

INTERDISZCIPLINARITÁS

Archeometriai, régészeti
és művészettörténeti tanulmányok



INTERDISZCIPLINARITÁS

Archeometriai, régészeti
és művészettörténeti tanulmányok

Tóth Mária tiszteletére

*„Szeresd a magad kis mesterségét,
amibe beletanultál, és találd benne kedvedet.”*

Marcus Aurelius: Elmélkedések

INTERDISZCIPLINARITÁS

Archeometriai, régészeti
és művészettörténeti tanulmányok

Szerkesztők

Ridovics Anna – Bajnóczi Bernadett –
Dági Marianna – Lővei Pál

Magyar Nemzeti Múzeum – Szépművészeti Múzeum
Budapest 2017

A kötet támogatói:



Magyar Nemzeti Múzeum – Szépművészeti Múzeum – MTA Csillagászati és Földtudományi – Nemzeti Kulturális Alap
Kutatóközpont
Földtani és Geokémiai Intézet

ISBN 978-615-5209-79-6

KERÁMIÁK PETROGRÁFIAI MIKROSKÓPOS VIZSGÁLATA: MEGFIGYELÉSEK ÉS ÉRTELMEZÉS

CERAMICS UNDER THE PETROGRAPHIC MICROSCOPE: OBSERVATIONS AND INTERPRETATION

SZAKMÁNY GYÖRGY¹ – NAGY ANNA²

¹ELTE Közéttan-Geokémiai Tanszék, Budapest
gyorgy.szakmany@geology.elte.hu

²ELTE Ókori Régészeti Tanszék, Budapest
anna.quickening@gmail.com

Összefoglalás

A régészeti kerámiák archeometriai vizsgálati módszerei közül alapvető a vékonycsiszolatból végzett kerámia petrográfiai leírás és az alapján történő értelmezés. A cikkben áttekintjük a kerámia alapanyagoknak és a kerámiakészítés fázisainak mikroszkópban megfigyelhető jelenségeit, valamint a nyersanyagok felhasználására és a gyártásra vonatkozó értelmezési lehetőségeit. A kerámiák petrográfiai vizsgálata elsősorban a nem plasztikus nyersanyagról és annak származási helyéről ad információt, ugyanakkor a készítési technológiáról is ismereteket kaphatunk. Ezen kívül a kerámia petrográfiai vizsgálatok jó alapot szolgáltatnak a további, általában nagyműszerekkel végzett vizsgálatokhoz, azok eredményeinek értelmezését pontosíthatják.

Abstract

The petrographic analysis of ancient ceramics using a polarising microscope is the first method to be applied when conducting archaeometric studies of these artefacts. In this paper we give a general overview of the traces that can be observed with a microscope in order to interpret the ceramics' raw material and provenance, and to reconstruct their production technology. Ceramic petrography generally provides information concerning the artefacts' non-plastic components and their origin, but it can also be used to retrace the various production phases. Geochemical and mineralogical analytical methods can complement the petrographic observations.

Kulcsszavak: kerámia petrográfia, nyersanyag, soványítás, agyagkeverés, formázás, kiegészítés

Keywords: ceramic petrography, raw material, tempering, clay mixing, forming, firing

Bevezetés

A régészeti kerámiák archeometriai vizsgálata mind világszerte, mind magyarországi leletanyagok esetében egyre inkább előtérbe kerül a leletanyag régészeti feldolgozása során.

A kerámia archeometria vizsgálatok egyik alapvető módszere a petrográfia. Ez a kerámiák nyersanyag összetételéről, valamint a szöveti vizsgálatokkal együtt a készítés technológiájáról adhat értékes információkat, és ezeken keresztül nagyszámú kerámia csoportosítását is lehetővé teszi a fenti szempontok figyelembevételével. A petrográfiai feldolgozást az elmúlt néhány év óta pásztázó elektronmikroszkópos (SEM-EDX), és elektron-mikroszondás vizsgálatokkal egészítik ki, ezek ásványkémiai adatokkal, és a nagyobb felbontással tovább pontosítják az eredményeket. A röntgenpordiffrakciós vizsgálatok alkotják a kerámiák másik nagyon lényeges vizsgálati módszerét, amellyel a kerámiák fázisösszetételéről kaphatunk információt. A leglényegesebb ebből a szempontból a kiegészítési körülmények rekonstruálása, elsősorban a kiegészítés hőmérsékletére következtethetünk

az adatokból, de a módszer további értékes információt adhat a kerámiát ért másodlagos (használat közben vagy betemetődés során történt) hatásokról is. Fontos megemlítenünk, hogy a röntgenpordiffrakciós vizsgálatok eredményeit csak a petrográfiai elemzések eredményeivel együtt szabad értelmezni. A kerámiák harmadik fontos vizsgálati módszere azok kémiai összetételének meghatározása, amely szintén jelentős információt szolgáltat a kerámiák nyersanyagának eredetére vonatkozólag. A fentiekén kívül számos más vizsgálati módszert alkalmaznak világszerte a kerámiák elemzése során, amelyek szintén értékes adatokkal egészíthetik ki a fent említett „alap” vizsgálati módszerek eredményeit.

A vizsgálati eredmények értelmezését jelentősen hatékonyabbá teheti, ha módunk van a régészeti lelőhelyeken és környezetükben fellelhető, kerámiakészítésre alkalmas potenciális nyersanyagokat, valamint kemencéből származó anyagot elemezni. Mindemellett a vizsgált kerámiákkal ugyanazon korból és lelőhelyről származó paticskok elemzése szintén nagyon hasznos lehet az adataink értelmezése során.

Cél

A jelen összefoglaló munka célja, hogy a kerámiák petrográfiai vizsgálati módszereinek gyakorlati hasznába adjon bepillantást, vagyis, hogy a régészek milyen információt nyerhetnek ki a természet-tudományos módszerekkel végzett elemzések adataiból. Ezzel kapcsolatban érdemes megjegyezni, hogy a petrográfia viszonylag „olcsó és kézenfekvő módszer” abból a szempontból, hogy nem igényel komoly műszeres háttérrel, hiszen petrográfiai (polarizációs) mikroszkóp minden olyan kutatóhelyen hozzáférhető, ahol kőzettani és geokémiai kutatások folynak. Ugyanakkor azonban a módszer időigényes, ami mind a minta előkészítését, de főleg a pontos és részletes leírását illeti. A petrográfiai elemzések eredményeit egyrészt előre meghatározott szempontok szerint, táblázatba foglalva érdemes elvégezni, mert ezáltal a nagy mennyiségű minták adatai közvetlenül összehasonlíthatók lesznek egymással. A szöveges leírás szintén fontos, amit legtöbbször szintén meghatározott séma szerint végzünk, mert ezáltal lehet finomítani, illetve árnyalni a táblázatokban szereplő nyers adatok együttesét, illetve értelmezni azokat.¹

Kerámiák archeometriai feldolgozásának alapjait, kiemelten a petrográfiai leírás részletes menetét, korábban már több munka is ismertette.² Ezekben a munkákban a leírás menete mellett már vannak utalások az adatok értelmezésére is, elsősorban archeometriai, természettudományos szempontból. Éppen ezért a jelen cikkben az alapokat nem ismételjük meg, hanem a kerámiákról egy kissé más megközelítésben, azok különböző készítési fázisainak polarizációs mikroszkópos vizsgálatok során megfigyelhető jelenségeiről, és azoknak értelmezéséről lesz szó a teljesség igénye nélkül.

A kerámiák nyersanyagai; soványítás, agyagkeverés

Alapanyagok

Az agyagok kerámiakészítés szempontjából alapvetően két fő csoportba sorolhatók: kövér, illetve sovány agyagok. Az előbbi, amely jelentős mennyiségű plasztikus agyagot, és legfeljebb csak elenyésző mennyiségű nem plasztikus elegyrészeket (törmelékszemcséket) tartalmaz, ugyan jól formázható, de a szárítás, valamint a kiegészítés során a belőle készült kerámiák megrepedhetnek, sőt gyakran össze is törhetnek. Ezért a kövér agyagokat soványítani szükséges, vagyis nem plasztikus elegyrészeket kell hozzákeverni. Ugyanakkor a túlzottan sovány (vagyis jelentős mennyiségű nem plasztikus elegyrészeket tartalmazó) agyagokból álló nyersanyag formázása nehézkes, gyakran már formázás közben töredezik az anyag, és a kiegészítés során szétesnek a tárgyak. Ezért a nagyon sovány agyagokat kövér agyaggal szükséges összekeverni. A lényeg a megfelelő nyersanyag megtalálása, illetve kialakítása, amelyet, ha közvetlenül felhasználható alkalmas összetételben nem található a

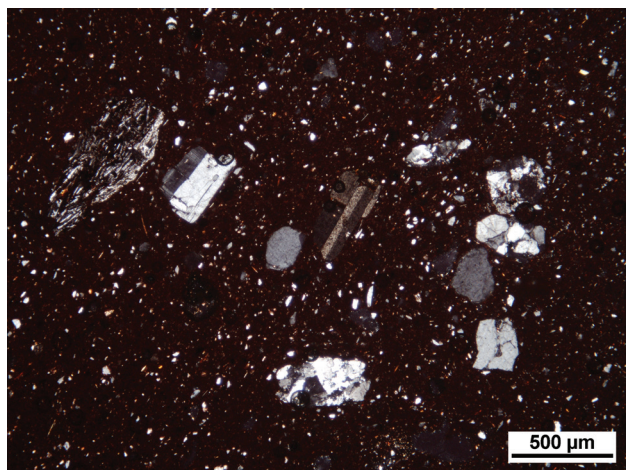
1 Például SZAKMÁNY 1998, 2001; WHITBREAD 1989; KREITER 2010; újabban QUINN 2013.

2 SZAKMÁNY 1998, 2013; SZILÁGYI 2011.

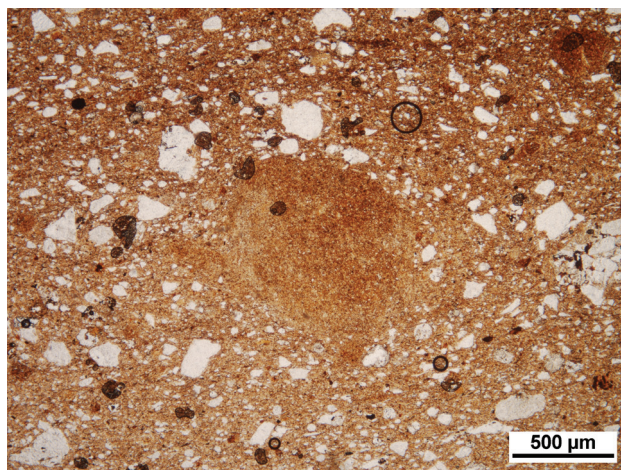
területen, vagy annak közvetlen környezetében, akkor agyagkeveréssel, illetve kövér agyag esetében soványító anyag hozzáadásával kell előállítani.

Soványítás, agyagkeverés

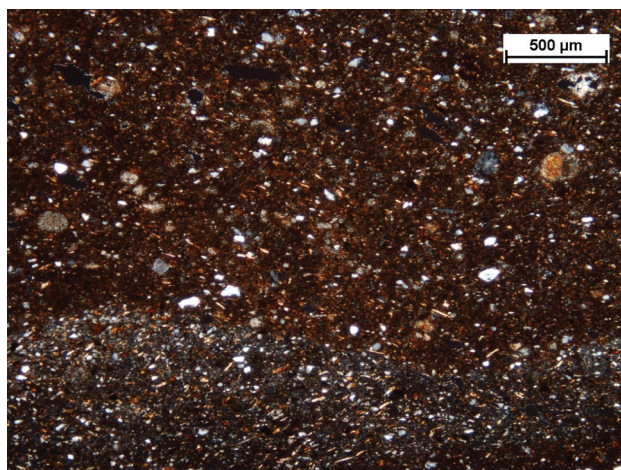
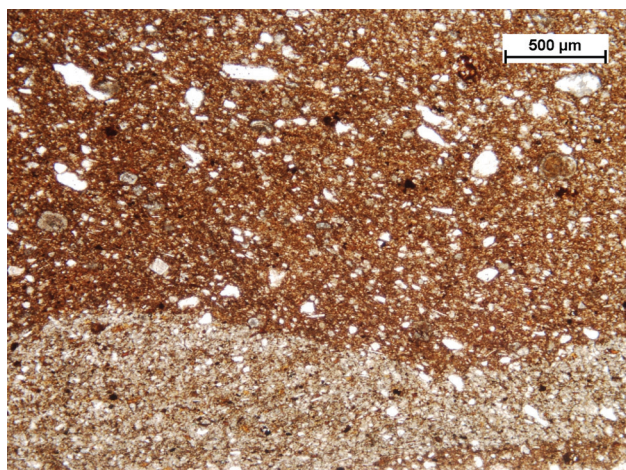
Mikroszkópos vizsgálatok során a soványítást elsősorban a hiátuszos szövet alapján sejthetjük, illetve következtethetünk rá (1. ábra). Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy természetes eredetű üledékek is lehetnek hiátuszosak, például a folyóvízi üledékek. Ezzel ellentétben, de csak



1. ábra. Hiátuszos szövet, közel egyenletes szemcseméretű homokos soványítással (rhodosi típusú amphora, Savaria) (+ nikol)



2. ábra. Törmelékmentes agyagmaradvány törmelékben gazdag, szeriális szövetű kerámiában, jelezve az agyagkeverést (rhodosi típusú amphora, Savaria) (1 nikol)



3a és b. ábra. Finomszemcsés, csillámban gazdag sáv (alul) csillámszegény és durvább elegyrészeket is tartalmazó kerámiában, jelezve az agyagkeverést (Dressel 6B amphora, Fažana) (1 és + nikol)

nagyon ritkán, a törmelék szemcsék méreteloszlása alapján szeriális eloszlású kerámiák is lehetnek soványítottak, amennyiben a soványító anyag szemcsemérete nem különbözik az eredetileg kövér anyagban előforduló nem plasztikus elegyrészek méretétől. Ennek kimutatása azonban csak petrográfiai vizsgálatok segítségével nem egyértelmű.

A szándékos agyagkeverés mikroszkópos vizsgálatokkal nem mindig felismerhető, különösen akkor nem, ha az agyagkeverés során szinte tökéletesen homogenizálták az összekevert agyagokat. Miután a tökéletes keverés és így a homogenizálás nagyon ritka, ezért csak kellően nagyszámú csiszolat elemzése során találhatunk árulkodó jeleket, vagyis egymástól teljesen eltérő összetételű és szöveti jellegű, inhomogén agyagos maradványokat, amelyek bizonyíthatják az agyagkeverést, illetve agyagkeveredést (2, 3a és 3b. ábra). Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy nem tökéletes formában agyagkeveredés ritkán ugyan, de természetes körülmények között is végbemehet. Amennyiben egy kerámiában jelentős mennyiségű agyagos kőzettörmelék (argillaceous rock fragment; továbbiakban: ARF) fordul elő, annak jelenléte felveti az agyagkeverés lehetőségét, különösen, ha az ARF alapanyaga jelentősen soványabb vagy kövérebb a befogadó kerámiáénál. Különösen gyanús lehet, ha ugyanabban a kerámiában kövérebb és soványabb ARF-ek egyaránt jelen vannak. Ugyancsak megerősítheti a szándékos agyagkeverés tényét, ha az ARF-ek és a befogadó kerámia mátrixának határfelülete folyamatos átmenetű. Amennyiben ezekkel a jelenségekkel találkozunk mikroszkópos vizsgálataink során, és lehetőségünk van rá, akkor érdemes a kerámia és az ARF szemcsék mátrixának részletesebb, pásztázó elektronmikroszkópos vagy elektron-mikroszondás vizsgálatát elvégezni,³ ami segíthet a kérdést tisztázni. Ugyancsak agyagkeverésre utalhat, ha a kerámia erősen sávzott jellegű és az egyes sávok szöveti jellegzetességei eltérőek egymástól. A sávok alakja is nagyon változatos lehet, többek között egyenes, csavart, hullámos, fokozatosan elvékonyodó. Gyakran az egyes sávok egymástól eltérő színárnyalatúak, jelezve eltérő összetételüket.

Soványító anyagok

A soványítás során felhasznált anyagok nagyon változatosak lehetnek. Elsősorban a rendelkezésre álló anyagok és lehetőségek szabják meg, vagyis, hogy mi érhető el a kerámiakészítés környezetében. Ugyanakkor egyes korokra-kultúrákra sokszor nagyon jellemző soványítási technológiák alakultak ki: például pelyvával a Körös-Starčevo kora neolitik kultúrákban, ARF/grog soványítás a késő neolitikban és a rézkorban, durva kavicsal soványított kerámiák a bronzkorban, stb.⁴ Mindenképpen meg kell említeni, hogy a törmelékes szemcsékkel, ARF-fel vagy groggal történő szándékos soványításnak technológiai szempontból akkor van értelme, ha a kerámia alapanyagához hozzáadott soványító anyag mennyisége legalább 10%-ot eléri, mert ennél kisebb mennyiség alapvetően nem változtatja meg az alapanyag minőségét.⁵ Amennyiben ilyet tapasztalunk, annak nem technológiai, hanem más, például tradicionális oka lehet.⁶ Ez alól a karbonátos anyag hozzákeverése, illetve annak mennyisége kivétel, ugyanis fazekasok tapasztalata alapján minél finomabb szemcsés karbonátot kevernek a kerámia nyersanyagához, annál kevesebb szükséges belőle, hogy megváltoztassa a nyersanyag, és a belőle készült kerámia tulajdonságait. Szálas anyag (például lószőr vagy haj) pedig egész kis mennyiségben is szilárdítja, töréssel szemben ellenállóvá teszi a kerámiát.⁷

A soványító anyagok közül – amennyiben az szervesetlen anyag – legtöbbször ásványtörmelékekkel (esetleg ősmaradványokkal vagy recens élőlények váztöredékeivel) találkozunk a vékonycsiszolatban, és csak ritkán találunk kőzettörmelékeket is, amennyiben durvább szemcsés anyagot használt a fazekas. Ki kell emelnünk, hogy a kőzettörmelékek alapján a soványító anyag nyersanyaglelőhelye nagyobb eséllyel határozható le, esetleg azonosítható, még akkor is, ha a kerámiában csak kevés kőzettörmelék fordul elő. A kőzettörmelékek esetében ugyanis az egyes, bennük előforduló ásványszemcsék kapcsolódását, és a kőzet szövetét is megfigyelhetjük, ami alapján leszűrhető a potenciális nyersanyaglelőhelyek száma, vagy területe. Alapos vizsgálattal már néhány kőzettörmelék szemcséből is felismerhetők és azonosíthatók a kerámiában előforduló, kisebb mé-

3 Lásd például SPATARO 2011.

4 KREITER 2006, 2007a, 2007b; SZAKMÁNY 2008.

5 RYE 1981.

6 KREITER 2007a, 2007b.

7 JEFFRA 2008.

retű egyedi ásványszemcsék, amelyekből „összerakható” lesz az a kőzettípus, amelyből az egyedi ásványszemcsék származnak. Ilyen lehet például a gránit, és általánosabb, magasabb kategóriája, a granitoid (ld. később).

A mikroszkópos vizsgálat során meg kell figyelni az ásvány- és kőzettörmelékek koptatottsági viszonyait is. A kőzettörmelékek szándékos összetörésére utal a törmelékek teljesen szilánkos jellege. A felhasznált nyersanyag természetes körülmények között végbement mállására vagy szétesésére lehet következtetni a nagyon gyenge-gyenge koptatottságból, és az egyes törmelékek szegélyén látható erősebben átalakult nyomokból. Amennyiben nem csak helyben maradt málladékból vagy lejtőtörmelékéből származik a soványító anyag, hanem esetleg folyóvízi vagy szél szállította üledéket (homokot) használt a fazekas soványításra, arra annak jobb osztályozottságából, illetve a szemcséinek jobb vagy akár nagyon jó koptatottságából következtethetünk (4. ábra). Tanulásként leszűrhetjük, hogy amennyiben egy kultúrában vagy lelőhelyen egyaránt előfordulnak durva- és finomkerámiák, akkor az előbbieket vizsgálata mindenképpen ajánlott abból a szempontból is, hogy a kerámiák nyersanyagának származását pontosíthassuk.

Kerámia nyersanyaglelőhelyek meghatározásának lehetőségei

A kerámiák provenienciájának meghatározásának sikere erősen függ a régészeti lelőhely síkvidéki vagy hegyvidéki, vagy ez utóbbihoz közeli előfordulásától. Hegyvidéki környezetben kerámiakészítésre alkalmas plasztikus agyag előfordulása lényegesen ritkább, folt- vagy pontszerű, az egyes előfordulásokra általában jellemző összetétellel. Ezzel ellentétben nagy kiterjedésű alföldi területeken (mint például a magyar Alföldön) a többszörös és hosszantartó áthalmazódás következtében a finomszemcsés üledékanyag homogenizálódik, vagyis nagy területen hasonló lesz az összetétele. Ez a homogén összetétel akkor változik meg, ha egy eltérő földtani összetételű lepusztulási területről érkező folyó behordott anyaga ezt módosítja. Erre példa lehet a dél-alföldi területeken a Maros betorkollása a Tiszába, amely némileg megváltoztatja a torkolat előtt és után előforduló üledékek összetételét.⁸ Ebben az esetben a nehézásványok minőségi és mennyiségi meghatározása például sokat segíthet, ezt azonban kizárólag vékonycsiszolatos petrográfiai módszerekkel nem minden esetben lehet meghatározni, további műszeres vizsgálatok is szükségesek: pásztázó elektron-mikroszkópia, elektron-mikroszkópia, mikromineralógia, a jövőben feltehetőleg a Raman spektroszkópia. Az akcesszóriák részletes vizsgálatának a jövőben várhatóan nagy szerepe lesz a kerámiakutatásban, ahogy erre már történtek kísérletek,⁹ jöhet ez a módszer kerámiák feldolgozása során rendkívül munka- és időigényes, emellett a mikromineralógiai vizsgálatokhoz általában jelentősebb mennyiségű anyag szükséges ugyanabból a kerámiából. A hegyvidéki területeken és azokhoz közel, a síkvidéki területekkel ellentétben, a geológiai felépítés változatosabb és kisebb területeken is a szomszédos területekétől eltérő lehet. Az egyes nyersanyagok származásának azonosítását vagy legalábbis leszűkítését elősegíti, ha előfordul benne olyan különleges vagy karakterisztikus nem plasztikus elegyrész, amely kifejezetten csak egy képződményre jellemző vagy csak egy szűk területen korlátozottan fordul elő. Ebben az esetben akár egy távoli területen készített kerámia pontos gyártási helyét,¹⁰ vagy legalábbis a soványítóanyag származási helyét meg tudjuk határozni vagy le tudjuk szűkíteni, mint például a kelta grafitos kerámiáinak grafitos soványítóanyaga esetében.¹¹

Összességében tehát megállapíthatjuk, hogy alföldi területeken a pontos nyersanyaglelőhely azonosítása a hegyvidéki területeknél nehezebb, illetve bizonytalanabb.

8 GEDEONNÉ RAJETZKY 1973; POLGÁRI 1980; VANICSEK 2011.

9 MANGE & BEZECZKY 2006; OBBÁGY et al. 2014.

10 CAPELLI et al. 2008, 2011.

11 HAVANCSÁK et al. 2009; SZÖLLŐSI et al. 2009.

Kőzettörmelékek és elnevezésük problematikája

Feltétlenül szót kell ejtenünk a kerámiákban előforduló kőzettörmelékek pontos nevezéktanáról, mivel ezek elnevezése finomszemcsés sziliciklasztos kőzeteken kívül kerámiák leírásánál is gyakran pontatlanul történik. A törmelékek pontos típusának meghatározása elsősorban a durvaszemcsés, főleg magmás, esetenként metamorf és üledékes kőzeteknél problémás, ezért ismernünk kell, hogy milyen korlátai vannak a pontos elnevezésnek, valamint miért szükséges inkább átfogó, összefoglaló nevet adnunk. Például nagyon sok esetben olvashatunk az irodalomban gránitos soványító anyagokról. Mivel azonban a kerámiák vékonycsiszolatos vizsgálatok a durvaszemcsés kőzetek esetében legfeljebb 2-3 szemcséből álló törmelékekkel találkozhatunk, azokról legfeljebb annyit állapíthatunk meg, hogy granitoid változat (ami gránit, granodiorit vagy akár tonalit is lehet, ha irányított szövetű, akkor metagranitoid vagy gneisz). Vagyis az ilyen esetekben a granitoid (metagranitoid) nevet javasoljuk használni. Pontosabb elnevezést csak akkor használhatunk, ha elegendő mennyiségű vagy/és méretű, biztonsággal meghatározható törmelékszemcsét tartalmaz a kerámia ahhoz, hogy az egyes kőzetalkotó elegyrészek egymáshoz viszonyított arányát meg tudjuk állapítani. Ilyenkor segíthet például, ha láthatóan egyféle soványító anyagot használtak, és a kőzettörmelékeken kívül nagyszámú ásványtörmelék is előfordul a kerámiában. Például jelentős mennyiségű kvarc mellett a földpátok egymáshoz viszonyított aránya (például a káliföldpát mennyisége jelentősen meghaladja a plagioklászét) erősen valószínűsíti a gránitos eredetű soványítóanyagot.

A vulkanitok esetében legtöbbször a vulkáni eredetű kőzet mátrixa (alapanyaga) fordul elő önálló törmelékek formájában, ritka, hogy a porfíros elegyrészekkel (vagy azok töredékével) összenőve, azzal együtt látjuk a csiszolatban. Ha ilyen szemcse megjelenik, nagyon fontos információt jelent a vulkáni eredetű elegyrész összetételéről, eredetéről. Ugyancsak nehéz elkülöníteni a kis szemcseméret miatt, hogy a szemcse láva eredetű valódi vulkanit vagy esetleg robbanás hatására kialakult piroklasztit eredetű törmelékszemcse. A vulkanit típusára az egyedileg előforduló egykori porfíros elegyrészek törmelékei utalhatnak (például zónás plagioklász, szanidin, színes elegyrészek jelenléte), esetleg a mátrix elektron-mikroszondás elemzése segíthet. A robbanásos tevékenységre elsősorban a savanyú kőzetek üvegtörmelékeiből (például horzsakő), esetleg rezorbeálódott kvarctöredékekből következtethetünk. Meg kell jegyeznünk, hogy a vulkanit alapanyagok nagyon gyakran utólag átalakultak (kovásodtak, zeolitosodtak, devitrifikálódtak), ami tovább nehezíti pontos azonosításukat.

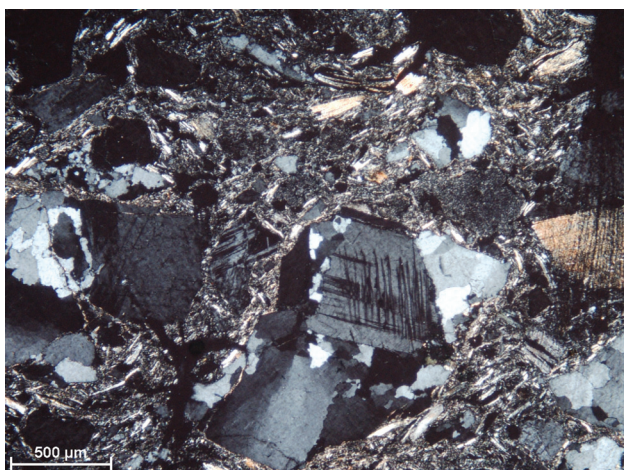
A kovásodott vulkanit alapanyag törmelékek általában nehezen különíthetők el a finomszemcsés kvarcból álló kovás kőzettörmelékektől (például tűzkő). Az elkülönítéshez ezeknek a szemcséknek a „tisztasága” adhat segítséget: az esetek többségében a vulkanit alapanyagban igen apró opak ásványok, esetleg földpátok, és gyakran összetételi inhomogenitások is előfordulnak, míg a kovás kőzetek általában „tisztábbak”, és kizárólag kovaanyagúak.

Metamorf kőzettörmelékek esetében a homokokban előforduló szemcsékre GARZANTI & VEZZOLI által kidolgozott nevezéktan jól használható.¹²

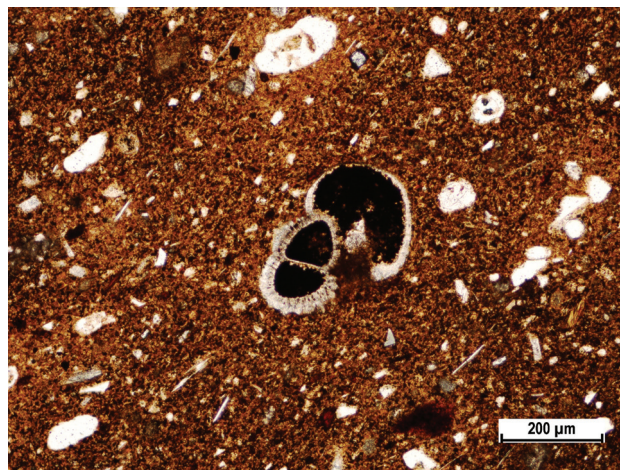
Fossziliák és váztöredékek előfordulása, értelmezése

Számos kerámiában fordulnak elő kisebb-nagyobb mennyiségben fossziliák és maradványaik, valamint recens élőlények váztöredékei. Ezek minél pontosabb meghatározása és származási helyüknek kiderítése értékes adatokat adhat a felhasznált nyersanyagok eredetéről. Kisméretű, ép vázú fossziliák elsősorban a plasztikus, agyagos nyersanyagban fordulnak elő, a vastagabb héjú váztöredékek inkább soványító anyagként található meg a kerámiák nyersanyagában. A felismerésüket sokszor nehezíti, hogy általában karbonát (kalcit vagy aragonit) anyagúak, belsejük gyakran üreges, így a kiégetés során anyaguk többé-kevésbé átalakul, vagy megsemmisül. Ezáltal gyakran csak a kiégett maradványok alakjából következtethetünk egykori jelenlétükre. Általában minél kisebb méretű az egykori élőlény, annál valószínűbb, hogy pontosabb meghatározást tudunk adni. Például a foraminiferák gyakran megőrzik alakjukat, és jól azonosíthatók a potenciális nyersanyagokban

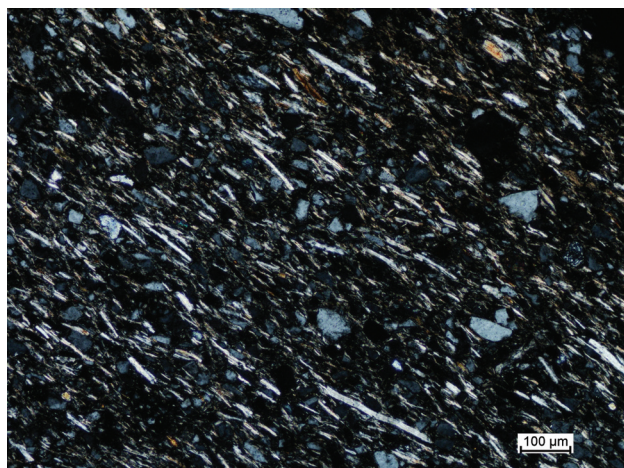
¹² GARZANTI & VEZZOLI 2003.



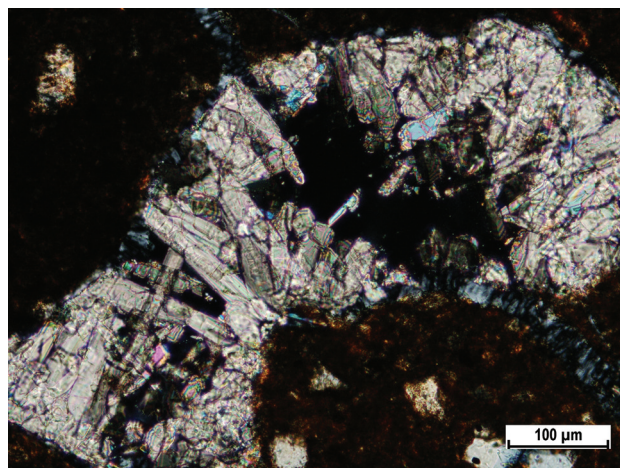
4. ábra. Változó méretű, szilánkos granitoid törmelékekkel soványított kerámia (késő neolitik kerámia, Gorzsa) (+ nikol)



5. ábra. Opak ásvánnyal kitöltött globigerinoida (Dressel 6B amphora, Fažana) (1 nikol)



6. ábra. Nagyon jól irányított szövetű kerámia, amit a szinte teljesen párhuzamosan elrendeződött muszkovit pikkelyek jeleznek (trieri kerámia utánezat, Nagykanizsa) (+ nikol)



7. ábra. A pórus falára merőlegesen vagy azzal szöveget bezáróan növekedett másodlagos kalcitkristályok (Dressel 6B amphora, Fažana) (+ nikol)

előforduló hasonló maradványokkal összehasonlítva (5. ábra). Azonban pontos, fajszerinti meghatározást vékonycsizolatból csak a legritkább esetben lehet végezni. A kagylóhéj maradványokat, amelyek kerámiákban legtöbbször töredékek formájában fordulnak elő, ennél pontosabban nem lehet meghatározni. A kovás anyagú ősmaradványok (radioláriák, kovaszivacstűk) jól felismerhetők, de csak ritkán alkalmasak pontos azonosításra. A növényi eredetű fitolitok fontos információkat szolgáltathatnak a soványítóanyagként esetlegesen felhasznált növényi maradványokról. Ezek vizsgálatára elsősorban nem a vékonycsizolatból történő leírás a legmegfelelőbb módszer, de a legújabb kutatások ebben a témában is egyre több értékes adatot közölnek.¹³

Formázási típusok felismerésének lehetőségei

A kerámiák kialakítása sokféle módon történhet, például gyorskorongolás, hurkatechnika, szalagtechnika, lapokból való felépítés, formába nyomás révén. A különböző formázásra utaló nyomok vékonycsiszolatban viszonylag ritkán határozhatók meg egyértelműen. Ennek egyik oka, hogy a különböző formázási módok hasonló szöveti jelenségeket hozhatnak létre, amelyek közötti különbséget ráadásul a legtöbbször használt utókorongolás eltünteti. Másrészt a kerámia falára általában harántmetszetű vékonycsiszolat csak ritkán készül olyan részből, amelyben egyértelmű bizonyítékok láthatók a készítés módjára vonatkozólag. Mindemellett egy kerámia különböző részeit eltérő formázási módszerrel is készíthetik: például az edény korongolt, de a pereme szalagtechnikával készül. Több, a formázásra utaló nyom szabad szemmel is megfigyelhető a kerámiákon, mint például a korongolás során keletkező párhuzamos sávzottság az edény belsejében, vagy az edény alján megfigyelhető S alakú nyom, ami akkor keletkezik, amikor leszedik a korongról a kerámiát.

Mikroszkópos petrográfiai vizsgálatokkal elsősorban a kerámia mikroszerkezetében történt változásokat lehet megfigyelni. Korongolás esetén a peremmel párhuzamosak, erősen irányítottak lesznek a nyúlt szemcsék vagy a pikkelyes ásványok nyúlt metszetei és gyakran a pórusok is (6. ábra). Szalagtechnika esetén az egyes szalagok, hurkák kialakítása során alkalmazott göngyölítő, csavaró mozdulat miatt a nem plasztikus elegyrészek és a pórusok közepesen vagy gyengén irányítottak lesznek. Két szalag között repedés, pórus alakulhat ki a száradás, égetés során, de annak kicsi az esélye, hogy a kerámiából készült vékonycsiszolat éppen ezt metszi, ráadásul a kerámiák gyakran az illesztés mentén törnek el. Egy nagyobb agyagtömbből történő kézi formálás (például nyomkodás, felhúzás) során a felhúzás miatt az alapanyagban található törmelék szemcsék, a nem plasztikus elegyrészek és a pórusok irányítottak lesznek. Ez harántmetszetű csiszolatban jól látszik, de sok esetben ez az irányítottság nem különíthető el egyértelműen például az utókorongolás során kialakult hasonlóan irányított szövetről. Lapokból történő felépítés esetében az agyag vékony lapra történő kinyújtása során a nem plasztikus elegyrészek a lap belső részein nem lesznek irányítottak. Ez a kerámia falával párhuzamos vékonycsiszolatból figyelhető meg. Emellett a simítás, nyújtás miatt sok nem plasztikus elegyrész halmozódik fel és lesz irányított a lap szélén, és ahhoz közel. Formába nyomáskor, azért, hogy az agyag ne ragadjon a formába, például homokot, hamut tesznek a formába, amely fennmaradhat a kerámia szélén, amit mikroszkópban azonosíthatunk, de ellenőriznünk kell, hogy a bevonat nem a kerámia betemetődése során került-e rá a kerámia falára.¹⁴

Felületkezelés

A kerámiák felületének kialakításával a jelen írásban csak érintőlegesen foglalkozunk. A bevonatok közül a vékony, egybefüggő agyagos alapú slip, és az engobe réteg felismerhető a kerámiánál sokkal finomabb szemcseméretével, az engobe esetében eltérő színével is. A vékonycsiszolat készítés során ez a néhányszor 10 µm-es réteg gyakran elkopik, ezért erre külön figyelni kell, hogy a minta előkészítés során megmaradjon, ha részletesebb műszeres vizsgálatnak kívánjuk alávetni. Már a leletek előkerülésekor és közvetlenül utána különös figyelmet kell fordítani a bevonatokra, nehogy a mosás során eltávolítsák vagy leoldódjon.

A kerámiák felületének kialakításakor a dörzsölést és fényezést legtöbbször valamilyen szilárd eszközzel (például kővel, fával, csonttal, kvarckaviccsal) végzik. Végigcsiszolják a kerámia felületét, aminek hatására az anyag tömörödik, a felületi kis pórusok betömődnek. A közvetlenül a finomszemcsés felszín alatt előforduló durvább méretű szemcsék benyomódnak a kerámia belsejébe, ami általában megfigyelhető mikroszkóppal. A kerámia falára ráégetett máz petrográfiai módszerekkel felismerhető, összetételének meghatározásához azonban műszeres vizsgálatok, elsősorban elektron-mikroszondás elemzés szükséges.¹⁵

14 QUINN 2013.

15 QUINN 2013.

Szárítás

A megformázott kerámiát a kiégetés előtt szárítják. Ennek során az agyagban és a pórusokban található nedvesség eltávozik. Ha a szárítás körülményei nincsenek megfelelően kontrollálva, a szárítás egyenlőtlen, akkor a mikroszkópban több jelenség is megfigyelhető. Például egymással párhuzamos, vékony pórusok alakulnak ki, vagy az agyagos alapanyag összehúzódása miatt az ásványok, valamint – grogos soványítás esetén – a kerámiatöredékek körül vékony repedés alakulhat ki. Sót tartalmazó agyagok esetében száradás során a só kicsapódik a kerámia felületére, ami ráéghet, ezáltal mikroszkóppal vizsgálhatóvá válik.¹⁶ Ez utóbbi azonban magyarországi kerámiákban nem elterjedt.

Kiégetés

A kerámiák kiégetési körülményei, elsősorban hőmérsékleti viszonyai, a kiégetés atmoszférája (oxidatív-reduktív viszonyok) mind olyan kérdések, amelyek jelentős érdeklődést váltanak ki a kerámiával foglalkozók körében, ezáltal igen kiterjedt irodalommal rendelkeznek. A kiégetés során a kerámiában fizikai, kémiai és ásványtani átalakulások mennek végbe. Ezek közül az egyik leglényegesebb, hogy mintegy 600°C körül az agyagásványok szétesése intenzívvé válik, és a felszabaduló komponensek a kerámia többi alkotójával (például karbonátok bomlástermékével, stb.) magasabb hőmérsékleten, jellemzően mintegy 850-950°C, de gyakran csak 1000°C felett reakcióba lépnek és új ásványok képződnek (például diopszid, gehlenit, spinell, cristobalit, mullit). Az, hogy ezek a reakciók milyen hőmérsékleten kezdődnek és zajlanak le, számos tényezőtől függenek, többek között a kerámiák összetételétől. Mindemellett mintegy 900°C-tól kezdődően a kerámia üvegesedése is erőteljessé válhat. Petrográfiai mikroszkópban a fent említett új fázisok nagyon ritkán láthatók és vizsgálhatók, mivel általában szubmikroszkópos (μm -es nagyságrendű) méretűek és általában tús kristályok. Röntgen-pordiffrakció a legfontosabb vizsgálati módszer kimutatásukra, emellett a pontos összetételüket elektronmikroszkóppal vagy elektron-mikroszondával vizsgálják.

A kerámiák kiégetése során sokszor csak a művelet közben elért maximális hőmérsékletet szokták megemlíteni és figyelembe venni, jóllehet a kiégetési viszonyokat számos más tényező is befolyásolja. Fontos paraméter a felfűtési sebesség, majd, hogy az elért maximális kiégetési hőmérsékletet mennyi ideig tudták fenntartani a kiégetés során, vagyis mennyi ideig tartott a hőntartás. Ez azért lényeges, mert a reakciók lezajlása különböző hőmérsékleteken és idő alatt eltérő mértékben zajlik le, például 1 órán keresztül 900°C hőmérsékleten tartás során ugyanolyan mértékű átalakulás történik, mint az ugyanolyan összetételű kerámia pár percen keresztül 950°C-on történő hőntartása során.¹⁷

A kerámiák végső színét alapvetően a kiégetési viszonyok, elsősorban az oxidációs és redukciós viszonyok befolyásolják, és általában a kerámia színét az utoljára, még nagy hőmérsékleten ért behatás alakítja ki. Oxidatív és reduktív viszonyokat, mint két szélsőséget szoktak elkülöníteni, de a fazekasok a kellő színhatás érdekében változtathatják az oxigén mennyiségét a kemencében. A kiégetési térben felhalmozott jelentős mennyiségű szervesanyag (például növénymaradvány) reduktív körülményeket biztosít, így a kerámia fekete színű lesz. Ebben az esetben is jelentős szerepe van az időnek, vagyis, hogy egy eredetileg feketére (reduktív környezetben) kiégetett kerámia a lehűlés során, de még nagy hőmérsékleten érintkezett-e és mennyi ideig a levegő oxigénjével (ld. szendvics szerkezetű kerámiák kialakulása). Petrográfiai vizsgálatokkal a kiégetés körülményei közül a kerámia színéből következtethetünk a kiégetés atmoszférájára, annak változására, amit befolyásol a kiégetési térben jelen levő anyagok minősége és mennyisége is (1. táblázat).¹⁸ A reduktív viszonyokat a fekete-szürkésbarna színek jelzik, míg az oxidatív kiégetést a melegebb, sárgásbarna, vörösbarna, barnásvörös, vörös színek mutatják. A folyamatos színátmenet jelezheti a még magas

16 QUINN 2013.

17 LIVINGSTONE SMITH 2001; PICON 2002.

18 NODARI et al. 2004.

Kerámia színe	Felfűtés atmoszférája	Hűlés atmoszférája	Szerves anyag tartalom
Szegély: vörös-bézs Mag: fekete	reduktív	oxidatív	nincs/kevés
	oxidatív	oxidatív	sok
Szürke-fekete	reduktív	reduktív	nincs/kevés
Vörös-bézs	oxidatív	oxidatív	nincs/elvétve
	reduktív	oxidatív	nincs

1. táblázat. Kerámiák színének alakulása a felfűtés és hűtőtartás, valamint a hűlés során uralkodó redox viszonyoktól, továbbá a kerámiában jelenlévő szerves anyag mennyiségétől függően (NODARI et al. 2004)

hőmérsékleten történt oxigén jelenlétét a reakciók lezajlása során. Meg kell jegyeznünk, hogy a fentiekben túlmenően a kiégetési szint, és annak árnyalatát – többek között – a kerámia kalcium- és a vastartalma is befolyásolja.

Fontos megjegyezni, hogy a jelenleg használt, elektronikus kemencékben történő, általában oxidatív kiégetések egészen más körülményeket teremtenek, mint például az őskori fazekasok alapvetően és általában reduktív, fatüzelésű kiégetési körülményei.¹⁹ Továbbá fontos tudnunk, hogy egy kemencetérén belül a hőmérséklet akár 150°C különbséget is elérhetett egy kiégetés során.²⁰

A kiégetés hőmérsékleti viszonyaira petrográfiai módszerekkel csak nagy bizonytalansággal következtethetünk a keresztezett nikolok között megfigyelhető mátrix izotróp/anizotróp (más néven optikailag inaktív/aktív) jellegéből, ami összefüggésben van az üvegesedés folyamatával, illetve a kialakult üveg mennyiségével. Csak nagyon nagy vonalakban és tájékoztató jelleggel írjuk, hogy optikailag inaktív (izotróp) kerámiák általában 800-850°C feletti, optikailag aktív (anizotróp) kerámiák 800-850°C alatti kiégetési hőmérsékletre utalnak, de ezek a hőmérsékleti értékek a kerámia összetételétől és a hűtőtartás idejétől függően akár 100°C-kal is eltérhetnek mindkét irányban. Reduktív körülmények között kiégetett kerámiák esetén, amelyek egy nikollal feketék vagy csaknem fekete színűek, a mátrix izotropitását nem tudjuk megfigyelni, és így ezeket izotrópnak leírni sem szabad.

A kiégetés során egyes ásványok színe és állaga is megváltozhat, amit petrográfiai vizsgálatokkal is észlelhetünk. Így például a zöldamfibol (hornblende) 750°C körül barna színű lesz, a szerpentin és a glaukonit törmelékek színe már akár 600°C alatt is barna színűvé alakul. A biotit gyakran kifakul, illetve oxidatív körülmények között pleokroizmusát elvesztve vörös-barnászvörös színűvé válik, és hasadásai mentén elkezd szétválni. A muszkovit-sericit 900-1000°C körül a magas rendű interferenciaszínét elveszti, színe pedig oxidáció hatására barna lesz. A földpátok szétesése, megolvadása 1100°C felett történik.²¹

A kerámiákban előforduló karbonátokról (kalcitról, és aragonitról, vagyis CaCO₃-ról), azok kiégetés során történő átalakulásáról, viselkedéséről nagyon sok tanulmány született, ez az egyik leginkább kutatott téma kerámiák archeometriai vizsgálata során, amelyet műszeres vizsgálatokkal végeznek.²² A folyamat sokrétűsége, bonyolultsága miatt azonban számos megoldatlan kérdés van még ezzel kapcsolatban. Jelen írásban elsősorban csak a petrográfiai mikroszkópban megfigyelhető, elsődleges és másodlagos kalcit felismerhetőségével, elkülönítésével foglalkozunk. A kalcit a kiégetés során 650-750°C körül kezd elbomlani a szemcsemérettől és a környezet

¹⁹ RICE 1987.

²⁰ PICON 2002.

²¹ QUINN 2013.

²² Például CULTRONE et al. 2001.

összetételétől függően, majd legkésőbb 930°C-on teljesen elbomlik. A CaCO_3 -ból a CO_2 eltávozásával CaO képződik, ami általában nagyon finomszemcsés anyagként marad meg az eredeti kalcit, mészkő vagy karbonát anyagú ősmaradvány/váztöredék helyén. A CaO már a levegő nedvességtartalmát is fel tudja venni és ezáltal Ca -hidroxiddá $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ alakul, ami térfogat növekedéssel jár együtt. Amennyiben kellően nagyméretűek voltak az eredeti karbonátanyagú szemcsék, a térfogat növekedés miatt a kerámia felszíne kipattogzik. Fontos megemlíteni, hogy 850-900-950°C feletti hőmérsékleten a Ca az agyagásványokból felszabadult ionokkal reakcióba lép, és különböző Ca -szilikátokat alkot, amelyek szilárdan beépülnek a kerámia anyagába, vagyis a kerámia nem károsodik.²³ A nagyon finomszemcsés és egyenletes eloszlásban előforduló kalcit esetében a fenti károsodás nem lép fel. Az ilyen finom eloszlásban előforduló karbonát felbomlásakor és eltávozása során mikroporozus szerkezetet hoz létre, ami jelentős mértékben erősíti a kerámia szilárdságát.

Használat és eltemetődés

A kerámia használata, de még inkább eltemetődése után eltelt néhány száz vagy ezer évben végbement utólagos átalakulások jól megfigyelhetők polarizációs mikroszkópban. Ugyanakkor a használat során beleivódott ételmaradékok vagy más szerves anyagok vizsgálatára a petrográfiai mikroszkópia nem alkalmas, ezeket leggyakrabban gáz-kromatográfias tömegspektrográfiával vizsgálják.

A kerámia falára a környezetben szivárgó oldatokból gyakran agyagos vagy karbonátos bevonat rakódik le, emellett a környezetben előforduló üledékektől függően bármi más, például lösz, terra rossa, tengeri homok vagy iszap, sőt vakolat vagy malter maradványok is ráköthetnek. Ezt mikroszkópban össze lehet keverni a kerámiát bevonó réteggel, például a slippel, de utólagos lerakódás általában nem az egész kerámia felületén és nem egyenletes vastagságban figyelhető meg. Ezzel együtt a kerámia felületére, vagy az ahhoz közel található pórusokba behatolhatnak az oldatok, és ott kicsapódva anyaguk kitölti a pórusokat. A betemetődött kerámia környezetében áramló talajvíz, főleg ha savas kémhatású, kioldhatja a kerámiákban elsődlegesen előforduló, könnyebben oldódó ásványokat (például kalcitot, aragonitot, gipszet), amelyek helyén így jellegzetes alakú pórusok alakulnak ki. A feloldódott anyag a kerámia más részén újra kicsapódhat. Továbbá a meszes oldatokkal átjárt talajból a kalcit újra beépülhet a kerámiába, ami a már meglévő pórusokat újra kitöltheti. Ez akár finomszemcsés kalcittal történő kitöltés is lehet, de gyakoribb, hogy az üreg falára közel merőlegesen vagy azzal szöget bezáróan durvább szemcsés, drúzás kalcit kristályok válnak ki (7. ábra). A másik megjelenési mód, amikor az erősen porózus, szivacsos szerkezetű kerámiát utólagosan nagyon finomszemcsés kalcit itatja át.

A röntgen-pordiffrakciós vizsgálatok pontos értelmezéséhez, elsősorban a kerámiák kiégetési viszonyainak, hőmérsékletének meghatározásához nagyon lényeges, hogy a kerámiában előforduló másodlagos karbonátokat biztosan felismerjük és elkülönítsük az elsődleges karbonátoktól, amit a fentiek alapján a kerámiából készült vékonycsiszolatok elemzésével tudunk legegyszerűbben és szinte kizárólagosan megtenni.

Összefoglalás

Munkánkban a kerámiák petrográfiai vizsgálata során azonosítható nyersanyagokkal, azok felhasználásával, valamint a kerámiák készítésével kapcsolatos, petrográfiai (polarizációs) mikroszkópban felismerhető jelenségekkel és azok értelmezésével foglalkoztunk, az ezekről szóló ismereteinket foglaltuk össze a teljesség igénye nélkül. Munkánk elsősorban a több évtizedes kerámia petrográfiai tapasztalatainkra alapult, de figyelembe vettük a kerámiák petrográfiai vizsgálatával foglalkozó alapvető publikációkat is. A petrográfiai elemzések önállóan is sok értékes információt adhatnak a kerámiák archeometriai vizsgálata során, ugyanakkor segítik a kerámiákon alkalmazható további vizsgálati módszerek eredményeinek értelmezését.

23 CULTRONE et al 2001.

BIBLIOGRÁFIA

- CAPELLI, C., CABELLA, R., DEL LUCCHESI, A., PIAZZA, M. & STARNINI, E. (2008): Archaeometric analyses of Early and Middle Neolithic pottery from the Pian del Ciliegio rock shelter (Finale Ligure, NW Italy). *ArcheoSciences* 32: 115–124.
- CAPELLI, C., STARNINI, E., CABELLA, R., DEL LUCCHESI, A. & PIAZZA, M. (2011): La prima circolazione di ceramica nel Mediterraneo: una sintesi dei nuovi dati archeometrici sulla Ceramica Impressa della Liguria. In: GUALTIERI, S., STARNINI, E., CABELLA, R., CAPELLI, C. & FABBRI, B. (eds.): *La ceramica e il mare, Atti della XII Giornata di Archeometria della Ceramica, Genova, 10–11 aprile 2008*. ARACNE editrice, Roma, 15–28.
- CULTRONE, G., RODRIGUEZ-NAVARRO, C., SEBASTIAN, E., CAZALLA, O. & DE LA TORRE, M. J. (2001): Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy* 13: 621–634.
- GARZANTI, E. & VEZZOLI, G. (2003): A classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade. *Journal of Sedimentary Research* 73/5: 830–837.
- GEDEONNÉ RAJETZKY, M. (1973): Fosszilis folyóvízi üledékek mikromineralógiai spektrumának értelmezése recens hordalékvizsgálatok alapján. *Földtani Közlöny* 103: 285–293.
- HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., SZAKMÁNY, GY., KREITER, A., SZÖLLŐSI, SZ. & GÁTI, CS. (2009): A petrográfiai vizsgálatok jelentősége a kelta kerámiák grafitos soványítóanyagának provenienciájának meghatározásában. *Archeometriai Műhely* IV/4: 1–14.
- JEFFRA, C. (2008): Hair and potters: an experimental look at temper. *World Archaeology* 40/1: 151–161.
- KREITER, A. (2006): Kerámia technológiai vizsgálatok a Halomsíros-kultúra Esztergályhorvátalsóbárándpusztai településéről: hagyomány és identitás. *Zalai Múzeum* 15: 149–170.
- KREITER, A. (2007a): Technological choices and material meanings in Early and Middle Bronze Age Hungary: understanding the active role of material culture through ceramic analysis. *British Archaeological Reports International Series 1604*, Oxford, 251 pp.
- KREITER, A. (2007b): Kerámia technológiai tradíció és az idő koncepciója a bronzkorban. *Ősrégészeti Levelek* 8–9: 146–166.
- KREITER, A. (2010): Kerámiavizsgálat. In: PETŐ, Á. & KREITER, A. (szerk.): *Mikroszkóppal a régészet szolgálatában. A Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat Alkalmazott Természettudományos Laboratóriumában végzett természet- és környezettudományos vizsgálatok bemutatása. KÖSZ Tudományos-népszerűsítő füzetek* 2: 66–77.
- LIVINGSTONE SMITH, A. (2001): Bonfire II: The return of pottery firing temperatures. *Journal of Archaeological Sciences* 28: 991–1003.
- MANGE, M. & BEZECZKY, T. (2006): Petrography and provenance of Laecanius amphorae from Istria, northern Adriatic region, Croatia. *Geoarchaeology* 21: 427–458.
- NODARI, L., MARITAN, L., MAZZOLI, C. & RUSSO, U. (2004): Sandwich structures in the Etruscan-Padan type pottery. *Applied Clay Science* 27: 119–128.
- ÖBBÁGY, G., JÓZSA, S., SZAKMÁNY, GY., BENDŐ, ZS. & BEZECZKY, T. (2014): Isztriai amforák nyersanyagainak nehézasvány-vizsgálatai eredményei. *Gesta* 13: 39–58.
- PETŐ, Á. & VRYDAGHS, L. (2016): Phytolith analysis of ceramic thin-sections. First taphonomical insights from experiments with vegetal tempering. In: SIBBESSON, E., JERVIS, B. & COXON, S. (eds.): *Insight from innovation: New light on archaeological ceramics*. Southampton Monographs in Archaeology New Series 6: 57–73.
- PICON, M. (2002): Les modes de cuisson, les pâtes et les vernis de la Graufesenque: une mise au point. In: GENIN, M. & VERNHET, A. (eds.): *Céramiques de la Graufesenque et autres productions d'époque romaine. Nouvelles recherches. Hommages à Bettina Hoffmann*. *Archéologie et Histoire Romaine* 7: 139–163.
- POLGÁRI, M. (1980): A Maros és a Körösök hordalékainak összehasonlító üledékes kőzettani és ásványtani vizsgálata. Közvetlen diplomamunka, ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 125 pp.

- QUINN, P. S. (2013): Ceramic petrography. Archaeopress, Oxford, 254 pp.
- RICE, P. M. (1987): Pottery analysis: a sourcebook. The University of Chicago Press, Chicago-London, 559 pp.
- RYE, O. (1981): Pottery technology: principles and reconstruction. Taraxacum, Washington, 150 pp.
- SPATARO, M. (2011): A comparison of chemical and petrographic analyses of Neolithic pottery from South-eastern Europe. *Journal of Archaeological Science* 38: 255–269.
- SZAKMÁNY, GY. (1998): Insight into the manufacturing technology and the workshops: evidence from petrographic study of ancient ceramics. In: KÖLTŐ, L. & BARTOSIEWICZ, L. (eds.): *Archaeometrical research in Hungary II. Magyar Nemzeti Múzeum és Somogy Megyei Múzeumok közös kiadványa, Budapest-Kaposvár-Veszprém*, 77–83.
- SZAKMÁNY, GY. (2001): Felsővadász-Várdomb neolitikus és bronzkori kerámiatípusainak petrográfiai vizsgálata. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve* 40: 107–125.
- SZAKMÁNY, GY. (2008): Kerámia nyersanyagok, kerámiák a mai Magyarország területén a neolitikumtól a XVIII. század végéig. In: SZAKÁLL, S. (szerk.): *Az ásványok és az ember a mai Magyarország területén a XVIII. század végéig. Fókuszban az ásványi anyag. A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat* 74: 49–90.
- SZAKMÁNY, GY. (2013): Kerámiák archeometriai vizsgálata – kőzettani és geokémiai módszerek. In: RÉVÉSZ, L. & WOLF, M. (szerk.): *A honfoglalás kor kutatásának legújabb eredményei. Tanulmányok Kovács László 70. születésnapjára. Szegedi Tudományegyetem Régészeti Tanszék, Szeged*, 735–754.
- SZILÁGYI, V. (2011): Kerámia anyagvizsgálata. In: MÜLLER, R. (főszerk.): *Régészeti kézikönyv. Magyar Régész Szövetség, Budapest*, 493–504.
- SZÖLLŐSI, SZ., HAVANCSÁK, I., BAJNÓCZI, B., KREITER, A., SZAKMÁNY, GY. & TÓTH, M. (2009): Archeometriai vizsgálatok szerepe a kelta grafitos kerámiák régészeti interpretációjában. In: ILON, G. (szerk.): *Őskoros Kutatók VI. Összeövetelének Konferenciakötete, Nyersanyagok és Kereskedelem, Kőszeg, 2009. március 19-21. ΜΩΜΟΣ* 6: 379–394.
- VANICSEK, K. (2011): A Tiszántúl felszíni-felszínközeli agyagos-aleuritos képződményeinek elterjedése, ásványtani, kőzettani, geokémiai és szöveti-szerkezeti jellegzetességei. Közöletlen szakdolgozat, ELTE Kőzattan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 36 pp.
- WHITBREAD, I. K. (1989): A proposal for the systematic description of thin sections towards the study of ancient ceramic technology. In: MANIATIS, Y. (ed.): *Archaeometry: Proceedings of the 25th International Symposium*, 127–138.