

Szilágyi Veronika

## 4.6. Kerámia anyagvizsgálata

### 1. Miért érdemes alkalmazni?

Az elsőként felmerülő kérdés az, hogy miért szükséges vagy legalább is hasznos a régészeti kerámia természettudományos (archeometriai) vizsgálata. A régészeti ásatásokon legnagyobb számban előkerülő lelettípus a kerámia, amelynek klasszikus régészeti feldolgozása, azaz a formai jegyeken alapuló leírása, tipologizálása és értelmezése régóta általános gyakorlat. Az ezáltal szolgáltatott adatok alapvetőek, hiszen sok esetben kizárólagos eszközei a kultúrák elkülönítésének, illetve a lelőhelyen belüli relatív kronológiának. Emellett jelentékeny mértékben hozzájárulnak az egykor élt népcsoportok mindennapi életének megismeréséhez, a korszak és a régió kézműves ipari fejlettségi szintjének felméréséhez és az esetleges helyi, regionális vagy még tágabb földrajzi egységek közötti kereskedelmi vagy kulturális kapcsolatok nyomon követéséhez. Érdemes belátni, hogy az átfogó értelmezésre lehetőséget adó információ gyakran olyan apró részletekben bújjik meg a régészeti tárgyban, amely szabad szemmel már nem ismerhető fel, az anyag mélyére tekintve azonban igen. Itt kaphat szerepet a természettudományos vizsgálat, ami egy, a régészeti megközelítéstől teljesen független szempontrendszerrel és eszköztárral rendelkezik. Ez a – mindenképpen pozitívumként kezelendő – másság ad lehetőséget arra, hogy a régész független (természettudományos és mennyiségi) módszerekkel igazolja elgondolásait vagy ellentmondást tapasztalva, újra átgondolva a tényeket, új felismeréseket tegyen.

Az anyag maga megingathatatlan tényeket rögzít, mint például: amennyiben két, azonos külső megjelenésű (formájú-funkciójú, felületkezelésű, díszítésű) edény vizsgálata eltérő anyagi összetételt igazol, és az egyik anyag nem lelhető fel a lelőhely környezetében, akkor ez azt jelenti, hogy a két edény egyértelműen nem ugyanabból a nyersanyagból és feltehetően nem azonos helyen készült. Ugyanennek a két edénynek a technológiai vizsgálata kiderítheti, hogy nem azonos eljárással égették ki őket. A régészeti kerámia anyagvizsgálata tehát mind a leletek nyersanyagának származási helyéről, mind a készítés módjáról informálhat. Az ilyen típusú vizsgálatba akkor érdemes belevágni, ha a régész felteszi, hogy a kerámia külső megjelenésén túlmutatóan az anyag hordozhat számára olyan adatot, amely segít megválaszolni a leletanyag feldolgozása során megoldatlan kérdéseket. A természettudományos vizsgálat – az analízis anyag- és műszerigénye miatt – természetesen többletköltséget<sup>1</sup> jelent a régészeti kutatás folyamán, azonban hatékonysága egyértelmű. Ebben a fejezetben arról lesz szó, hogy milyen fegyvertárat tud a természettudós felvonultatni, hogy megválaszolja a régész által feltett kérdéseket.

### 2. Milyen feladat hárul a régészre?

#### 2.1. Kérdezni tudni kell

Elsőként fordítsunk figyelmet arra, hogy milyen szerepet kell vállalnia a régészeti kerámia anyagvizsgálatának folyamatában a régésznek! Az archeometriai vizsgálat akkor lesz a legeredményesebb a régészeti kutatás számára, ha az anyagból kinyert adatok behelyezhetőek a régészeti kontextusba. Ez akkor teljesíthető a leghatékonyabban, ha a kerámia leletanyag klasszikus régészeti feldolgozása (tipológia tisztázása, stratigráfiai tagolás) már megtörténik addigra, mire az anyagvizsgálatra kiválasztjuk a mintákat. A leletanyag átfogó ismeretének birtokában a régésznek nemcsak az alapvető archeológiai problémát könnyebb megfogalmazni (pl. létezett-e kereskedelmi vagy más jellegű kapcsolat más kézműiparral jellemezhető régiókkal?), hanem a megfelelő válasz megszerzéséhez a természettudományos szempontú kérdést (pl. van-e import kerámia a fazekasáruban?)

<sup>1</sup> Hazai laboratóriumokban 2008-ban átlagosan a következő árviszonyokra lehetett számítani. PM: 20000–30000 HUF/minta; XRD, DTA+TG: 25000 HUF/minta összegtől; kémiai eljárások: 25000 HUF/minta összegtől; SEM-EDS/WDS: 22000 HUF/minta összegtől (1 napi mérés 44000–100000 HUF).

is könnyebb lesz feltennie. Egyes kérdéstípusokra nagy biztonsággal várható válasz, míg másokat a kezdetektől óvatosan kell kezelni, mivel már a kiinduló feltevések is bizonytalanságokat rejtenek.

A legeredményesebben megválaszolható kérdések általánosságban azok, amelyek valamilyen összehasonlítást tesznek szükségessé. Például egy lelőhely többféle edénytípusának vagy több lelőhely azonos edénytípusának akár a nyersanyag, akár a technológia szempontjából történő anyagvizsgálati összevetése új, hasznos adatokat nyújthat a régész számára. A sokperiódusú lelőhelyek kultúrrétegeiből vett kerámialeletek összehasonlításával pedig a nyersanyaghasználat és a készítmód kontinuitását vagy változásait azonosíthatjuk.

Sokkal problémásabb – és nagyrészt a kerámia- és üledékmintázás sikerességétől, a vizsgált anyagok milyenségétől, valamint a lelőhely földrajzi elhelyezkedésétől függ – a konkrét eredet- vagy technológiavizsgálat. Ezeknek eredménye negatív lehet, ha – nem találván meg a megfelelő nyersanyagokat a lelőhely környezetében – nem helyi eredetűnek ítéljük a kerámiát, vagy ha a kerámia kiégetésekor nem ment végbe olyan, az általunk alkalmazott módszerrel detektálható változás, ami segíthetne megítélni az elért maximális hőmérsékletet.

## 2.2. Csak jó mintától várható jó eredmény

A következő lépés a kérdés megválaszolásához megfelelő minőségű és mennyiségű (méretű) minta kiválasztása. Ez az egyszerűnek tűnő feladat az egyik legfontosabb része a munkának, mert ha ezt nem kellő körültekintéssel végezzük, az eredmények használhatósága is sérülhet. Az eddigi tapasztalatok alapján gyakori hiba, hogy a régész – a leletanyag védelmében – olyan apró, valódi tartalommal kevésbé rendelkező töredékeket bocsát anyagvizsgálatra, amelyekből a levont következtetések azután mégsem általánosíthatók a leletanyag többi részére. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy akkor cselekedne helyesen, ha a legteljesebb, legkülönlegesebb edényeket törné össze egy-egy szeletnyi minta megszerzése érdekében. Fontos azonban, hogy ismert legyen az edény formája-funkciója, felületkezelése (értjük itt elsősorban a díszítését) és kronológiai besorolása. Ez lehetővé teszi majd az értelmezéskor akár összetettebb – pl. technikai – kérdések megválaszolását is. Sajátos esetekben viszont az anyagvizsgálat lehet az, ami ezeket az alapvető tulajdonságokat (pl. funkció) segít meghatározni.

Érdemes már a leletek restaurálásánál elkülöníteni egy-egy megfelelő méretű darabját az edénynek további vizsgálatokra, természetesen a teljes leletet megőrkítő rajz vagy fotó elkészítését követően. A restaurálási munkálatoknál arra is ügyelni kell, hogy ne használjanak olyan vegyszereket, amelyek esetleg változást idézhetnek elő a kerámia kémiai összetételében (tisztításnál az erős savak vagy lúgok kioldódást vagy kicsapódást okozhatnak, míg bizonyos rögzítőanyagok egészében átjárnak a kerámiatest porózus anyagát). Ha pedig már elszánta magát a szakember arra, hogy mintát vegyen egy leletből, akkor lehetőleg egy legalább 4×4 cm-es töredéket különítsen el az edény oldalfalából – ne a fenekéből, a pereméből vagy a füléből –, amely akár teljes egészében is feláldozható legyen a vizsgálatok céljából. Azért van ekkora darabokra szükség, mert – mint minden tudományos kutatásban – sokszor a vizsgálódás közben derülhet ki, hogy hasznos volna még további módszerekkel is elemezni a mintát, ami további anyagmennyiséget igényelhet ugyanabból a kerámiatöredékből. Lényeges tehát, hogy lehetőleg akkora kerámialeletet válasszunk ki a leletanyagból kérdéseink megválaszolásához, amely az anyagvizsgálati minta szeparálását követően is hordoz még régészeti tartalmat. Vannak természetesen olyan esetek, amikor egyedi, kisméretű minták vizsgálata szükséges. Ilyenkor az ésszerűség határain belül jól megválasztott módszerrel, a régész és természettudós közös munkája eredményeként kell kijelölni a kisméretű minta még kisebb méretű, anyagvizsgálatra szánt részletét. Az eddig említett esetekben elsősorban olyan mintavételezésekről volt szó, amelyeket roncsolásos vizsgálatra szánunk. Ezeket akkor alkalmazhatjuk, ha megfelelő mennyiségű leletanyag áll rendelkezésre. Szükséges lehet azonban teljesen ép vagy sérült, de nem töredékes tárgyak vizsgálata is, amikor mintavételre egyáltalán nincs mód. Ilyenkor roncsolásmentes vizsgálatokat lehet alkalmazni, amelyek semmiféle sérülést nem okoznak a tárgyon. Természetesen a roncsolásmentességnek ára van, elsősorban az információtartalom tekintetében. Általában arra érdemes törekedni, hogy a régész és a természettudományos szakember már a kezdetektől együtt válassza ki az elemzésre szánt mintákat.

Szintén közös döntés eredménye a vizsgálatra kerülő minták száma. Józan ésszel végiggondolva mindenki el tudja dönteni, hogy mi az a minimális mintaszám, ami egy adott régészeti kérdés megválaszolásához kell.

Ehhez az alapvető mennyiséghez azonban hozzá kell tennünk néhány gondolatot. A természettudományok számszerű adatokra támaszkodnak, így a régészeti anyagvizsgálatnál is szükséges a statisztikus mintaszám. Ez azt jelenti, hogy egy-egy kerámiatípust nem képviselhet egy-egy minta. Minden csoport legalább akkora mintamennyiséget tartalmazzon, amellyel már jó eséllyel jellemezhető a csoporton belüli változékonyság. Ez különösen lényeges a leletanyag általános jellemzésénél, ahol egy helyinek vélt típushoz hasonlítunk idegennek vélt tárgyakat. Ebben az esetben egy biztos, „helyi” referenciacsoport kialakítása elengedhetetlen. Általánosságban azt mondhatjuk, hogy kérdéstípus függvényében 10–20 darabtól (pl. edényfunkció azonosítása, import kerámia kiszűrése, telep- és temetőkerámia viszonyának megállapítása esetén) 30–50 darabig (pl. műhelyazonosítás, telepen belül a különböző korszakokon át a kerámiagyártás jellemzése, adott korszakban a kerámiagyártás térbeli változékonyságának vizsgálata tárgyában) terjedhet a minimális mintaszám.

Egy másik fontos feladat, ami a régészre hárul az az, hogy amennyiben a kerámiagyártásnál alkalmazott nyersanyagok azonosítását tűzi ki feladatul, akkor már az ásatás idején gyűjtsön olyan üledék- vagy talajmintákat a feltárt objektumok környezetéből vagy a lelőhely tágabb környezetében, amelyek alkalmasak lehetnek edények készítésére. A későbbiekben az anyagvizsgáló szakemberrel együtt visszatérve mód adódhat még kézi fúróval rétegsorszerűen megmintázni a környék felszínközeli anyagait, azonban ez nem pótolhatja az ásatás folyamán történő mintavételt. Természetesen sem a régész, sem a természettudós nem fazekas, így a jellegzetes nyersanyagokat sem ismerhetik fel teljes pontossággal. Néhány egyszerű megfigyelést elvégezve azonban sok minden kideríthető egy üledékről vagy talajról. Ilyen megfigyelés a szemcseméret, hiszen kerámiát általában finomszemcsés anyagból készítenek. Fontos adottság még a képlékenység, amelyet a minta vízzel történő benedvesítésével és formává gyúrásával ellenőrizhetünk. Amennyiben ezt a „kísérleti testet” néhány napig a szabad levegőn szárítjuk, a zsugorodási tulajdonságairól is informálódhatunk. Ez alapján pedig akár azt is megítélhetjük, hogy lehetett-e alkalmazni a vizsgált nyersanyagot soványítás nélkül. Gyakori eljárás a fazekasok körében két viszonylag finomszemcsés anyag (pl. kétféle talaj) keverése is, amikor egy kövérebb (plasztikusabb) és egy soványabb alkotó vegyítésével állítják elő az ideális nyersanyagot. Ezt a lehetőséget is figyelembe lehet venni a mintavételkor.

A lehetséges nyersanyagok forrásterületének kutatása során sajnos egyéb lehetőséggel is számolnunk kell. Előfordulhat, hogy az egykor alkalmazott agyag vagy egyéb nyersanyag ma már nem található meg a felszín közelében. Ennek lehet az az oka, hogy az évszázadok–évezredek során más üledékek rakódtak rá és fedték el. Másik eset, hogy természetes (pl. folyóvízi lepusztulás, áradás, suvadás) vagy mesterséges (pl. teljes lefejtés) módon egészében eltűnt az egykori nyersanyaggyártó hely. Ilyenkor szinte esélytelen a nyersanyag származási helyének pontos azonosítása.

### 2.3. Amit még érdemes tudni: magyarországi sajátosságok

A kerámia nyersanyagok kutatása szempontjából magyarországi vonatkozásban két főbb földrajzi régiótípust kell elkülöníteni: az alföldi és a hegyvidéki régiókat. Ez az alapvetően topográfiai különbség ugyanis meghatározza azoknak a felszíni, felszínközeli finom-középszemcsés üledékeknek a képződését, illetve azoknak az üledékeknek-közeteknek a felszíni előfordulását, amelyek a kerámiagyártásban nyersanyagként fontosak lehetnek.

Az alföldi lelőhelyek környezetében általában kiterjedt folyóvízi síkságokat találunk, amelyek jelentős részben épülnek fel a kerámiakészítés szempontjából fontos üledékekből. Ráadásul a folyómedreknek és ártereiknek az idők folyamán való vándorlásai azt is eredményezik, hogy a finomszemcsés (pl. agyagos) üledékek viszonylag jól lehatárolható területekre korlátozódnak (pl. nagy agyagzónák az alföldi fazekasközpontok környezetében). Ezekben a síkvidéki környezetekben potenciális agyagos nyersanyagok tehát nagy mennyiségben állhatnak rendelkezésre. A problémát az jelentheti, hogy a hazai alföldek mélyedés jellegéből adódóan (amiatt, hogy egy nagy medence közepén helyezkednek el) nagy távolságokról hordódhatnak össze itt üledékek, amelyek változatos forrásterületekről származnak. Ez nagyon bonyolulttá teheti a nyersanyagok pontos azonosítását. A Duna példáját véve – ha a lelőhelyünk a Duna egyik folyóteraszán helyezkedik el – elmondható, hogy az Alpoktól a hazai vulkáni hegységekig (Visegrádi-hegység, Börzsöny) változatos földtani régiók

anyagát gyűjti össze a folyó, amely azután a síkvidéki szakaszokon rakódik le. A másik probléma a síksági lelőhelyeken az, hogy a hosszú távon szállított üledékekből sok olyan jellegzetes anyag lerakódik-elmállik az út során, amely segíthetne meghatározni az eredetet. A medence belsejében így sokszor találunk homogén, karakteres jellegeket nem igazán mutató nyersanyagokat. Beláthatjuk, hogy ez a helyzet megnehezíti a fazekasáru nyersanyagának azonosítását, ezért sokrétű vizsgálati módszerek alkalmazását teheti szükségesé. További fontos jellemzője az alföldi lelőhelyeknek, hogy felszíni kőzetkibukkanások nem fordulnak elő a környezetükben. Ezek hiányában a kőzettörmelékkel történő soványítás vagy nem jellemző, vagy idegen nyersanyag használatára utal. Ezekben a régiókban a növényi, esetleg a folyóvízi homokos soványítás a gyakori. Összességében elmondható, hogy a síksági régióban agyagot egyszerűbb, de soványító anyagot fáradságosabb találni és abból reprezentatív mintát venni.

A hegyvidéki lelőhelyek esetében az üledékszállítási távolságok rövidebbek, az anyagok egy területen általában jóval karakteresebbek, szűkebb területre korlátozódnak és kisebb távolságokon változnak, mint az alföldi régióban, mivel még nem kerültek messzire a forrásterületektől (kevésbé mállanak el). Ennek következménye, hogy akár szomszédos völgyek anyaga is világosan elkülöníthető. A jelentős relief különbség miatt azonban sokkal nehezebb megtalálni az agyagosabb nyersanyagok kis kiterjedésű (lencseszerű) foltjait a felszínen vagy a felszín közelében. A gyakran előforduló felszíni kőzetkibukkanások viszont sok esetben a kerámia soványító anyagának forrását jelentik. Így a hegyvidéki régióban agyagot fáradságosabb, de soványító anyagot egyszerűbb találni és mintázni.

### 3. Módszerválasztás

#### 3.1. *A régészeti kerámia anyagvizsgálatának története*

A régészeti kerámiák anyagvizsgálatának gondolata már igen régi keletű hazánkban is, hiszen az első mikroszkópos kőzettani vizsgálatokat Szabó József geológus professzor végezte el az aggteleki barlangból származó neolitikus és bronzkori kerámiatöredékeken Nyáry Jenő felkérésére a 19. század végén (Nyáry, 1881). Azt követően csak nagyobb kihagyás után folytatódott a régészeti kerámiák természettudományos vizsgálata hazánkban. Az 1960-as, majd az 1980-as években a mikroszkópos megfigyeléseket műszeres ásványtani és kémiai elemzésekkel egészítették ki. Valódi fellendülésről az 1990-es évektől beszélhetünk, azonban a nyugat-európai és tengerentúli régészeti kutatástól még elmaradunk, hiszen ott már az 1950-es évektől folytak intenzív kutatások. Nálunk a vizsgálatok eredményei még csak egy-egy lelőhely egy-egy korszakára vagy kultúrájára korlátozódnak, átfogó munkák ritkák. Igen jó összefoglalóját kapjuk az eddig elkészült és publikált tanulmányok eredményeinek Szakmány 2008-as munkájában. Átfogó magyarországi, nemcsak a kerámiákra szorítkozó archeometriai kutatási bibliográfia jelent meg az 1998-ban hazánkban megrendezett International Symposium on Archaeometry konferencia kötetében (Költő–Bartosiewicz, 1998), illetve az Archeometriai Műhely 2007/2 számában a 2007-es European Meeting on Ancient Ceramics konferencia budapesti megrendezéséhez kapcsolódóan. Iránymutató archeometriai munkák eredményei jelennek meg negyedéves rendszerességgel az Archeometriai Műhely című elektronikus folyóiratban (honlap: [www.ace.hu/am](http://www.ace.hu/am)).

#### 3.2. *A módszerek tárháza a régész szolgálatában*

A továbbiakban a régészeti kutatás szempontjából lényeges kérdéskörök tematikájában kerülnek ismertetésre a természettudományos vizsgálati módszerek. Az egyes vizsgálatoknál az általános – fentebb ismertetett – mintaválasztási igénytől eltérő szeparálás indoklása is megtörténik.

A két fő problémakör, ami az anyagvizsgálattal támogatott régészeti kerámiakutatásban jelentkezik, az eredet és a készítési technológia. Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolása esetenként olyan visszacsatolást igényel az anyagvizsgálattól a régészet felé, ami a kísérleti régészet témakörébe tartozik (azaz pl. az anyagvizsgálattal meghatározott égetési körülmények gyakorlati alkalmazása). Lefordítva az említett problémaköröket a természettudós nyelvére, a feladat információt nyújtani a kerámia készítéséhez felhasznált nyersanyag(ok) ról (agyag, soványító anyag, festék, máz) és a készítés folyamatának részleteiről (nyersanyagok előkészítése és/

vagy keverése, edény formálása, égetés körülményei, illetve előtte vagy utána a felületkezelés menete). (1. kép) Mint az az alábbiakban ki fog derülni, a természettudós kezében széles körű ismereteknek és eszköztárnak kell lennie. Ezért nem is nevezném meg szigorúan a régész szolgálatába álló tudományterületet, hiszen a fizika és kémia tudományágaitól a geológia számos területéig (kőzettan, ásványtan, geokémia, földtan, talajtan, őslénytan) alkalmazunk ismereteket.



1. kép: A kerámia fő alkotórészei anyagvizsgálati szempontból: nem plasztikus (törmelékes) elegyrészek, amelyek lehetnek természetes részei az anyagnak, vagy mesterséges, soványító anyagok; alapanyag (az agyagos mátrix), amely a kerámia használata, majd az azt követő betemetődés során keletkező másodlagos fázisokat is magába foglalja; pórusok. A fekete keretekben az egyes alkotók vizsgálatára alkalmas, legáltalánosabb módszerek (a rövidítések feloldását lásd a szövegben), illetve az azok eredményei alapján levonható következtetések ismertetése olvasható.

Természetesen az alábbiakban ismertetett agyvizsgálati módszereken kívül számos más létezik és alkalmazható. Minden esetben a megválaszolendő kérdés, a vizsgálandó anyag és a ráfordítható költség határozza meg az alkalmazott vizsgálati módszert. A hazai viszonyok között a régész már erre az utóbbi gondolatra is könnyen „kedvét veszti” a természettudományos vizsgálatok alkalmazására. Megfontolandó tanács azonban, hogy egy szakemberrel történő beszélgetésig mindenképpen érdemes elvinni a problémát. Egyrésztől kiderülhet, hogy már egy egyszerű vizsgálattal is válasz kapható a kérdésre. Másrésztől létrejöhet olyan megállapodás – elsősorban intézmények között –, ami megoldást nyújthat a pénzügyi nehézségekre is.

## 3.2.1. A kerámia eredetvizsgálata

A régészeti kerámiák eredetvizsgálatakor a különféle szemcseméretű alkotóelemek (agyagos alapanyag, kőzetliszt-homok-kavics szemcseméretű törmelékes elegyrészek, bizonyos esetekben a pórusok, felületi bevonatok) anyagának meghatározása a cél (1. táblázat). Ez egyrészt alapul szolgál a leletek anyagi csoportjainak szétkülönítésére, másrészt lehetőséget adhat a felhasznált nyersanyag(ok) származási helyének azonosítására. A kerámiákat agyagból és kevésbé plasztikus, durvább szemcsés természetes anyagokból (kőzet, csont, növényi rost) készítik, ugyanazokból a természetes anyagokból, ásványokból-kőzetekből állnak, mint a természetben fellelhető üledékek, kőzetek és szerves anyagok. Ennek értelmében, a geológiában hagyományosan alkalmazott, fizikai vagy kémiai alapokon nyugvó anyagvizsgálati módszerek hatékonyan használhatók az eredet kérdésének tisztázására.

SZEMCSEMÉRET (mm)	ÜLEDÉK NEVE	
>256	tömb	
64-256	durva kavics	Kavics
4-64	kavics	
2-4	finom kavics	
1-2	durvaszemcsés homok	Homok
0,5-1	nagyszemcsés homok	
0,25-0,5	középszemcsés homok	
0,125-0,25	finomszemcsés homok	
0,063-0,25	nagyon finomszemcsés homok	
0,031-0,063	durvaszemcsés kőzetliszt	Kőzetliszt
0,016-0,031	középszemcsés kőzetliszt	
0,008-0,016	finomszemcsés kőzetliszt	
0,004-0,008	nagyon finomszemcsés kőzetliszt	
<0,004	agyag	

1. táblázat: A régészeti kerámiák közettani anyagvizsgálata során alkalmazott szemcseméret elnevezések (forrás: Udden-Wentworth-skála – A. E. Adams, W. S. MacKenzie, C. Guilford 1984).

A vizsgálatokkal nyert adatok értelmezéséhez feltétlenül szükséges a lelőhely környezetének földtani ismerete. Ez annyit jelent, hogy tudni kell megítélni, hogy az azonosított kerámiaanyagok megtalálhatók-e a környéken. Emiatt a kerámialeletekhez hasonlóan fontos szerepet kap az eredetvizsgálat során azoknak az üledék- és talajmintáknak az elemzése, amelyeket a régész az ásatás folyamán vagy utólag, kézi fúróval gyűjtött. Ezeknek a helyi anyagoknak a hasonlósága vagy eltérősége a kerámiához meghatározza, hogy a gyártás helyi, esetleg közeli, vagy egy ismeretlen, távoli nyersanyagra alapult.

A makroszkópos – illetve az utóbbi években a binokuláris mikroszkópos – megfigyelések már részét képezik a régészeti leíró gyakorlatnak, ezért ennek a módszernek az alkalmazhatóságára nem térek ki. Azt a kiegészítést tenném csupán, hogy az egyszerű mikroszkópi megfigyeléseket érdemes alapvető kémiai vizsgálatokkal is kiegészíteni. (Pl. könnyedén meghatározható, hogy a nagyméretű, fehér szemcse a kerámiában mészkő-e, vagy valami más, például kvarc, ha rácseppentünk híg – 10%-os – sósav oldatot, akkor a mész-

kő vagy esetleg kagylóhéj oldódása szén-dioxid gáz fejlődésével jár, ami pezsgés formájában figyelhető meg; ugyanilyen kezelés hatására a kvarc felületén semmilyen reakció nem játszódik le).

### 3.2.1.1. Mikroszkópi vizsgálatok

A legelső módszer, amelyet minden kerámiavizsgálatnál érdemes alkalmazni, a polarizációs mikroszkópos petrográfiai (közettani) vizsgálat (PM = petrographic microscopy). A mintaválasztáskor azzal kell tisztában lennünk, hogy roncsolásos módszerről van szó, a kijelölt darab már semmilyen formában nem lesz visszanyerhető. Az eljárás legfőbb előnye, hogy a kerámia összes, fent említett alkotóját egyenként és egymással összefüggésben is tanulmányozhatjuk. Azaz meghatározhatók a kőzetliszt-homok-kavics szemcseméretű törmelékes elegyrészek mind anyagukat tekintve, mind pedig származásukat illetően (legalább olyan mértékig, hogy származhatnak-e helyből vagy a lelőhely közeléből). A pórusok alakjának vizsgálatával a kerámiába a készítéskor bekerült növényi alkotók (pl. pelyva, szalma) válhatnak azonosíthatóvá (természetesen nem minden pórus származik a növényi részek kiegészéséből). Az agyagos alapanyag és a pórusok együttes megfigyelése a kiinduló, nyers agyag fizikai minőségéről (kövér vagy sovány agyag) informálhat.

A petrográfiai mikroszkóp könnyen kombinálható a katódlumineszcenciás mikroszkópi módszerrel (CLM = cathodoluminescence microscopy), ami a kerámia tipikus elegyrészeinek (pl. kvarc, karbonát, földpát ásványok) forrásanyagát (pl. vulkáni kőzet) határozhatja meg, ez esetenként a petrográfiai mikroszkóppal nem lehetséges.

Szintén a mikroszkópi módszereknél érdemes megemlíteni az eddig kevésbé elterjedt nehézásvány vizsgálatot. Olyan ásványokat képes azonosítani az anyagból, amelyek annak forrásáról árulkodnak (ezek az ún. nehézásványok, amelyek hosszú távú szállítást követően is megmaradhatnak az üledékben). Ezt a módszert általában a kerámia helyett a lehetséges nyersanyagként megmintázott üledékek-talajok vizsgálatára alkalmazzák, mivel igen nagy anyagmennyiséget igényel. Emellett az is fontos, hogy elegendő mennyiségű nehézásvány legyen a mintában. Valódi hatékonyságát azonban akkor éri el a vizsgálat, ha mind a kerámián, mind az üledéken elvégzik, és az eredményt összehasonlítják.

Az eddig említett mikroszkópi vizsgálatok legfőbb hiányossága, hogy a legfinomabb szemcsés agyagos alapanyagról – a mikroszkóp felbontó képességének korlátai miatt – csak kevés, inkább fizikai, mint ásványos minőségi információt szolgáltatnak. A felbontás azonban tovább fokozható elektronmikroszkóp segítségével, amelyhez kémiai elemzésre alkalmas műszereket csatlakoztatva létrejön az ún. mikroszonda (energia/hullámhossz diszperzív spektrométerrel ellátott pásztázó elektronmikroszkóp = SEM-EDS = scanning electron microscope with energy dispersive spectrometer; SEM-WDS = scanning electron microscope with wave length dispersive spectrometer). Ezzel a műszerkombinációval akár egyedi szemcsék is vizsgálhatók a kerámiában anélkül, hogy kiválogatnánk és elválasztanánk azokat a minta többi részétől. Az egyedi szemcsevizsgálat nagyban elősegíti a kerámiában található alkotók eredetének meghatározását.

### 3.2.1.2. Műszeres ásványtani vizsgálatok

A mikroszkópi vizsgálatoknál jelentkező hiányosságok pótlására szolgálnak a műszeres ásványtani (röntgen pordiffrakció = XRD = X-ray diffraction; derivatográfia = DTA+TG = differential thermal analysis and thermogravimetry) módszerek, amelyek képesek a finomszemcsés anyag ásványos összetételének meghatározására. A vizsgálatra kiválasztott minta esetében a korábban ismertetettek mellett lényeges, hogy a kerámia felületéről (és ha mód van rá, a pórusaiból) eltávolítsuk a töredék talajban történő betemetődését követően kicsapódó természetes, illetve a restauráláskor esetleg rákerült szintetikus anyagokat (pl. ragasztó, filctoll festéke). Bár régészeti (azaz abszolút) értelemben véve az XRD módszer is roncsolásos (a töredék eredeti formájában nem nyerhető vissza), de anyagvizsgálati szempontból nem tekinthető annak, mivel az elkészített porminta anyagi összetétele nem roncsolódik, további vizsgálatokra felhasználható. A derivatográfia hasonló minta előkészítést igényel, azonban az analízis során a porminta roncsolódik. A módszerek előnye, hogy a legfinomabb szemcsés kerámiaalkotókról vagy épp nagyon finomszemcsés kerámiáról is képesek ásványtani információt adni. Ez elsősorban az agyagos alapanyag minőségének meghatározásában (a főbb agyagtípusok

azonosításában) jelentős, amelyről ilyen adatok birtokában már jó eséllyel eldönthető, hogy helyi nyersanyagból származik-e. A módszerek hátránya – a homogenizált pormintából adódóan –, hogy úgynevezett teljes mintaösszetételt mutatnak, azaz az agyagos alapanyagtól a durvaszemcsés elegyrészekig minden alkotóból származó adatot összesítenek. Az eredményt tehát a szakembernek szét kell tagolnia a kerámia alkotóinak szintjére. Érdeemes lehet egy-egy kérdés megválaszolása érdekében – amennyiben arra mód van – szeparálni a mintának azt a részét vagy alkotórészét, amely segíthet választ adni. Ilyen eset lehet, amikor az edény felületére felvitt agyagbevonatot (slip) vagy festéket vizsgáljuk.

### 3.2.1.3. Molekula-spektroszkópai és proton aktivációs módszerek

Az ásványos összetételre vonatkozó információkat szolgáltató másik módszercsoportba a molekula-spektroszkópai (infravörös spektroszkópia = IR= infra red spectroscopy, Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia = FT-IR= Fourier transformation infra red spectroscopy, Raman spektroszkópia) és a proton aktivációs módszerek (proton indukált röntgen kisugárzásos módszer = PIXE = particle induced X-ray emission, proton indukált gamma kisugárzásos módszer = PIGE = particle induced gamma-ray emission) tartoznak, amelyek a festék- és mázvizsgálatokban válnak egyre elterjedtebbé. A festék- és mázvizsgálatra alkalmas eljárások nem igényelnek különösebb mintaelőkészítést, bizonyos mérethatárig a teljes kerámiatöredék behelyezhető a mérőműszerbe. A vizsgálatok nem nevezhetők teljes mértékben roncsolásmentesnek, azonban az okozott károsodás mikroszkóp alatt is csekélynek mondható, szabad szemmel pedig láthatatlan. Alkalmazásukkal a minták felületéről (maximum néhány ezred mm mélységről) deríthető ki, hogy milyen ásványos vagy kémiai összetételű. Ez alapján pedig meghatározható a festék- vagy máz készítéshez használt nyersanyag.

### 3.2.1.4. Műszeres kémiai módszerek

A régészeti kerámiák eredetének meghatározására alkalmazott negyedik nagy módszercsoport kémiai elemzéssel foglalkozik, ez a legnépesebbnek mondható az alkalmazott műszerek szempontjából: röntgen fluoreszcens analízis (XRF = X-ray fluorescence), neutron aktivációs technikák (hagyományos neutron aktivációs analízis = INAA = instrumental neutron activation analysis, prompt gamma aktivációs analízis = PGAA = prompt gamma activation analysis), tömeg- és egyéb spektroszkópai módszerek (tömegmérésen alapuló, illetve atom emissziós induktívan csatolt plazma spektroszkópia = ICP-MS+ICP-AES = inductively coupled plasma mass spectrometry + atomic emission spectrometry, atom abszorpciós spektroszkópia = AAS = atomic absorption spectrometry, ...). A módszerek nagyobbik része homogenizált pormintából, vagy az abból olvasztással vagy oldással nyert homogén üvegmintából vagy oldatból dolgozik, így teljes mintaösszetételt ad, viszont minden tekintetben roncsolásos (azaz a porminta sem hasznosítható tovább), bár nem igényel nagy anyagmennyiséget (max. 3–5 g). Teljesen roncsolásmentesek és semmiféle mintaelőkészítést sem igényelnek, így egy komplett kerámiaedény vizsgálatát lehetővé teszik bizonyos mérethatárig (~30 cm) a PGAA, illetve az XRF roncsolásmentes változata (tulajdonképpen jóval kisebb mérethatárig (átlagosan max. 1 cm) az INAA is, azonban a minta eredeti állapotban történő visszaszerzése hosszabb ideig tart). A kapott információ ebben az esetben is a teljes mintára, vagyis annak a „besugárzott” térfogatra vonatkozik. Fontos tudni azonban, hogy a mintaelőkészítés elhagyásával a minta homogenizálása is elmarad, így ügyelnünk kell, hogy a komplett mintának egy kellően reprezentatív részletét vessük elemzés alá. A legújabb módszerfejlesztések eredményeként egyre elterjedtebbek az ún. „mobil”, azaz terepre kivehető XRF készülékek, amelyek a sokszor nehezen hozzáférhető, fáradságos adminisztrációs munka árán szállítható műtárgyak vizsgálatára is lehetőséget adnak. A minta kíméletes vizsgálata (azaz a roncsolásmentes és mobil technikák bevezetése) azonban azzal az árral jár, hogy csak kémiai, és csak kevesebb elemre vonatkozó információ szerezhető. Összességében ezen eljárások mintaválasztásánál és előkészítésénél is ügyelni kell az utólagos hatásokból (használat, betemetődés, restaurálás) származó anyagok szeparálására. Ezeknek a kémiai elemzéseknek az eredményeit ismételt nagy odafigyeléssel és szakértelemmel kell értelmezni, hiszen a kerámia minden alkotórészéről egyszerre informálnak. Eltekintve a vizsgált minta roncsolhatóságától, a kémiai elemzési típusok közül azt szokták alkalmazni, amelyik az adott probléma feloldásához szükséges legérzékenyebb elemeket képes kellő pontossággal kimu-



tatni. Ennek megfelelően a legáltalánosabb az XRF és az ICP-MS+ICP-AES alkalmazása, míg a finomszemcsés kerámiák esetében az INAA a legelterjedtebb.

### 3.2.2. A kerámiák készítési technikájának vizsgálata

Amint az már említésre került, a régészeti kerámiavizsgálat másik fontos kérdésköre a készítési technológia köré épül. A tagolt módszerismertetés érdekében a készítési folyamatot részletesebben felosztjuk.

#### 3.2.2.1. Anyagelőkészítés vizsgálata

Az első kérdés, hogy a kitermelt nyersanyag(ka)t közvetlenül, előkészítés nélkül vagy bizonyos technikákat (szitálást, iszapolást) alkalmazva tisztítással, vagy soványítással, illetve agyagkeveréssel előkészítve használták-e. A válaszadás kiváló módszere lehet a mikroszkópos petrográfiai (PM) vizsgálat, ahol az alkotók együttes, azaz szöveti megfigyelése segíthet eldönteni, hogy egy természetes (előkészítés nélkül alkalmazott) vagy egy mesterségesen manipulált (előkészített) nyersanyagról van-e szó. Amennyiben például több anyagot kevertek össze a kerámianyersanyag előállításához, akkor ez csak abban az esetben felismerhető, ha a homogenizálás nem lett tökéletes. Ilyenkor a kétféle alapanyag elkülöníthető mikroszkóp alatt. Az így jellemezhetővé váló alapanyagok pontos azonosításában a műszeres ásványtani (XRD) és kémiai (XRF, INAA, PGAA, ICP-MS+ICP-AES) módszerek is segítségünkre lehetnek, ha a lehetséges kiinduló anyagokból is gyűjtünk mintát a lelőhely környezetében.

#### 3.2.2.2. Formálási technika vizsgálata

A második kérdés az edényformálás technikájára vonatkozik. Sajnos, Magyarországon ez idáig nem történt konkrét vizsgálat ezt a kérdést illetően, azonban számos próbálkozás ismert a nemzetközi irodalomból. Mint az egyik legegyszerűbb és kevésbé költséges eljárás, a mikroszkópos petrográfiai vizsgálat (PM) ismét szerepet kaphat, amennyiben lehetőség adódik egyazon edény többféle (falra merőleges és egyben vízszintes; falra merőleges és egyben függőleges; fallal párhuzamos) metszetének vizsgálatára. Ebben az esetben a gyorskorongolt, az egyéb, kisebb forgási nyomatékkal mozgatott edényformálási technikák, illetve a szalag-/hurkatechnika elkülönítésére lehet esély. Jóval eredményesebbek azonban a radiográfias és tomográfias eljárások, amikor tulajdonképpen röntgenfelvételeket készítenek az edényről, miközben körbeforgatják (röntgen radiográfia, xeroradiográfia = X-ray radiography), így utólagosan a teljes térbeli röntgenképét is összeállíthatják a tárgynak (tomográfia = tomography). A radiográfias adatok számítógépes feldolgozásával teljes falprofil rajzolható ki, amelynek ciklikus változásai utalhatnak például a szalaghatárookra az edényfalban. A szemcsék és pórusok fokozott irányítottsága pedig a koronghasználatot jelezheti.

#### 3.2.2.3. A kiégetés vizsgálata

A harmadik és egyben leggyakoribb kérdés az edénykészítési technika témakörében a kiégetés körülményeinek vizsgálata. A feltárandó paraméterek között az égetés légköre (oxidatív/reduktív, esetleg szabályosan változó, mint a szendvics szerkezetű kerámiáknál), az elért legmagasabb égetési hőmérséklet és a hőntartás, illetve gyakran az égetési folyamat sebessége szerepelnek.

Az égetési légkör legegyszerűbb vizsgálata még ma is a szabad szemmel történő megfigyelés: a vörösés árnyalatú színek oxigénben való égetést (oxidatív atmoszféra), a sötét-kék árnyalatú színek oxigéntől elzárt rendszerben való égetést (reduktív atmoszféra) jeleznek. A szendvics szerkezetű (azaz az edényfal keresztmetszetében színsávosságot mutató) kerámiák esetében lehet szó elégtelen, illetve rövid idejű égetésről, ahol az edényfal peremzónája például oxidatív légkörben égett ki, nem jutott azonban kellő mennyiségű levegő a fal belső magzónájába, ahol ezért reduktív maradt az égetés légköre. Másik lehetőség egy szándékos technikai fogás az égetés során, amikor a kiinduló, reduktív vagy oxidatív égetési atmoszférát a folyamat utolsó szakaszában, általában a hőntartáskor megváltoztatják (levegőt juttatnak az égetőtérbe vagy lefojtják azt), és így a fal magzónájában megőrződik a kiinduló állapot, míg a peremek a módosító hatásnak megfelelően változnak.

A szabad szemmel történő megfigyelésnél pontosabb módszer az égetési légkör vizsgálatára, ha az oxidatív vagy redukzív atmoszférára érzékenyen reagáló anyagokat (elsősorban vastartalmú ásványokat) azonosítunk a kerámiában röntgen pordiffrakcióval (XRD) vagy Mössbauer spektroszkópiával (Mössbauer spectroscopy).

A legmagasabb égetési hőfok meghatározása nem olyan egyszerű, mint azt elsőre gondolnánk. Ennek az oka, hogy az anyagok a hőhatásra összetetten reagálnak. Amellett, hogy meghatározó az elért maximális hőmérséklet, az ebben az állapotban eltöltött idő is fontos (hőntartás, azaz már nem azért fűtik az égetőteret, hogy emeljék a hőmérsékletet, hanem hogy megtartsák az elért hőmérsékletet). Ez azt jelenti, hogy egy alacsonyabb hőmérsékletű, de hosszú ideig tartó égetéssel vagy hőntartással gyakran jobb kiégetést lehet elérni, mint egy gyors és rövid, magas hőmérsékletű égetéssel vagy hőntartással. Ezért a kiégetett kerámia, azaz a kétféle égetéssel is elérhető végeredmény vizsgálata nem minden esetben ad egyértelmű választ a kiégetés milyenségére. Az égetés során elért maximális hőmérséklet becslése akkor lehetséges, ha az elérte azt a legkisebb hőfokot (min.  $\sim 600$  °C), amikor már visszafordíthatatlan szerkezeti-szöveti és/vagy ásványos összetételbeli átalakulások mehetnek végbe egy anyagban. Szerkezeti-szöveti változás elsősorban pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálattal azonosítható. Az ásványos összetétel változásának jellege függ a kiinduló anyag összetételétől és a maximális hőmérsékleten kívül az égetés más körülményeitől is. Az ilyen jellegű ásványtani vizsgálatra a röntgen pordiffrakció (XRD) és a derivatográfia is alkalmas.

Az égetési folyamat sebességének ismeretére olyan esetekben lehet szükség, amikor selejt kerámiákat (azaz a kiégetéskor elrontott példányokat) vagy egy esetleges tűzvészben megrongálódott edényt vizsgálunk. A helytelen égetési folyamatnak ebben az esetben jellegzetes plasztikus edénydeformálódási vagy szöveti nyomai (felhólyagosodás, üvegesedés az edényfalban) lehetnek. Az utóbbi vizsgálatára kiválóan alkalmas a petrográfiai mikroszkóp (PM) és egy kombinált módszer, a spektrométerrel ellátott pásztázó elektronmikroszkóp (SEM-EDS/WDS).

#### 3.2.2.4. A felületkezelés vizsgálata

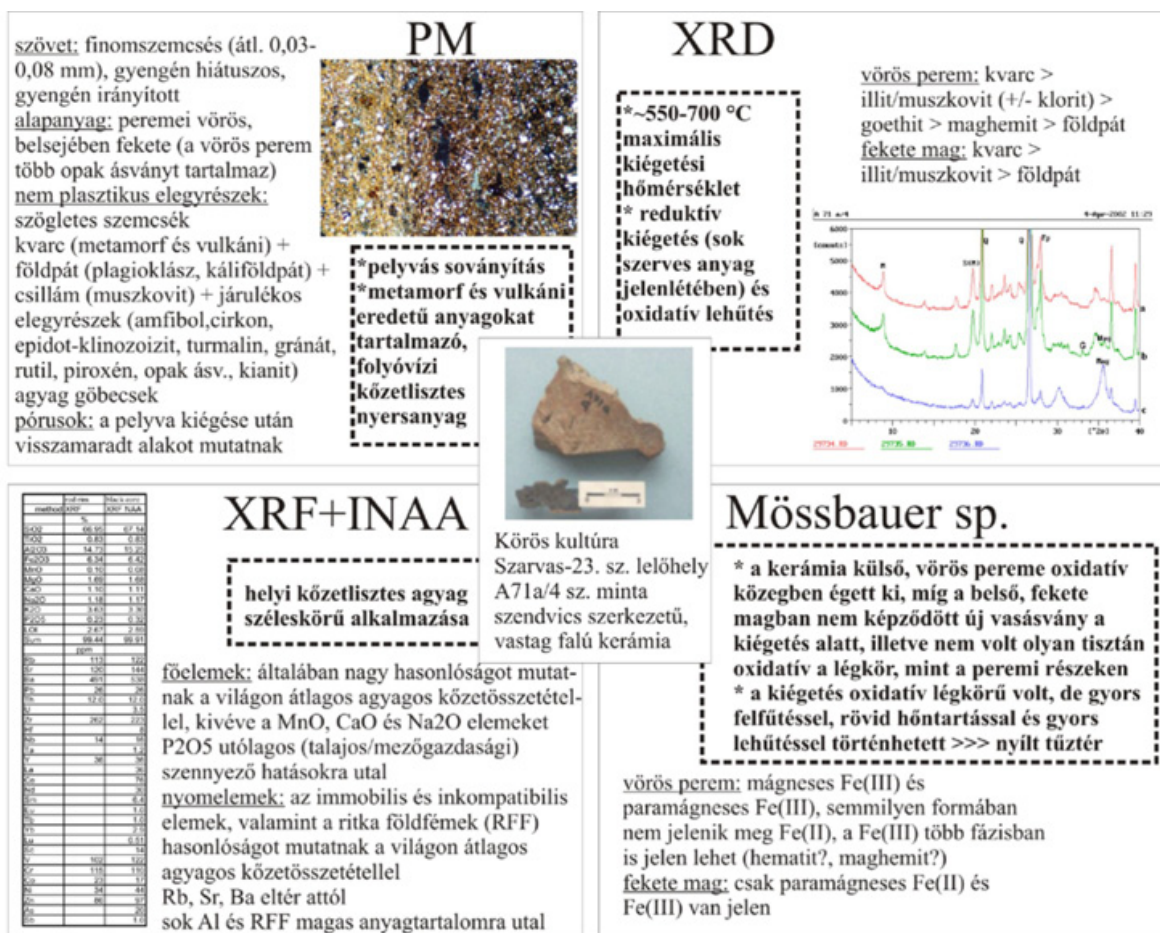
A negyedik készítési technikai kérdéskör a felületkezeléssel kapcsolatos, amely magába foglalja az egyszerű agyagbevonatoktól (slip) a festékeken át a mázakig mindazon eljárásokat, amelyek az edény végső felületi megjelenését meghatározzák. Ezek a kis (0,01–néhány mm-es) vastagságú rétegek vagy lokális felületi bevonatok úgynevezett mikroanalitikai módszerekkel vizsgálhatók legegyszerűbben. Az eredetvizsgálatnál említett molekula-spektroszkópiai módszereken kívül a SEM-EDS/WDS alkalmazható, ami lehetővé teszi a bevonat és a kerámiatest kontaktusának szöveti vizsgálatát. Ez azért fontos, mert segíthet eldönteni, hogy a vizsgált bevonat (pl. máz) előzetes égetést (zsengélést) követően, egy második égetéssel került-e a kerámiára, vagy egyetlen égetési eljárással.

#### 4. Példa az archeometriai vizsgálattal nyert adatok kezelésére

A korábbi kutatások tapasztalataiból, eredményeiből mindig érdemes tanulni. Egy-egy, más esetben jól működő feldolgozási mód saját munkánknál sikertelen lehet, és fordított esetek is előfordulnak.

Az első fontos információ, hogy a régésznek nem kell megelégednie nyers analitikai adatokkal archeometriai vizsgálat címszó alatt. Az, hogy „10%  $Al_2O_3$ ” vagy „nyomnyi mennyiségű kaolinit” található egy kerámia mintában, nem archeometria, hanem kémia vagy ásványtan. Mindenképpen érdemes olyan szakemberrel vagy szakemberek csapatával dolgozni, akik az analízis mellett értelmezik is az eredményeket.

Példaként szerepeljen itt egy kerámia széles körű vizsgálatával nyert nyers adatok halma, illetve az azokból levonható következtetések (2. kép). Ezzel szemléltethetjük egyrészt, hogy az egyes módszerek hogyan fednek át, és hogyan egészítik ki egymást. Másrészt láthatjuk, hogy nem minden esetben az a lényeges, hogy minél több vizsgálati típust alkalmazunk a kerámián, hanem az, hogy az adatokat értelmezni is tudjuk. Amennyiben csak a felsorolt adatokat vagy az ábrákat-táblázatokat nézzük, nem biztos, hogy mindenki számára egyértelmű, mi a jelentősége az elvégzett vizsgálatoknak. A vastag betűvel kiemelt következtetések azok, amelyek tükrében a régészeti kutatás további lépéseket tehet előre.



- ne féljünk belevágni az anyagvizsgálatba, sokszor már viszonylag kevés minta viszonylag egyszerű vizsgálata is jelentős eredményekre vezethet (de ha nem is biztos benne a régész, azért vitassa meg a kérdést anyagvizsgáló szakemberrel)
- a megfelelő minták kiválasztása kulcsfontosságú, szánjunk rá időt, odafigyelést és kis áldozatot a leleteket illetően
- bátran kísérletezzünk, mert az anyagvizsgálatra alapozott kísérleti régészeti kutatás (pl. nyersanyag „vadászat”, edényformálás és kiégetés, edényhasználat) nagyon sok esetben segít közelebb kerülni a problémák megoldásához
- érdemes odafigyelni más régész kerámia anyagvizsgálati tapasztalataira, mert – bár más korok más kultúráiból származtak – a hozzáértő fazekasok már évezredek óta ugyanazokat a kedvező tulajdonságokat keresik a környezetükben fellelhető anyagokban, és általában hasonló megoldásokra jutottak a kerámiagyártás során. Az anyag tehát már évezredek óta hasonló információt raktároz el magában, csak meg kell próbálnunk kiolvasni azt.

### Irodalom

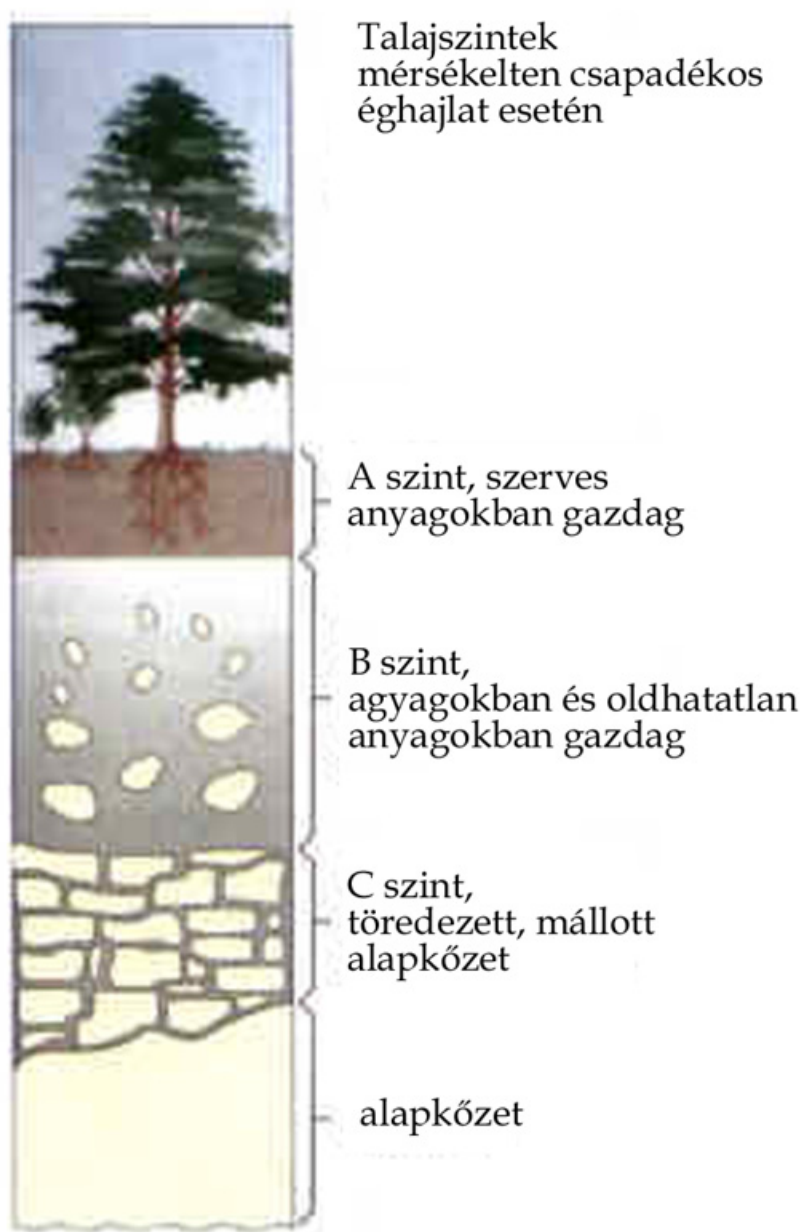
- Homonnay, Z.: Report on Mössbauer study of Neolithic pottery. Jelentés, Budapest, (2003) 6 p.
- Költő, L.–Bartosiewicz, L.: Archaeometrical Research in Hungary II. Kaposvár–Budapest (1998) 322 p.
- Nyáry J.: Az aggteleki barlang mint őskori temető. Budapest, 1881. 179 p.
- Starnini, E.–Szakmány, Gy.: Studio archeometrico comparativo di manufatti non vascolari in argilla cotta e di contenitori ceramici del neolitico antico ungherese. In: Fabbri, B.–Gualtieri, S.–Rigoni, A.N. (eds.): Materiali argillosi non vascolari: un'occasione in più per l'archeologia. Atti della 9a Giornata di Archeometria della Ceramica (Pordenone, 18–19 aprile 2005), Lithostampa, (2005) 51–60.
- Starnini, E.–Szakmány, Gy.–Madella, M.: Archaeometry of the first Pottery Production in the Carpathian Basin: results from two years of research. Proceedings of Atti del IV Congresso Nazionale AIAR Pisa, 1-3 Febbraio 2006., Pátron Editore, Bologna, 2007. 401–411.
- Szakmány, Gy.–Starnini, E.–Raucsik, B.: A Preliminary Archaeometric Investigation of Early-Neolithic Pottery from the Körös Culture (S. Hungary). Proceedings of the 33rd International Symposium on Archaeometry, 22–26 April 2002, Amsterdam, Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 3, (2005) 269–272.
- Szakmány Gy.: Kerámia nyersanyagok, kerámiák a mai Magyarország területén a neolitikumtól a XVIII. század végéig. A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 74. kötet, (2008) 49–90.

## T. Biró Katalin

### 4.7. Talajminták

#### Miért veszünk mintát a talajból?

A talaj a földkéreg legkülső, termékeny rétege. A „pedoszféra” a geoszférák része, a litoszféra (kőzetburok), atmoszféra (léggör), bioszféra (az élő „rendszer”) határán alakul ki. A kőzetek fizikai és kémiai mállás útján aprózódnak, a növényzet megtelepedésére alkalmassá válnak. A növények gyökerei tovább fokozzák az átalakulást, szerves anyaggal dúsítják a kialakuló új minőségű közeget. A folyamat évezredekig tart és jól elkülönülő szintekbe rendeződik (1. kép)



1. kép: A, B, C talajszintek (Hartai 2003 nyomán)

A talaj egyben a régészeti lelet természetes közege is. A régészeti jelenségek, objektumok a talajban a normális üledékképződéstől eltérő jelenségként jelentkeznek – más színű, más összetételű az üledék, és többnyire régészeti leletanyagot is tartalmaz. A megfigyelhető rétegtani egységet a talajon belül kultúrrétegnek, az egyes (egymás közt kor szerint elkülöníthető) rétegeket, objektumokat (régészeti) rétegeknek, egy objektumon belül stratigráfiai egységeknek nevezzük. Ezek megfigyelése, rögzítése a régészeti ásatás egyik legfontosabb feladata.

A talaj természetes (zavartalan vagy akár zavart) szelvénye a lelőhely képződéséről ad fontos adatokat. A lelőhely környezetében létesített feltárások (fúrások, szondák) a környezet rekonstrukcióját segítik. A lelőhely különféle korú objektumaiból vett minták pedig értékes adatokkal gazdagíthatják ismereteinket az adott stratigráfiai egységet létrehozó időszak és kulturális egység élővilágáról, illetve anyagi kultúrájáról.

### **Mintavételi módszerek és szempontok**

Mintákat vehetünk a feltárás során és attól függetlenül az ásatást megelőzően és azt követően kutatóárok, fúrások segítségével is. Fontos, hogy a mintavételi hely térben és időben pontosan rögzítve legyen, és ismerjük annak viszonyát a régészeti jelenségekhez. Ideális esetben a minták vizsgálatát végző szakember a helyszínen személyesen irányítja, esetleg maga végzi a mintavételt, ami a vizsgálat céljának megfelelően speciális igényeket is ki kell, hogy elégítsen. Ha erre mód van, a mintavételt érdemes az ásatás során, nyitott szelvények, álló tanúfalak mellett megtenni, hiszen a lelőhely rétegtani viszonyai nemcsak a régésznek, hanem a természettudományos vizsgálatokat végző szakembernek is irányadóak.

A mintavétel módszerei és szempontjai az elvégzendő vizsgálatoktól nagymértékben függenek. Vannak olyan vizsgálatok, amelyek azonos mintavételi eljárással nyert mintákon, egymástól függetlenül, egymást kiegészítve végezhetőek. Egyes speciális vizsgálatokhoz különleges mintavételi eljárások tartoznak, pl. orientált mintavétel (az északi irány rögzítése), a háttérsugárzás mérése a TL vizsgálatokhoz (termolumineszcens kormeghatározás, Benkő 1977), vagy bizonyos környezeti tényezők – fény, modern pollen – kiszűrése a fotolumineszcens kormeghatározáshoz vagy a palinológiai mintavételhez. Előnyös, ha az azonos lelőhelyen vagy lelőhelycsoport anyagán dolgozó szakemberek ismerik egymás munkáját és eredményeit, így az erőforrások sokkal hatékonyabban használhatók fel.

### **Talajszelvény, fúrás, üledék az objektumokból**

A talajminták begyűjtésére alkalmazott módszerek közül leggyakrabban a talajszelvényeken végzett, többé-kevésbé rendszeres mintagyűjtést, a sekély fúrásokat és az ásatás közben, a zárt objektumokból vett mintagyűjtést alkalmazzuk. Mindegyik módszernek megvannak az előnyei és – természetesen – a korlátai is.

A talajszelvény lehet megtisztított természetes feltárás, lehet az ásatás területén vagy közelében mélyített kutatóárok, de lehet az ásatás során feltárt rétegsor, szelvény is. A mintát vagy adott szakaszonként egy függőleges rétegsorban vesszük, pl. 5 cm-es szakaszonként, vagy az összes makroszkóposan elkülönülő réteget mintázzuk. A rétegsor közetminőségét, színét fotó- és szöveges dokumentációban rögzítjük. A színek meghatározására speciális összehasonlító táblázat, színskála használható – általánosan elterjedt a Munsel Soil Chart (Landa–Fairchild 2005).

A talajminták begyűjtésére mélyített fúrást általában kézi fúróval végezzük, ami lehet nagyobb összefüggő közetmintát adó magfúrás, de lehet az üledéket néhány centiméteres rétegekben keverten felszínre hozó mintavételezés is. Itt is rendkívül fontos a megfelelő dokumentálás, mind a fúrás mélyítése, mind a minta csomagolása tekintetében.

Céljában és eredményében az előbbiektől eltérő a régészeti ásatás során azonosított zárt objektumokból történő mintavétel. Ezt általában iszapolásra gyűjtjük, amelyből bőséges mikropaleontológiai és egyéb mikromaradványokban gazdag anyag nyerhető ki.

### A talajminták lehetséges feldolgozása

A talajminták számos szakterület és szakember munkáját segítik elő. A klasszikus szedimentológiai vizsgálatok elsősorban a minták szemcseméretének megoszlását, kémiai összetételét, szervesanyag-tartalmát vizsgálják. A talajszelvényben kimutatható változásokat rögzítik, amelyek a tág értelemben vett környezet változását tükrözik, a zavartalan talajszelvényben felfelé egyre fiatalabb relatív kronológiai sorrendben következő rétegek. Az üledékből vett korhatározó minták, pl.  $^{14}\text{C}$  kormeghatározásra alkalmas faszén vagy csontanyag abszolút kronológiai („kronometriai”) fogódzót jelenthet a feldolgozás során.

### Szedimentológia

A klasszikus üledékföldtani vizsgálatoknak elsősorban a nagyobb kronológiai időszakot felölelő lelőhelyek esetében van jelentősége, de egy időben rövidebb egységet képviselő rétegsor is hasznos információval szolgálhat keletkezésének körülményeiről. Az őskőkori lelőhelyek egyik lehetséges relatív kormeghatározási módja éppen az eltemetett, úgynevezett fosszilis talajok vizsgálata. A több évezreden keresztül felhalmozódó talajréteg kémiai és ásványos összetétele, szemcsemérete jellemzően változik, ezeket a változásokat rétegenkénti vagy szakaszos mintavétellel tudjuk követni.

### Mikropaleontológia

Az ismert relatív vagy abszolút korú rétegekből, de különösen a zárt objektumokból vett minták vizsgálata különösen értékes információt ad a lelőhely értékeléséhez. A begyűjtött talajmintát (lehetőleg 10 l vagy több legyen) szitason keresztül iszapolva kinyerhetjük a mikrofauna változatos elemeit – növénymaradványokat, kisméretű és más apró gerinces csontokat, apró csigákat. A maradványokat az egyes rendszertani egységek meghatározásában járatos szakemberek tudják feldolgozni. Ugyanabból az iszapolt mintából, válogatás után, több terület szakemberei is dolgozhatnak. Az eredményeket természetesen érdemes összevetni a makromaradványok (régészeti állatcsontleletek) és a palinológiai vizsgálatok eredményeivel. A várható információ mind a lelőhely környezetére, mind a természetett növényekre és fogyasztott állatokra fontos adatokat adhat.

### Palinológia

A pollen, avagy a virágporszem falának rendkívül ellenálló volta miatt, megfelelő közegbe kerülve, évmilliókig megőrzi formáját. Pollen igen nagy mennyiségben keletkezik, ezért igen kis talajmennyiségből is már statisztikai számításokra alkalmas mennyiségben lehet kinyerni. Régészeti lelőhelyeken két fő célra használhatjuk a pollenanalízist. A lelőhely környékének alaposabb vizsgálata után egy arra megfelelő helyen (tó, mocsaras terület, holtág stb.) fúrást végzünk és az így nyert talajmintasorból a lelőhely környezetét, hajdani növénytakaróját és ezen keresztül klímaviszonyait rekonstruálhatjuk. Egy ilyen fúrás több korszakra és több lelőhelyre is informatív lehet. A fúrást szakember végezze, speciális fúróval. Gyűjthetünk mintát magán a lelőhelyen belül is. Alkalmas helyek lehetnek házak tapasztása (faltöredék vagy padló), gödrök betöltése, árkok fala stb. Speciális, mindenképpen vizsgálatra érdemes objektum egy esetleges kút betöltése. Telepeken kívül a temetők jelenthetnek még mintavételre érdekes területet. Itt a csontvázas sírok esetében a holttest környékéről, fej, mellkas, kéz környéke – esetleges virágmelléklet kutatható, de érdekes eredményeket hozott már a gyomortáj vizsgálata is. A sírokban talált edények kitöltésének vizsgálata bizonyos fajta élelem-melléklet (méz) vizsgálata szempontjából lehet jelentős. Római temetkezések esetében az illatszeres üvegek üledékének vizsgálata adhat jelentős eredményt.

A mintákat mindig frissen nyesett felszínből vegyük! Vizsgálatra általában 100 g anyag elegendő, ezt javasolt simítózáras zacskóban megőrizni és a vizsgálatig hűtött körülmények között tárolni (hűtőszekrény). A tervezett pollenvizsgálatok előtt mindenképpen vegyük fel szakemberrel a kapcsolatot, és kérjünk tanácsot az adott lelőhelyre vonatkozóan konkrét mintavételi lehetőségekről.

## **Mikromaradványok, talaj mikromorfológia**

A kultúrréteg az emberi tevékenység nyomait a szabad szemmel látható és észlelhető tárgyakon túl is megőrzi. Már az egyszerű iszapolt mintákból is sokféle apró, a lelőhely területén folyó különféle tevékenységgel kapcsolatos maradvány kerülhet elő. Speciális talajcsiszolatokkal a mikromaradványok mennyiségi adatait is meg tudjuk határozni.

### **Abszolút kormeghatározás – kronometriai datálás**

A talajban különféle, kormeghatározásra alkalmas maradványok kerülhetnek elő – ezeknek vizsgálatával a kézikönyv egyéb fejezeteiben foglalkozunk. Speciális esetekben maga a talaj-üledék is datálható; ilyen a homokos, egykor felszínen levő üledék, amelyen fotolumineszcens kormeghatározás végezhető (OSL), vagy a közismertebb termolumineszcens (TL) vizsgálatra alkalmas átégett üledék (pl. kemence, tűzhely). Ezeket speciális mintavételi eljárásokkal kell begyűjteni, megfelelő kontroll mintával együtt.

### **A talajminták tárolása, megőrzése és nyilvántartása**

A talajminták megfelelő dokumentálás nélkül értéktelenek. Tipikusan erős (gyakran dupla) nejlonzsákba gyűjtjük őket, amelyekre kívül és belül is vízálló tintával írjuk az azonosításhoz elengedhetetlenül szükséges információt. Jól bevált a belül puha fém (alumínium) azonosító, vagy zárható kis nejlonzacskóba helyezett belső felirat használata. A talajmintavételt, bármilyen célból végeztük, naplózni és dokumentálni kell: a fotó- és rajzlistához hasonlóan, mintalista és megfelelő fotódokumentáció készüljön! A mintalistán és a dokumentáción feltüntetendő a lelőhely, dátum, objektum vagy szelvény, réteg, mélység adata.

A begyűjtött talajmintát a lehető leghamarabb át kell adni az adott szakembernek további feldolgozásra (pl. iszapolás, üledékföldtani vizsgálat stb.). Célszerű a mintákból kontroll anyagot eltenni. Mind az eredeti talajmintát, mind a kontroll anyagot száraz, jól szellőzött helyiségben tároljuk. Keveredés gyanúja esetén a mintát a továbbiakban ne használjuk fel.

## **Irodalom**

- Balogh K.: Szedimentológia I-III, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991.
- Benkő, L.: Contribution a la datation des céramiques par thermoluminescence. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 23. Budapest, 1977. 203–207.
- Fülek, Gy.: Soils of the Bronze Age tell in Százhalombatta. In: Poroszlai–Vicze eds., Százhalombatta Archaeological Expedition. Report 2. SAX Százhalombatta Archaeological Expedition 2005/2 89–110.
- Fülek, Gy.: A talaj. Gondolat Zsebkönyvek. Gondolat Kiadó, Budapest, 1968.
- Gyulai F.: Archaeobotanika. In: Ilon G. szerk., A régésztechnikus kézikönyve I. Pannicvlvs Ser. B. No.3. (1998) 225–238.
- Hartai É.: A változó Föld. Egyetemi Kiadó Miskolc 2003. 1–192 (<http://fold1.ftt.uni-miskolc.hu/~foldshe/foldal03.htm>)
- Kovács, G.: Reconstruction of the former environment and investigation of human activity at Százhalombatta-Földvár Bronze Age tell settlement. In: Poroszlai–Vicze eds., Százhalombatta Archaeological Expedition. Report 2. SAX Százhalombatta Archaeological Expedition 2005/2 125–134.
- Landa, E. R.–Fairchild, M. D.: „Charting Color from the Eye of the Beholder”. *American Scientist* 93 (September–October 2005) (5) 436–443. doi:10.1511/2005.5.436. <http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/45931/page/1;jsessionid=aaa5LVF0>.)
- Medzihradzky, Zs.: The role and the potentiability of palynology in archaeology. *Archaeometrical Research in Hungary* II. 1998. 199–202.



- Medzihradzky Zs.: Régészeti palinológia. A régésztechnikus kézikönyve I. Szerk. Ilon G. Pannicvlvs Ser. B. No.3. 1998. 221–223.
- Pécsi M.: Negyedkor és löszkutatás. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1993. 1–376.
- Poroszlai, I.–Vicze, M. eds.: Százhalombatta Archaeological Expedition. Report 2. SAX Százhalombatta Archaeological Expedition 2005/2 1–254.
- Stefanovits P.–Filep Gy.–Füleky Gy.: Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1999. 1–470.
- Stefanovits P.: Magyarország taljai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1963.
- Sümegei P.: A negyedidőszak földtanának és öskörnyezettanának alapjai. JATEPress, Szeged, 2001. 1–262.
- Sümegei P.: A régészeti geológia és a történeti ökológia alapjai. JATEPress, Szeged, 2003. 1–223.
- Vértés, L.: Untersuchungen an Höchlensedimenten. Methode und Ergebnisse. Régészeti Füzetek II/7 Budapest, 1959. 1–176.
- Vértés L. 1965: A barlangi kitöltés szerepe a kormeghatározásban. In: Vértés László Az őskőkor és az átmeneti kőkor emlékei Magyarországon. A Magyar Régészet Kézikönyve Budapest, 1965. 270–275.

Molnár Ferenc

## 4.8. Salakok és fémek archeometriai vizsgálata

### Bevezetés

A réz, az arany és az ezüst voltak azok a fémek, melyeket az őskor embere elsőként használhatott fel. E fémek kémiai tulajdonságai és a földtani folyamatok sajátosságai együttesen teszik lehetővé azt, hogy természetes körülmények között „termés”-állapotban is előfordulhatnak. Az őskori felhasználás szempontjából nyilván elsőrendű fontosságú e fémek azon fizikai tulajdonsága is, hogy már kohászati eljárások nélkül is („hidegen” vagy egyszerű hevítés révén) jól megmunkálhatók. A mindennapi használati értékű felhasználást (szerszám-készítést) azonban egy további követelmény is befolyásolja, nevezetesen az, hogy a kedvező tulajdonságú fém nagy mennyiségben legyen fellelhető. Ez utóbbi feltételt nyilvánvalóan csak a természetes előfordulásai is ismertek, addig a terméсарany és a természetes ezüst leginkább igen finom szemcseméretben és kis tömegekben oszlik el a különböző kőzetekben.

A rézből készült eszközök tömeges elterjedésében az volt a döntő tényező, hogy az esetleges természetes előfordulások kiaknázását felváltotta a nagyobb gyakorisággal előforduló egyéb réztartalmú ércásványok (előbb oxidos-karbonátos, később szulfidos összetételű rézásványok) kohászattal történő feldolgozása (Kr. e. 6500–7000, Anatólia – Catal Hüyük; Tylecote, 1976). Az őskori kohászat lényegében az oxidos (vagy egyszerű pörköléssel oxidos állapotba hozott) érc színtémme történő redukcióját jelenti. A kohászati tevékenység azonban önmagában nem létezhet: a szakmai tudás mellett bányászati tevékenységen és a kohászatban felhasznált egyéb anyagok (pl. az őskor kohászatában a faszén) előállításán alapul, továbbá feltételezi a kohászati félkész terméket feldolgozó és a felhasználás igényeit szorosan követő ipar kifejlődését. A bányászati és kohászati központok földtani és egyéb természeti okok miatt korlátozott elterjedése mellett a felhasználás igényeit követő ipar szükségszerűen szélesebb területekre terjedt ki, akár olyan mértékben – a kereskedelmi kapcsolatok függvényében – hogy az ipari központok idővel már nem szükségszerűen korlátozódtak az érclelőhelyek és a kohászat helyszíneire.

A kohászat elterjedésének korai időszakaiban a feldolgozott ércék összetétele még jórészt meghatározta az előállított (félkész) fémtermék összetételét. Közismert, hogy az arzén-, antimon-, és ónbronztulajdonságai egymástól eltérőek, és egyes érclelőhelyeken a réz ásványai nem egyformán társulnak egyéb, vagy szintén réztartalmú Sb-, As-, vagy Sn- ásványokhoz. Tehát a földtani viszonyok függvényében egyes kohászati központok által előállított fém összetétele és ezen keresztül felhasználási tulajdonságai az érclelőhely függvényében eltérőek lehetnek. E fontos tényező az archeometriai vizsgálatok során lehetővé teszi azt, hogy a fém kémiai jellemzői alapján a nyersanyag eredetét vizsgáljuk. További fontos következmény az, hogy a kedvezőbb megmunkálási és felhasználási tulajdonságú, földtanilag meghatározott érclelőhelyről származó fémtermék az anyag tulajdonságainak tapasztalati úton történő jobb megismerése révén a fém minőségének a felhasználás szempontjait követő tudatos befolyásolását is kiválthatta. Ezt jól példázza az, hogy az első ónbronztárgyakat a mezopotámiai Urból a Kr. e. 3500–3200 körüli időkből ismerjük, és ezekhez a bronzot még valószínűleg kassziteritet ( $\text{SnO}_2$ ) is tartalmazó oxidos rézérc egyszerű kohósítása révén állították elő. A bronz előállítási technológiájában a nyersrézhez adagolással hozzájuttatott, és így feltehetően a réztől eltérő érclelőhelyről származó kassziteritre az első bizonyítékok a Kr. e. 2500–2000 közötti időszakból származnak, míg a nyersrézhez adagolt cinktartalmú érc (valószínűleg karbonátos cinkérc) segítségével létrehozott sárgarézt Kr. e. 1400–1200 közötti időkből, Palesztína területéről ismert (Pásztor et al., 1990).

A fémek felhasználásában döntő tényező az a sajátos körülmények által kiváltott technológiai fejlődés volt, ami a rézérc kohósítása és ötvözeteinek előállítása mellett a vas felhasználásának széles körű elterjedéséhez vezetett. A vas már a réz és ötvözeteinek felhasználásának hajnalán is ismert volt, hiszen a szerencsésen fellelt

vas-nikkel meteoritok feldolgozását már a bronzkorból is ismerjük. A meteoritvas korlátozott mennyisége révén azonban nem szolgálhatott eszközök tömeggyártására alkalmas fémnek. Ugyanakkor a vasat kohászati úton már a bronzkorban is véletlenszerűen előállíthatták, hiszen az oxidos-karbonátos rézérccek előfordulásában a vas oxidos ércei szintén nagy mennyiségben előfordulnak (sőt, nagyobb mennyiségben, mint maga a rézérc!), és a rézkohászatban alkalmazott eljárás e vasérceket is redukálja színvassá, főként, ha a rézkohó a „szokásosnál” (800–900°C) egy kissé magasabb (kb. 1100°C) hőmérsékletre hevül. Az így előállított vas azonban sokkal kedvezőtlenebb tulajdonságú, mint a réz, vagy a bronz: törékeny, rosszul megmunkálható, és nem „éltartó”. A megfelelő megmunkálási és felhasználási tulajdonságú fém a vas karburizálásával, azaz szénrel való telítésével állítható elő, ami a kohóban keletkező szivacsos, nagy salaktartalmú vasbuca redukáló környezetben (faszénen) történő folyamatos kovácsolásával elérhető. E technológiai „ugrás” Kr. e. 1400–1200 közötti időszakban a kisázsiai hettitáknál következett be (Tylecote, 1976). A megfelelő minőségű vas előállítási problémájának megszűnésével a bronznál immár számos felhasználási szempontból kedvezőbb fém bányászati és feldolgozási technológiái a középkor végéig lényegében azonosak maradtak.

A fenti nagyvonalú áttekintésből is kitűnik, hogy a fémek hasznosíthatóságát és felhasználását ásványaik természetes előfordulásainak sajátosságai nagymértékben befolyásolják. E sajátosságok szabják meg azt, hogy az érc egy adott lelőhelyen kellő mennyiségben és minőségben kitermelhető-e, továbbá azt is, hogy mely technológiával milyen használati értékű eszköz állítható elő belőlük. A fémek és az előállításuk során képződő anyagok archeometriai vizsgálata tehát nem nélkülözheti az ércelelőhelyek ásványtani, közettani, azaz összefoglalóan ércteleptani sajátosságainak ismeretét, annál is inkább, mivel az ezekből következő összetételbeli sajátosságok átöröklődhetnek a kohászat és a fémfeldolgozás során képződő anyagokba. Az ásványtani megközelítés abból a szempontból is hasznos, hogy az ásványtanban használatos vizsgálati módszerek nemcsak az anyag összetételét, hanem alkotóinak szöveti-szerkezeti elrendeződését is feltárják. Az ilyen jellegű megfigyelések pedig technológiai kérdések tisztázására lehetnek alkalmasak. Mindezek mellett a kohászat és feldolgozás során képződő anyagok és alkotóik kristályosodási-megszilárdulási folyamatai sokban hasonlítanak a földkéregben végbemenő természetes folyamatokhoz, melyek oknyomozó kutatása során szerzett elméleti és módszertani ismeretek jól alkalmazhatóak e sajátos régészeti leletekre is, főként, ha az ez irányú kutatások régészeti, ásványtani és kohászati szakemberek együttműködésében valósulnak meg.

A továbbiakban a kohászat és feldolgozás során keletkező salakok jellemzőit, továbbá a félkész- és késztermékek (fémek) vizsgálatából levonható következtetéseket tárgyaljuk. E kérdésköröknek igen szerteágazó és részletes külföldi szakirodalma van; a jelenlegi összeállítás a hazai archeometriai vizsgálatok lehetőségeinek és korlátainak figyelembevételével tekint át néhány módszertani kérdést és eredményt, és nem a hazai és külföldi vizsgálatok teljes körű összefoglalását és régészeti szempontú kiértékelését célozza.

## Salakok

Réz-, és vasérc faszénen történő egyszerű redukciós kohósítása során szükségképpen keletkezik salak, mely elősegíti a fém és az érc egyéb alkotóinak elkülönülését. Az ércben gyakran nagy mennyiségben jelenlévő Si, Al, Ca, Mg és egyéb alkáliák a faszénen történő redukció során képződő szilikátos és üveges fázisokba lépnek be, melyekben a réz és a vas csak korlátozottan talál magának helyet. A salakképződést alkália-tartalmú, földpátos-csillámos kvarchomok adagolása okozza. Az eljárás révén viszonylag könnyen elérhető a réz színülése (800–900°C), a fémvas elkülönülése azonban magasabb hőmérsékletet igényel, és további kedvezőtlen tényező, hogy a vas egy jelentős része a szilikátos és üveges fázisokhoz is kötődhet, illetve a bucakohászattal járó tökéletlen redukció következtében nagy mennyiségben wüsztit (FeO) formájában visszamaradhat.

A vasérc faszénes redukciója révén keletkező vasbuca szivacsos szerkezetű, sok salakzárványt tartalmazó anyag, melynek további, salakképződéssel járó, redukáló faszénágyon történő hevítése és kovácsolása szükséges ahhoz, hogy a megfelelő tisztaságú és jól megmunkálható (karburizált) fémdarab jöjjön létre. Tehát a vasérc feldolgozása során nemcsak a kohászathoz, hanem a vas további feldolgozásához kapcsolódóan is jelentős mennyiségű salak képződésével számolhatunk.

A faszenes redukción alapuló réz-, és a vaskohászathoz kapcsolódó szilikátos-üveges salak első tekintetben nagyon hasonló lehet egymáshoz, másrészt összetételükben is az alább részletesebben bemutatott vas-szilikátos és oxidos fázisok uralkodhatnak. A rézkohászat salakjában azonban a réz és rezet tartalmazó kristályos fázisok is előfordulhatnak, és a részletesebb mikroszkópos, vagy kémiai vizsgálat ezeket könnyen kimutathatja. A hazai archeometallurgiai gyakorlatban elsősorban vassalakokkal találkozunk, ezért a továbbiakban a vasgyártás és feldolgozás során keletkező salakok tulajdonságait tárgyaljuk annak hangsúlyozásával, hogy az ismertetett módszerek a rézkohászat salakjaira is alkalmazhatóak.

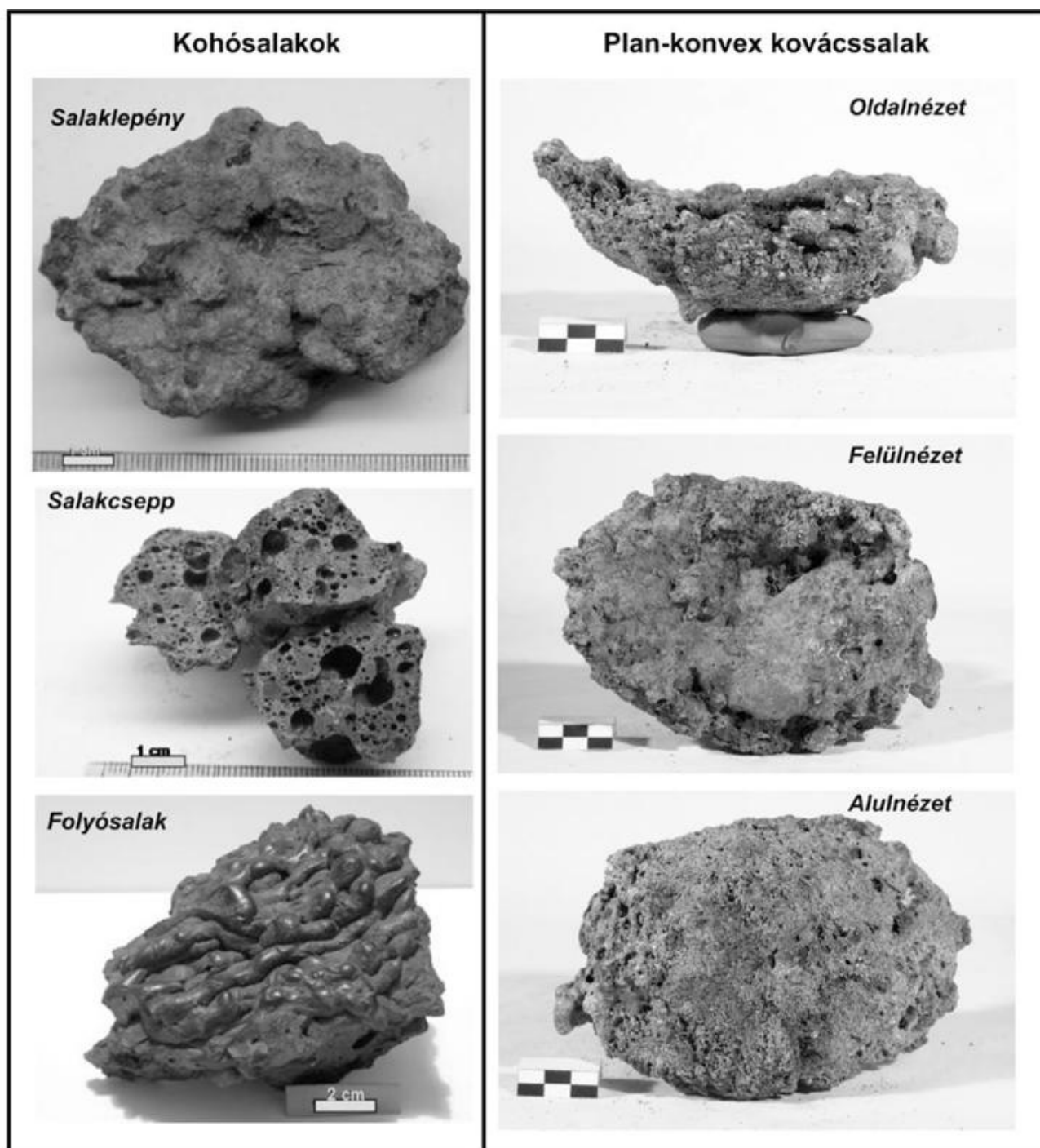
### Morfológiai vizsgálatok

A régészeti feltárások során előkerülő vassalakok kapcsán az elsőrendű kérdés az, hogy vajon kohászathoz, vagy kovácsoláshoz köthetőek-e. Az első esetben a kérdés eldöntéséhez további támpontot szolgáltathat a lelőhely geológiai adottságainak felmérése (vasérctelep közelsége), ércdepók, pörkölgödörök, a pörkölt érc depóinak és a kohómaradványok, fújtatócsövek azonosítása, továbbá a vassalak mennyiségének felmérése, de részletesebb anyagvizsgálatokra ezek mellett is szükség lehet, mivel a felsorolt objektumok és adatok hiánya még nem zárja ki egy vassalak kohászati eredetét, illetve nem támasztja alá a vassalak kovácsolóműhelyből való származását. Másrészt egy kovácsolóműhely azonosítása pusztán a vassalak előfordulása révén szintén körülményes (de nem lehetetlen) feladat, főként, ha a műhelyre utaló egyéb objektumok és anyagok (pl. kovácstűzhely, a kovácsolás során keletkező mágneses reve, fémszilánkok, szerszámok, félkész és kész vastárgyak) hiányoznak a lelőhelyen. Önmagában a vasbuca, vagy egy fújtatócső előfordulása egy adott lelőhelyen előkerült vassalaktömegben szintén nem döntő bizonyíték a lelőhely kohászati jellegére, hiszen a vasbuca feldolgozása és a fújtatócső felhasználása történéhetett egy kovácsolóműhelyben is.

A vassalakok archeometriai vizsgálatának első lépése a morfológiai elemzés, mivel a salak alakjának jellegzetességei, illetve a felszínén megfigyelhető alakzatok jórészt tükrözik a salak képződésének körülményeit, bár önmagukban – néhány szignifikáns salaktípus kivételével – nem meghatározó érvényűek.

A faszenes érc redukció során alkalmazott kohók térben és időben részletesen tipizálhatóak, azonban a salakképződés szempontjából végső soron két típust különíthetünk el. Az egyszerű aknakemencékben a nagy tömegű salak képződése a fújtatócső közelében történik, és a szilikátos olvadék rendszerint a faszénágyon átcsöpögve a kemence alján lepény formájában szilárdul meg. E salak alsó része a kemencetapasztás átégett maradványait tartalmazhatja, felső része pedig faszénlenyomatos, illetve a salak is tartalmazhat faszénmaradványokat. Ennek ellenére ez a vassalak rendszerint nagy fajsúlyú, tömör, és mágneses, és akár több kilogrammos tömegű, lepényszerű képződmény (1. kép). Mivel a morfológia a kemence aljához igazodik, gyakran „plan-konvex” jellegű is lehet az ilyen salak, ezért csak részletesebb vizsgálat segíthet a kohászati eredet eldöntésében, mivel „plan-konvex” típusú salak kovácstűzhelyen is képződhet (lásd alább). A bucakohókban szintén gyakori a különböző méretű kerekded, erősen gázhólyagos és kis fajsúlyú, csupán egyes részein mágneses, első pillantásra is üveges anyagú salakcseppek képződése (1. kép). E salakcseppek azonban kovácsolóműhelyben is képződhetnek, tehát a makroszkópos jellegek alapján eredetük nem meghatározható.

A bucakohászathoz használt kohók egy sajátos típusa salakcsapoló nyílással rendelkezett. A salak időszakos lecsapolása során sajátos morfológiájú, ún. folyósalak képződik. E salaktípus könnyen felismerhető, mivel a salak folyásából származó fonatos-olvadéknyelvszerű struktúra a salak felszínén jellegzetes rajzolatokat alkot (1. kép). E morfológiai jelleg felismerése tehát a salakot egyértelműen kohászathoz kapcsolja.



1. kép: Jellegzetes vassalaktípusok (Árpád-kori). A salakleány és salakcsepp Letenyéről, a folyósalak Imoláról, a kovácssalak Balatonmagyaródról (a középkori Kolonról) származik.

A kovácstűzhelyen keletkező salakok többsége szinte kivétel nélkül „plan-konvex” morfológiájú (Bayley et al., 2001). A képződési körülmények jól tükröződnek a salak megjelenésén (1. kép). A felső „plan” oldal rendszerint sima és üveges, esetenként kissé bemélyedő jellegű. A kovácstűzhely fűjtatójából érkező erős légáramlat olvadék-elterítő hatásából következően a salak felülnézetben gyakran elliptikus alakú, és a fűjtatóval szemközti irányban jelenik meg az üveges felső kéreg. Máshol a felső rész egyenetlen, salakcseppes struktúrájú is lehet. Oldalnézetben szintén jellemző lehet a kissé aszimmetrikus, megnyúlt forma, és kitűnhet a salak ré-

teges felépítése. Ez utóbbi sajátosság arra vezethető vissza, hogy a kovácstűzhelyt többszörösen felhevíthették egy-egy buca, vagy egyéb munkadarab megmunkálásához a korábban képződött salak eltávolítása nélkül. A „plan-konvex” kovácssalak alsó, domború része a tűzhelytapasztás átégett maradványait tartalmazhatja, és rendszerint viszonylag sima felületű. A „plan-konvex” salakok tömege elérheti a kilogrammos nagyságrendet, rendszerint erősen mágnesesek és anyaguk viszonylag tömör. Mindezek mellett erősen üveges, kis fajsúlyú, porózus „plan-konvex” salakok is ismeretesek. A jellegzetes morfológiájú salaktípus mellett, egyéb üveges, kis fajsúlyú salakcseppek is képződhetnek a kovácstűzhelyen, de ezek rendszerint kisméretűek (néhány centiméteresek), szabálytalan alakúak és kicsi a tömegük.

A fenti áttekintésből kitűnik, hogy egyes esetekben a morfológiai és egyéb makroszkóposan megfigyelhető jellegek alapján eldönthető a vassalak eredete. Sokszor azonban csupán salaktöredékek kerülnek elő egy-egy lelőhelyről, illetve a makroszkópos megfigyelés nem mindig vezet kielégítő eredményre. Ezért a salakok részletesebb anyagvizsgálata is rendszerint szükséges.

### Polarizációs mikroszkópos vizsgálatok

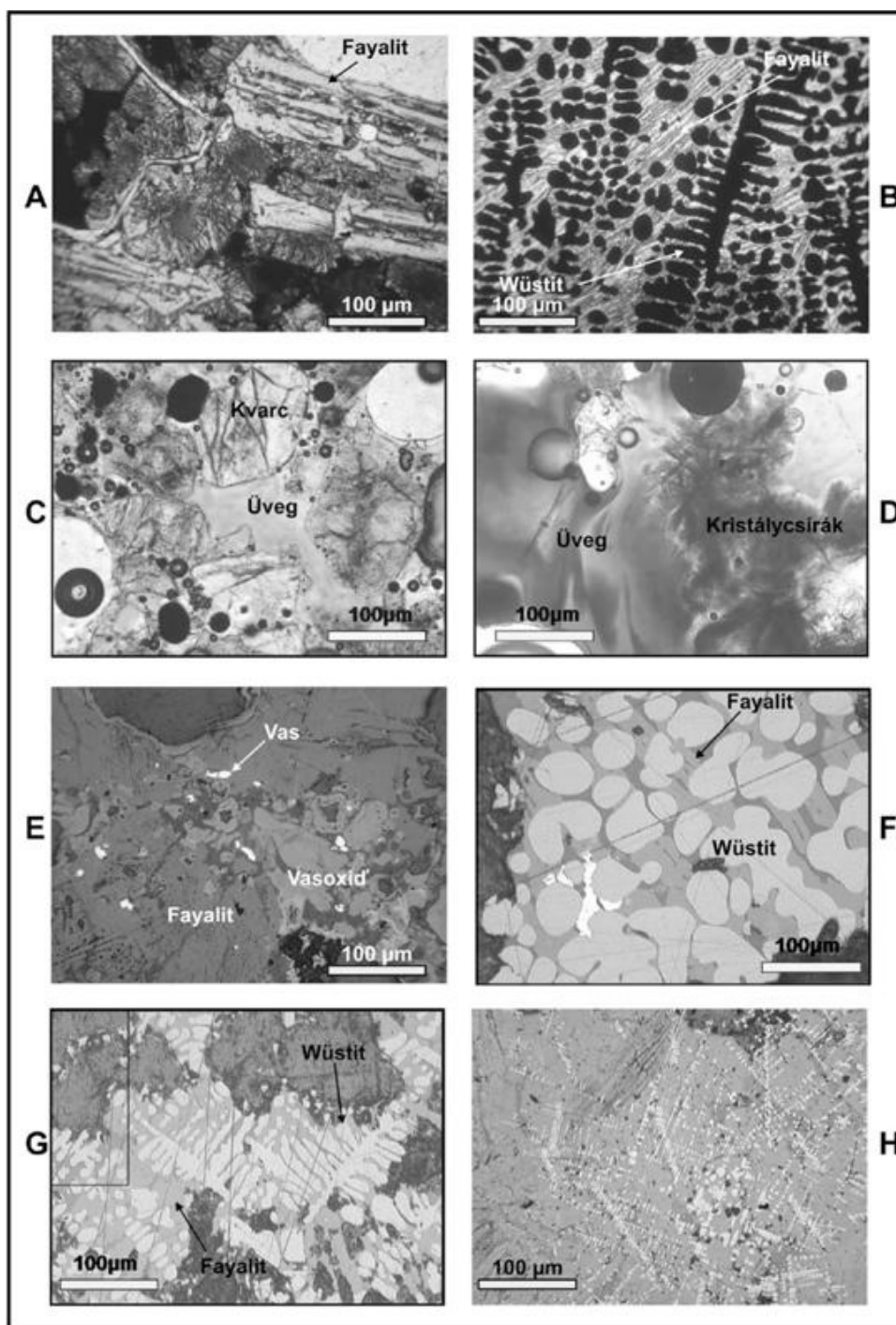
A kohászat, illetve a kovácslás során keletkezett salakok belső szerkezeti-szöveti sajátosságait és alkotóinak kvalitatív meghatározását mikroszkópos vizsgálatok révén kivitelezhetjük. A vizsgálatok céljára a salak keresztmetszetének megfelelően 30 mikrométer vastagságú, üveglemezre ragasztott, szabad felületén polírozott vékonycsiszolatot készítünk. E csiszolatok standard mérete általában 26×42 mm, de szükség esetén nagyobb felületű csiszolat is készíthető. A felület polírozott jellege az áteső fénymenetű vizsgálatok mellett lehetővé teszi a ráeső fénymenetű mikroszkópos megfigyeléseket is. Ez utóbbi tényező azért fontos, mert a salak összetételében esetlegesen előforduló fémszemcsék így könnyen azonosíthatóak, másrészt egyes szöveti-szerkezeti sajátosságok, továbbá áteső fényben nem átlátszó kristályos alkotók is meghatározhatóvá válnak. A vékonycsiszolatokat polarizációs mikroszkópban vizsgáljuk, mivel a különböző alkotórészek eltérő kristályszerkezetükből és összetételükből eredő eltérő fénytani viselkedése csak így tehető láthatóvá. A mikroszkópos vizsgálatokat jellemző módon negyvenszeres és négyszázszoros nagyítás alkalmazásával végezzük.

A vassalakok (és jórészt a rézkohászat során képződő salak) felépítésében a leggyakrabban előforduló kristályos fázisok a következők:

- wüsztit:  $\text{FeO}$
- magnetit:  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$
- fayalit:  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$
- kirschsteinit:  $\text{CaFeSiO}_4$
- kalszilit:  $\text{KAlSiO}_4$
- leucit:  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$
- piroxén-félék: klinoensztatit  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ; klinoferroszilit,  $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , diopszid  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
- salakképző adalékanyag-maradványok: kvarc,  $\text{SiO}_2$ , földpátok (plagioklász, káliföldpát)

A vassalakokban ezeken kívül rendszeresen előfordulnak vas-, és vasötövet szemcsék, továbbá a salak jelentős részét teheti ki a nagy vastartalmú, alkáliákban és alkáliföldfémekben gazdag üveg is.

Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos megfigyelések révén könnyen azonosítható a fayalit-kirschsteinit, az adalékanyag-maradványok és az üveges anyag (2. kép A, B, C és D), mely utóbbiban rendszerint kristálycsírákként fordulnak elő a piroxén-félék. Ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkópban a fémszemcsék, illetve a wüsztit, magnetit és egyéb fém-oxid alkotók a szilikátokhoz és az üveghez képest nagyobb, de egymástól eltérő fényvisszaverő képességük révén könnyen azonosíthatók.



2. kép: Jellegzetes vassalakszövetek polarizációs fénymikroszkópban. *A* – vázkristályos fayalit cseppszerű üveges alapanyag-halmazokban (kovácssalak). *B* – tűs-dendrites wüstit sugaras-kévs fayalit mátrixban. A fayalitkristályok közeit üveg tölti ki (kovácssalak). *C* – az adalékanyag kvarcsemcséinek maradványai az üveges alapanyagban (kovácssalak). *D* – kristálycsírák (piroxén-félék) üveges alapanyagban (kovácssalak). *E* – szilánkos-tört vasszemcsék uralkodóan durvakristályos fayalitból álló alapanyagban (kovácssalak). *F* – durvakristályos, agytekervény-szerű wüstit vázkristályos fayalitból és a fayalit közeit kitöltő üveges-leucitos alapanyagban (kohósalak). *G* – dendrites wüstit fayalitos alapanyagban (kohósalak). *H* – tűs-dendrites wüstit durvakristályos fayalitból álló alapanyagban (folyósalak). Az *A*, *B*, *C* és *D* képek a polarizációs mikroszkóp áteső, míg az *E*, *F*, *G* és *H* képek a polarizációs mikroszkóp ráeső fénymenete mellett készültek az analizátor kiiktatásával.

A mikroszkópos vizsgálatok során jól megfigyelhetők az egyes alkotók kapcsolódásából kirajzolódó szövetszerkezeti bélyegek. A fémszemcsék eloszlásának és alakjának megfigyelése elsőrendű fontosságú, mivel ha azt tapasztaljuk, hogy egyes sávokban-rétegekben jelennek meg, és alakjuk tört-szilánkos, akkor a kovácshalak-eredet bizonyítottan tekinthető (2. kép D). A szilikátos fázisok mellett a wüstit és a magnetit még mindig viszonylag nagy reflexióképességű: a wüstit rendszerint tús-dendrites, durvadendrites és agytekervény-szerű képleteket alkot a fayalitos mátrixban (2. kép F, G, H). Ha a wüstit szövetszerkezete nem mutat jelentős változékonyságot a salak egészében, akkor valószínűsíthető a kohósalak eredet. Ha azonban a wüstit erősen eltérő szövetszerkezeti mezőit élesen váltakoznak (és pl. a határfelületeken vasszemcsék ülnek), akkor inkább a kovácshalak jellegre következtethetünk. A magnetit leggyakrabban lándzsahegy-szerű vázkristályos füzereket alkot (2. kép A). Mivel képződéséhez viszonylag oxidatív környezet szükséges, ezért wüstites salakokban rendszerint nem találkozunk vele, és leginkább az üveges, kis fajsúlyú salakokban jellemző alkotó. Mindezek mellett a magnetit jelenléte inkább a kovácshalakokra jellemző. A fayalit ráeső fényben jellegzetesen vázkristályos-táblás megjelenésű a különböző salakokban, de előfordulhat finomrostos-kévs halmazokban is. Ez utóbbi megjelenés, főként, ha a szövetszerkezeti jellemzők éles váltakozásával társul, inkább a kovácshalakokra jellemző. A fayalit-wüstit halmazok közötti teret a különböző vassalakokban rendszerint leucitos-kalszilites-üveges anyag tölti ki. E fázisok nagyon kicsi reflexióképességűek, gyakran sajátos ékírás-jellegű (grafikus-mirmekites) szövetszerkezeti képleteket alkotnak, finom szemcseméretű wüstittel összenőve. A nagyobb mennyiségű (esetenként uralkodó) üveges alapanyag elsősorban a kovácshalakokra jellemző, de a folyósalakokban sem szokatlan.

A fenti áttekintésből látható, hogy a makroszkópos megfigyeléseinket mikroszkópos vizsgálatokkal kiegészítve további lényeges támpontokat kaphatunk a vassalak jellegének meghatározásához. További kérdések tisztázhatóak, ha a salak anyagát és egyes alkotóinak összetételét kémiai elemzésnek is alávetjük.

### Kémiai elemzések

Kémiai elemzéseket a salakok teljes anyagán, illetve egyes alkotóin is végezhetünk. E vizsgálatok a kohászat által feldolgozott érc eredetére (lelőhelyére) utaló adatokat szolgáltathatnak, illetve a salak típusának (kohó- vagy kovácshalak) azonosítására lehetnek alkalmasak. Az egyes alkotókon végzett kémiai elemzések technológiai kérdések (pl. a kohászat során elért hőmérséklet) megválaszolására is alkalmasak.

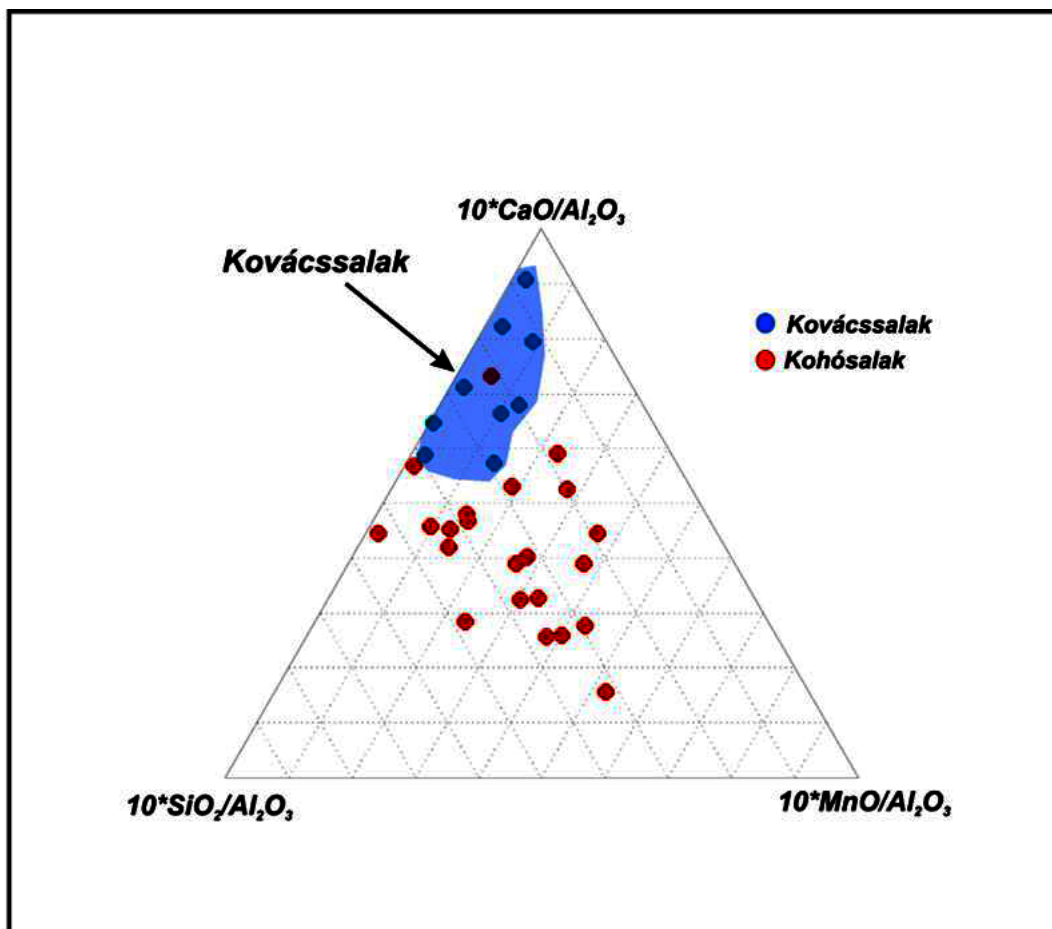
A salak teljes anyagán végzett kémiai elemzéshez viszonylag nagy mennyiségű (minimum 200–300 gramm) salak lisztfinomságú homogén porát használjuk fel, annak érdekében, hogy az anyag szerkezetéből adódó kémiai inhomogenitások hatását elkerüljük. Az így előállított port különböző kémiai eljárásokkal oldatba viszik majd a kimutatandó vegyületek és elemek sajátosságainak megfelelően műszeres (leggyakrabban atomabszorpciós – AAS és indukciós plazmagerjesztésű optikai emissziós és tömegspektrométeres – ICP OES és ICP MS) elemzésnek vetik alá. Egyes kémiai alkotók elemzése további műszeres eljárásokkal történik.

A megfelelő érzékenységű eljárások alkalmazásával a salak teljes anyagán végzett elemzések a százalékos nagyságrendben előforduló főalkotókon ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , C, S) kívül információt szolgáltatnak a sokszor csak nagyon kicsi koncentrációkban előforduló nyomelemekre (Ag, Au, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr, As, Bi, Hg, Sb, Se, Te) vonatkozóan is. A salakok teljes anyagán végzett nyomelemvizsgálatokra a hazai gyakorlatban csak elvétve találunk példát, és e téren jelenleg is folyó kutatásaink eredményeinek kiértékelése messze túlmutat e munka keretein, azonban a felsorolt elemek közül a Ba, Ag, Au, Cu, Ni, Pb, As, Hg, Bi, Sb, Se és Te jelentőségére érdemes kitérni. Ugyanis ha ezek az elemek a földkéregben ismert átlagértékeknél jelentősen nagyobb mennyiségben fordulnak elő a vizsgált vassalakban, úgy valószínűsíthető, hogy a vasérc fém-szulfidokat tartalmazó érctelep felszíni, oxidált kibukkanásaiból származik (ilyen pl. a rudabányai érctelep).

A magyarországi gyakorlatban eddig elsősorban a főelem-összetétel vizsgálata honosodott meg. Erre vonatkozóan Gömöri János összefoglaló munkája kiemelkedő jelentőségű áttekintést nyújt (Gömöri, 2000). A főelem elemzések – a kohómérnöki ismeretek alapján – alkalmasak lehetnek arra, hogy a kohó- és vassa-



lakokat egymástól megkülönböztessük. E célból a korábbi kutatások során elsősorban a salak „bázikussági indexét”, azaz a  $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$  arányszámot használták fel (kovácssalakok esetében ez a hányados 1-hez közeli értékeket is felvehet, míg kohósalakok esetében általában 0,5-nél kisebb). Az utóbbi időben folytatott kutatásaink során azonban felfigyeltünk arra, hogy az alumínium-oxidra normált szilícium-, kalcium- és mangán-oxid tartalmak alapján szintén lehetséges a kohó- és kovácssalakok megkülönböztetése. Erre példaképpen a Gömöri János fentebb hivatkozott munkájából származó adatbázis – mely a római kortól az Árpád-korig terjedő időszakból, főként dunántúli lelőhelyekről származó salakok adatait tartalmazza – újraértékelését mutatjuk be a 3. képen.

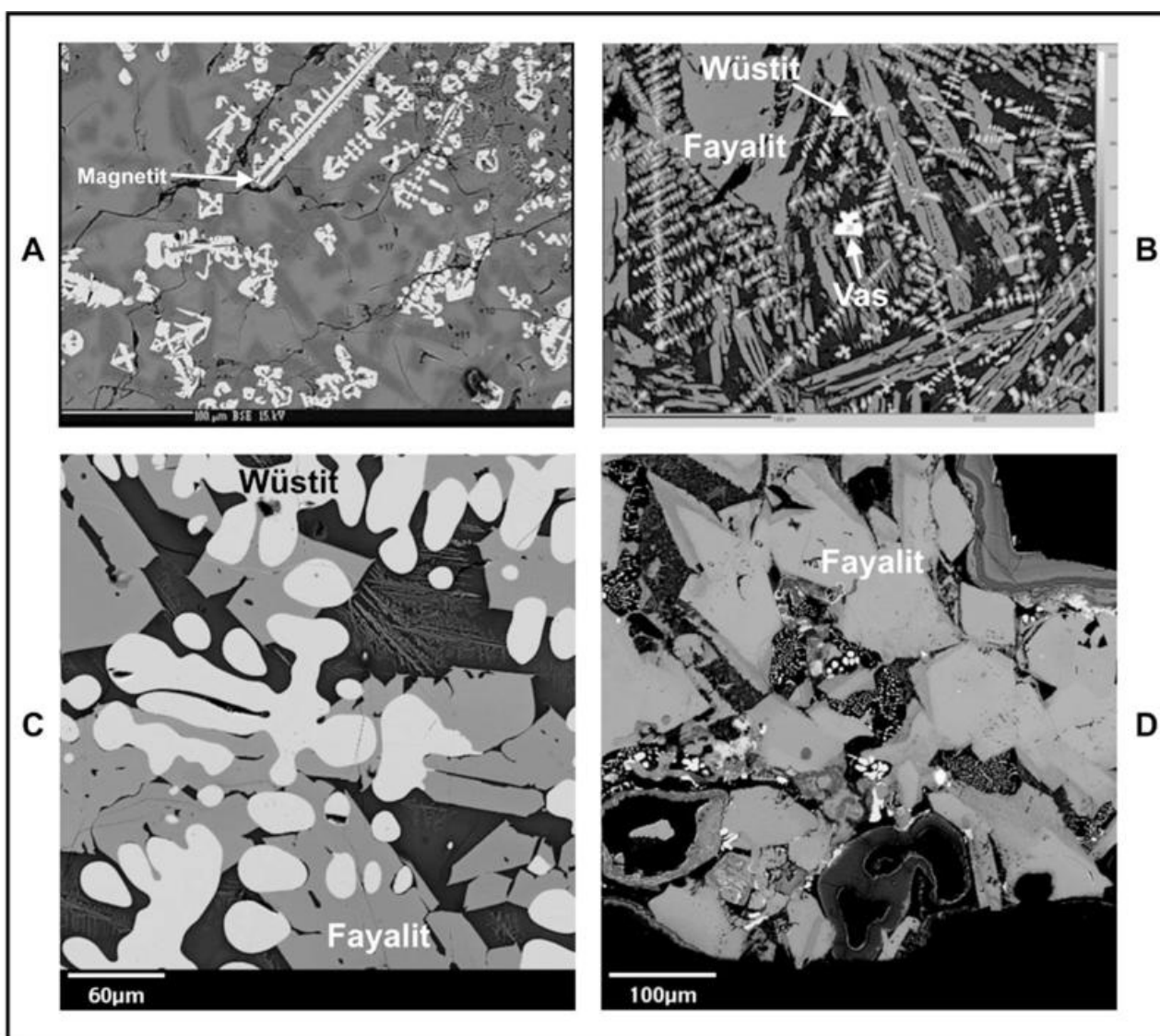


3. kép: A római kortól az Árpád-korig terjedő időszakból származó kohó-, és kovácssalakok összetétele Gömöri (2000) adatbázisának újraértékelése alapján

A diszkriminációs diagramon jól kitűnik, hogy a kohósalakokat általában nagyobb alumínium-oxidra normált szilícium-, és mangán-oxid tartalom jellemzi, mint a kovácssalakokat. Mindez arra vezethető vissza, hogy a kohósítás sokkal nagyobb mennyiségű salakképző adalékanyag (melyben a szilícium-oxid mennyisége az uralkodó) felhasználását feltételezi, mint a kovácsolás, másrészt a vasérc rendszerint jelentős mennyiségű mangánt is tartalmaznak, mely a kohósítás során a fémmel szemben elsősorban a salak különböző fázisaiba lép át.

A vassalakok főelem-összetételénél érdemes a foszfortartalomra is figyelni. Általában Magyarország és környezete földtani viszonyait tekintetbe véve elmondható, hogy a vassalak több százalékos foszfortartalma gyevasérc kohósítására és feldolgozására utalhat.

A fentiekben ismertetett mikroszkópos vizsgálatok céljára előállított polírozott felületű metszetek kiválóan alkalmasak elektronmikroszkópos megfigyelésekre, melyek során az egyes fázisok kémiai összetételének meghatározása is lehetséges. Mindezek mellett az elektronmikroszkópban a fénymikroszkópnál jobb felbontásban vizsgálhatjuk a szöveti-szerkezeti elemeket (4. kép A, B, C, D). A polírozott felületű metszetek elektronmikroszkópos vizsgálatra való „továbbvitele” csupán a felület vékony szénréteggel való bevonását igényli, mely az elektronmikroszkópos laboratóriumokban rutineljárásként kivitelezhető.



4. kép: Elektronmikroszkópban készült nagy felbontású visszaszórt elektronképek vassalakok jellemző szöveteiről.  
*A* – magnetit vázkristályok a világosszürke fayalitból és a sötétszürke üvegből álló alapanyagban (kovácssalak).  
*B* – tűs-dendrites wüstit és vázkristályos fayalit. A fekete hátteret az üveges alapanyag alkotja (folyósalak).  
*C* – dendrites wüstit vázkristályos fayalitban. A fayalitkristályok között kitöltő inhomogén anyag leucitba ágyazott wüstit tollszerű képleteit tartalmazza (kovácssalak). *D* – durvakristályos fayalit összetételi zónássággal (a Fe-, Ca-, és Mg-tartalom változásából eredően). A fayalit kristályai közötti teret wüstit-szemcséket tartalmazó leucitos-üveges alapanyag tölti ki (kovácssalak).

Az elektronmikroszkópban végzett mikrokémiai elemzések (elektronsugaras mikrokémiai elemzések, „elektronmikroszondás” vagy röviden csak „mikroszondás” kémiai elemzések) előnye abban nyilvánul meg, hogy a salakok egyes alkotóinak összetételét külön-külön is meghatározhatjuk, és az összetételi jellegeket kapcsolhatjuk a szöveti-szerkezeti bélyegekhez. E vizsgálatok során az elsődleges cél azonban már nem a salak (kovácssalak-kohósalak) jellegének a meghatározása, hanem az eredeti ércnek a kohósalakba, sőt a kovácssalakba „átöröklődött” kémiai jellegeinek a meghatározása. E vizsgálatok révén tehát az érclélőhelyet azonosíthatjuk, melynek ismerete a salak előfordulási helyének és jellegének figyelembevételével további fontos régészeti szempontú következtetések levonására lehet alkalmas. Ez egyes esetekben igen komplex feladat, és az érclélőhelyek sajátosságainak részletes ismeretét feltételezi. A hazai gyakorlatból merítve itt csupán néhány jellegzetességet emelünk ki, részletes esettanulmányokat pl. Molnár (2007), illetve Czajlik és Molnár (2007) munkáiban találhat az érdeklődő olvasó.

A vassalakok fémszemcséin végzett elektronmikroszondás kémiai elemzéseink során a vas mellett főként a Ni, Ti, Mn, Cu, As, Sb, Ag, és P mennyisége érdemel hangsúlyos figyelmet. A magas (2–4 súly %) foszfortartalom (esetenként a Mn jelentősebb koncentrációival) rendszerint a gypvasérc eredetet tükrözi, míg a jelentősebb Ti-tartalom az érc magmás közeteredetéhez kapcsolható. Ha azonban a Ni, Cu, As, Sb jelentős koncentrációit tapasztaljuk (egyes szemcsékben akár tíz súlyszázalékos nagyságrendben!), akkor inkább szulfidos érctelep „vaskalap” zónájából származhatott az eredeti vasérc.

A fayalit összetételében a nagyobb Mg-tartalom és főként a Ca jelentős mennyisége (krischsteinit) gypvasérc és karbonátos kőzetkörnyezetből származó vasérc eredetre utalhat. Azonban szükséges hangsúlyozni azt, hogy Ca-tartalmú anyag (karbonát) a salakképződést elősegítő adalékanyagokkal együtt is kerülhet a salak anyagába, sőt ez technológiai jellegeket is tükrözhet, mivel a Ca-tartalom növelése megakadályozza a vas fayalitba történő belépését, miáltal a kohászat jobb hatásfokúvá válik. A fayalit nagyobb Mg-tartalma nagyobb hőmérsékleten folytatott kohászati tevékenységre is utalhat.

A wüstit kristályszerkezeti adottságaiból eredően általában nyomelemekben szegény, azonban a megemelkedett Mn-tartalom esetenként a gypvasérc eredetet tükrözheti. A K-gazdag kristályos és üveges fázisok elemzése rendszerint nem szolgáltat további támpontul az érceredet meghatározásához, kivéve az üveg foszfor- és báriumtartalmát. Kiugróan magas (több súly %) foszfortartalom erősítheti a gypvasérc-eredetre utaló következtetéseinket. A megemelkedett báriumtartalom pedig a hazai gyakorlatban a rudabányai vasérctelep oxidációs zónájából, illetve a rómaiak által a Dél-Alpokban és Dalmáciában művelt, a rudabányaihoz hasonló típusú érctelepekből származó vasércre utalhat, főként, ha a salak vasszemcséiben a színesfémek megemelkedett koncentrációit is tapasztaljuk.

### **Röntgendiffrakciós fázisanalízis**

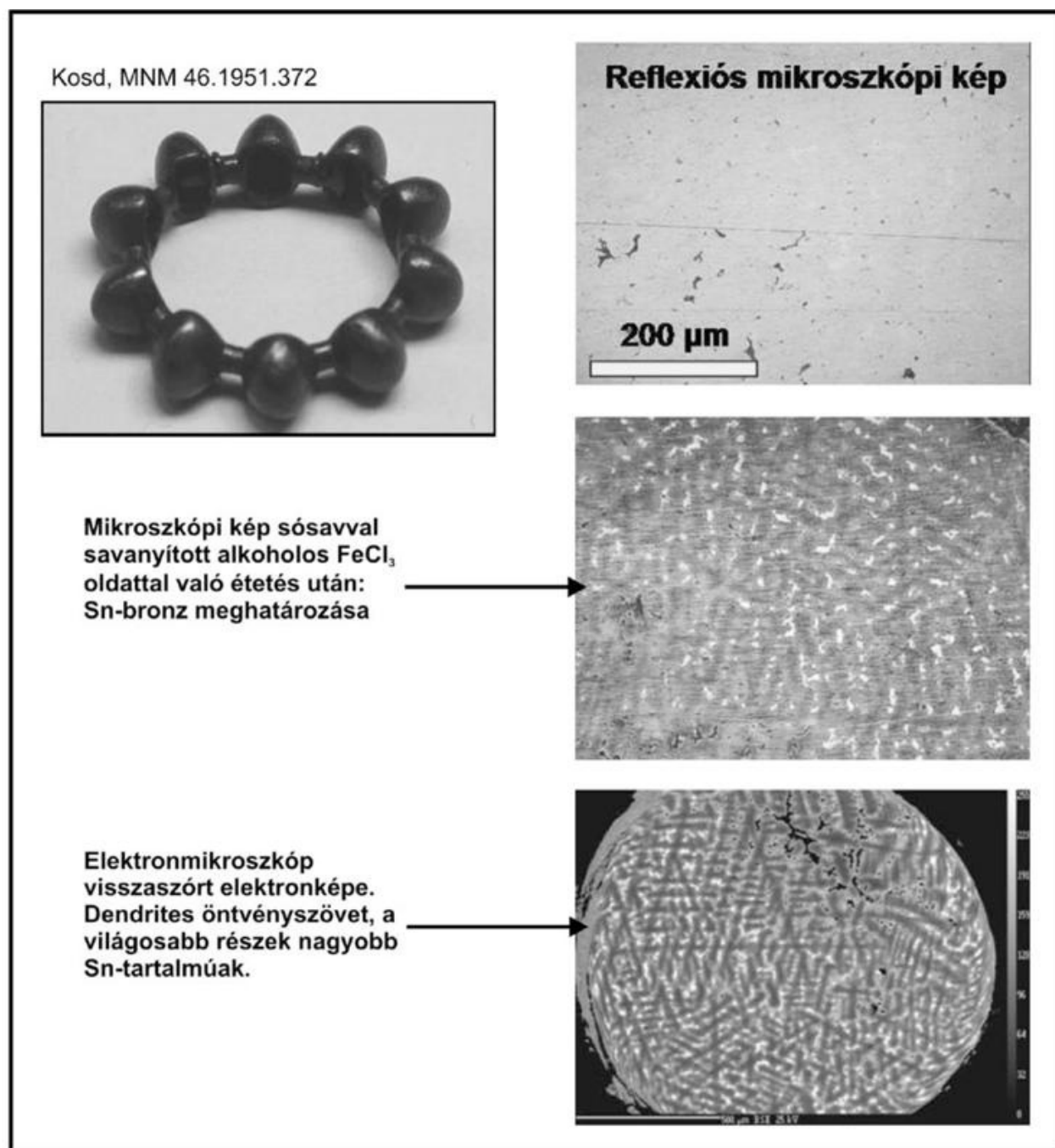
A röntgendiffrakciós fázisanalízis alkalmas a salakban nagyobb mennyiségben (min. kb. 3–5%) előforduló kristályos alkotórészek minőségi és mennyiségi meghatározására és az üveges anyag jelenlétének kimutatására. Előnye, hogy kis anyagmennyiség (néhány gramm) is elégséges az analízis kivitelezésére, nem igényel körülményes anyagelőkészítést és rövid idő alatt elvégezhető. Hátránya, hogy az általánosan elterjedt pordiffrakciós eljárás az anyag törését-porítását igényli és így a vizsgált anyag szöveti-szerkezeti jellemzői nem határozhatók meg. Korszerű berendezéseken azonban lehetőség van a polarizációs mikroszkópos vizsgálatokra előkészített vékonycsiszolatokon is röntgendiffrakciós fázisanalízisre. A hazai archeometriai gyakorlatban a polarizációs mikroszkópos vizsgálatok kiegészítésére, az optikai tulajdonságai alapján nem meghatározható, vagy a mikroszkóp felbontóképesége miatt nem jól tanulmányozható salakalkotók meghatározására használjuk. Véleményünk szerint további – a salakvizsgálatok terén eddig még nem kellőképpen kiaknázott – lehetőség rejlik a kvantitatív röntgendiffrakciós fázisanalízisben, ami az egyes salakalkotók mennyiségének meghatározására alkalmas, és várható, hogy további támpontul szolgálhat kovács-, és kohósalakok megkülönböztetésére még akkor is, ha csak kis mennyiségű salaktörödékek vizsgálhatók.

## Fémek

A dolgozat eddigi gondolatmenetét követve e fejezetben elsősorban a réz-, bronz- és vaseszközök, illetve félkész termékekre (öntőlepenyek) vonatkozó, a hazai kutatói gyakorlatban elérhető legfontosabb módszereket tekintjük át. Az aranyékszerek és egyéb fémek archeometriai vizsgálata ritkán jelentkezik „napi” feladatként, és sajátos jellegénél fogva inkább kuriózumnak, mint általános gyakorlatnak tekinthető.

A régészeti eredetű réz-, bronz- és vastárgyak vizsgálatának elsődleges célkitűzései a nyersanyageredet és a megmunkálás technológiájának meghatározása. A régészettudomány szempontjából kitüntetett szerepű morfológiai megfigyelések az anyagvizsgálatok szemszögéből e tárgyak esetében nem elsődlegesek és főként a tárgyból végzett mintavételezés helyének meghatározására szolgálnak.

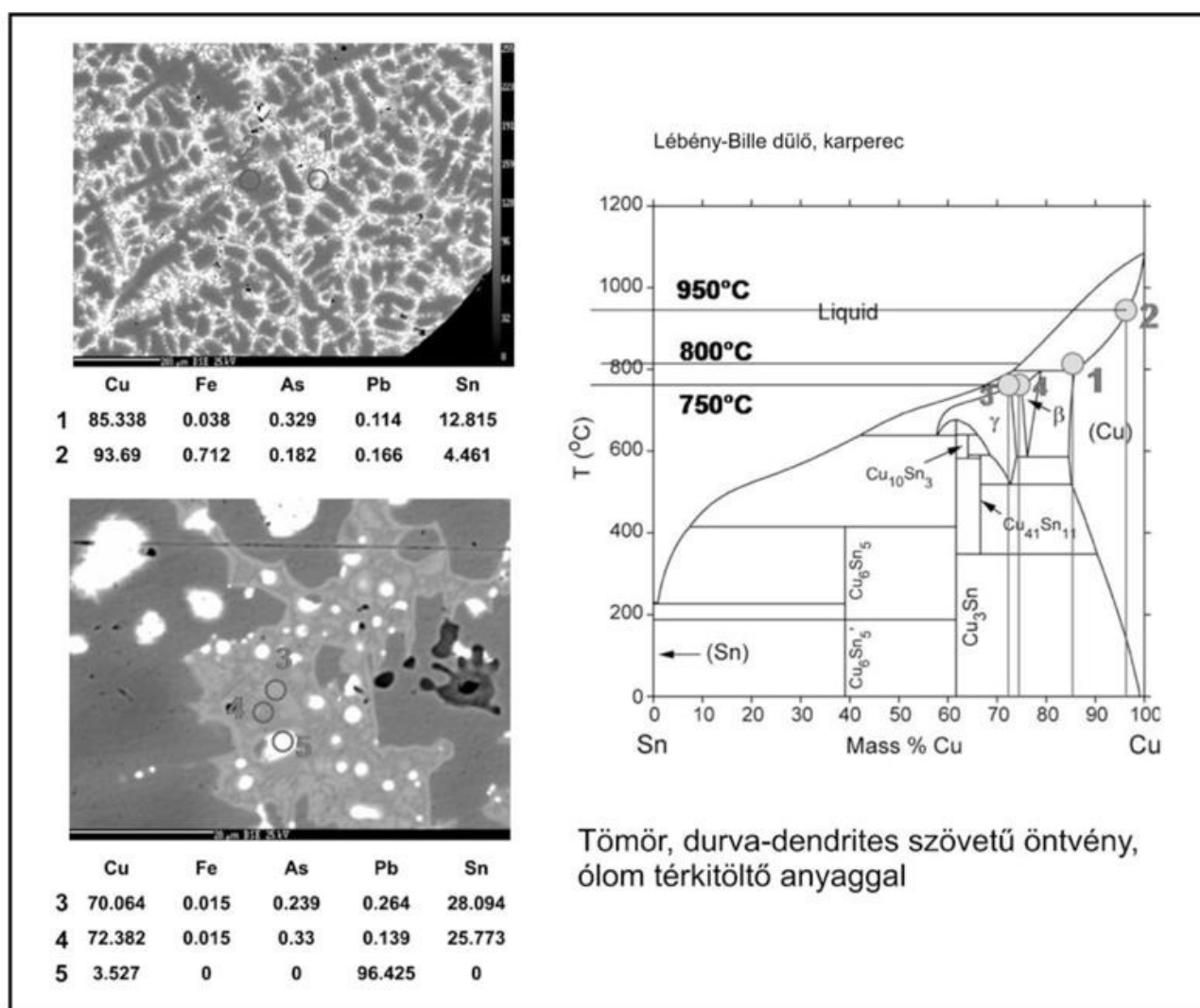
Az anyagvizsgálatokat nagyban nehezítik a mintavételezés értelemszerű korlátai. Míg a réz- és bronztárgyak esetében a restaurálhatóság szempontjai erősen behatárolják a vizsgálható minta mennyiségét, addig a vas esetében sokszor a fém jelentős, esetenként csaknem teljes korróziója is további korlátozó tényezőt jelenthet. A réz- és bronztárgyak fény- és elektronmikroszkópos vizsgálatához szükséges mintavételezés módszerét az ELTE TTK Ásványtani Tanszékén fejlesztettük ki Rózsavölgyi János technikus közreműködésével. A mintavételezéshez nagy keménységű acélból 1 mm átmérőjű, belül üreges fúrófejet készítettünk, mely mintegy 0,6–0,8 mm átmérőjű hengeres próba kifúrását teszi lehetővé a vizsgálandó tárgyból. A próbateszteket erre a célra kifejlesztett mintatartóba műgyantával beágyasztuk, majd a felületüket kipolítítottuk. Ezen anyagelőkészítés révén a minták ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkópos és mikrokémiai elemzések elvégzésére alkalmasak. Az alkalmazott eljárás jelentős előnye az, hogy a fémtárgyak belső, korróziómentes részei vizsgálhatók. A kísérletek azt mutatták, hogy az eljárás során az anyag eredeti belső struktúrája sértetlen marad, így a fém megmunkálási, vagy öntési szövete jól tanulmányozható. Erre mutat példát az 5. képen összefoglalt, kosdi kelta bronz karperec vizsgálati eredménye.



5. kép: A kosdi kelta bronz karperec szerkezeti-szöveti sajátosságai fénymikroszkópos és elektronmikroszkópos felvételeken

A fent leírt eljárással vett minta polírozott felületének ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkópos jellegei inhomogén szövetre utalnak. A bronz polírozott felületének sósavval savanyított vaskloridos étetése után a bronzöntvényekre jellemző dendrites struktúra jól kitűnt. A reflexiós fényben az étetett felületen tapasztalható különböző színárnyalatok az öntvény egyes részei között a megszilárdulás során létrejövő réztartalom-beli különbséget tükrözik. Mindez szintén jól megfigyelhető az ugyanezen felületről elektronmikroszkópban készített, a fénymikroszkópnál jobb felbontású képen is. A bronz szövete egyértelműen rögzíti, hogy a vizsgált ékszert öntéssel készítették, hiszen kalapálás-nyújtás esetén a jellegzetes öntvény-szövet deformációját tapasztalnánk.

A salakok kapcsán már láttuk, hogy az elektronmikroszkópos vizsgálatok nemcsak a szövet nagy felbontású megfigyelését, hanem az egyes fázisok pontszerű (akár csupán kb. néhány négyzetmikrométer felületen történő) kémiai elemzését is lehetővé teszik. Ilyen kémiai elemzésekre mutat példát a 6. kép, mely szintén egy kelta ónbronzzal karperec vizsgálati eredményeit szemlélteti. Az öntvény egyes komponenseinek összetétele jól követi az ónbronznak a mellékelt fázisdiagramon követhető, 950–750°C között végbemenő kotektikus-eutektikus kristályosodását, ami kellően megválasztott öntési technológiára utal. A mikrokémiai elemzések azt is kiderítették, hogy az ónbronzzal térkitöltő anyagként ólmot is tartalmaz (ez szilárdul meg abban a térben, melyet a bronz ónban gazdag végső kristályosodási termékei már nem tudnak kitölteni), ami a kelta bronzművesek magas fokú technológiai ismereteit tükrözi.



6. kép: A Lébény, Bille-dűlőből származó kelta bronz karperec öntvény szerkezete és az öntvény összetételének sajátosságai az ónbronzzal fázisdiagramjára vetítve

A nyersanyag eredet tisztázására a fémek fő alkotói kívül a nyomelemek kimutatása lehet alkalmas, mivel a különböző földtani környezetekben kialakult értelepek a környezetre és az ércépződési folyamatokra jellemző elemháztartással rendelkeznek, és a sajátosságok átöröklődhetnek az érc kohósítása révén előállított fémbe. Az elektronmikroszkopos kémiai elemzés kimutatási határa az ilyen jellegű vizsgálatokat esetenként lehetővé teszi (pl. Czajlik et al., 1995), azonban jelentősebb előrelépés várható e téren a hazai kutatási gyakorlatba még bevezetés alatt álló, sokkal nagyobb érzékenységű lézerekkel anyagpárologtatással működő ICP

MS berendezések alkalmazása. Ez utóbbi eljárás lehetővé teszi azt, hogy akár néhány négyzetmikrométeres felületről nagyon kicsi mennyiségben jelenlévő nyomelemek koncentrációját meghatározzuk. A berendezés alkalmas lehet arra is, hogy kisebb méretű tárgyak felületéről mintavételezés nélkül is készítsünk elemzéseket.

A vastárgyak elemzésével kapcsolatos tapasztalataink azt mutatják, hogy a fémvas struktúrája és kémiai összetétele csak szerencsés esetben tanulmányozható, mivel a vastárgyak rendszerint erősen korrodált állapotban kerülnek elő. Vasbucák esetén a helyzet kedvezőbb, mivel a nagy tömegű anyag belső részei rendszerint még nem oxidálódtak, másrészt a bucák salakzárványossága is fontos információkat hordozhat a *Salakok* című alfejezetben leírtak alapján. A vastárgyak, bucák polírozott felületeinek citromsavas nitállal történő étetés utáni ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkópos vizsgálata a vas széntelítetttségének jellegét tárhatja fel, illetve hozzásegít annak eldöntéséhez, hogy a szerencsésen előkerült fémdarab vajon ténylegesen régészeti értékű, vagy modern kohászati eljárásokhoz köthető. A hazai tapasztalat azt mutatja, hogy a vas esetében sokkal inkább célszerű az amúgy is nagyobb mennyiségben előkerülő salakok fémszemcsék vizsgálatára összpontosítani, mivel e szemcséket a beágyazó szilikátos-üveges salakanyag megóvja a korróziótól, másrészt az ilyen típusú anyag szinte „korlátlan” mennyiségben, a mintavételezést követő utólagos restaurálást nem igénylő módon áll rendelkezésünkre.

## Összefoglalás

A salakok és fémek archeometriai vizsgálata révén a nyersanyag eredetre és az érc, vagy a fém feldolgozásának technológiájára nyerhetünk ismereteket. A hazai gyakorlat körülményeihez és lehetőségeihez igazodva a vizsgálatok főbb lépései a következők:

### 1. Mintavételezés

Salakvizsgálatok esetén célszerű az anyagvizsgálatokat végző szakember bevonásával kiválogatni az e célra kerülő anyagokat. Ez rendszerint nagy mennyiségű ép és törmelékeny salakanyag átnézését jelenti, melynek során már a morfológiai megfigyelések egy része is kivitelezhető. Fémtárgyak esetén hangsúlyozottan figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a legtöbb alkalmazható anyagvizsgálat a tárgy roncsolásával jár, ami megfelelő mintavételezési módszer alkalmazásával a minimálisra csökkenthető, de nem elkerülhető. Továbbá e téren az olyan elemzési eljárások alkalmazása jelenthet (pl. lézersugaras ICP MS elemzések), melyek közvetlenül a tárgyakon végezhetők, ezeknek azonban határt szabhat a tárgy mérete.

### 2. Vizsgálati eljárások

A salakok és fémek szerkezeti-szöveti sajátosságainak jellegzetessége fontos adatokat szolgáltat a salak típusának, illetve a fémtárgy előállítási technológiájának meghatározásához. A szerkezeti-szöveti sajátosság megfigyelése első lépésben áteső és ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkóppal történik, melyhez polírozott felületű metszeteket, vékonycsiszolatokat kell készíteni. Fémtárgyak esetében tized-négyzetmilliméteres felületek is elegendőek ilyen vizsgálatokhoz. A polarizációs mikroszkópos vizsgálat révén az anyagot felépítő fő fázisok is nagyrészt meghatározhatóak. Fémek esetében a szöveti-szerkezeti jellegek mikroszkópos megfigyelését a polírozott felületek kémiai reagensekkel történő étetése is elősegíti. Salakvizsgálatok esetén a polarizációs mikroszkópos eljárásokat kiegészíthetjük röntgendiffrakciós fázisanalízissel, vagy a vizsgálatokra alkalmazott vékonycsiszolatokon, vagy a salak porított anyagán. A röntgendiffrakciós eljárás a fázisok mennyiségének meghatározására is alkalmas lehet. A polírozott felületek alkalmasak elektronmikroszkópos vizsgálatokra is, melyek a szöveti-szerkezeti sajátosságok nagy felbontású megfigyelésén kívül az anyagot felépítő egyes fázisok mikrokémiai elemzését is lehetővé teszik. A mikrokémiai elemzések a salakok és fémek fő fázisaiba beépülő helyettesítő-, és nyomelemek kimutatását is szolgálják, mely adatok a nyersanyag eredet meghatározásához szolgáltathatnak fontos adatokat. A salakok teljes anyagán végzett kémiai elemzések a nyersanyag eredet kérdésein kívül alkalmasnak tűnnek a kohó- és kovácssalakok megkülönböztetésére is.

### 3. Az eredmények kiértékelése

A különböző megfigyelések révén nyert adatok kiértékelése többsíkú feladat, ami régészeti, ásványtani-kőzettani, ércteleptani, és kohászati ismereteket igényel. Egy-egy kiragadott vizsgálati módszer, megközelítés általában nem vezet teljes mértékben kielégítő eredményre, ezért javasolt több vizsgálati módszer együttes alkalmazása.

A fentiekben ismertetett eljárásokon kívül egy adott kérdés vizsgálatánál számos egyéb módszer is alkalmazható. Így például a fémek összetételében az egyes fémek izotópjainak megoszlása fontos támpontot adhat a nyersanyag eredetének meghatározásához, vagy a salakanyagban előforduló faszén szénizotópos kormeghatározása, illetve a salak anyagának termolumineszcens vizsgálata a fémfeldolgozás kronológiai kérdéseit világíthatja meg, vagy pl. kis mennyiségű anyagok roncsolásmentes kémiai elemzése megoldható neutron-aktivációs elemzéssel is. Ezekre a hazai gyakorlatban egy-egy esetben találunk példát, azonban rutinszerű alkalmazásaikról ma még nem beszélhetünk.

### Irodalom

- Bayley, J.–Dungworth, D.–Paynter, S.: *Archaeometallurgy*. English Heritage Publication. Sterling Press Ltd., 2001.
- Czajlik, Z.–Molnár, F.: Sidérurgie. In: Mikós Szabó (Szerk.), *L'habitat de l'époque de La Tène á Sajópetri-Hosszú-dűlő*. Robinco Kft. Budapest, 2007. 263–270.
- Czajlik, Z.–Molnár, F.–Sólymos, K. G.: Angaben zu der spatbronzezeitlichen Metallrohmaterialversorgung am Velem/St.-Veit-Berg, Westungarn. *Archäologie Österreichs*, 6/2 (1995) 30–35.
- Gömöri J.: *Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában*. Sopron, 2000.
- Molnár F.: Az Árpád-kori Kolon (Balatonmagyaród) település vassalak-depójának anyagvizsgálata: a technológia és a nyersanyageredet kérdése. *Zalai Múzeum* 15 (2007) 281–294.
- Pásztor G.–Szepessy A.–Kékesi T.: *Színesfémek metallurgiája*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.
- Tylecote, R. F.: *History of Metallurgy*. The metals Society, London, 1976.



## Grynaeus András

### 4.9. Dendrokronológia

*A dendrokronológia*, azaz a famaradványok évgyűrűk segítségével végzett kormeghatározása, mára a régészek körében általánosan ismertté és sok esetben alkalmazott segédtudománnyá vált. Ezért nem tekintjük a jelen írás feladatának az elméleti kérdések összefoglalását. Ezt az érdeklődők megtalálják a Panniculus kötetként megjelent régésztechnikusi tankönyvben,<sup>1</sup> illetve a legújabb érdemi összefoglaló a Kubinyi András 75. születésnapjára írt kötetben<sup>2</sup> jelent meg. Ezenfelül a közeljövőben jelenik meg egy önálló dendrokronológia tankönyv is,<sup>3</sup> így összefoglalónkban a gyakorlati kérdésekre és a várható/remélhető eredményekre összpontosítunk.

#### Milyen eredményt várhat a régész egy ilyen vizsgálatról?

Értelemszerűen alapvetően kelteztést, datálást. A fa testének három jól elkülöníthető, eltérő szerkezetű, gyakran különböző színű része van. A kéreg védi a fa testét és a kéreg alatt elhelyezkedő szaporítósejteket (kambium), továbbá a fa életműködésében is meghatározó a szerepe: a hozzá szorosan illeszkedő háncsban áramlik a – koronában szintetizált – vízben oldott tápanyag a fa minden sejtjéhez. A kéreg alatti szijács alkotja a fa törzsének élő részét: benne áramlik a fa koronája felé a felszívott víz a benne oldott ásványi anyagokkal együtt, illetve ebben raktározza el a fa ősszel a keményítőt. A fa legbelső része, a geszt már nem vesz részt a fa életműködésében, „csupán” tartja, szilárdítja a fát, az itt felhalmozott anyagok révén.

A datálás szemszögéből mindez azért fontos, mert a szijács „vastagsága”, azaz a hozzá tartozó évgyűrűk száma, faj-, és területspecifikusan állandó: a szaporítósejtek minden évben új évgyűrűt hoznak létre, de közben a szijács legbelső évgyűrűje elgesztesedik, pórusai feltöltődnek a geszt anyagával. Így, miközben a fa vastagodik, a szijács, évgyűrűszámát folyamatosan megtartva, egyre kijjebb vándorol.

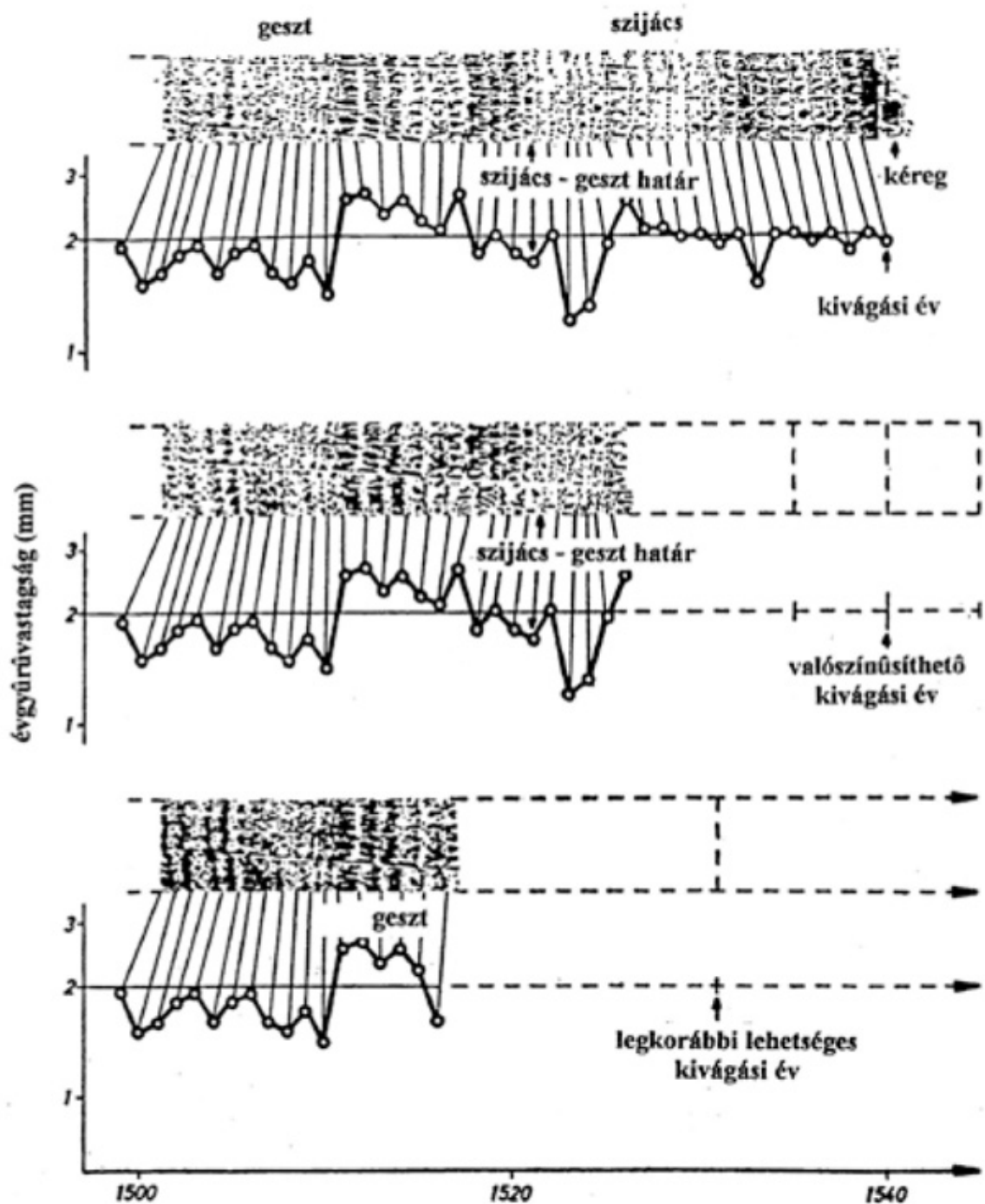
Az alábbi ábra<sup>4</sup> azt szemlélteti, hogy ha ismerjük az adott fafajra és területre jellemző szijácsévgyűrűszámot, akkor a kéreg hiánya esetén is viszonylag pontosan (egy–két éves hibahatárral) megmondható a fa kivágásának vagy legkorábbi szóba jöhető kivágásának időpontja.

1 Grynaeus A.: Dendrokronológia. In: Ilon Gábor szerk.: A régésztechnikus kézikönyve I. (Panniculus Ser. B. No. 3.) Szombathely, 1998. 357–366.

2 Grynaeus A.: A magyarországi dendrokronológiai kutatás eredményei és új kérdései. In: F. Romhányi B.–Grynaeus A.–Magyar K.–Végh A. szerk.: „*Es tu scholaris*”. Ünnepi tanulmányok Kubinyi András 75. születésnapjára. Budapest, 2004. 87–102.

3 Grynaeus A. szerk.: Az évgyűrű mint információhordozó I–II. In press.

4 Az ábra forrása: Eckstein, D.–Bedal, K.: Dendrochronologie und Gefügeforschung. *Ethnologica Europea* VII/2 (1973/74), p. 228



Azaz a fa állapotától függően a régész háromféle eredményt kaphat a dendrokronológustól: évre pontosat, pár éves hibahatárral meghatározottat vagy post quem jellegűt. Ezek a dátumok lehetnek abszolútak, azaz évszámban kifejezhetőek, vagy relatívok, azaz egymáshoz vagy másik lelőhelyhez viszonyítottak. Ez abban az esetben fordul elő, ha az adott területre vagy időszakra nincs évszámokhoz kötött összehasonlítható adatbázis.

Az M0-s körgyűrű építése kapcsán Gyál térségében több olyan Árpád-kori település kútját is feltárták, amelyek jó állapotú faanyagot őriztek meg. A vizsgálatok eredményeként azt tudjuk, hogy a 8. lelőhely 23. objektumaként ismert kút és a 9. lelőhely 631. objektumának megépítése között 124 év telt el. De azt, hogy ez pontosan mikor volt, még nem ismerjük.

Fontos sajátosság, hogy a dendrokronológia a megvizsgált objektumból származó faanyag *kivágási korát* adja meg. Ez az esetek egy részében, főleg az épületfáknál azonos a felhasználás időpontjával, de nem szükségszerűen, mert lehetnek másodlagosan felhasznált elemek is a szerkezetben! Ezért is fontos a nagy mintaszámú vizsgálat, mert az egy-két másodlagosan felhasznált fa jól elkülöníthető a későbbitől, melyek pontosan kelteznek az objektumot.

A *faanyag* két eltérő forrásból származhat. Az esetek egy részében a konkrét épület számára vágták ki a faanyagot, így a benne megtalált gerendák egyidősek egymással, azonos kivágási időpontúak. Más esetben a gerendákat/deszkákat a piacon kapható faanyagból alakították ki. Így a kivágási időpontok nem azonosak, de a szóródásuk pár éven belüli. Ezzel már a konkrét datáláson túlléptünk és járulékos információkat, ismereteket szereztünk az adott kor mindennapjairól.

A lehetőségekhez mérten *teljes körű vizsgálatra* való törekvés, azaz az összes megtalált famaradvány dendrokronológiai elemzése révén a konkrét keltezésen túl egyéb információkkal is tudott szolgálni:

Zalavár térségében „emberemlékezet óta” ismerünk dorongutakat. Ezekről Csalog József készített elsőként érdemi felmérést.<sup>5</sup> 2002-ben került sor egy ilyen „közismert” dorongútszakasz feltárására, kifejezetten dendrokronológiai keltezési céllal. A szelvényben feltárt cölöpök összképe impozáns volt. Viszont az elemzések nyomán derült ki, hogy a cölöpök nem egy rendszer tagjai, mert több, jelentősen különböző időpontban vágták ki a felhasznált faanyagot. Így a megvizsgált „dorongút” nem út, sőt nem is híd, hanem egészen más célú szerkezet maradványa...

A Szolnok területén a Tisza medrében észlelt cölöpmaradványok pontos felmérése lehetővé tette az egykori híd szerkezetének és az egykori magasság és árvízviszonyok rekonstrukcióját is.<sup>6</sup>

A dendrokronológia *fafaj- és területspecifikus* tudomány. Milyen gyakorlati következményei vannak ennek a közismert ténynek?

A *fafaj-specifikusság* alapján elvben minden fafajra önálló adatbázist kellene készíteni az eredményes alkalmazhatóság érdekében. Az elmúlt 15 év kutatásaiból kiderült, hogy a jelenlegi magyarországi területen, korszaktól függetlenül – minimális kivételektől eltekintve – az újkorig tölgyfát használtak épületfaként, így régészeti, illetve műemlékes környezetből szinte csak ez kerül elő. A fenyőfélék alkalmazása tömegesen csak a 19. század második felében kezdődött el. Korábbi időszakok közül egyedül a római korban van szórványos nyoma a fenyők épületfakénti használatának. Speciális esetet jelent a római kori hordók anyaga, amelyek jegenyefenyőből készültek, de zömében nem a provincia területén, hanem a Duna felső folyásának vidékén.

Természetesen a peremvidéken és egy-egy speciálisabb épület esetében (ilyen például a soproni Szentlélek templom<sup>7</sup>) lehet eltérés ettől a tendenciától. Más fafajok (fűz, nyár, szil) alkalmazására – jelen ismereteink szerint – csak esetleg került sor. Ilyen esetben ismét magyarázatra szoruló új információt szolgáltat a dendrokronológia.

A fajspecifikusság szükségessé teszi minden egyes esetben a pontos fafaj-meghatározást. Ez a régész számára konkrét új információkat ad a terület egykori növényzeti képéről. Fontos kiemelni, hogy ez nem tükrözi egy az egyben az egykori vegetáció képét, mert egy sajátos „humán filter” megszűri azt: a településre, objektumba csak azok a növények kerültek be, amelyeket az adott célra hasznosítani tudtak. Ebből viszont megismerhetjük az egykori közösség fafelhasználási gyakorlatát is: azaz az egyes fafajokat akkor mire használták.

5 Csalog J.: Híd és dorongutak Zalavár környékén. Göcseji Múzeum Közleményei 9 (1960) 137–149.

6 Kertész R.–Morgós A.–Nagy D.–Szántó Zs.: Hódoltság kori cölöphidak a Tiszán. Műemlékvédelem XLIX (2005/1.) 13–28.

7 Grynaeus A.–Sarkadi M.: A soproni Szentlélek-templom tetőszerkezete (Műemléki kutatások természettudományos diagnosztikai háttérrel 2.) Művészettörténeti Értesítő 56 (2007) 83–93.

Például a Mosonmagyaróváron a Német-dűlőben feltárt bronzkori kút esetében az eltérő funkciójú elemeket eltérő fajú faanyagból készítették.<sup>8</sup>

A *területsspecifikusságnak* köszönhetően a felhasznált fák származási helye is azonosítható sok esetben. Ez lehetőséget ad arra is, hogy a felhasznált faanyag eredeti élőhelyét lokalizáljuk, meghatározzuk, hogy milyen jellegű életközösségből származnak a maradványok: nedvességből vízparti vagy száraz hegyvidéki stb. Ez „jelentéktelen” lelőhely objektuma esetén, azaz ha a távolabbról történő szállítás kizárható, lehetővé teszi a település és a nyersanyagbeszerzési hely kapcsolatának rögzítését, főleg akkor, ha a lelőhely több különböző típusú élőhely határterületén fekszik. Ezt jól meg lehet figyelni a balácai római villa faszénmaradványai esetében, amikor a településközelbi vízjárta területről, illetve a Bakony belső területéről egyaránt hoztak – értelem-szerűen eltérő céllal – faanyagot.<sup>9</sup>

A teljes körű elemzés adatokat szolgáltathat az egykori közösség fafelhasználási szokásairól is: milyen idős fákat használtak, abból milyen technikával készítették deszkát (húrirányban vagy sugárirányban vágva azokat ki a fatönkökből). Ha ezekben változást lehet érzékelni, az vagy technikai, vagy időbeli, vagy populáción belüli változást (más kultúrájú, hagyományú közösség megjelenése) jelez a kutatónak.

Ha egy kisebb tájegység, terület leleteinek elemzésére is módunk van, akkor egy régió népesedési eseményeiről is nyújthat új ismereteket a dendrokronológia. Ezt jól példázza az M7 autópálya somogyi szakaszának feltárása.<sup>10</sup> Itt – az ordacsehi lelőhely 544/703 objektuma révén – „járulékos információként” rögzíteni lehetett, hogy a konkrét objektum létrejötte előtt több évtizeddel komoly változás következett be annak az erdőnek az életében, ahonnan az alapanyagul használt fák származtak. Hirtelen megjavultak a fák életkörülményei, ami a vizsgált objektum korát évtizedekkel megelőző „természetes” fapusztulással vagy mesterséges beavatkozással, egykori szálaló erdőgazdálkodással volt magyarázható. Évekkel később kiderült, hogy egy másik lelőhely – Tikos, Homokgödörök (M7/S44) B-943. objektum – kútját pontosan a megfigyelt időpontban készítették. Így igazolódtott az emberi beavatkozás és megerősítést nyert a háttérben lezajló, feltételezett népesedési és/vagy történelmi folyamat. És bepillanthattunk e népcsoport/közösség favágási, erdőhasználati, erdőgazdálkodási gyakorlatába is. Ráadásul mindezt egy „forrásmentes”, csak régészeti módszerekkel megismerhető időszak népességéről sikerült megállapítanunk.

A területsspecifikusság másik fontos következményeként kedvező esetben nemcsak a felhasznált fák élőhelytípusa határozható meg, hanem ezek lokalizálhatók is. Azaz meghatározható az a kisebb terület, régió, ahonnan a fák származtak. Ezért ma az európai kutatás egyik fontos törekvése ezeknek a kisebb régióknak a feltérképezése és kronológiákkal való „lefedése”. Ez az eredményesebb keltezésen túl az egykori fakereskedelem rekonstruálását is lehetővé teszi, és egyes esetekben ezek mozgatórugóit, vagy ezek változását feltárja. Az utóbbi évtizedben a Balti-tenger térségében sikerült pontosan feltérképezni a Hanza-városok Flandriától a mai Észtországig nyúló fakereskedelmét. Ugyanakkor a kutatók meglepve vették észre, hogy a 17. század közepén ebben jelentős változás állt be: egyes városok esetében a korábban jól használható kronológiák már nem adtak értékelhető eredményt, ugyanakkor a korábban „használhatatlan” svédországi adatsorok pontos keltezését biztosítottak. A magyarázat egyszerű: a harmincéves háborút lezáró békekötés során ezek a városok a Svéd Királysághoz kerültek, és ez a korábbi kereskedelmi kapcsolatok megszakadását és új beszerzési útvonalak kialakítását eredményezte.<sup>11</sup>

8 Grynaeus A.: A Mosonmagyaróvár–Német dűlőben feltárt bronzkori kút dendrokronológiai vizsgálata. *Savaria* 24/3 (1998–99) 73–81.

9 Grynaeus A.: Fafajvizsgálatok a balácai villa faszénmaradványain. *Balácai Közlemények* VI. (2001) 197–202.; Grynaeus A.: Újabb balácai faszenek vizsgálata. *Balácai Közlemények* VII. (2002) 207–212.; Grynaeus A.: A 2003-ban feltárt faszenek vizsgálata. *Balácai Közlemények* VIII. (2004) 257–259.

10 Grynaeus A.: Az M7-es autópálya nyomvonalán feltárt lelőhelyek famaradványainak dendrokronológiai elemzése. In: Belényesy K.–Honti Sz.–Kiss V. szerk.: *Gördülő idő. Régészeti feltárások az M7-es autópálya Somogy megyei szakaszán Zamárdi és Ordacsehi között.* Budapest, 2007. 281–288.

11 Mindezt Sigríd Wrobel – Universitát Hamburg – még nem publikált kutatásai alapján tudjuk. Köszönettel tartozom a szerzőnek adatai felhasználásnak engedélyezéséért.

### Hol kerülhet elő famaradvány?

Mára a régészek körében is érvényét veszítette az a sok évtizedes toposz, miszerint Magyarországon nincs famaradvány, mert az éghajlati viszonyaink miatt nem maradnak meg a földbe kerülő fák, álló emlékünkhöz pedig a sokszori pusztítás miatt nem maradt. Dendrokronológiai elemzések elvégzésére alkalmas famaradvány ugyanis két eltérő jellegű közegben maradhat csak meg.

Az egyik ha vizes, oxigénmentes közegbe kerül és folyamatosan abban marad. Ugyanis ebben az esetben a fák szerves anyagának lebontását végző gombák és mikroorganizmusok nem tudnak megélni és „tevékenykedni”. Ilyen hely lehet egy természetes víz medre, egy mocsár területe, de a talaj tartósan a talajvízszint alatt lévő része is. Így nemcsak hajóroncsokra és mocsári leletekre gondolhatunk, hanem mélyebbre ásott kutak, fabélésű gödrök anyagára is. Ezekre a legnagyobb veszélyt a kiszáradás jelenti, mert ha például a talajvízszint csökkenése miatt szárazra kerülnek, azonnal megindulnak a bomlási folyamatok. Ezt nagyon szépen szemléltette a középkori Mohi/Muhi kútjainak feltárása, ahol a kutak fabélése egy adott szintig pusztult el, sok esetben a „hült helyét” és lenyomatát hagyva hátra.<sup>12</sup> Viszont az utóbbi évtizedek meglóduló kavicsbányászata annyira lecsökkentette a talajvíz szintjét a térségben, hogy az addig megőrződött szerkezetek is szárazra kerültek, és megindult a korhadásuk. „Szerencsére” jött az autópálya-építkezés... Nota bene, ez az egykori minimális talajvízszint meghatározását is lehetővé tette...

A másik végletes körülményű közeg a teljesen száraz. Sok épületmaradványban találhatók befalazott gerendák, illetve álló épületek falkutatásakor is kerülnek elő ilyenek. De kiderült, hogy olyan tetőszerkezeteink is vannak, melyek a háborúk és pusztítások ellenére teljesen vagy részben középkori eredetűek.<sup>13</sup>

Speciális esetet jelentenek a faszénmaradványok. Ezek közül a nagyobb darabok, ha tartalmazzák az eredményes vizsgálathoz szükséges 30–50 évgyűrűt, szintén mintaanyagot jelenthetnek. Ezek mind nedves, mind száraz közegben tökéletes állapotban őrződnek meg, de igen törékenyek.

### Mi a teendő a gyakorlatban?

Ahhoz, hogy a lehető legtöbb információ kinyerhető legyen a famaradványokból, pontosan azonosíthatónak kell lenni minden dendrokronológiai mintának. Azaz nem elég, ha csak az objektumhoz lehet egyértelműen kötni őket, hanem a szerkezeten belüli pontos helyzetét is rögzíteni kell. Így kiderülhet, hogy az egy szerkezet elemeinek vélt cölöpök nem tartoznak össze, ahogy ezt a zalavári példa is szemléltette. Ezt a legegyszerűbben számozással lehet megoldani.

Nagyon fontos, hogy a mintához kapcsolt információ ne sérülhessen meg a feltárás és az elemzés lezárulása közötti, esetenként hosszú és sok esetben viharoktól sem mentes időszakban. A sérülésnek azért nagy a veszélye, mert a mintát és a hozzá tartozó információhordozót nedves közegben kell tárolni. Legtöbbször elegendőnek tűnik a kísérőcédula jól záró nylonzacskóba tétele, de teljesen biztos megoldást a műanyag lapra írt szám/adat jelenti.

A mintavételt legtöbbször az ásatás helyszínére hívott szakember végzi, aki a mintavétel során a vizsgálatra kiszemelt maradványból teljes keresztmetszetű mintát fűrészsel ki. Az ő megérkezéséig a legfontosabb teendő a fa(szerkezet) kiszáradásának megakadályozása. Ez történhet a maradvány eredeti helyén hagyása mellett nejlonnal történő letakarással vagy a kiemelés utáni víz alatti tárolással. Megfelelő tárolóedény hiányában fóliával bélelt gödörben is ki lehet ezt alakítani. A víz cserélésével vagy minimális mennyiségű gombaölőszer hozzáadásával megelőzhető a penészedés, algásodás is.

12 Grynaeus A.: Középkori településeink kútjai (a Muhi középkori mezőváros területén feltárt kutak vizsgálatainak tükrében). In: Kovács Gy. szerk.: *Quasi liber et pictura*. Tanulmányok Kubinyi András hetvenedik születésnapjára. Budapest, 2004. 187–194.

13 Grynaeus A.–Sarkadi M.: Újabb középkori jellegű tetőszerkezetek Nyugat-Magyarországon. Soproni Szemle 62/1 (2008) 3–29.

Komoly dilemma a konzerválás kérdése. Akarjuk-e az objektumot (legtöbb esetben faszerkezetes kutat) vagy annak egyes elemeit konzerválni? A kérdés eldöntésében a leendő műtárgy eszmei értéke, kiállíthatósága, a raktározási lehetőségek, a felmerülő költségek és megfelelő restaurátori kapacitás sokismeretlenes egyenletének megoldása segít. Dendrokronológiai szempontból azt kell kiemelnünk, hogy a mintavétel – néhány speciális esetet leszámítva – mindenképpen az anyag „károsításával”, roncsolásával jár. Azaz konzerválni szánt maradványok esetén csak korlátozottan alkalmazható! Ez azért is okozhat dilemmát, mert értelemszerűen a legszebb, legépebb darabokat célszerű konzerválni, ugyanakkor méretük és megtartásuk alapján ezek a legalkalmasabbak az elemzésekre is.

Természetesen megoldható ezen gerendák minimális roncsolással történő vizsgálata is (ez esetben nem fűrészeléssel veszik a mintát, hanem speciális fúróval, így csupán egy 1,5 cm átmérőjű lyuk marad hátra az elemzés nyomaként.) Viszont ezt csak a konzerválás teljes befejezése, azaz jó pár év eltelte után lehet megtenni!

Ha nem szakember veszi a mintát, akkor arra kell törekednünk, hogy a kifűrészelt minta a maradvány legszelesebb helyéről származó, teljes keresztmetszetben kivágott legyen. Ez azért szükséges, hogy minél több évgyűrűt tartalmazzon a minta, illetve lehetőség legyen több, sugár mentén történő évgyűrűvastagság-mérésre is. A minta külső szélén lévő évgyűrűkre külön ügyelni kell, mert – a fentebb elmondottak alapján – ettől függhet a keltezés pontossága.

A szükséges minta vastagsága az anyag megtartásától függ. Olyan vastagnak kell lennie, hogy ne essen szét fűrészelés közben. Ez a legtöbb esetben 5–6 centiméteres vastagságot jelent. (Az ennél nagyobb vastagság feleslegesen bonyolítja az elemzést, mert az ilyen minta nem fér be a mérőműszer alá...)

Műemlékek, például az említett tetőszerkezetek esetén a fűrészelés értelemszerűen nem jelent járható utat. Ilyen esetben a konzervált mintákhoz hasonlóan a fúrómagos mintavétel az alkalmazható eljárás.

A *hány mintát vegyünk?* kérdésre nehéz válaszolni. Az ideális a teljes körű mintavétel lenne, mert ebben az esetben van a legnagyobb esély a keltezésre,<sup>14</sup> illetve a korábban írt „járulékos” információk kinyerésére. Ugyanakkor erre az adott munkakörülmények, a rendelkezésre álló idő vagy a szűkös anyagiak szorításában nem biztos, hogy vállalkozhat a régész. Ilyenkor érdemes a döntést megbeszélni a dendrokronológussal, akár a feltárás adott részének ideiglenes félbeszakítása árán is, és közösen megtalálni a tudományos érdek és a rideg hétköznapi valóság közötti kompromisszumot. A dendrokronológusok szakmai elkötelezettségére és megértésére bizton számíthatunk! A kivételektől eltekintve ők is „szakmabeliek”, tehát a tudományos eredmény is fontos számukra, nem csak az anyagiak...

Ma Magyarországon egy olyan *laboratórium* tevékenykedik, amely nagyszámú összehasonlító anyag birtokában rendszeresen végez kormeghatározási célú elemzéseket: a Magyar Dendrokronológiai Laboratórium.<sup>15</sup> Együttműködik a Budapest Tree Ring Laboratory<sup>16</sup> nevű intézménnyel, mely klimatológiai elemzésekre szakosodott, így a közvetlen régészeti kutatásokban nem tud segíteni. E két kutatóhelyen kívül Morgós András végez alkalmi jelleggel elemzéseket.

A határon túli területeken egy régészeti, illetve műemléki környezetből előkerülő maradványok elemzésével foglalkozó, érdemi tevékenységet folytató laboratórium található. Ezt Csíkszeredában Tóth Boglárka és Botár István régészek vezetik, és értelemszerűen az erdélyi és partiumi terület anyagának kutatása áll tevékenységük homlokterében.<sup>17</sup>

14 Ne feledjük el azt sem, hogy a fák élő szervezetek! Így az életük, az őket érő hatásokra adott válaszok, noha bizonyos szabályosságot követnek, lehetnek egyéniek is. Ezért ne lepődjünk meg, ha egy objektum a sok mintánk ellenére sem keltezhető! De szerencsére nem ez a tipikus...

15 Magyar Dendrokronológia Laboratórium – Cincér Bt. 1021 Budapest, Széher út 76/a., [www.dendro.hu](http://www.dendro.hu), vezetője: Grynaeus András.

16 1518 Budapest, Pf.: 120, vezetője: Kázmér Miklós, <http://pangea.elte.hu/paleo/dendro>. A laboratórium az ELTE-TTK Őslénytani Tanszékének keretén belül tevékenykedik.

17 Erdélyi Dendrokronológiai Laboratórium, Csíkszereda 530 100, Szabadság-tér 10/B/35, Románia, Hargita megye, tel: 004 0742-396410, e-mail: [dendrolabor@yahoo.com](mailto:dendrolabor@yahoo.com)

A korábbi években több kísérlet történt külföldi laboratóriumok (Bécs, Stuttgart, Lund, Bonn) hazai kutatásba való bevonására is. Ha a dendrokronológia alapjaira és az eljárás, illetve a kronológiák helyhez kötöttségére gondolunk, belátható, hogy ezek látványos, de hosszabb távra érdemi eredményt adni nem tudó kísérletek voltak, mert egy-egy ilyen alkalmi projekt alkalmatlan egy teljes kronológia rendes kiépítésére, ennek hiányában viszont érdemi és régészek által használható eredményt nem lehet remélni.

Befejezésül tekintsük át a már kidolgozott *kronológiák* által lefedett periódusokat, hogy láthassuk, mely időszakból származó anyag esetén remélhet a kutató pontos kelteztést! Természetesen a kép folyamatosan módosul, és gyarapszik a kronológiák sora, hisz nagyon nagy számban vannak hosszabb-rövidebb „lebegő”, azaz évszámokhoz még nem kötött adatsorok, melyek egy-egy szerencsés lelet esetén jelentősen módosíthatják az alább leírt képet!<sup>18</sup>

Az elmúlt 15 év szisztematikus kutatásai nyomán<sup>19</sup> kiderült, hogy a hazánkkal szomszédos területek kronológiai nem, vagy csak korlátozottan használhatók<sup>20</sup> a hazai anyag keltezésében. Kiderült, hogy mind jelenleg, mind a korábbi évszázadokban egyaránt mozaikos szerkezetű volt a Kárpát-medence növényföldrajzi-dendrokronológiai képe. Így nem fedhető le egyetlen kronológiával az egész ország, hanem több kisebb kiterjedésű kronológiát kell készíteni.<sup>21</sup>

A legjobban kidolgozott kronológia az ország középső területén, azaz az Északi-középhegység és az Alföld területén kivágott tölgyfák keltezésére használható. Ennek a kezdőéve jelenleg 1370, és napjainkig ér az adatsor vége. A dunántúli területen a Balaton-felvidék térségére érvényes kronológia 1753-tól napjainkig tartalmazza az adatokat.<sup>22</sup> A nyugati határszél adatsora a török kor védelmi építkezéseire (Körmend, Zalaegerszeg) kivágott fák adatai révén született meg, és az 1485 és 1604 közötti időszakot fedi le. Pannonia provincia területén a korai időszakra érvényes kronológiát tudjuk használni, mely Kr. u. 93-ban zárul, de kisebb megszakításokkal jócskán belenyúlik a kelta időszakba.

18 Ez történt 2008 elején, amikor az éveken keresztül stabil 1590-es határt sikerült átlépni a Miklós Zsuzsa által az 1980-as években feltárt és konzervált toronyaljai maradványok elemzése révén. Így az adatsor határa több mint 200 évvel került visszább a múltba.

19 Grynaeus, A.: Dendrochronological Research in Hungary (Present status as of May 1995 and Future Development) *Dendrochronologia* (13) 1995, 135–138.

20 Az újabb kutatások során kiderült, hogy egyes periódusokban, pl. az 1500-as években, a Bécsi-medencére kidolgozott tölgy adatsor komoly egyezést mutat a hazai adatokkal, ezért sikerült Morgós Andrásnak keltezni a szolnoki híd megvizsgált cölöpét. Ugyanakkor ez a következő és megelőző évszázadról nem mondható el. Hasonló a helyzet a római korban vagy a nyugati határszél területén.

21 Természetesen ez nem jelenti azt, hogy ne lehetne olyan adatsort készíteni, amely a medence egész területére jellemző főbb időjárási és klimatikus eseményeket tükrözné. De mivel ez a nagyon nagy területekre jellemző folyamatokat tükrözi, és a kicsi, helyi jellegű változásokat összemosza, így csak az igen hosszú vagy igen extrém időjárású eseményeket megőrző adatsorok keltezésére használható. Az ásatásokon előkerülő famaradványok viszont csak ritkán érik el az ilyen hosszúságot vagy tartalmaznak ilyen periódusokat. Így ha ilyen típusú kronológiákat próbálunk használni, akkor a minták zömét nem tudjuk keltezni.

22 A kronológia alapját a Kern Zoltán klimatológiai kutatásai során összeállított adatsor képezi. Kern Z.: Évgyűrűvizsgálatok a Balaton-felvidéken és a Déli-Bakonyban. In: Gömöri J. (szerk.): *Az erdő és a fa régészete és néprajza*. Sopron, 2007. 89–102.

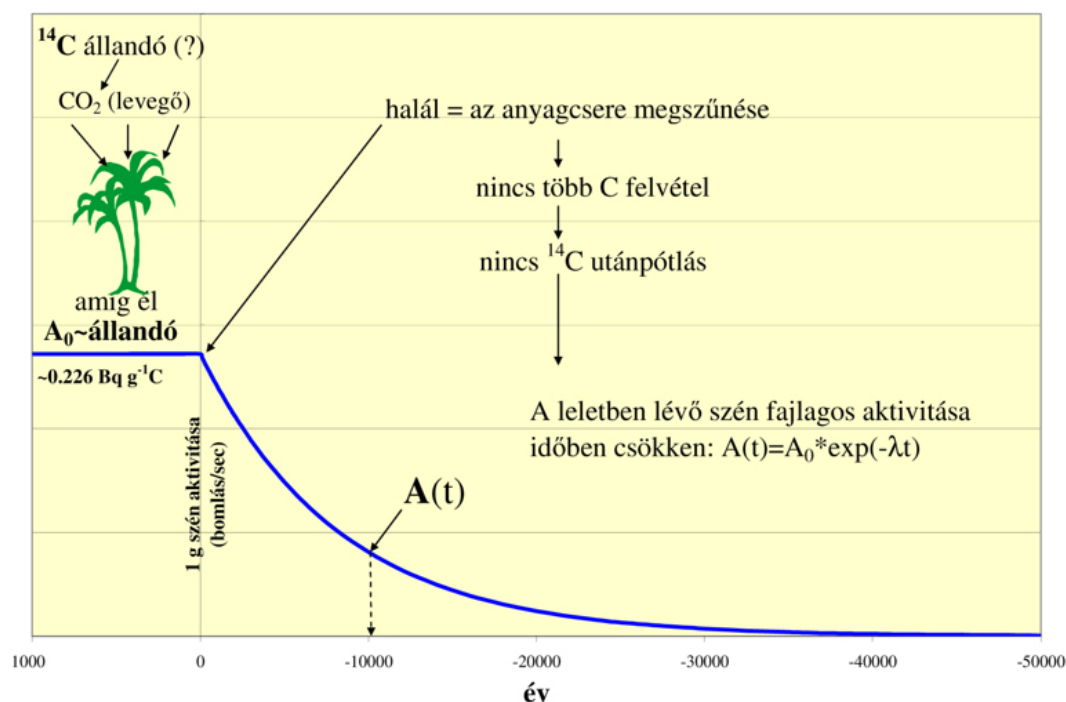
## Molnár Mihály – Svingor Éva

### 4.10. Radiokarbon kormeghatározás

#### A radiokarbon kormeghatározás elve, a konvencionális radiokarbon kor (BP)

A földi élet szempontjából alapvető jelentőségű szénnek a 14-es tömegszámú izotópja, a  $^{14}\text{C}$ , más néven *radiokarbon*, a kozmikus sugárzásnak a Föld légkörével való kölcsönhatása következtében folyamatosan képződik a Föld felső légkörében. A keletkezett  $^{14}\text{C}$  izotóp radioaktív,  $T_{1/2} = 5730 \pm 40$  éves felezési idővel bomlik. Mivel a kozmikus sugárzás intenzitása közel állandó, és a Föld korához képest a  $^{14}\text{C}$  felezési ideje rövid, a kozmogén  $^{14}\text{C}$  radioaktív egyensúlyi állapotban van, mennyisége közel állandó (körülbelül 51 tonna) a Földön. Ez az egyensúlyi izotóparány a stabil 12-es tömegszámú szénre vonatkoztatva rendkívül kicsi érték,  $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C} = 1,17 \cdot 10^{-12}$ . A Földön stabilizálódott  $^{14}\text{C}$ -tartalom részévé vált a földi szén-ciklusnak és egyensúlyi kicserélődési folyamatok révén megoszlik a hidroszféra, a bioszféra illetve az atmoszféra között. A közel állandó mennyiségű légköri radiokarbon a légkörben oxidálódik és „nyomjelzi” a légköri szén-dioxidot, amelynek aktivitása (a másodpercenként elbomló atomok száma) így szintén állandó. A  $^{14}\text{CO}_2$  a nem radioaktív szén-dioxid molekulákhoz hasonlóan fotoszintézissel beépül a növényekbe, melyeken keresztül az egész élővilág biológiai szénében jelen van. Az anyagcsere-folyamatok során a radiokarbon is folyamatosan beépül és távozik az élőlényekből. Az élőlények szénére jellemző biológiai felezési idő – mely alatt az élőlényt alkotó szerves vegyületek fele kicserélődik – néhány év, ami rövid idő a radiokarbon felezési idejéhez képest. Így, amíg élnek, az élőlények biológiai szénének fajlagos aktivitása folyamatosan követi az atmoszférikus szén fajlagos radiokarbon aktivitását, azaz értéke közel állandó: az élő szervezetben található 1 gramm biológiai szénben kb. 5 másodpercenként bomlik el egy  $^{14}\text{C}$  atom.

Az anyagcsere-folyamat megszűnte után (halál) további  $^{14}\text{C}$  beépítésére nincs lehetőség, ezért az elhalt élőlény maradványaiban biológiai formában kötött szén  $^{14}\text{C}$  koncentrációja a bomlás-törvénynek megfelelően exponenciálisan csökken. Ha a kezdeti  $^{14}\text{C}$  aktivitást, mely az anyagcsere megszűntekor jelen volt az adott szervezetben, ismertnek tekintjük, akkor a lelet 1 g szénének jelenlegi aktivitásából a lelet kora kiszámítható (1. kép).



1. kép: A radiokarbon kormeghatározás elve

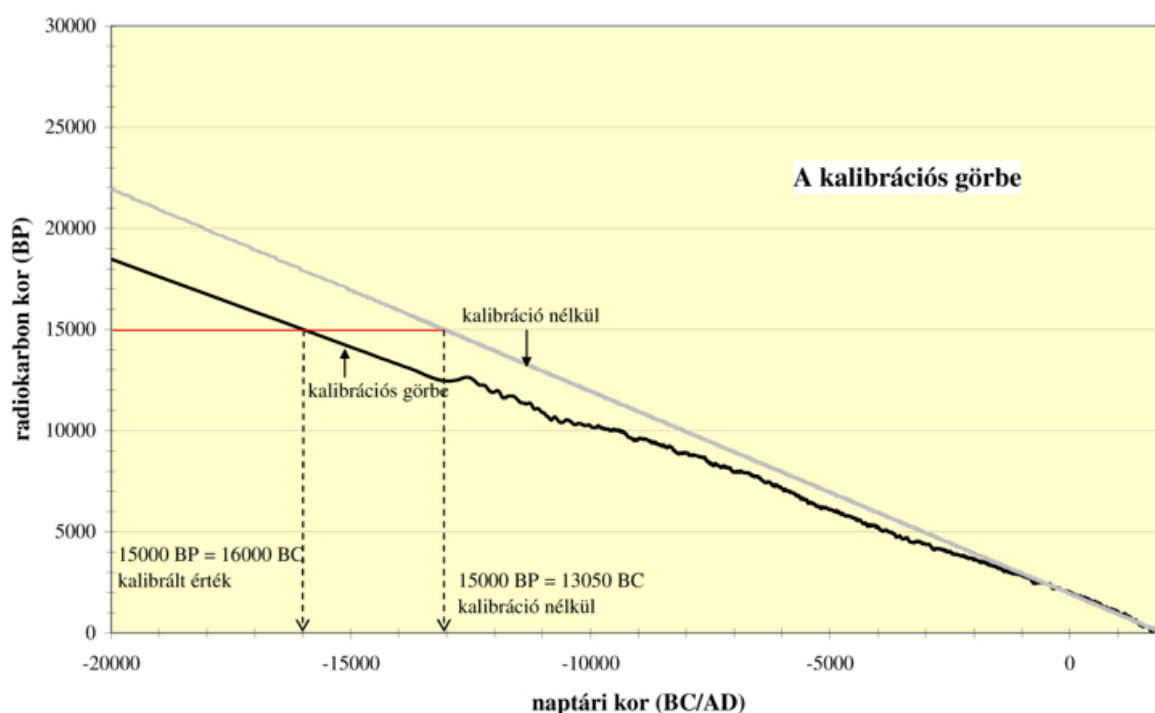


A lelet  $^{14}\text{C}$  tartalmának mérésére több lehetőség kínálkozik: meg lehet mérni a minta aktivitását hagyományos aktivitásmérésen alapuló technikákkal (folyadékszcintillációs vagy gáztöltésű proporcionális számlálókkal), vagy mérni lehet közvetlenül a  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  izotóparányt speciálisan erre a célra kifejlesztett tömegspektrométerrel (Accelerator Mass Spectrometry, AMS módszer). Az alkalmazott módszertől függetlenül körülbelül tíz felezési idő, tehát maximum 60 ezer év, az az idő, mely elteltével még mérhető mennyiségű  $^{14}\text{C}$  marad a leletben. Ez azt jelenti, hogy  $2^{10}$ -ed (1/1024) részére csökken az eredeti  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  arány, illetve a  $^{14}\text{C}$  aktivitás a mintában. Ez a radiokarbon kormeghatározás jelenlegi felső korlátja. A régészeti és környezeti minták radiokarbon aktivitása nagyon kicsi, ezért nem abszolút értékben, hanem egy standardhoz viszonyítva szokás mérni és megadni. A nemzetközileg elfogadott referenciaérték a radiokarbon koradatokhoz az NBS oxálsav standard 1950. évi  $^{14}\text{C}$  aktivitásának 95%-a. Bár az oxálsav standard  $^{14}\text{C}$  aktivitása időben változik, a fenti definícióval megadott érték változatlan. A minta mért aktivitását ehhez a nemzetközi standard aktivitáshoz viszonyítják mindenhol a világon és megegyezés szerint egységesen szintén 1950-re vonatkoztatva adják meg, így a különböző laborokban különböző időben végzett mérések eredményei összehasonlíthatók. Ilyen módon az 1950-es év lett kijelölve a „radiokarbon-időszámítás” kezdetének, ehhez képest adják meg az úgynevezett *konvencionális radiokarbonkort* (*BP: Before Present*). Jelentése: ennyi évvel 1950 előtt pusztult el a vizsgált élő szervezet.

### **Pontosság, kalibráció, naptári korok (cal BC/AD)**

Bármely módon is mérjük a  $^{14}\text{C}$  aktivitást, a mintában a konvencionális radiokarbonkor csak bizonyos bizonytalansággal állapítható meg, ami tartalmazza a műszeres mérések és alkalmazott korrekciók hibáját és bizonytalanságát. A radiokarbon kormeghatározás műszeres hibáján túlmenően számolnunk kell további bizonytalansági tényezőkkel is. Az eltelt idő számításához használt radioaktív bomlás törvényében szerepel a  $^{14}\text{C}$  izotópra jellemző bomlásállandó is, melyet fizikai mérések segítségével egyre pontosabban és pontosabban határoznak meg. A módszer kidolgozói még 5580 éves felezési idő alapján számolták a radiokarbon korokat, ma már a folyamatos kutatások eredményeként a  $^{14}\text{C}$  izotóp felezési idejét  $5730 \pm 40$  évnél fogadjuk el. A légköri szén-dioxid fajlagos  $^{14}\text{C}$  aktivitásának állandósága is csak közelítőleg igaz. A kozmikus  $^{14}\text{C}$  sugárzás légkörrel való kölcsönhatását, ezáltal a keletkezését például a napfolttevékenység, vagy a Föld mágneses terének időbeni változásai befolyásolják. Emberi beavatkozás nélkül is változó a légkör szén-dioxid tartalma (pl. vulkáni tevékenység). A klimatikus viszonyok befolyásolják az atmoszférának és a legjelentősebb  $\text{CO}_2$  puffert, az óceánoknak az egyensúlyi-kicserélődési folyamatait, így a földi klímával együtt változhat a megoszlási arány a légköri és az óceánokban tárolt  $^{14}\text{C}$  mennyiség között. A kezdeti  $^{14}\text{C}$  aktivitás bizonytalanságát tovább növeli, hogy a radiokarbon légköri eloszlása nem teljesen homogén a Föld atmoszférájában, különbség van az egyidős déli féltekén és északi féltekén formálódott biológiai szén aktivitásában. A tudomány előre haladásával az egyes módosító és korrekcióba veendő tényezők sora nyilvánvalóan tovább fog bővülni, ami végül is egyre realisabb korok megadásához vezet.

A rendkívül komplex és sokszor csak kevéssé vagy talán még egyáltalán nem ismert módosító hatások számításokkal történő korrekciója a naptári kor megadásánál igen nehézkes feladat lenne. A konvencionális radiokarbon korok kalibrálásához ezért empirikus módszert használnak. Független módszerrel megállapított, ismert naptári korú széntartalmú minták konvencionális radiokarbon korát mérik és ezek felhasználásával mérési eredményeken alapuló kalibrációs görbét vesznek fel és fejlesztenek folyamatosan a világ vezető radiokarbon laboratóriumai. A kalibrációs görbe kísérleti felvételéhez független kormeghatározási módszerként a faégyűrűk számlálásának módszerét, illetve az U/Th módszert használták fel (korallak és cseppkövek korának mérése egészen 22 ezer évig visszamenőleg) (2. kép).



2. kép: A naptári kor  $\neq$  radiokarbonkor – 1950.

A konvencionális radiokarbon kort ezek után is minden esetben meg kell adni, mint tisztán csak a műszeres fizikai mérés hibáját tartalmazó eredményt, de ezeket bármikor az ingyenesen hozzáférhető kalibrációs adatbázisokkal/szoftverekkel (pl. OxCal, Calib) kalibrálni lehet, és ennek eredményeként a konvencionális radiokarbon korból előáll a kalibrált naptári kor (cal BC/AD).

A radiokarbon kormeghatározás alkalmazása során sem hagyhatjuk figyelmen kívül az emberi tényezőt. Súlyos hibákhoz vezethet a  $^{14}\text{C}$  kormeghatározási módszer eredményének feltétel nélküli elfogadása, ami nem veszi figyelembe, hogy például már a mintavétel reprezentativitása sok esetben csak nagyon nehezen biztosítható, különösen az igen kis mintamennyiségeket igénylő AMS mérések esetén. Továbbá a minták nem megfelelő kezelése könnyen olyan szénzennyezést keverhet a mintába, ami azzal nem egykorú, s melynek fiatalító vagy öregítő hatása a mérés során már nem szűrhető ki.

## GYAKORLATI TUDNIVALÓK, TANÁCSOK

### Dátumozható anyagok, mintaszükséglet

Elvileg a radiokarbon módszerrel minden olyan anyag kora meghatározható, amely biológiai eredetű szenet tartalmaz. Dátumozható a fa, faszénmaradványok, magvak, levél, vászón, tőzeg, humusz, csont, szarv, haj, kagyló, csiga és a talajok is. Mivel áttételesen szintén légköri szenet tartalmaznak és teljesülhet rájuk a légköri szénrel való kapcsolat megszűnése is, a radiokarbon módszerrel datálható a karbonátos üledék, cseppkő, vízben oldott szerves és szervetlen szén és akár a jég is. Általában nem dátumozható, mivel nem ad reális kort, pl. a vakolat, habarcs, kerámiában maradt szerves anyag. Különleges technikát igényel festmények, barlangrajzok, vaseszközökben lévő szén dátumozása. A gyakorlatban a módszer lehetőségeit több tényező is korlátozza. Az első a radiokarbon felezési ideje. 10 felezési idő alatt (kb. 60 ezer év) a mintában lévő radiokarbon gyakorlatilag elbomlik, így az ennél idősebb leletek korának meghatározására a módszer már nem alkalmas. A radioaktív bomlásnál nem tudjuk, hogy adott pillanatban melyik atommag bomlik el, csak azt, hogy mennyi idő szükséges ahhoz, hogy az atommagok fele elbomoljon. A  $^{14}\text{C}$  esetében ez a felezési idő 5730 év: ha 1 g modern szénben közelítőleg 5 másodpercenként bomlik el 1 atommag, akkor egy 5730 éve elhalt szerves

anyag 1 g szénében már csak 10 másodpercenként történik 1 bomlás. Az aktivitásmérésen alapuló technikák ezeket az eseményeket számolják. Itt a mérés pontossága a leszámolt események számától függ: 100000 beütésszám esetén lesz a statisztikus hiba a kormeghatározáshoz elfogadható, azaz kisebb, mint 0,3%. Vagyis egy 5700 éves lelet 1 g szénét kb. 250 órán, azaz több mint 10 napon át kell mérni a 0,3% pontosság eléréséhez. A hosszú mérésidő a mért minta mennyiségének növelésével némileg csökkenthető, ezért a néhány naponál nem hosszabb mérési időkhöz legalább 2 g szénre van szükség. Az AMS technikát alkalmazva a méréshez néhány mg szén elegendő mintánként. Ezért számlálásos technikával csak olyan maradványok dátumozhatók, amelyekből nagyobb anyagmennyiség áll rendelkezésre. Haj, papír, selyem, restaurálásra váró régészeti leletek, műtárgyak kora csak AMS technikával határozható meg. A mérés elvégzéséhez szükséges mintamennyiséget a mérési módszeren kívül befolyásolja még a minta széntartalma, a szerves anyag állapota és az esetleges szennyezők mennyisége is. Az 1. táblázat a hagyományos számlálásos technikához és az AMS-hez szükséges mintamennyiséget tünteti fel.

Típus	széntartalom %	átlagos mennyiség ( $\beta$ 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	150–400 g	20–300 mg
karbonát, kagyló, cseppkő	10	10–30 g	25 mg
talajvíz, rétegvíz	0,01	50–500 liter	50–200 ml

1. táblázat. Radiokarbon kormeghatározásra alkalmas minták széntartalma és a szükséges mintamennyiségek

A táblázatban megadott mintamennyiségeket akár tízszeresére is meg kell növelni, ha a minta a kormeghatározás szempontjából használhatatlan ásványi anyagot, friss növényi maradványokat, huminsavakat 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.*

Ez a megfogalmazás így természetesen túl általános, ezért az alábbiakban csokorba szedtünk néhány gyakorlati tanácsot a leggyakrabban kormeghatározásra kerülő anyagokkal kapcsolatban.

#### Csont

Csontban a kollagén tartalmazza a szerves szenet, tehát a kormeghatározás a csontból kivont kollagénen végezhető el. Néhány példa az alkalmas/nem alkalmas kérdés eldöntéséhez:



3. kép: Égett csont

Az égett csont (3. kép) színe szürkésfehér, kollagént nem tartalmaz (a szerves anyag elégett). Kormeghatározásra nem alkalmas. Ha a csont nagyon fehér, vagy szürkésfehér („betegesen sápadt”), az arra utal, hogy szervesanyag-tartalma elbomlott vagy kioldódott. Ezek a csontok ridegek, törekenyek, morzsolhatók, porlanak (szélsőséges esetben az embernek „krétás” lesz az ujjá, ha szárazon megdörzsöli). Szerves anyagot (kollagént), vagyis biológiai szenet nem tartalmaznak, radiokarbon kormeghatározásra nem alkalmasak.

A kollagént tartalmazó csont színe sárgásfehér, barnásfehér, barnássárga, anyaga kemény, még a szilánkokat is nehéz kézzel eltörni (4. és 5. kép).



4–5. kép. A  $^{14}\text{C}$  módszer szempontjából „tökéletes” csont. Színe sárgásfehér, barnásfehér, vagy barnássárga, világosbarna.

A legjobbak az üreges csontok (lábszár, comb, kar), de jók a bordák, kéz- és lábcsontok is. Nem baj, ha töröttek a darabok, ha bizonyíthatóan azonos egyedhez tartoznak és – számlálásos technika alkalmazása esetén – legalább 150–400 g van belőlük (6. kép). AMS méréshez 2–3 tizedgramm is elég.



6. kép: Jó megtartású csont esetében ez a mintamennyiség általában elég a  $^{14}\text{C}$  aktivitásméréshez (feltéve, hogy a tömeg nagyobb részét nem a csonton lévő lerakódás, illetve a csont üregében lévő föld teszi ki). AMS esetében egy szilánk is elegendő.

A szarv, tülök, fogak, koponya, lapos csontok (7. kép) kollagéntartalma nagyon kicsi. Ennek következtében számlálási technika alkalmazása esetén nem alkalmasak a vizsgálatra, mert nagyon nagy mennyiséget kellene feldolgozni belőlük a méréshez. Viszont a kb. ezerszer kisebb anyagigényű AMS technikával a jó minőségű csontok datálhatók.



7. kép: Fogak, koponya, lapos csontok hagyományos technikával nem, de AMS módszerrel datálhatók

### *Fa, faszén*

A növények, növényi maradványok, magvak, tőzeg, fa, faszén főként a talajvízből rájuk kirakódott káros anyagokkal és nagy molekulájú lúgoldékony huminsavakkal vannak szennyezve. Ezek a szennyezők szemmel nem nagyon láthatók, de sok esetben a minta tömegének jelentős részét tehetik ki. Még gondosan kiválogatott magvak esetében is megtörténhet, hogy a minta előkészítése után a visszamaradt tiszta szerves anyag tömege az eredeti tömeg mindössze fele, kétharmada lesz. Fa esetében a kormeghatározást a fából kikapart cellulózon szokás végezni, így lehet legjobban kiküszöbölni az utólag belekerült szennyezők hatását. Az anyagszükséglet aktivitásmérés esetén 30–50 g, ép, tömör fára vonatkoztatva (8. kép), AMS módszer esetén értelemszerűen mg mennyiségek szükségesek.



8. kép: Szép famaradvány. Az utólag beépült szennyezők kiküszöbölése végett a fa cellulóztartalmán végezzük a kormeghatározást.

Az anyagszükségletet erősen befolyásolja, hogy honnan származik a minta. Ha pl. egy képkeret darabjáról van szó, ami teljesen száraz, festék és egyéb szennyezés nélküli, 10 g is elég lehet. Ha földből kiásott, nedves, szabálytalan alakú a fadarab, azon a ráakódott föld, huminsavak, esetleg karbonátos kiválások a minta tömegének jelentős részét tehetik ki. Vízből előkerült maradványok (pl. hajóroncsok) jól konzerváltak, de tömegük nagy részét épp ezek a konzerváló anyagok adhatják.

A faszén az egyik legalkalmasabb anyag a radiokarbon kormeghatározásnak. Tiszta faszénből már aktivitásmérés esetén is elég 3–5 g anyag. Nagyon szép, tiszta faszénmintákat mutatunk be a 9. és 10. képen.



9. kép: Kevés szennyezőt tartalmazó, jó minőségű faszénmaradvány



10. kép: Nemzetközi összemérésre szétosztott faszénminta

Gyakran előfordul azonban, hogy földdel keveredve fordulnak elő a faszénmaradványok, mint az a 11. képen is látható.



11. kép: Föld, benne apró faszéndarabkák. Csak a minta előkészítése során derül ki, hogy mennyi benne a mérésre alkalmas anyag. Különösen nagy átverést okozhat, ha szép fekete földbe vannak a faszéndarabkák beágyazva.



Ilyenkor két dolgot nem szabad figyelmen kívül hagyni: Az egyik az, hogy ebben az esetben a minta tömegét a föld adja, tehát lehet az akár 100 g is, ha a faszénderabkák együttes tömege nem éri el a kívánt mennyiséget, a mérést nem lehet elvégezni. A másik fontos dolog, hogy a faszénderabkákat ki lehet ugyan szedegetni, de azt nem lehet garantálni, ezek a darabok valóban összetartoznak.

### *Tőzeg*

A tőzeg szervesanyag-tartalma kiváló a  $^{14}\text{C}$  kormeghatározásra. Itt a problémát az szokta okozni, hogy a szerves anyag nagyon könnyű, szemre soknak látszik, de mikor a finom, pelyhes anyagot kinyerjük a tőzegeből, kiderül, hogy tömege, tehát a szerves szén mennyisége is jóval kevesebb, mint várjuk. Ezért a nedves tőzegeből célszerű 50–150 g anyagot gyűjteni a hagyományos  $^{14}\text{C}$  vizsgálathoz. Az AMS módszerhez ebben az esetben is kb. az ezred része elég.

### *Üledék, talaj*

Mindkét esetben a szervesanyag-tartalmon végezhető el a kormeghatározás, ezért a szükséges mintamennyiséget is ez határozza meg. Talajokból esetenként 1–1,5 kg is szükséges lehet.

### *Karbonátok, kagyló, csiga, cseppkő*

Ezeknek az anyagoknak kb. 10%-a szén, tehát ha tiszták, 20 g elegendő belőlük. Itt sem szabad azonban figyelmen kívül hagyni az üledékes kőzetekből előkerült kagylók, csigák belsejében összegyűlt homok, lösz, illetve a külsejükön lerakódott szervesetlen karbonát tömegét.

### **Mintatárolás, szennyezők hatása**

A mintatárolás során meg kell akadályozni, hogy a tárolásra használt mintatartóból szén keveredjen a minta anyagához. Idegen szén jelenléte a minta látszólagos korát eredményezi. A tényleges kor és a látszólagos kor közötti különbség függ a szennyezettség mértékétől és a szennyező anyag radiokarbon koncentrációjától. Ha a szennyező anyag fosszilis szenet tartalmaz, a látszólagos kor nagyobb, mint a tényleges kor. A kor hibája ekkor független a minta  $^{14}\text{C}$  korától. 1% fosszilis szénszennyeződés 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, 10 000, ill. 40 000 éves mintát. Szélsőséges esetben nem lehet megkülönböztetni a holocén kort a pleisztocén kortól.

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 mintavételhez célszerű fém vagy műanyag eszközöket használni. Nem szabad a mintát papírzacskóba tenni vagy papírvattába csavarni. A mintát fém vagy műanyag edénybe, vagy műanyagzacskóba kell helyezni. A minta kódját soha ne írjuk rá a mintára, mert szennyeződést okoz. Ezt írjuk a dobozra vagy a mintatartó zacskóra kívülre (12. kép), vagy egy külön papírra, amit ráragasztunk kívülről a mintatartóra.



12. kép: Minta simítózáras polietilén tasakban. A mintakódot (azonosítót) a tasakra írták alkoholos filccel. A minta további adatai – a kóddal együtt – a megrendelőlapra szerepelnek.

Vagy tegyük a mintát dupla műanyagzacskóba, a belsőbe a mintát, a külsőbe a papírt. A mintatartó zacskóba ne tegyük bele a papírt! Pl. faszén, talaj, üledék, tőzeg esetén úgy elszennyeződhet a papír, hogy az írás olvashatatlan, a minta azonosíthatatlan lesz. Arról nem is beszélve, hogy nedves minta esetén el is ázhat a papír és elszennyezi a mintát modern szénnel. A nemzetközileg elfogadott – és legbiztonságosabb – eljárás, ha mind a két zacskón szerepel a felirat, mint az a 13. képen látható. Az interkalibrációs mérésekre ilyen ki-szerelésben érkeznek a minták.



13. kép: A nemzetközi összemérésre érkezett minták csomagolása dupla simítózáras polietilén tasak. A belső tasak tartalmazza a mintát, amelyben a minta semmivel nem érintkezik, semmilyen jelzés vagy jelölés nincs rajta. A külső tasak a fokozott biztonságot szolgálja. Mindkét tasak külső részére felragasztották a minta azonosító kódját.

Konzerválószeret nem szabad használni, lakkot sem, a felület védelmére. Törött csontokat sose ragasszunk össze, mert a ragasztót nem lehet teljesen eltávolítani, és azt sem tudjuk, hogy mennyire ivódik bele a csontba, tehát mennyit kell a csontból eldobni, hogy elkerüljük a szennyezést. A radiokarbonmérésekhez – az alkalmazott mérési technikától függetlenül – a csontokat, megfelelő tisztítást követően megtörjük, megőrlik, tehát semmi problémát nem okoz, ha a darabok eleve töröttek. Azt, hogy valóban összetartozó darabok, a mintákat kiválasztó régésznek kell szavatolni.

A csontokat annyira kell megtisztítani a vizsgálatra szállítás előtt, hogy állagukat megítélhessük. Ez azt jelenti, hogy a felületükről el kell távolítani a földet, vízzel lemosni, illetve kimosni az üreges csontokból annyi földet, ami könnyen kijön, aztán szobahőmérsékleten hagyjuk megszáradni a csontot. Tisztító-, mosogatóvagy oldószert ne használjunk! Száradás után már jól látható a csont színe, és tömegét is reálisan meg tudjuk becsülni.

Faszén esetében is célszerű hasonlóan eljárni. Amennyire lehetséges, meg kell próbálni nagyobb, jól azonosítható darabokat kiemelni és azokat küldeni vizsgálatra. Itt kell megemlíteni azt is, hogy nagyon fontos, a minta valóban reprezentatív legyen. Ennek az AMS módszerénél, ahol milligrammnyi mintákon is elvégezhető a mérés, még nagyobb a jelentősége, mint a nagy mintaigényű aktivitásmérés esetén.

Tőzeg vagy talajmintát nem szükséges kiszárítani, hanem célszerűbb hermetikusan lezárni és a laboratóriumba szállítani.

A radiokarbon vizsgálatra küldött mintákhoz megrendelőlapot kell csatolni, amin szerepel a megrendelő neve, címe, a küldött minták kódjai és legfontosabb adatai. Általában minden laboratórium saját megrendelőlappal rendelkezik, amelyen a számára legfontosabb adatokat kéri. A debreceni labor megrendelőlapja letölthető a [www.atomki.hu/kal](http://www.atomki.hu/kal) internetes oldalról.

### Ajánlott irodalom

- Aitken, M. J.: *Science-based Dating in Archaeology*. „Radiocarbon”, chapters 3 & 4, pages 56-119. Longman: London, New York, Series title: Longman archaeology series. Bowman, S. 1990: *Radiocarbon Dating*. London: Published for the Trustees of the British Museum by British Museum Publications, Series title: *Interpreting the Past*. (also available Berkeley, CA: University of California Press)
- Gillespie, R.: *Radiocarbon User's Handbook*. Oxford: Oxford University Committee for Archaeology, Series title: *Monographs (Oxford University Committee for Archaeology)*, no. 3., 1984.
- Hertelendi E.: *Radiokarbon kormeghatározás. PANNICULUS. Ser. B. No. 3. A régésztechnikus kézikönyve. I. Szerk.: Ilon G. Savaria Múzeum, Szombathely, 1998. pp. 311–335.*
- Michael, H. N.–Ralph, E. K.: *Dating Techniques for the Archaeologist*. „Radiocarbon Dating”, chapter 1, pages 1–48. Cambridge, MA: MIT Press, 1971.
- Molnár M.: *A szén és az idő: radiokarbon kormeghatározás. Fizikai Szemle, 2006/6.*  
<http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0606/molnar0606.html>
- Mook, W. G.: *Radiocarbon Dating*. Prepared by W.G. Mook and H.T. Waterbolk. 1st ed. Strasbourg: European Science Foundation, 1985. Series title: *Handbooks for archaeologists*; no. 3.
- Parkes, P. A.: *Current Scientific Techniques in Archaeology*. „Radiocarbon or Carbon-14 Dating”, chapter 2, pages 5–35. New York: St. Martin's Press, 1986.
- Svingor É.: *Radiokarbon vizsgálatok. Múzeumi Hírlevél, 21 (2000) 76.*
- Taylor, R. E.: *Radiocarbon Dating: an Archaeological Perspective*. Orlando, Florida: Academic Press, 1987.
- Taylor, R. E.–Aitken, M. J. (eds.): *Chronometric Dating in Archaeology*. „Radiocarbon Dating”, chapter 3, pages 65–150. New York: Plenum Press, 1997.
- <sup>14</sup>C laborok adatai, elérhetőségei, <sup>14</sup>C adatbázisok, ingyen letölthető kalibrációs programok: <http://www.radiocarbon.org>

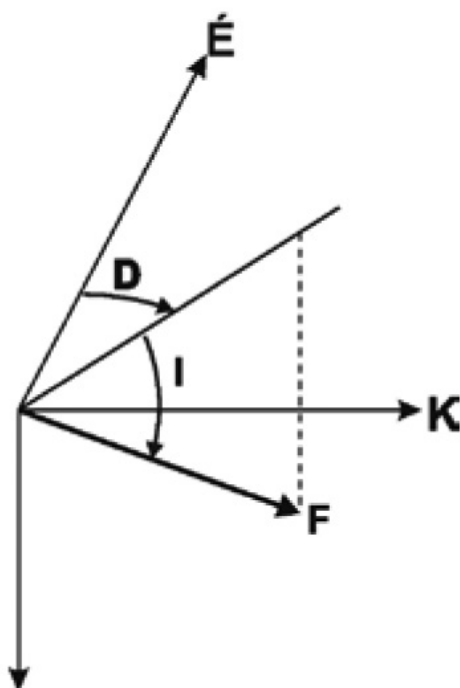
Márton Péter

## 4.11. Keltezés archeomágneses módszerrel

A keltezés archeomágneses módszerének két alappillére van. Ezek a földi mágneses tér évszázados változása, és az égett (égetett) agyagoknak az a tulajdonsága, hogy a felmelegítést követő hűlés idején a pillanatnyi, helyileg ható (föld)mágneses tér irányával párhuzamos mágnesezettséget vesznek fel, amelyet hosszú időn át képesek megőrizni.

### 1. A földmágnesség és a földi mágneses tér évszázados változása

Régóta ismert, hogy a mágnesű  $\bar{E}$ -i végével az ún. mágneses  $\bar{E}$ -i irányba igyekszik beállni. Ezt a tulajdonságát az emberiség hosszú évszázadok óta használja mind tengeri, mind szárazföldi tájékozódásra. A mágneses  $\bar{E}$ -i irány azonban nem esik pontosan egybe a földrajzi  $\bar{E}$ -i iránnyal. A kettő eltérése, azaz a mágneses  $\bar{E}$ -i iránynak a földrajzi  $\bar{E}$ -i iránnyal bezárt szöge az ún. mágneses deklináció vagy röviden deklináció (elhajlás) (1. ábra). A deklináció a Föld felszínén  $0^\circ$  és  $180^\circ$ , illetve  $0^\circ$  és  $-180^\circ$  között minden értéket felvesz, de szerencsére kis és közepes szélességeken (így Magyarországon is) általában legfeljebb néhányszor  $\pm 10^\circ$ -ot érhet el. Jelenleg (2008) pl. Budapesten majdnem  $+4^\circ$  értékű, a nyugati országrészben  $1^\circ$ -kal kisebb, míg a keletiben  $1^\circ$ -kal nagyobb.



1. ábra: A földi mágneses tér komponensei (elemei) a földrajzi koordináta-rendszerben. D a mágneses deklináció, I a mágneses inklináció szögei, F a mágneses tér erőssége (nagysága).

Magyarországon és környékén a deklináció kb. 1800 óta (amikor  $-16^\circ$  volt Budapesten) monoton növekszik. A növekedés üteme láthatóan kb.  $20^\circ/200$  év, azaz átlagban közel egy tized fok évenként. A deklináció változásának iránya (növekedés, csökkenés) a földmágneses tér regionális sajátossága, ami alatt azt kell érteni, hogy mind az egy évre eső változás nagysága, mind pedig iránya a Föld egymástól nem is túlságosan távoli helyein lényegesen különböző lehet.

Amint az 1. ábra mutatja, a deklináció a földmágneses tér horizontális komponensének irányát adja meg a földrajzi É-i irányhoz képest. Maga a tér azonban általában nem horizontális irányú, hanem az É-i féltekén a vízszintes sík alá, a D-i féltekén a vízszintes sík fölé mutat. Pontosabban, az egyenlítő közelében húzódik egy, az egész Földet körülvevő vonal, az ún. mágneses egyenlítő, amely mentén a tér pontosan vízszintes irányú. A mágneses egyenlítőtől É-i irányba haladva a tér iránya egyre nagyobb szöggel hajlik vízszintes sík alá, végül az É-i mágneses pólusban pontosan függőlegesen lefelé mutat. A mágneses egyenlítőtől D-i irányban viszont a tér egyre meredekebben mutat felfelé, és a D-i mágneses pólusban pontosan vertikálisan felfelé irányul. A mágneses tériránynak a vízszintes síkkal bezárt szögét mágneses inklinációnak (lehajlásnak) vagy röviden inklinációnak nevezik (1. ábra). Magyarországon jelenleg az inklináció É-on kb.  $64,5^\circ$ , D-en kb.  $62^\circ$ , Budapesten  $63,5^\circ$ . Hasonlóan a deklinációhoz, az inklinációnak is van regionális jellegű időbeli változása. Budapesten pl. az inklináció az utóbbi 100 évben  $62,3^\circ$ -ról növekedett a mai értékre, 1600-tól viszont legalább 300 évig ennél nagyobb ütemben csökkent.

Összefoglalva az eddigieket: a földi mágneses tér iránya két szöggel, a deklináció és az inklináció szögével jellemezhető (1. ábra). Mindkét szög, tehát a mágneses tér iránya időben lassan változik. A változás mértéke és iránya a földi mágneses tér regionális sajátossága, ami kb.  $500\,000 - 1\,000\,000\text{ km}^2$ -nyi területen belül tekinthető közel azonos jellegűnek.

A földi mágneses tér leírása egy-egy pontban akkor teljes, ha iránya mellett a nagysága is ismert (1. ábra). A földi mágneses tér viszonylag gyenge tér. Legkisebb értékét a mágneses egyenlítő mentén veszi fel, ahol erőssége (nagysága) kb.  $24\text{ A/m}$ , míg maximumát a mágneses sarkokon éri el, ahol kb.  $48\text{ A/m}$  értékű. Ismereteink szerint a tér erőssége is változik az idő függvényében, amelyre jelenleg egy gyorsuló tendenciájú csökkenés jellemző. Maga a csökkenés 2000 éve tart, időszámításunk kezdetén a Föld másfélszer olyan erős mágnes volt, mint manapság.

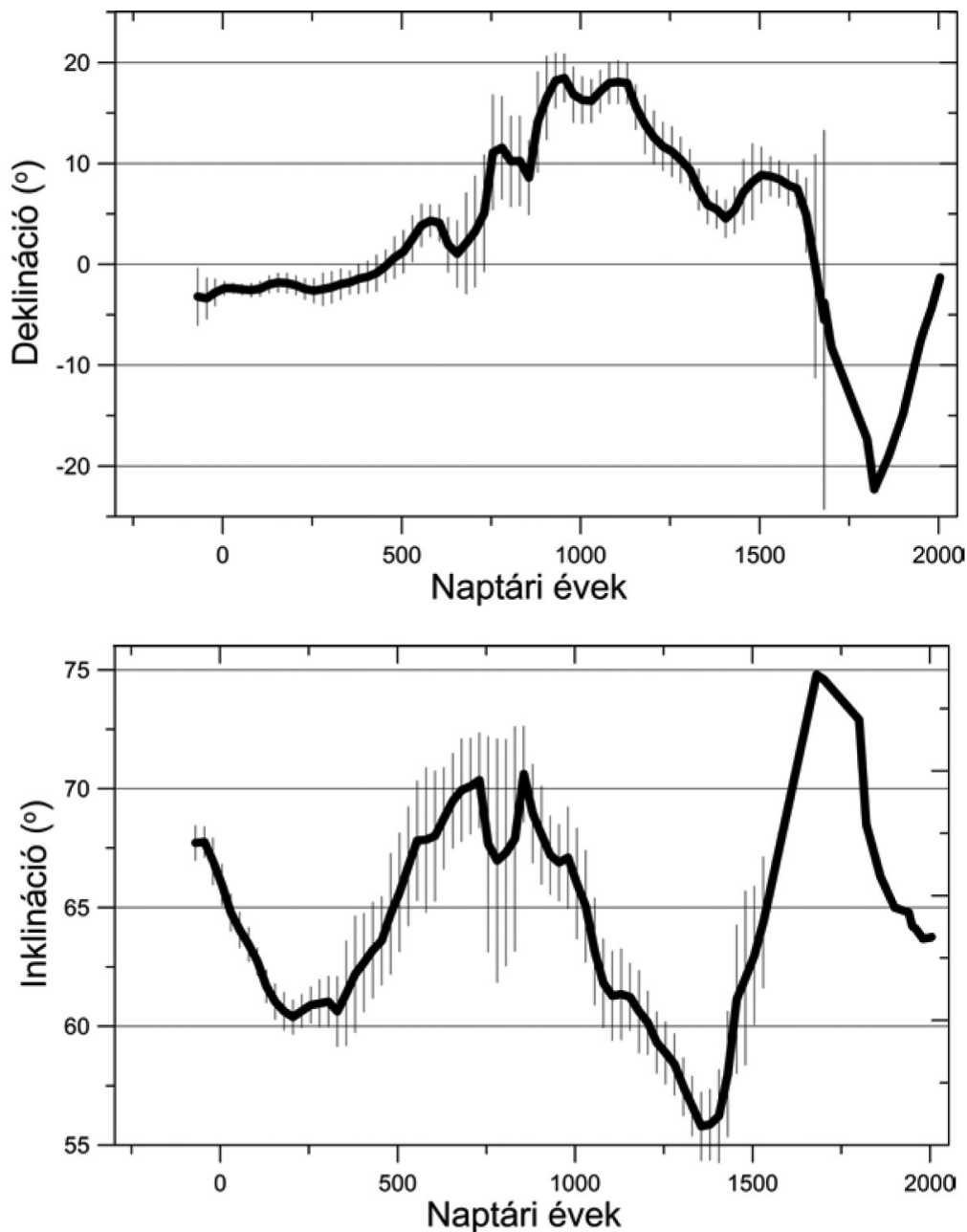
A mágneses deklináció, inklináció és térerősség fentebb hivatkozott lassú változásait évszázados változásnak vagy szekuláris variációnak nevezik. Archeomágneses keltezés olyan területen végezhető, amelyre vonatkozóan a szekuláris variáció kellő pontossággal és részletességgel ismert. Ezen ismeretek megszerzésében viszont archeomágneses mérésekre vagyunk utalva, ui. a közvetlen mágneses mérések (amelyek célja a mágneses tér fenti elemeinek meghatározása) a világ legtöbb helyén legfeljebb 100–150 évre tekintenek vissza.

Az archeomágneses mérés a mágneses adatszerzés közvetett módszere, amely arra hivatott, hogy régészeti ásatással feltárt, arra alkalmas régészeti objektumok (maradványok) mágneses vizsgálatával meghatározza egy-egy objektum használatának felhagyása idején ható helyi földmágneses tér irányát (és esetleg nagyságát, vagy erősségét). Világos, hogy ha az objektum elhagyásának ideje más forrásból (pl. írott dokumentum, fizikai vagy régészeti keltezés) ismert, akkor az adott archeomágneses mérés eredményéhez egy többé vagy kevésbé pontos naptári kor (dátum) rendelhető, úgyhogy az eredmény a továbbiakban alapadatként szerepelhet. Megfelelő számú, időben jól eloszló alapadat ismeretében megrajzolhatók az adott területre vonatkozó évszázados változási görbék. Ezek képezik az archeomágneses keltezés egyik alapját. A világon jelenleg kevés olyan terület (régió) van, ahol a szekuláris variáció valamilyen részletességgel és pontossággal ismert. Noha voltak (vannak) kísérletek, hogy a szekuláris variáció archeomágneses adatait a történelem előtti időkre is kiterjesszék, (pl. Dél-Európára (Kovacheva, 1997 vagy Kovacheva et al., 1998), a legrészletesebb archeomágneses eredetű szekuláris variáció adatok az elmúlt, mintegy 2000 év hosszúságú időre vonatkoznak (pl. Nagy-Britannia, Franciaország, Ukrajna, Japán [Daly–LeGoff, 199]), Magyarország [Márton–Ferencz, 2006]). Ezen időszak töredékeit fedik pl. bizonyos kelet-európai, észak-amerikai adatok (Daly és LeGoff, 1996). Az archeomágneses adatok közül jelenleg az irányadatok (deklináció, inklináció) preferálhatók, ui. az egykori mágneses térerősség archeomágneses meghatározási pontossága, illetve reprodukálhatósága még kívánni valót hagy maga után (nem beszélve arról, hogy a térerősség-meghatározás archeomágneses módszere sokkal munkai igényesebb, mint az iránymeghatározásé).

Az archeomágneses mérés mindig ugyanúgy történik, függetlenül attól, hogy a mérés tárgyának kora ismert vagy ismeretlen. A mérés eredménye ismert korú objektum esetén alapadat lesz, tehát hozzájárul az adott terület mágneses szekuláris variációjának definíciójához, míg ellenkező esetben a mérési eredményt

az adott maradvány keltezésére használhatjuk, feltéve, hogy az objektum elhagyásának ideje azon időszakon belül van, amelyre a szekuláris variációt már ismerjük.

A földmágneses szekuláris variáció megjelenítésének egyik elterjedt módja, hogy a deklináció, az inklináció, és (ha vannak, akkor) a térerősség adatokat ábrázolják a naptári idő (kor) függvényében (2. ábra). Az évszázados változás, mint természeti jelenség jól definiált görbéket adna. Az archeomágneses adatok viszont mérési eredmények, amelyeket különféle hibák terhelnek, tehát a szekuláris variáció pontos rekonstrukcióját adatainktól nem nagyon várhatjuk el. Azt viszont megtehetjük, hogy növeljük a mérések számát, és ezáltal növeljük a szekuláris variáció becslésének pontosságát. A jó keltezés legfontosabb, noha nem az egyetlen alapfeltétele, hogy alapadataink a valódi szekuláris variációt reprodukálják.



2. ábra: A földmágneses évszázados irányváltozás görbéi Franciaország területén az archeomágneses mérések és a közvetlen megfigyelések eredményei alapján; Ferencz (2005) nyomán

## 2. Az égett (égetett) agyagok remanens mágnessége

A természetben előforduló élettelen anyagok (tágabb értelemben a kőzetek) egyik fizikai tulajdonsága, hogy mágnesezhetőek, azaz mágneses térbe helyezve, maguk is mágnessé válnak. A mágnesezhetőség a kőzetben akcesszóriaként jelenlévő mágneses ásvány minőségétől és mennyiségétől függ. A leelterjedtebb mágneses ásvány a magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), amely általában jelen van az ember környezetében található, használati tárgyainak készítésére szolgáló löszökben, agyagokban, homokokban, illetve a talajban is. Ezen ásványnak köszönhető az összefoglaló néven égett vagy égetett agyagtárgyak, objektumok ma is mérhető, a régmúlt időkben rögződött ún. remanens mágnesezettsége.

Az agyagtárgyak (edények, téglák stb.) kiégetése kemencékben történik, amelyek falai és egyéb részei a kiégetendő tárgyakkal együtt nagy hőmérsékletre hevülnek, majd ezt követően a tárgyakkal együtt lehűlnek a környezet hőmérsékletére. Melegítéskor, mintegy 500–600°C hőmérsékleten, mind az égetendő tárgyak, mind az égetőkemence nagy hőmérsékletű részei elvesztik korábbi mágnesezettségüket. A hűlés folyamán viszont a kemencét átjáró mágneses tér irányával párhuzamosan új, ún. termoremanens mágnesezettséget (TRM) vesznek fel, amelyet a továbbiakban nagyrészt változatlanul meg is őriznek (mindaddig, amíg újabb hasonló felmelegítésnek nincsenek kitéve). Ezért van az, hogy az antik időkben kiégett vagy kiégetett agyag-objektumok ma mérhető mágnesezettsége (lényegében) az utolsó lehűlés idején ható földi mágneses térre jellemző. Az egykori tér erőssége archeomágneses méréssel elvileg bármely égetett agyagtárgyból meghatározható, de ez az információ kevésbé értékes (lásd előbb), mint az egykori tér irányára vonatkozó, amelyet viszont csak az utolsó lehűlés óta helybennmaradt objektumok archeomágneses mérésével lehet megkapni.

A legtöbb archeomágneses mérés TRM-mel rendelkező objektumokon történik. A vizsgálat tárgyai azonban a helyi körülményektől függően más anyagok is lehetnek, és itt elsősorban a régészeti lelőhellyel kapcsolatos feliszapolódott kutak, gödrök, árkok finomszemű, zavartalan körülmények között leülepedett anyagára gondolunk. Minthogy az ülepedés a földmágneses térben folyik, a homok és agyagszemcsékkel együtt ülepedő szubmikroszkópos méretű mágneses ásványszemcsék, mint apró mágnesek beállnak a helyi mágneses tér irányába, és ezáltal az iszapnak ugyanilyen irányú mágnesezettséget kölcsönöznek. Ez az ún. ülepedési remanens mágnesezettség is nagy időbeli stabilitással rendelkezik, tehát a megfelelő zavartalan üledékek archeomágneses mérésével nyomon követhetjük a helyi mágneses tér irányváltozásait az üledékképződés ideje alatt.

## 3. Archeomágneses mérések

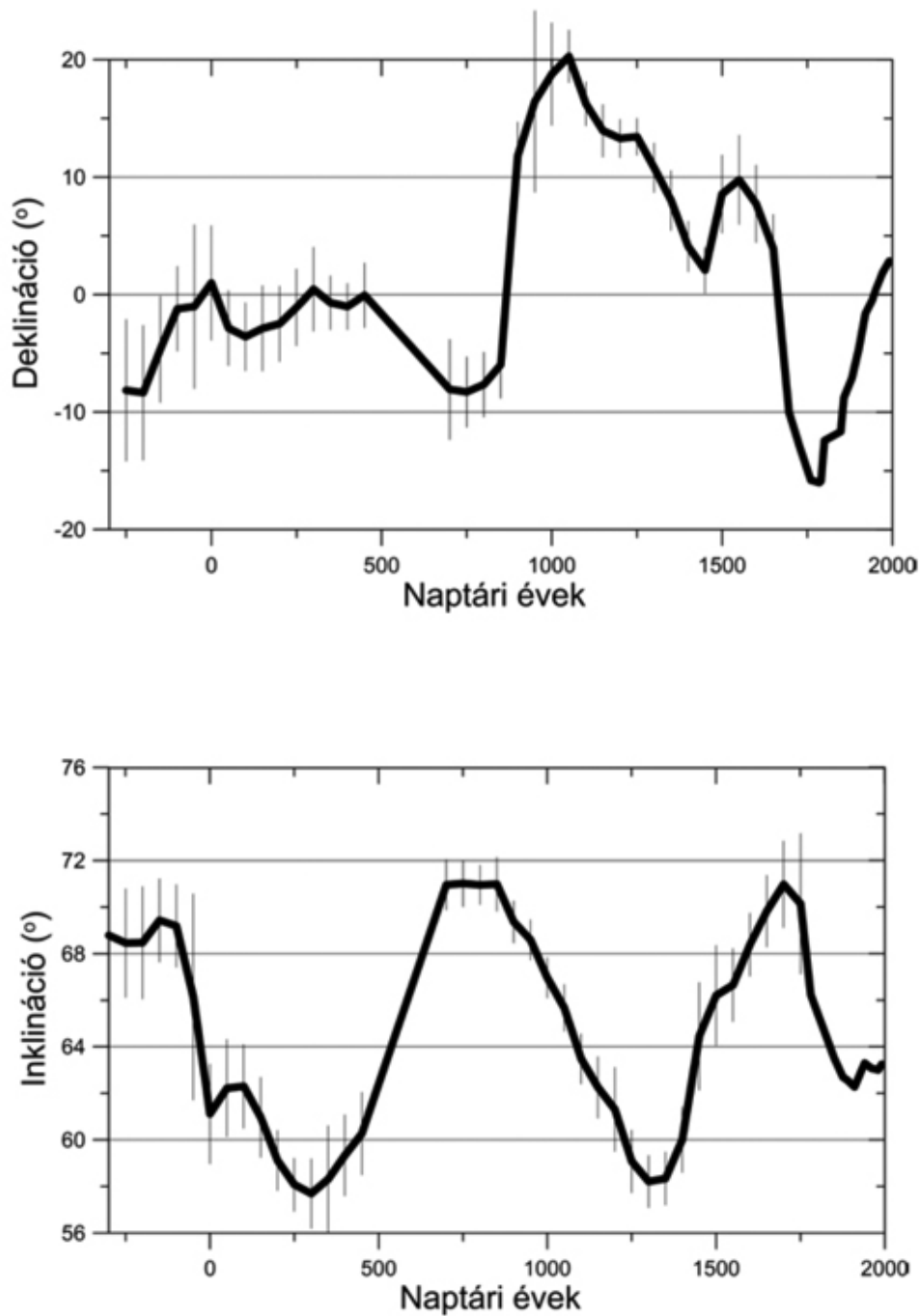
Archeomágneses mérésnek azt a vizsgálat sorozatot nevezzük, amelynek végeredményeképpen megkapjuk egy-egy régészeti objektum ősi eredetű remanens mágnesezettségének irányát (és esetleg nagyságát). Az archeomágneses vizsgálatok mintavétellel kezdődnek. Átlagosan 12 irányított minta/objektum szükséges olyan eloszlásban, hogy a minták jól reprezentálják a mintázott maradvány kellően átégett részeit. Mintavételre elvileg alkalmasak bármely égett vagy égetett objektumnak azon részei, amelyek feltehetőleg sem a feltárás előtt, illetve láthatóan a feltárásakor vagy az után sem mozdultak ki a használatukkor felvett helyzetükből. A nagyobb régészeti struktúrákban (pl. égett sáncok, mészégető kemencék vagy téglá-, cserép- vagy edényégető kemencék, égett sírok) ilyen részek könnyen találhatóak (pl. a kemencék jól átégett alja, padkája, rostélya, falai). A háztartási célú kemencéknek leginkább a padkája alkalmas, a boltozat ui. általában deformálódik az idők folyamán, úgyhogy kemenceboltozattól nem célszerű archeomágneses mintákat gyűjteni. A legjobban átégett kis struktúrák (avar kori és Árpád-kori) vasolvasztó kemencék (kohók) szintén alkalmasak. További mintázható objektumok ősi tűzhelyek maradványai, a legkisebbtől a legnagyobbakig (pl. egykori kovácsműhely tűzhelye, szemeskályha és kandalló jól átégett részei stb.). A mintavételt bízzuk szakemberre! A mintavételt minta-előkészítés követi. A mérésre előkészített minták mágneses remanencia mérésre és többlépcsős mágneses tisztításra kerülnek, amelynek eredményeként megkaphatjuk a vizsgált objektum eredeti, az utolsó hűlés idején felvett mágnesezettségének irányát. Ezt az adatot azonosíthatjuk a helyi földmágneses tér egykori irányával. Az archeomágneses mérések részletes leírása megtalálható pl. (Márton, 1998) munkájában.



#### 4. Az archeomágneses keltezés alapjai

Archeomágneses irányadatok „gyűjtése” érthető módon hosszú időre elhúzódó folyamat. Maga a módszer modern formájában eléggé új, és noha régész körökben lassan ismertté válik, archeomágneses mintagyűjtés az ásatások számához képest eddig kevés feltáráson történt. Az elmúlt 2300 évre vonatkozó hazai meghatározások száma alig haladja meg a 200 irányadatot. Ezek lényegében az elmúlt 20–25 évben keletkeztek. Hasonló nagyságú adatbázis Európában Franciaországból (2. ábra) és Nagy-Britanniából ismert. A magyarországi adatsor a kelta korban kezdődik, a római korban folytatódik, de utána mintegy 150 évre – lelethiány miatt megszakad. Az avar időkből több eredmény van, de pontosabb koruk nem ismert. Viszonylag sok adat van az Árpád- és Anjou-korból. Az újkorból kevés és gyengén datált adattal rendelkezünk, amelyeket közvetlen megfigyelések egészítenek ki a deklinációra vonatkozólag kb. 1700-tól, az inklinációra vonatkozólag pedig 1850-től napjainkig. A hiányosságok ellenére a hazai archeomágneses irányadatok máris világosan körvonalazzák a földi mágneses térirány évszázados változásának fő sajátosságait. Különösen akkor, ha valamilyen, erre alkalmas matematikai manipulációval, a diszkrét adatokból görbét szerkesztünk: egyet a deklináció, egyet az inklináció simított időbeli változására (3. ábra). Az inklináció görbéje csaknem szabályos, 900 év körüli periódusú hullámot ír le. Ebből két teljes periódust látunk. A szélső értékek közti (azaz a legnagyobb) eltérés mintegy  $15^\circ$ . A deklináció görbéjének menetében is benne van egy hasonló (kb. 900 év) periódusú, meg egy kb. azonos nagyságú 2300 éves hullám, az uralkodó periódus viszont 1350 év körüli. Ezek szintézise alakítja ki a deklinációváltozás fő jegyeit. A deklináció legnagyobb eltérése a kora középkori maximum (kb.  $30^\circ$ ) és 8. század végi minimum (kb.  $-16^\circ$ ) között mérhetően kb.  $46^\circ$ ! A változás mindkét görbén elég markáns ahhoz, hogy egy átlagosan  $2-3^\circ$  bizonytalansággal meghatározott archeomágneses irány kora több-kevesebb biztonsággal megállapítható legyen.

Jelenleg (2008) Magyarországon az archeomágneses módszer az elmúlt 2300 év során felhagyott égett, illetve égetett régészeti objektumok keltezésére használható. A keltezés bázisa az archeomágneses méréssel meghatározott és régészeti (vagy más) módszerrel datált évszázados mágneses irányváltozás, amelyet két görbe (deklináció és inklináció), meg az individuális archeomágneses mérési eredmények reprezentálnak (3. ábra).



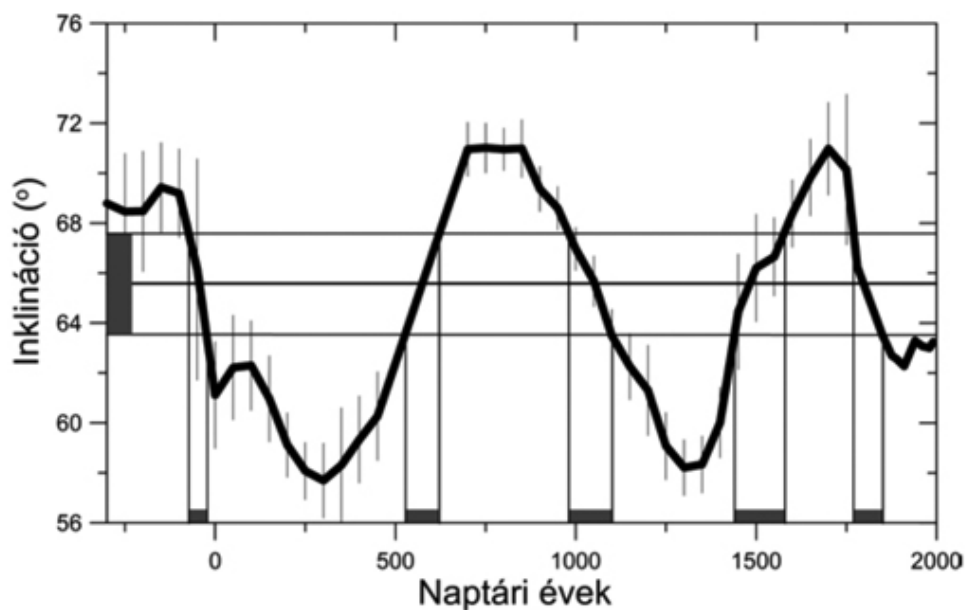
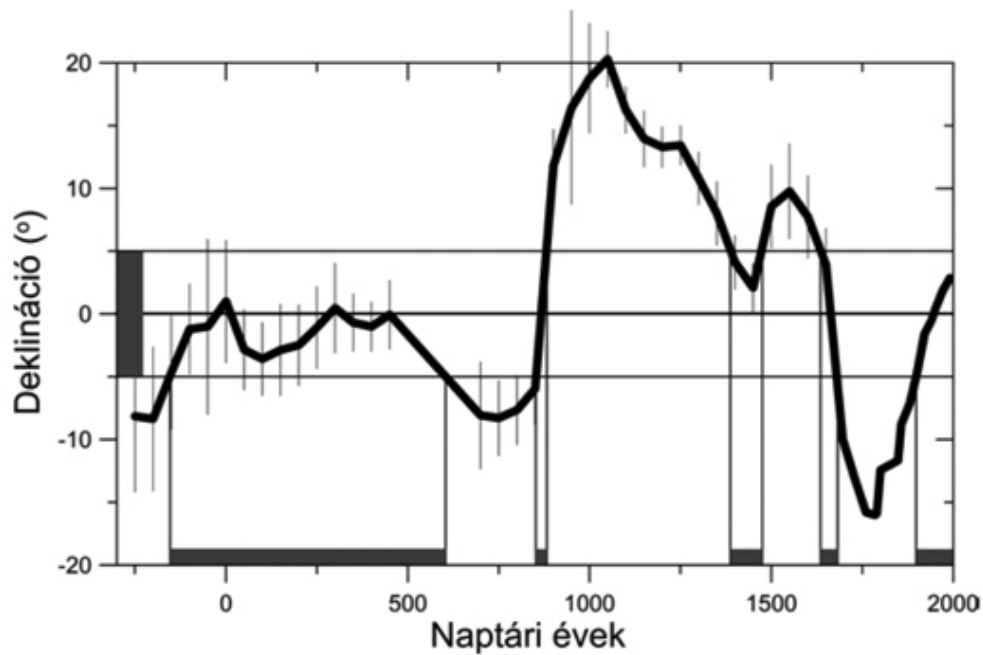
3. ábra: A földmágneses évszázados irányváltás görbéi Magyarország területén az archeomágneses mérések és a közvetlen megfigyelések eredményei alapján, Márton–Ferencz (2006) nyomán

Archeomágneses keltezéssel megoldható feladatok a következők:

1. ismeretlen korú objektum abszolút korának meghatározása
2. egy telepen belüli objektumok egyidejűségének, elő- vagy utóidejűségének megállapítása. Az alkalmazás feltétele, hogy előzetesen megmértük a keltezendő objektum archeomágneses irányát.

Ha egyetlen telepen belüli objektumok egyidejűségét vizsgáljuk, akkor kortól függetlenül csak azt kell megnéznünk, hogy az objektumok archeomágneses irányai a szóráson belül megegyeznek-e. Ha igen, akkor nincs okunk az egyidejűség elutasítására, ha viszont nem, akkor két lehetőség van: az eltérő archeomágneses irányt adó objektumokat más-más időben használták, illetve az objektumok (vagy egy részük) egyidejű, de valamilyen általunk ismeretlen ok miatt archeomágneses irányaik szignifikánsan különböznek. Az első esetben az elő- vagy utóidejűség megállapítása következik. A második esetben az archeológiai bizonyítékokra hagyatkozunk és megpróbáljuk felderíteni, hogy mi okozhatta az individuális irányok eltérését. Az elő- vagy utóidejűség megállapítása feltételezi a telep korának ismeretét, amelyet végül is az objektumok kora határoz meg, és ezzel eljutunk az első feladathoz, az ismeretlen korú objektum keltezéséhez.

Az archeomágneses kor meghatározásának technikája azonos a mért radiokarbon kor kalibrálásával, azaz naptári évekre történő konvertálásával. Kalibrációs görbeként az évszázados változás modell-görbéi szolgálnak. Esetünkben ezek az ismert korú objektumok archeomágneses méréseiből levezetett deklináció (D) és inklináció (I) görbék az idő (naptári évek) függvényében (3. ábra), amelyekben a háttérben – tájékozódás céljából – maguk a mérési eredmények is feltüntethetők. Hasonlóan a radiokarbon korhoz, minden egyes archeomágneses mérési eredmény egy-egy szimmetrikus valószínűségi függvény várható értékeként adódik. A mérés hibáját a szórásnak ( $\sigma$ ) megfelelő 68%-os, ill. a kétszeres szórásnak ( $2\sigma$ ) megfelelő 95%-os konfidencia szinten adhatjuk meg. Az archeomágnességben a 95%-os konfidenciaszint alkalmazása terjedt el. Az archeomágneses kort úgy kapjuk meg, hogy a mért értéket reprezentáló deklináció ( $D \pm 2\sigma_D$ ) és inklináció ( $I \pm 2\sigma_I$ ) adatot (sávot) összehasonlítjuk a megfelelő kalibrációs görbeszakasszal ( $\sigma_D = \sigma / \cos I$  a deklináció,  $\sigma_I = \sigma$  az inklináció szórása). Ez a művelet egyszerű esetben két kortartományt eredményez (egyet a deklináció, egyet az inklináció szolgált), amelyek közös része lesz a legvalószínűbb archeomágneses kor (4. ábra).



4. ábra: Példa az archeomágneses keltezés illusztrálására a magyarországi évszázados irányváltozási görbék felhasználásával. A mért értékek,  $D = 0^\circ \pm 4,9^\circ$  és  $I = 65,5^\circ \pm 2^\circ$  a felső, illetve az alsó ábra függőleges tengelyén vannak megjelölve. A lehetséges deklináció, illetve inklináció korintervallumok a megfelelő ábra vízszintes tengelyén láthatók. A lehetséges archeomágneses korok ezek közös részei, azaz (naptári években) (-76) – (-21), 526–606 és 1440–1490.

Sok esetben egyetlen megoldás van, ilyenkor a keltezés egyértelmű. Kettő vagy több megoldás esetén az archeológiai bizonyítékok alapján kell a kort megállapítani. Előfordulhat, hogy nem találunk megoldást. Ilyenkor mérlegelnünk kell az okokat és meg kell vizsgálnunk, hogy a mért archeomágneses irányban van-e rendellenesség, vagy éppen a szekuláris változás görbéit kellene pontosítani. A kérdés eldöntésében segítségünkre lehetnek a görbékre szintén felábrázolható ismert korú archeomágneses irányadatok. Rendellenes archeomágneses irányt valószínűleg akkor mérünk, amikor az adott objektum mágnesezettségének irányát nem egyedül a földmágneses tér szabja meg, hanem abba magának az objektum anyagának az alakja, szerkezete és/vagy a környező tárgyak mágnese hatása is belejátszik. Visszatérve az elő- vagy utóidejűség kérdésére, legyen az egyik objektum kora ismert (azt már kelteztük), a másik idősebb vagy fiatalabb voltát archeomágneses irányából az évszázados változás trendje az adott korintervallumban egyértelműen eldönti.

Ezzel az archeomágneses keltezés lehetőségeit lényegében kimerítettük. Befejezéséppen érintsük még az elérhető pontosság kérdését. Világos, hogy ez nagyon sok tényező függvénye, amelyek közül több nem is kvantifikálható. Viszonylag egyszerű az egyáltalán elérhető pontosság, azaz felbontóképesség vizsgálata, ami kizárólag az évszázados változás tulajdonságainak a függvénye (más kérdés, hogy mi csak az évszázados változás archeomágneses reprezentációjával rendelkezünk). Felidézve a keltezés technikáját, azonnal látható, hogy minél meredekebb az évszázados változás görbéje, annál szűkebb lesz az az időtartomány, amely a mért archeomágneses deklinációt, illetve inklinációt reprezentáló sávnak felel meg. Következésképpen a felbontás azokban a korokban lesz jó, amelyekben az évszázados változás sebessége ( $^{\circ}/\text{év}$ ) nagy, másutt, pl. szélsőértékek környékén, ahol a sebesség zérus vagy nagyon kicsiny, rossz felbontásunk lesz. Adatainkat ebből a szempontból vizsgálva, az archeomágneses keltezéssel szembeni elvárásaink egyelőre az alábbiakban foglalhatók össze. Minthogy az időszámításunk utáni millennium első felében, továbbá 600 és 800 között, eddigi adataink szerint a szekuláris variáció kicsiny volt, ezekben az intervallumokban precíziós keltezésről ma még aligha beszélhetünk. 800-tól kezdve viszont egészen 1300-ig az inklináció éles csökkenése, majd emelkedése 1500-ig jó mágnese keltezést tesz lehetővé. Ebben az intervallumban a deklináció variációja is elég nagy ahhoz, hogy a keltezés pontosságához hozzájáruljon. A 16. század kivételével az újkor szintén jól datálható.

## Irodalom

- Daly, L.–Le Goff, M.: An updated and homogeneous world secular variation database, 1. Smoothing of the archaeomagnetic results. *Phys. Earth planet. Inter.*, 93, (1996) 159–190.
- Ferencz E.: A magyarországi archeomágneses irányadatok feldolgozása a mozgóátlag-módszer és a Bayes-féle hierarchikus statisztika segítségével. ELTE Geofizikai Tanszék, Budapest, 2005. Szakdolgozat, pp. 1–126.
- Kovacheva, M.: Archaeomagnetic database from Bulgaria: the last 80000 years. *Phys. Earth planet. Inter.*, 102 (1997) 145–151.
- Kovacheva, M.–Jordanova, N.–Karloukovski, V.: Geomagnetic field variation as determined from Bulgarian archaeomagnetic data. Part II: The last 8000 years. *Surv. Geophys.*, 19 (1998) 431–460.
- Márton, P.: Keltezés archeomágneses módszerrel. In Ilon G. (szerk.) *A régésztechnikus kézikönyve I. Panniculus*, Ser.B, No. 3. Szombathely, 1998. 335–348.
- Márton, P.–Ferencz, E.: Hierarchical vs. stratification statistical analysis of archaeomagnetic directions: the secular variation curve for Hungary. *Geophys. J. Inter.*, 2006.