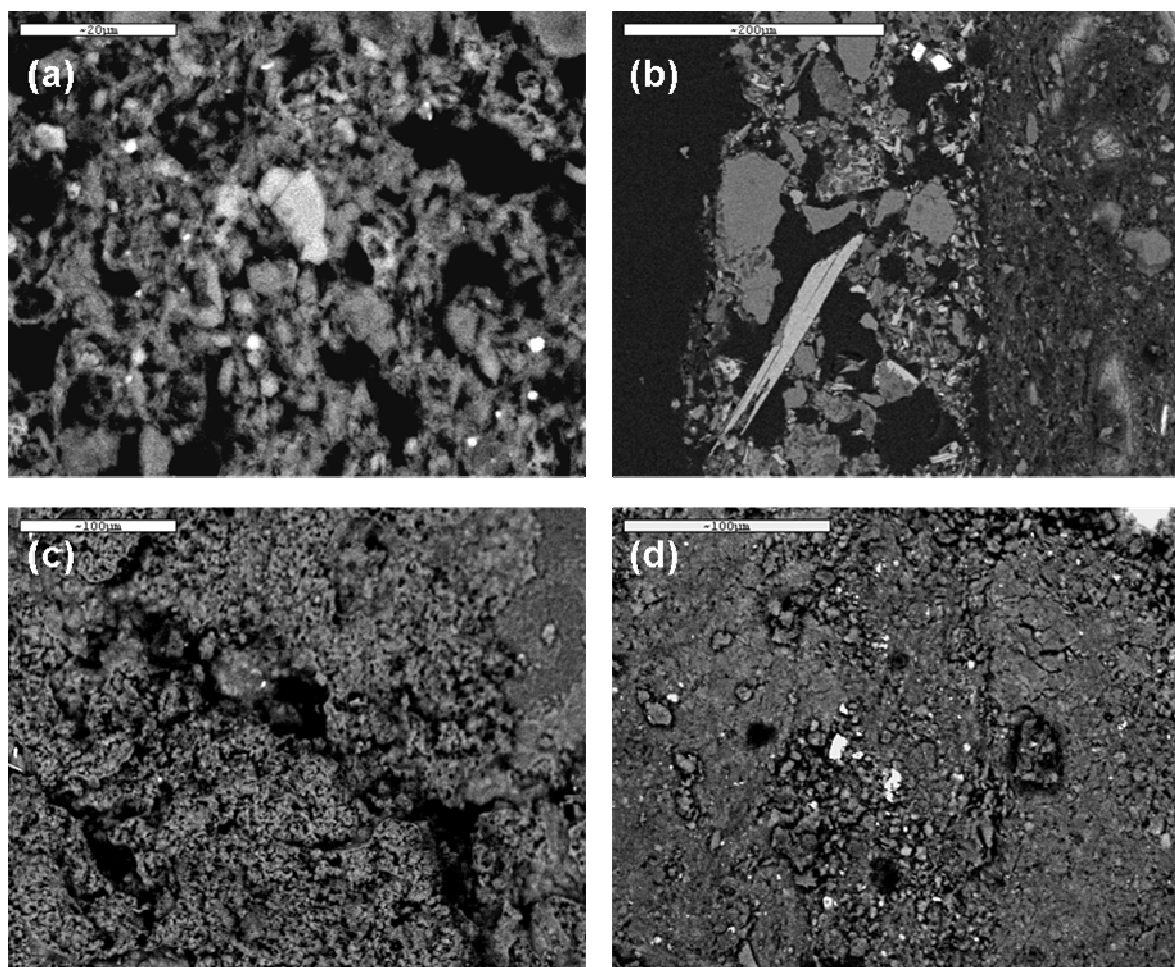


Fig. 2. BSE images obtained on the outer surfaces of the paint layers. (a) The blue paint layer. (b) The turquoise-green paint layer. (c) The red paint layer. (d) The orange-yellow paint layer.

2. ábra: Visszaszórt elektron kép (BSE) a festék rétegek külső felzínéről (a) kék festék (b) türkiz zöld festék. (c) sárga, narancssárga festék. (d) vörös festék

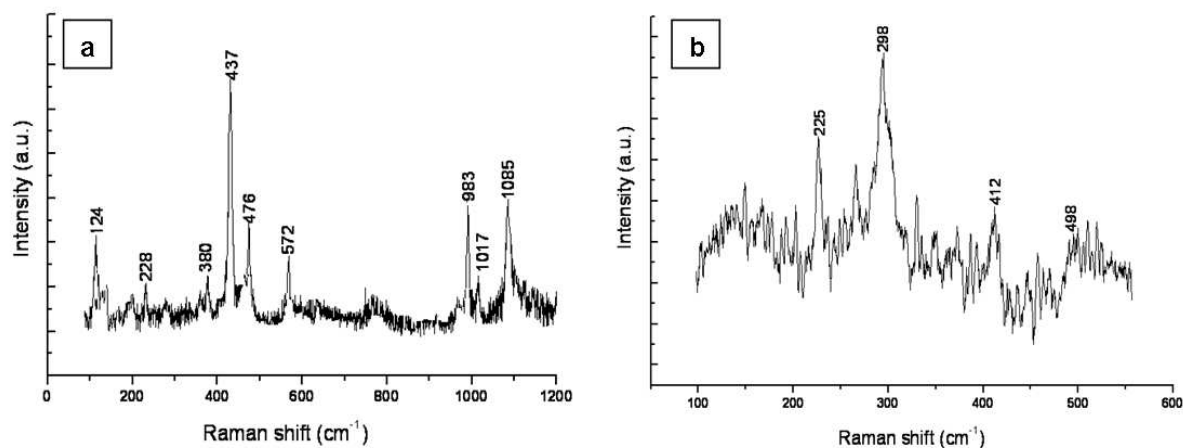


Fig. 3. μ - Raman spectra recorded on pigment samples. (a) The blue paint layer. (b) The red paint layer.

3. ábra: A festékek μ - Raman spektruma (a) kék festék (b) vörös festék

The microanalysis obtained on the turquoise-green paint layer revealed high ratios of silicon, while calcium and copper with other elements of aluminium, magnesium, potassium, sulphur, iron and phosphorus. BES image obtained on the sample shows a massive quartz, silica-rich amorphous phase and crystals of parawollastonite $[(Ca,Cu)_3(Si_3O_9)]$ (**Fig. 2b**). EDS microanalysis of the red pictorial layer shows that the peak of iron (8–20%) is present, which indicates the existence of haematite (α - Fe_2O_3) as possible colouring material. Sulphur and calcium detected in sample refer to the existence of calcium sulphates coming from the preparation layer. The strong contribution of aluminium and silicon indicates a possible existence of an aluminosilicate material (Zorba et al. 2007). BSE micrograph obtained on the sample shows the granular aggregate particles of the red ochre; large grains of gypsum are notable in comparison with the small ones of calcite from the preparation layer (**Fig. 2c**). The microanalysis of the yellow pigment sample, performed with EDS, shows the presence of iron (2–11%) indicating possible existence of goethite (α - $FeOOH$). While the strong contribution of Al (27.64%) and Si (18–47%) indicates the existence of an aluminosilicate material (probably clay minerals); this indicates that yellow ochre was used to obtain the colour. BSE micrograph obtained on the sample shows the slightly small grains of the yellow ochre and calcite with large grains of gypsum scattered on the surface (**Fig. 2d**).

Mineralogical characterization

XRD analysis of the stone substrate shows that calcite ($CaCO_3$) is main crystalline phase in the sample. Minor amounts of anhydrite ($CaSO_4$) and traces of halite ($NaCl$) and clay minerals were also measured. XRD analysis of the preparation layer samples indicates the presence of gypsum

($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) as the predominant phase in the sample. Minor amounts of anhydrite and calcite were determined. Traces of quartz (SiO_2), halite and clay minerals were also measured. XRD analysis of the blue paint layer shows that it consists mainly of calcite and anhydrite with minor amounts of gypsum and traces of quartz and cuprorivaite. XRD analysis of the turquoise-green pigment shows that it consists mainly of quartz, anhydrite, gypsum and secondary components of calcite and parawollastonite with traces of the mineral cuprorivaite. XRD measurements of the red pigment sample showed that quartz is the main component; with minor amounts of calcite and gypsum. Traces of haematite, plagioclase ($NaAlSi_3O_8$) and clay minerals were also determined. In the case of the yellow paint layer, XRD measurements show that the sample consists of calcite, gypsum, with minor amounts of anhydrite and traces of plagioclase, goethite and clay minerals.

μ -Raman results

Micro-Raman spectroscopy was used as a complementary technique to analyze some pigment samples. **Figure 3** shows the Raman spectra collected on the blue and red paint layers. Raman spectrum collected on a blue crystal from the blue paint layer reveals the identification of Egyptian blue through the characteristic bands at 1085, 1017, 983, 572, 472, 437, 476, 380, 228 and 124 cm^{-1} (**Fig. 3a**). The band at 1084 cm^{-1} (symmetric CO_3^{2-} stretching, ν_1), is attributed to calcite ($CaCO_3$) probably coming from the preparation layer below. The bands at 200 and 400 cm^{-1} are probably due to the presence of quartz. μ -Raman analysis of the red pigment sample (**Fig. 3b**) shows the main characteristic strong bands at 225, 298, 412 and 498 cm^{-1} which can be assigned to haematite.

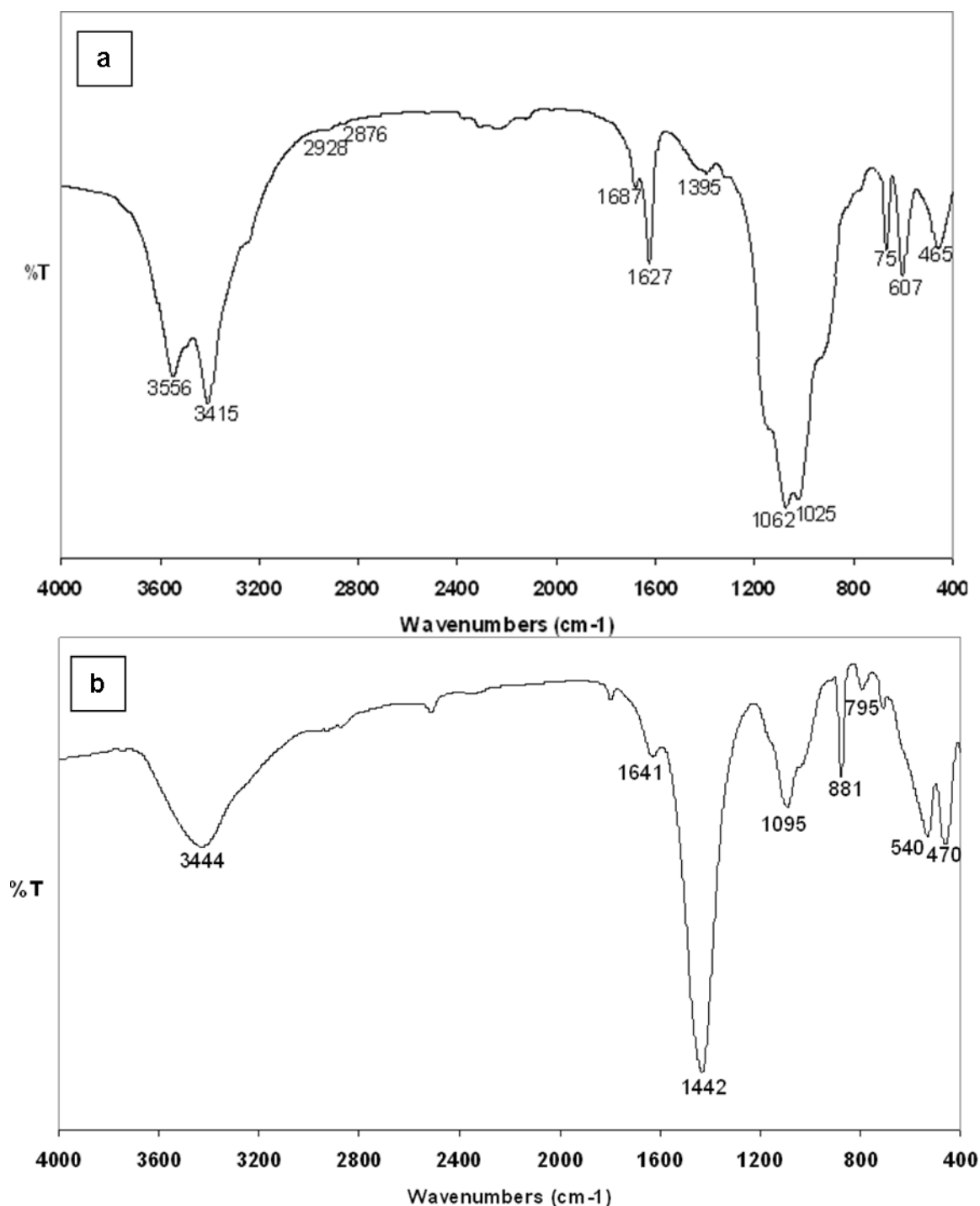


Fig. 4. Transmission FT-IR spectra (in KBr pellet) of pigment samples. (a) The blue paint layer. (b) The red paint layer.

4. ábra: FT-IR spektrumok a festékmintákról (KBr pelletben vizsgálva) (a) kék festék (b) vörös festék

FT-IR results

Figure 4 displays the FT-IR spectra obtained on samples of the attested pigments. FT-IR spectrum (**Fig. 4a**) of the blue pigment sample presents characteristic bands lying mainly between 1280 and 1000 cm^{-1} that are attributed to Si-O-Si stretching vibrations. The intense bands at 1025 and 1062

cm^{-1} and the one at 1144 cm^{-1} are all of the Egyptian blue. In the FT-IR spectrum (**Fig. 4b**) of the red pigment sample the band at 540 cm^{-1} indicates the presence of iron oxide (haematite), the bands at 1442 and 715 cm^{-1} are attributed to calcite and the band at 1641 cm^{-1} is attributed to gypsum. The bands at 1095, 881 and 800 cm^{-1} are attributed

to Si–O–Si and Si–O stretchings. The FT–IR spectrum collected on the yellow pigment (not shown) shows bands at 797 and 902 cm^{-1} assigned to the vibrational modes of goethite.

It is sometimes difficult to differentiate these bands from the corresponding ones for stretching Si–O situated in the range 900–1100 cm^{-1} , if they are accompanied of silicates (ochres) (Franquelo et al. 2009). The band at 1452 cm^{-1} is attributed to calcite, and the band at 1629 cm^{-1} is attributed to gypsum. The bands at 1083 and 1032 cm^{-1} are attributed to (Si–O) stretching; the bands at ~400 and 463 cm^{-1} indicate the presence of amorphous silicates. The band at ~3430 cm^{-1} is due to free hydroxyl ions of kaolinite, bands of water H–O–H str., and a broad band at ~3140 cm^{-1} was attributed to –OH stretching of hydrated ferric oxide. The use of proteinaceous binder (e.g. animal glue) was revealed on the bands at 1520–1560 (NH_2) and 3284 cm^{-1} ($\nu\text{N–H}$), methylenic groups at ~2919 and 2851 cm^{-1} (ν_{asym} and $\nu_{\text{sym}}\text{CH}_2$) and the band at 1657 cm^{-1} for amide I ($\nu\text{C=O}$) and 1538 cm^{-1} for amide II (mainly $\delta\text{N–H}$).

Discussion

Paintings support (bedrock)

XRD data showed that the main crystalline phases found in the limestone samples are calcite, quartz, anhydrite, halite and clay minerals. According to Marey Mahmoud (2010), the limestone types of the Theban Mountain belong to microsparry calcite embedded in a micrite matrix rich in fossils and grains of quartz.

Preparation layer

The majority of the examined paint layers were applied on a thin preparation layer. The thickness of this layer ranges from 100 to 250 μm . EDS microanalysis of this layers revealed the presence of calcium and sulphur as main elements in the preparation layer. Indeed, XRD analysis showed that a mixture of gypsum and calcite were used in the preparation layers.

Blue pigment

By XRD, FT–IR and μ -Raman analyses the blue pigment was identified as Egyptian blue. The microanalysis revealed the presence of copper, calcium and silicon as predominant elements with traces of iron, potassium, titanium, aluminium, magnesium, sulphur and phosphorus. Egyptian blue was the first synthetic pigment ever produced by man; this pigment appeared in Egypt during the 3rd millennium BC (Mirti et al. 1995). This pigment consists of cuprorivaite with variable amounts of wollastonite (CaSiO_3), Cu-rich glass and cuprite (Cu_2O) or tenorite (CuO) and was prepared by

melting the copper-rich ingredient with lime and desert sand (Jaksch et al. 1983).

Turquoise-green pigment

The green pigment was identified as Egyptian green, a turquoise mineral substitute appeared shortly after the Egyptian blue and it has a similar elemental composition. Egyptian green is a multi-component pigment consisting of major green wollastonite, a blue copper-, sodium-and chlorine-bearing glass phase, sporadic cuprorivaite, silica minerals and the tin compounds cassiterite and malayaite (El Goresy 2000). EDS spectrum obtained on the sample showed high ratio of silicon probably due to the high amount of glass-bearing materials in the sample. XRD results showed that parawollastonite is present together with traces of cuprorivaite that give the possibility that Egyptian blue was added to the green pigment to produce a special hue.

Red pigment

The red pigment was identified as red ochre. Elemental analysis on the red coloured layers revealed the detection of high amount of iron. Red ochre was used from the 5th Dynasty till the Roman times (Lee & Quirke 2000). The actual pigment is haematite, an iron (III)-oxide (Bikiaris et al. 1999; Ortega et al. 2001). Haematite is commonly present as a pigment in sediments having been subjected to weak diagenesis (e.g., red beds) and in some metamorphic rocks (Hradil et al. 2003).

Yellow pigment

The yellow ochre was used to obtain the yellow colour in the tomb. Yellow ochre consists mainly of goethite mixed with clays, silicates and other minerals. EDS microanalysis performed on the sample revealed the presence of iron with aluminum and silicon, suggesting that iron oxides were used with aluminosilicates like kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Yellow ochre was widely used without interruptions from the 5th Dynasty (c. 2494–2345 BC) till the Roman period in Egypt (El Goresy et al. 1986). Goethite only uniquely occurs in nature in a pure form or as a massive mineral (Ortega et al. 2001; Hradil et al. 2003; Barnett et al. 2006). The hue of goethite is affected by its crystallinity and elemental purity.

Conclusions

The examined wall paintings from the tomb of *Djehutyemhab* (TT194), (Ramesside Period, ca. 1298–1064 BC), El-Qurna necropolis (Luxor), Upper Egypt revealed a common chromatic palette widely used in ancient Egypt. Different analytical techniques like optical microscopy (OM), SEM–EDS, XRD, μ -Raman and FT–IR spectroscopies were used for characterizing the

structure, morphology, chemical and mineralogical composition of the paint layers. The results indicated that calcite is the predominant phase found in the stone substrate with minor amounts of quartz and anhydrite with traces of halite and clay minerals. The main components of the preparation layer were identified as gypsum, anhydrite, and calcite. The blue pigment was identified as Egyptian blue (cuprorivaite, $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$), the green pigment as Egyptian green (Cu-wollastonite) together with the mineral cuprorivaite, the red pigment was identified as red ochre (haematite, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), the yellow pigment as yellow ochre (goethite, $\alpha\text{-FeOOH}$). In summary, the results provided information about the painting materials and techniques used in ancient Egypt and particularly the Ramesside Period. Furthermore, the obtained results can be used in the conservation-restoration interventions of these murals.

Acknowledgements

The author is grateful to Dr. Dimitrios Christofilos, Physics Divisions, School of Technology of Aristotle University of Thessaloniki, Greece for μ -Raman analysis.

References

- BARNETT, J.R., MILLER, S., PEARCE, E. (2006): Colour and art: A Brief History of Pigments, *Optic. Laser. Tech.*, **38**: 445–453.
- BERRY, M. (1999): A study of pigments from a Roman Egyptian shrine, *AICCM Bulletin*, 1–9.
- BIKIARIS, D., DANILIA SR., SOTIROPOULOU, S., KATSIMBIRI, O., PAVLIDOU, E., MOUSATSOU, A.P. & CHRYSOULAKIS, Y. (1999): Ochre differentiation through micro-Raman and micro-FTIR Spectroscopes: application on wall paintings at Meteora and Mount Athos, Greece, *Spectrochimica Acta A* **56**: 3–18.
- CHRISTY, A.A., OZAKI, Y. & GREGORIOU, V.G. (2001): Modern Fourier Infrared Spectroscopy. In: BARCELO, D. (Ed.), *Comprehensive Analytical Chemistry*, Vol. **XXXV**, 131–194.
- EDWARDS, H.G.M., FARWELL, D.W., NEWTON, E.M., RULL PEREZ, F. & VILLAR, S.J. (2000): Raman spectroscopic studies of a 13th Century Polychrome statue: identification of a 'forgotten' pigment, *J. Raman Spectrosc.*, **31**: 407–413.
- EL GORESY, A., JAKSCH, H., ABDEL RAZEK, M. & WEINER, K.L. (1986): *Ancient pigments in wall paintings of Egyptian tombs and temples: an archaeometric project*, Preprint of the Max Planck Institute of Nuclear Physics MPI H- V 12, Heidelberg.
- EL GORESY, A. (2000): Polychromatic Wall Painting Decorations in Monuments of Pharaonic Egypt: compositions, chronology and painting techniques. In: SHERRATT, S. (ed.), *Proceedings of the First International Symposium: "The Wall Paintings of Thera"*, Petros M. Nomikos and Thera Foundation, Piraeus, Athens, Hellas, **Vol. I**: 49–70.
- FRANQUELO, M.L., DURAN, A., HERRERA, L.K., JIMENEZ DE HARO, M.C. & PEREZ-RODRIGUEZ, J.L. (2009): Comparison between micro-Raman and micro-FTIR spectroscopy techniques for the characterization of pigments from Southern Spain Cultural Heritage. *J. Molecular Structure* **924–926**: 404–412.
- GUILAUME, A. & PIAU, J-M. (2003): Stability of the tomb of Rameses II (Valley of the Kings, Luxor, Egypt): Numerical models and reality, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées* **242**: 15–47.
- HRADIL, D., GRYGAR, T. & HRADILOVA, J. (2003): Clay and Iron Oxides Pigments in the History of Painting, *Applied Clay Science* **22**: 223–236.
- JAKSCH, H., SEIPEL, W., WEINER, K.L. & EL GORESY, A. (1983): Egyptian Blue-Cuprorivaite A Window to Ancient Egyptian Technology, *Naturwissenschaften* **70**: 525–535.
- KAMIL, J. (1976): *Luxor: A Guide to Ancient Thebes*, (2nd ed.), London. 138–141.
- KARL-JOACHIM, S (1995): Das Grab des Djehutiemhab (TT 194), Mainz am Rhein, Philipp von Zabern. 57-63.
- LEE, L. & QUIRKE, S. (2000): Painting materials. In: NICHOLSON, T.P and SHAW, I. (eds.), *Ancient Egyptian materials and Technology*, Cambridge University Press, 104–119.
- MAREY MAHMOUD, H.H. (2004): Scientific evaluation of treatment strategy of painted plaster layers applied on stone supports—applied on one of the New Kingdom Nobles tombs—Western bank, Luxor, *MSc. Thesis*, Department of conservation, Faculty of Archaeology, Cairo University.
- MAREY MAHMOUD, H.H. (2010): Archaeometric and petro-mineralogical remarks on damaged Egyptian wall paintings, El-Qurna necropolis, Upper Egypt, *Archeometriai Műhely* **7/2**: 149–156.
- MIRTI, P., APPOLONIA, L., CASOLI, A., FERRARI, R.P., LURENTI, E., AMISANO CANESI, A. & CHIARI, G. (1995): Spectrochemical and Structural Studies on a Roman Sample of Egyptian blue, *Spectrochimica Acta A* **51/3**: 437–446.
- ORTEGA, M., ASCENCIO, J.A., SAN-GERMÁN, C.M. & FERNÁNDEZ, M.E. (2001): Analysis of

Prehistoric Pigments from “Templo Mayor” of Mexico City, *J. Materials Science* **36**: 751–756.

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

SCHREINER, M., FRÜHMANN, B., JEMBRIH-SIMBÜRGER, D. & LINKE, R. (2004): X-rays in art and archaeology: An overview, *Powder Diffraction* **19** (1): 3–11.

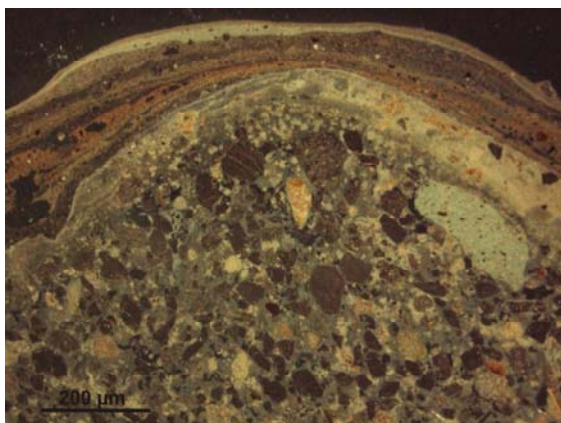
SILVA, C.L. (2006): A Technical Study of the Mural Paintings on the Interior Dome of the Capilla De La Virgen Del Rosario, Iglesia San José, San

Juan, Puerto Rico, MSc. thesis, University of Pennsylvania, USA.

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

ZORBA, T., ANDRIKOPOULOS, K.S., PARASKEVOPOULOS, K.M., PAVLIDOU, E., POPKONSTANTINOV, K., KOSTOVA, R., PLATNYOV, V. & DANILLIA, SR. (2007): Infrared and Raman vibrational spectroscopies reveal the palette of frescos found in the medieval monastery of Karaach Teke, *Annali di Chimica* **97**: 491–503.

KÖZLEMÉNYEK



1. ábra: Románcement habarcs többretegű vékonyvakolat- és festékrétegekkel, Budapest V. kerület (1871) (áteső fény, sötét látótér). Pintér Farkas felvétele

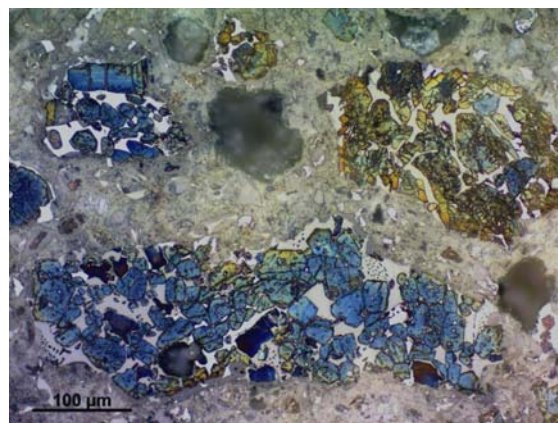
Fig. 1.: Roman cement mortar covered by several slurry and paint layers, Budapest, District V (1871) (transmitted light microscopy, dark field image). Photo by Farkas Pintér

Beszámoló a „Történeti és modern kötőanyag-rendszerek a mikroszkóp alatt: lehetőségek az archeometriában és a napi gyakorlatban” c. rövidkurzusról

Az MTA X. (Földtudományok) Osztálya Geokémiai, Ásvány- és Kőzettani Tudományos Bizottságának Archeometriai Albizottsága szervezésében 2012. május 10-én az Eötvös Loránd Tudományegyetem Kőzettan-Geokémiai Tanszékén rövidkurzus jellegű továbbképzésre került sor, mely témája a történeti és modern kötőanyagok (habarcs, vakolat, beton) volt.

Az épített környezetben ókortól a napjainkig számos kötőanyagrendszerrel találkozhatunk. Ezen építőanyagok vizsgálata a kulturális örökségünk megőrzése, a műemlékvédelem és az archeometriai kutatás szempontjából is kiemelt jelentőségű. Az elmúlt évtizedek tapasztalatai azt mutatták, hogy a 20. század modern, főleg cementalapú építőanyagainak nem megfelelő alkalmazása és a történeti kötőanyagrendszerrel való összeférhetlensége szinte mindig további károsodáshoz vezet a megőrzendő építőanyagokban.

A kötőanyagok viselkedésének és tulajdonságainak megismeréséhez segítséget nyújtanak a földtudományokban már bevett módszerek számítógépes szöveti-mikroszerkezeti és fázisösszetételi vizsgálatok. A fenti eljárások közül a különféle mikroszkópos módszerek bizonyultak a leghatékonyabbaknak, mivel lehetővé teszik a szöveti sajátosságok és az ásványos, esetenként a kémiai összetétel egyidejű tanulmányozását.



2. ábra: HNO₃-etanol (1:100) oldattal étetett klinkerásványok (kék: C₃S, sárgás-barna: C₂S, fehér: ferrit és aluminát) korai (1897) portlandcement habarcsban, Ulm (reflexiós mikroszkópia). Pintér Farkas felvétele

Fig. 2.: Clinker minerals etched by nital (1:100 HNO₃-ethyl alcohol solution) (blue: C₃S, yellowish brown: C₂S, white: ferrite and aluminates) in early (1897) Portland cement mortar, Ulm (reflected light microscopy). Photo by Farkas Pintér

A rövidkurzus első részben előadást hallhattunk a fontosabb kötőanyagrendszerek történeti fejlődéséről, az egyes kötőanyagok (légmeszek, gipszes kötőanyagok, puccolános (hidraulikus) meszek, természetes hidraulikus mész, Sorel cement, románcement, portlandcement) tulajdonságairól, azonosításuk lehetőségeiről és korlátairól. Ezt követte a történeti és modern kötőanyagok kutatásában alkalmazható alapvető mikroszkópos módszerek bemutatása: a ráeső ill. áteső fényben, polarizált ill. nem polarizált fényben végezhető mikroszkópos vizsgálat, UV fényben történő megfigyelések, és a pásztázó elektronmikroszkóppal végezhető szöveti és kémiai összetételi vizsgálatok.

A rövidkurzus második felében a résztvevők betekintést kaptak a mikroszkópos módszerek gyakorlati alkalmazhatóságába: polarizációs mikroszkóp segítségével tanulmányozhatták a fontosabb kötőanyagok vékonycsiszolatait a mészhabarcsoktól a gipszvakolaton át a betonig (**1., 2. ábra**)

A kurzus előadója a téma egyik kiváló szakértője, dr. Pintér Farkas volt. Farkas 2001-ben az ELTE-n szerzett geológusdiplomát, majd 2005-ben a Tübingeni Egyetemen doktori fokozatot. Diplomadolgozatában „vörösmárvány” építő- és díszítőkövek anyagának eredetmeghatározási lehetőségeivel és felszíni elváltozási folyamataival foglalkozott, doktori dolgozatának témája trójai és balkáni kora vaskori kerámiák petrográfiai és geokémiai alapon történő eredetmeghatározása volt.

2005-től az Állami Műemlék-helyreállítási és Restaurálási Központ (ÁMRK) tudományos laboratóriumában dolgozott, 2008-tól a bécsi Szövetségi Műemlékvédelmi Hivatal (Bundesdenkmalamt) Természettudományos Laboratóriumának munkatársa. Feladatai között szerepel - többek között - építőanyagok (kőzet, habarcs-vakolat, beton, tégl, stb.) anyagtan kutatása és restaurálást előkészítő anyagvizsgálata. Részt vett az Európai Unió által támogatott ROCARE projektben is, amely a 19. században és a 20. század elején az építészetben széles körben használt románcement ipari gyártásának és forgalmazásának újraélesztését tűzte ki célul.

A kurzus résztvevői számos intézetet és kutatóhelyet képviseltek az egyetemektől az MNM Nemzeti Örökségvédelmi Központjáig. Előképzettségük változatos volt: elsősorban földtudománnyal foglalkozó egyetemi hallgatóktól és kutatóktól a kötőanyagokkal a napi gyakorlatban is találkozó restaurátorokig. A téma iránti érdeklődést jelzi a résztvevők 20 főt meghaladó száma, a jó hangulatban zajlott mikroszkópos gyakorlat során felmerült számos kérdés részletes megvitatása.

Az előadó és a szervezők szándéka volt, hogy az érdeklődők jobban megismerhessék az építőanyagok e változatos csoportját, és a későbbiekben minél többen foglalkozzanak a kötőanyagokkal az archeometriai és a műemlékvédelmi kutatás-oktatás keretében.

Az előadások anyaga pdf formátumban a <http://www.ace.hu/curric/PF/> internetes címről tölthető le.

A témához kapcsolódó ajánlott irodalom:

INGHAM, J. (2010): *Geomaterials under the microscope. A colour guide*. Manson Publishing, 192 p.

St. JOHN, D. A., POOLE, A. B., SIMS, I. (1998): *Concrete petrography: A handbook of investigative techniques*. Arnold Publishers, 474 p.

POOLE, A. B., SIMS, I., St. JOHN, D. in press: *Concrete petrography: A handbook of investigative techniques*. Second edition, CRC Press, várható megjelenés: 2013.

WINTER, N. B. (2012): *Scanning electron microscopy of cement and concrete*. WHD Microanalysis Consultants Ltd., 192 p.

Bajnóczi Bernadett
az Archeometriai Albizottság titkára
MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet

Beszámoló RER/0/034 TC



1. ábra: Krušedol kolostor-templom ikonosztáza: a tudományos konzerválásról készült tanulmány

Fig. 1.: The Iconostasis of the Krušedol Monastery Church – A Scientific Conservation Study

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) 2012. szeptember 4 – 6. között rendezte a „Using Nuclear Techniques for the Characterization and Preservation of Cultural Heritage Artefacts in the European Region” témájú, RER/0/034 TC sz. projekt ülését Belgrádban, a Belgrádi Egyetem Vinča Intézete, valamint a Belgrádi Nemzeti Múzeum közös szervezésében. A projekt célja a résztvevő országok közötti 2011-2012 éves együttműködések áttekintése a „roncsolásmentes nukleáris technikák alkalmazása a kulturális örökségvédelem területén” témakörben.

A workshopnak a rendkívül impozáns belgrádi Freskó Galéria adott otthont. A rendezvény első napjának fő feladata volt a 2011-2012-es időszakban végzett kutatások (karakterizálás, konzerválás, kormeghatározás, eredethatározás) áttekintése országonként. A résztvevő 19 közép-kelet-európai ország képviselői 10 perces előadásokban foglalták össze az általuk alkalmazott nukleáris technikákat, együttműködéseiket a saját országukon belül, ill. más országok kutatóival, eredményeiket, valamint terveiket a jövőre vonatkozóan. Előadásomban ismertettem a Magyarországon, elsősorban a Budapesti Kutatóreaktorhoz kapcsolódó, kulturális örökségvédelem témakörében végzett kutatásokat, valamint a Magyar Nemzeti Múzeum és a Budapesti Neutron Központ közös munkáit.

Szerbia a projekt indulása óta először látta el a vendéglátó szerepét, a szervezők érdekes kiállítási programokkal színesítetteék a találkozót. A második nap ellátogathattunk a Krušedol kolostorba, ahol megtekinthettük egy szerb ortodox templomot, meghallgathattuk történetét, valamint ikonjainak természettudományos vizsgálatairól és a restaurátori munkálatokról is sok érdekességet megtudhattunk.



2. ábra: A workshop résztvevői a Krušedol kolostorban

Fig. 2.: The participants of the workshop in the Krušedol Monastery



3. ábra: A templom ikonosztáza

Fig. 3: The Iconostasis of the Church

Végigvezettek bennünket a Novi Sad-ban található Matica Srpske Galérián, majd a délután folyamán a workshop résztvevői összefoglalták a 2011-2012-es időszak eredményeit (publikációk, sikeres együttműködések), vázolták a fő nehézségeket, végül összegezték a következtetéseket, tanulságokat.

A nap végén könyvismertetőt tartottak a „The Iconostasis of the Krušedol Monastery Church – A Scientific Conservation Study” című kiadványról, amelyből minden résztvevő kapott egy tiszteletpéldányt.

A könyvet, amely a Krušedol kolostorban található szerb ortodox templom ikonjainak természettudományos vizsgálatát foglalja össze, a Belgrádi Egyetem Vinča Intézete, valamint a Matica Srpske Galéria közösen adta ki. A könyv végén angol nyelvű összefoglaló található.

A harmadik napon a rendezvényről készülő hivatalos riport véglegesítése zajlott, ebédszünetben pedig lehetőségünk nyílt látogatást tenni a belgrádi Központi Restaurátor Központban.

2013 szeptemberében várható egy újabb kétéves időszakra vonatkozó projektindító ülés.

*Maróti Boglárka
MTA Energiatudományi Kutatóközpont
maroti.boglarka@energia.mta.hu*

