



Kerámiák archeometriai vizsgálata

Szakmány György

Archeometria - 2022. április 4. és 11.

Bevezetés

Kerámia: *mesterséges metamorf* (metaüledékes) *kőzet*

- magas hőmérsékleten és kis nyomáson készül
- nagyon rövid idő alatt (néhány óra)

Szó jelentése: keramos (görög) – agyag → agyagból készített tárgy

Típusai:

- Terrakotta (terra cotta) – mázatlan; <1000°C
- Agyagedény (earthenware) – mázatlan, mázas; 900-1200°C
- Kőagyag – kőedény (stoneware) – mázatlan, mázas; 1200-1350°C (üveges fázis)
- Porcelán (porcelain) – kemény, fehér, áttetsző; 1300-1450°C

Legkorábbi: Dolní
Věstonice – 28000
év



Legkorábbi használati
edények: Távol-Kelet, pl.:
Jomon kultúra ~14000 év



Legkorábbi Kárpát-medencei:
Körös-, illetve Starčevo-kultúra,
8000 év



Agyag

Agyag tulajdonságai, képződése:

- uralkodóan $< 2 \mu\text{m}$ szemcse nagyság
- elsősorban agyagásványokból áll
 - szilikátok (földpátok, földpátpótlók) és kőzetüveg lebontásával és szerkezetének átalakulásával
 - mállási vagy hidrotermális folyamatok

Osztályozás:

- Lerakódási környezet
- Szemcseméret
- Kémiai összetétel - szerkezet
- Ásványos összetétel

Agyag - lerakódási környezet

- **Autochton** – elsődleges, mállási folyamatok során az anyakőzettel közel azonos helyzetben
 - Gyakran tartalmazza az anyakőzet összetevőit (földpát, csillám, kvarc)
- **Allochton** – áthalmozódással
 - Homogénebb
 - Szerves anyag tartalom (max. 10%)

Agyag - szemcseméret

- Uralkodóan $< 2 \mu\text{m}$ szemcsenagyság \rightarrow kolloid tulajdonságok
- Gyakran tartalmaz aleurit, homok vagy durvatörmelékes elegyrészeket is
- A plasztikus viselkedéshez minimum 15%-nyi $2 \mu\text{m}$ -nál finomabb szemcse szükséges
- Finomszemcsés plasztikus agyagok képződése leginkább tavakban és folyóvízi környezetben (ártér), delta és tölcsértorkolatokban
- Talajok: gyakori az aleuritos agyag vagy az agyagos aleurit (vályog)
- Kerámia osztályozása szemcseméret alapján
 - *finomkerámia* – max. 0,1-0,2 mm szemcsék, pórusok fazekasáru, mázas kerámiák, keménycserép, kőedény
 - *durvakerámia* – szemcsék, pórusok mérete $> 0,1-0,2$ mm építési kerámiák, téglák, kőagyag cső

Agyag - kémiai összetétel

- **Uralkodó összetevők**

- Szilícium (SiO_2)
- Alumínium (Al_2O_3)
- H_2O

→ víztartalmú alumínium szilikátok

- eltérő Si, Al és H_2O tartalom → különböző agyag típusok

- $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ változása általában 1:1 – 1:4

- H_2O ~ 13-35%

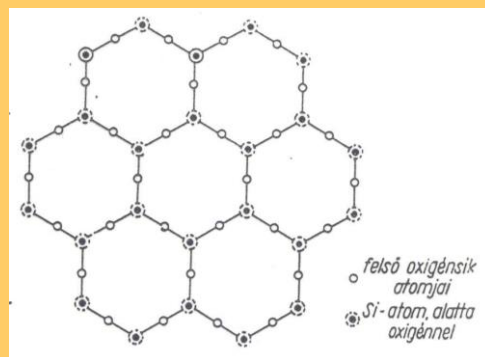
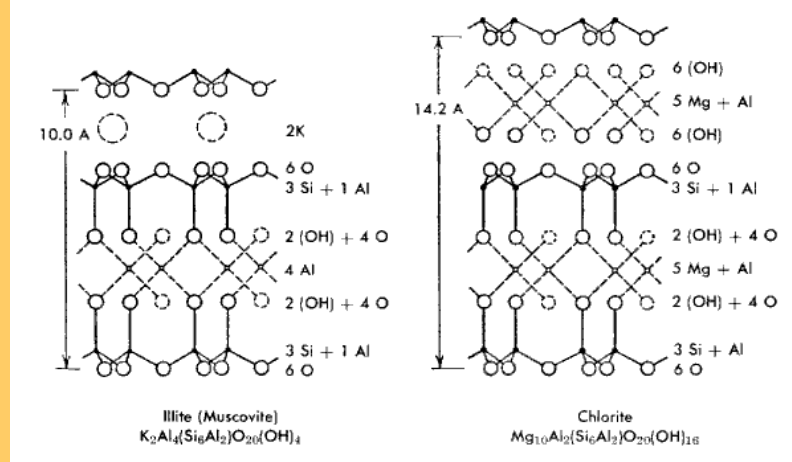
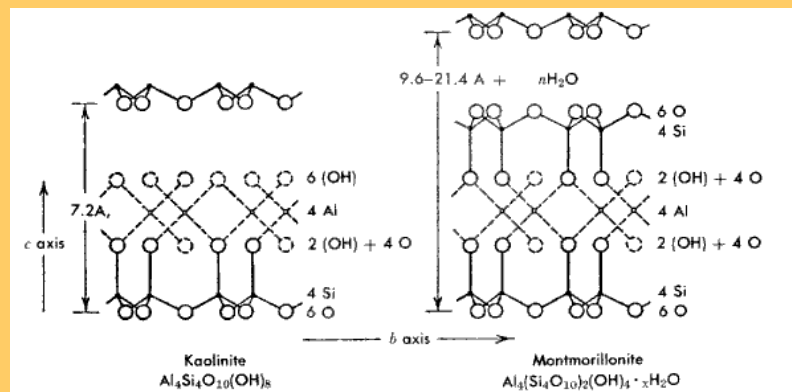
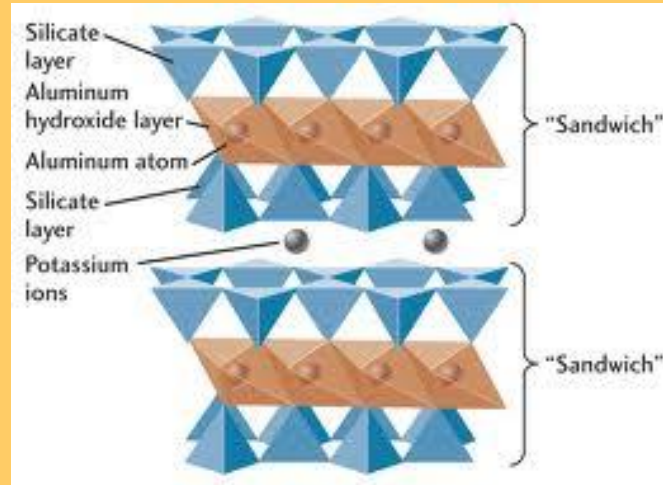
- **Egyéb összetevők**

- Egyéb oxidok (leggyakoribb Fe, Mg, Na, K stb.) → kémiai összetételt befolyásolja

Agyag - szerkezet

- Rétegszilikátok

- Tetraéderes (T) és oktaéderes (O) síkok kapcsolódásából
- SiO₄ tetraéderek 3 közös oxigénnel kapcsolódnak egymáshoz, a szabad „oxigének” egy irányba néznek; hatszöges gyűrűk
- Al(OH)₆ „hidrargillit” vagy Mg(OH)₆ „brucit” oktaéderek
- Alaptípusok:
 - TO – kaolinit csoport
 - TOT - illit, montmorillonit csoport
 - TOTO - pl. normál kloritok



Agyag – ásványos összetétel

Agyagásványok alapján:

- Kaolinites; $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 = 1:2$
- Illites
- Montmorillonitos (szmektités); $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 = 1:4$

Agyagásványok a kerámia tulajdonságait alapvetően megszabják

Agyag – összetételi típusok kerámia gyártáshoz

- **kövér ↔ sovány**
 - megfelelő plaszticitás a formázáshoz
 - szárítás során a zsugorodáskor ne törjön össze
 - Közvetlen felhasználás vagy soványítás
- **meszes ($\text{CaO} > 10\%$) ↔ nem meszes ($\text{CaO} < 5\%$)**
 - mésztartalom: szilárdít
 - mésztartalom (kalcit) gyakran problémás: $\text{CaO} \rightarrow$ oltott mész \rightarrow térfogatnövekedés
 - kipattogzás
- **tűzálló (hőálló) ↔ nem tűzálló (olvadáspont $>$ illetve $<$ 1550°C)**
 - hőálló: illites és kaolinites

A kerámiák összetevői - áttekintés

kerámia – mesterséges metamorf (metaüledékes) kőzet

Plasztikus agyag – mátrix

- részben relik, részben újonnan képződött

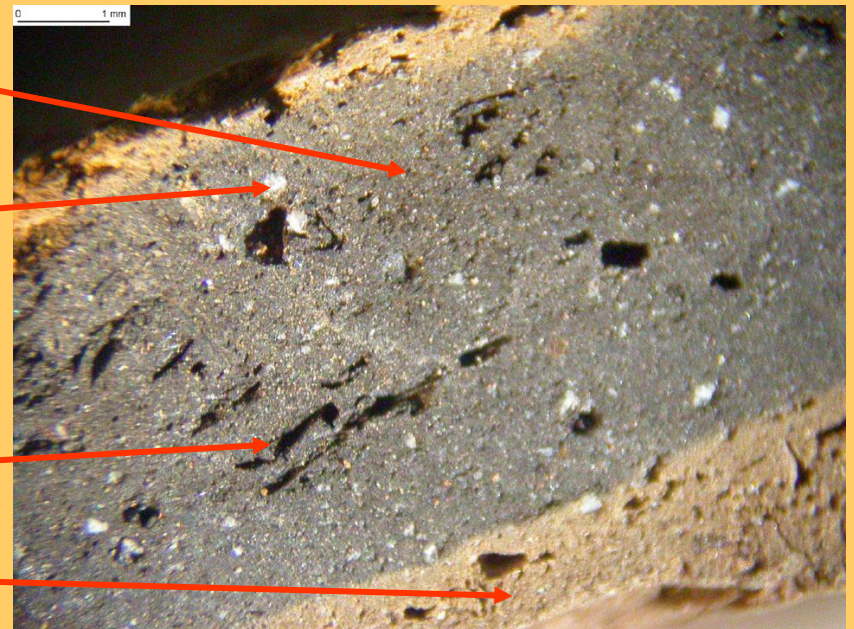
Nem plasztikus elegyrészek – törmelékszemcsék, soványítóanyag

- > 15 μ m
- relik
- ásvány-kőzettörmelék, homok, szerves anyag (növénymaradványok, csont stb.)

Pórus

Szegély (máz)

- égetés során kialakul („szendvics” szerkezet)
- mesterséges (szlip, engób, festék, máz)



Vörs – neolitikum, Starčevo-kultúra

Másodlagos fázisok – használat illetve betemetődés során képződnek

Nem plasztikus elegyrészek - áttekintés

Szerepe: szerkezet fellazítása → egyenletes száradás és kiégetés → repedezés, törés valószínűségének csökkentése

- természetes eredetű törmelékszemcsék
- soványítóanyag – mesterségesen adagolt
 - homok (- apró kavics)
 - összetört közettörmelék
 - tört kerámia (grog)
 - grafit
 - szervesanyag (pl. pelyva, lószőr stb.)
 - csontörlemény
 - kagylóhéj



Bronzkor, Biatorbágy
fotó: Kreiter Attila

A régész kérdései

- Mi volt a nyersanyag (plasztikus és nem plasztikus), és az honnan származott (proveniencia)?
- Hogyan készült a kerámia? Milyenek voltak a kiégetés körülményei?
- Milyen fizikai tulajdonságai voltak? (pl. keménység, permeabilitás, hőállóság, hővezető képesség)
- Mit tartalmazott?

Kerámia készítés, használat, betemetődés

- nyersanyag bányászás
- nyersanyag előkészítés: iszapolás, soványítás, stb.
- formázás
- szárítás
- égetés, hőntartás
- díszítés

- *használat*
- *törés*
- *betemetődés*



Egy kerámialelet története a nyersanyag bányászatától az elemzésig (Maggetti, 1982)

Használati cél

Használat → célnak megfelelő tulajdonságok → fizikai tulajdonságok → nyersanyag kiválasztása

Víztárolók

- Hatékony hűtőhatás
 - Jó vízáteresztő képesség (magas permeabilitás)
 - Durva soványítóanyag/”nyitott felszín”

Főzőedény


- Jó hővezető képesség
 - vízzáró (kis permeabilitás)
 - gyantabevonat/vékonyfalú
- Gyors hőmérséklet változások elviselése
 - kis hőtágulás
 - hőállóság – durva soványítóanyag

Nyersanyag és edényformázás

Ld. külön előadásban

Kiégetés 1. - Tényezők

Kiégetés időtartama – 3 periódus

- T emelkedés
 - hőntartás (maximális T-en)
 - hűlés
-
- **Kiégetés hőmérséklete**
 - 600-800 °C – 1200 °C (tűzálló agyag) - 1400 °C (porcelán)
 - Egy kemencén belül akár 150°C különbség is lehet
 - **Hőntartás** – hőmérséklet és idő
 - Pl: 900°C, 1óra ~ 950°C, néhány perc
 - **Az atmoszféra típusa** a kiégetés, hőntartás és hűlés során
 - **Oxidatív** ↔ **reduktív**
 - Szín: **vörös-bézs** ↔ **fekete/szürke**
 - változó: szendvicsszerkezet 
 - Befolyásolja: keménységet, zsugorodást, porozitást
 - A reakciók oxidatív körülmények között kisebb T-n végbemennek, mint redukzív körülmények között

Kiégetés 2. - szín

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

Picon 1973, Nodari et al. 2004

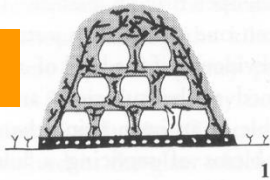
A színt további tényezők, összetevők befolyásolhatják: pl. nagyobb Ca-tartalom → világosabb szín

Kiégetés 3. – Égetés- és kemencetípusok

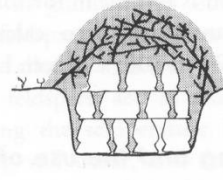
1. Szabad téri égetés

2. Kemence égetés

máglyaégetés

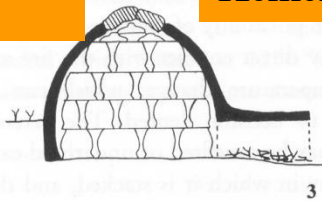


gödörégetés

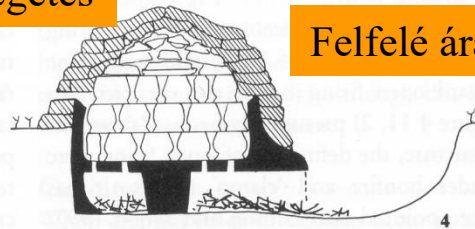


Szabályozatlan
áramlás

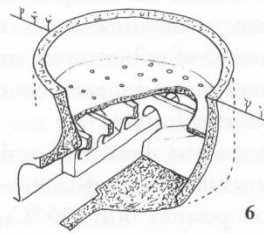
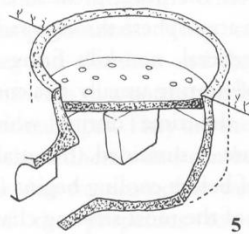
Kemence égetés



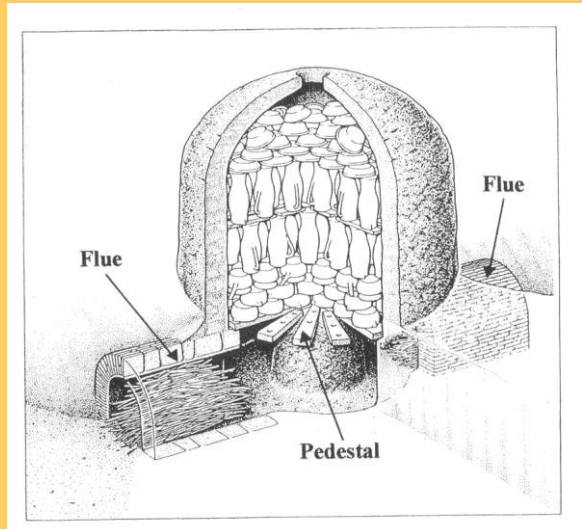
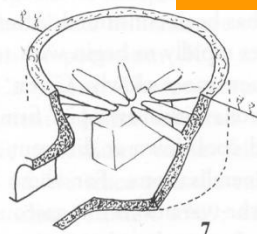
Felfelé áramló levegő



Középkori kemence



Római-kori kemencék



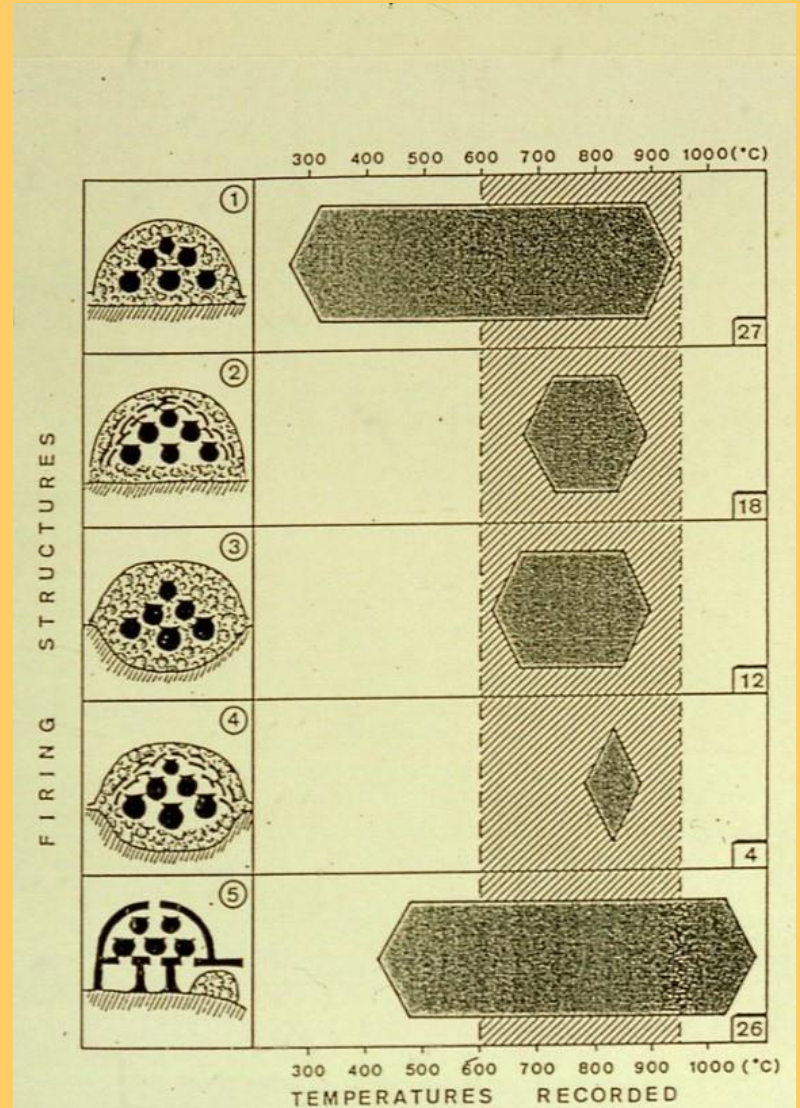
Kiégetés 4.

Szabadtéri égetés (máglyaégetés: 1, 2,
gödörégetés: 3, 4; a 2, 4, cserépborítással)

- Gyors felfűtés (20-30 perc)
- Rövid hőntartás, kiégetési idő:
 - Máglyaégetés: 30-60 perc
 - Gödörégetés: 2-3 óra
- Alacsony maximális hőmérséklet (600-800°C)
- Oxidáló/redukáló atmoszféra; kevésbé szabályozható
- Durvaszemcsés kerámiák

Kemence égetés (5) – állandó minőség

- Lassú felfűtési sebesség (néhány óra)
- Hosszabb hőntartás, kiégetési idő: > 7 óra
- Magas maximális hőmérséklet (700-1000°C)
- Szabályozható atmoszféra
- Finomszemcsés kerámia



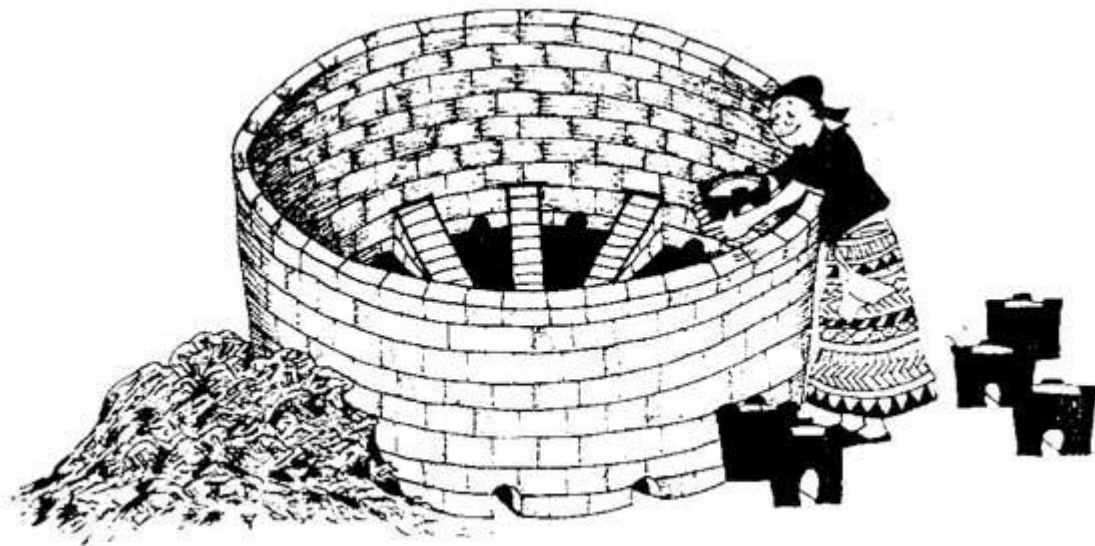
Máglya égetés



Gödrös égetés



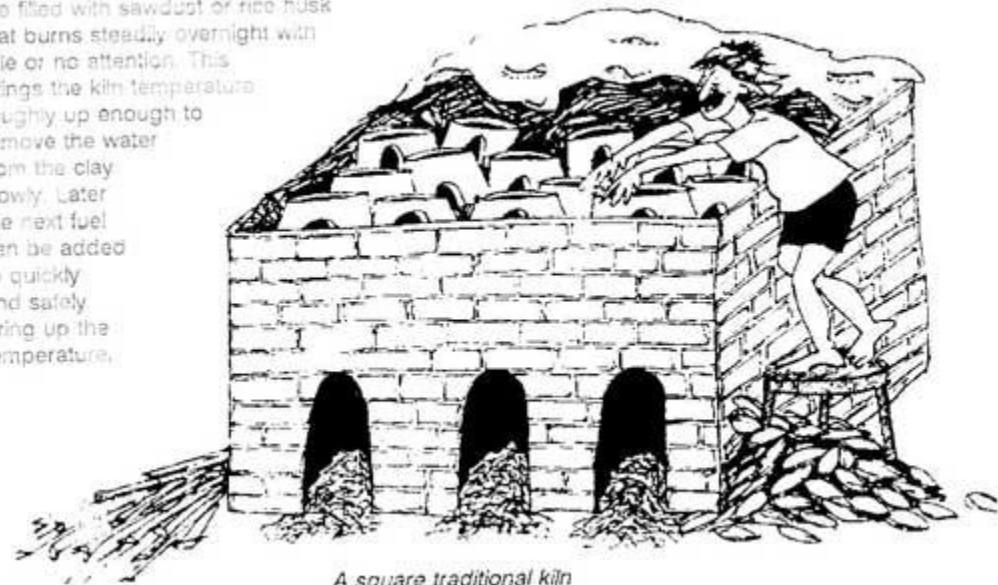
Kemencés égetés



The round enclosed fire kiln



is filled with sawdust or rice husk that burns steadily overnight with little or no attention. This brings the kiln temperature high enough to move the water from the clay slowly. Later the next fuel can be added and quickly bring up the temperature.



A square traditional kiln

Kőagyag (Stoneware)

Kőagyag

- zöldes-szürkés árnyalatú – anyaga: szeladonit
- kemény, kis porozitású
- kiégetési T: magas (1200-1350°C)
- első megjelenés: Kína, Shang dinasztia, 2. évezred BC



Porcelán

Porcelán

- fehér, esetenként áttetsző
- nagyon kemény, igen kis porozitású
- kiégetési T: igen magas (1300-1450°C)
- első megjelenés:
 - É-Kína: 6-7. század AD
 - nyersanyag: kaolinit
 - D-Kína: 10. század AD
 - nyersanyag: „porcelánkő”: kvarc+muszkovit+albit±kaolinit
 - Európa:
 - 16. század, Itália (Medici védnökség) – gyenge minőség
 - első jó minőségűek
 - 17. század, St Cloud (Párizs mellett): „puha porcelán”
 - nyersanyag: kvarc+alkália+agyag ±mészke
 - 1708., Meissen: „kemény porcelán”
 - nyersanyag: kaolinit+kalcinált gipsz (később: +földpát)
- Modern porcelán nyersanyaga: kvarc+kaolinit+földpát (kb 1/3-1/3-1/3 arány)



Kerámiák anyagvizsgálata

Anyagvizsgálati módszerek - áttekintés

Anyagvizsgálati módszer	Vizsgálati célterület	Cél
<p>Petrográfia +elektronmikroszkópia (SEM-EDX)</p>	<p>Nem plasztikus elegyrészek Szövet (+mátrix) Másodlagos fázisok</p>	<p>Nyersanyag azonosítása és származási helye Technológia Használati ill. betemetődési viszonyok</p>
<p>Rtg-pordiffrakció</p>	<p>Mátrix Másodlagos fázisok</p>	<p>Technológia (kiégetés T) Nyersanyag azonosítása Betemetődési viszonyok</p>
<p>Kémiai elemzések (fő- és nyomelemek) (NAA, XRF, ICP-MS, PGAA)</p>	<p>Teljes anyag (mátrix + soványító anyag)</p>	<p>Kerámiák csoportosítása Műhely azonosítása Származási hely</p>
<p>Egyéb (mikromineralógia, katódlumineszcencia stb.)</p>	<p>Vizsgálati módszertől függ</p>	<p>Nyersanyaglelőhely, technológia pontosítása Utóhatások</p>

Anyagvizsgálati módszerek – áttekintés 2.

Vizsgált rész	Analitikai módszerek	Cél
<i>Soványító anyag</i>	Petrográfia (összetétel) (+Elektronmikroszkópia vagy elektron-mikroszonda) (Mikromineralógia)	Nyersanyagazonosítás Származási hely Technológia
<i>Mátrix</i>	Rtg-pordiffrakció Petrográfia (szövet) (Scanning elektronmikroszkóp)	Technológia (kiégetési T) Technológia (készítés körülményei) Származási hely (?)
<i>Soványító anyag + mátrix</i> együtt	Kémiai elemzés (NAA, XRF, ICP-MS, PGAA, stb.)	Csoportosítás Származási hely
<i>Másodlagos fázisok</i>	Petrográfia Rtg-pordiffrakció Elektron-mikroszonda, SEM	Utólagos események (pl. használat, tűzesetek) Betemetődési viszonyok

The image shows a microscopic view of a dark, porous material, likely a rock or mineral specimen. The material is characterized by a dense, interconnected network of dark brown to black fibers or grains, creating a highly textured, porous appearance. Scattered throughout this matrix are numerous small, irregularly shaped white mineral inclusions. Some of these inclusions are larger and more prominent, while others are smaller and more numerous. The overall texture is granular and somewhat fibrous. A yellow horizontal bar is overlaid on the image, containing the word "Petrográfia" in a bold, black, serif font. In the bottom right corner, there is a white scale bar with the text "1000 μm" inside it.

Petrográfia

1000 μm

Petrográfia: polarizációs mikroszkópi vizsgálat

- Alapvető vizsgálati módszer: nem plasztikus elegyrészek, szövet

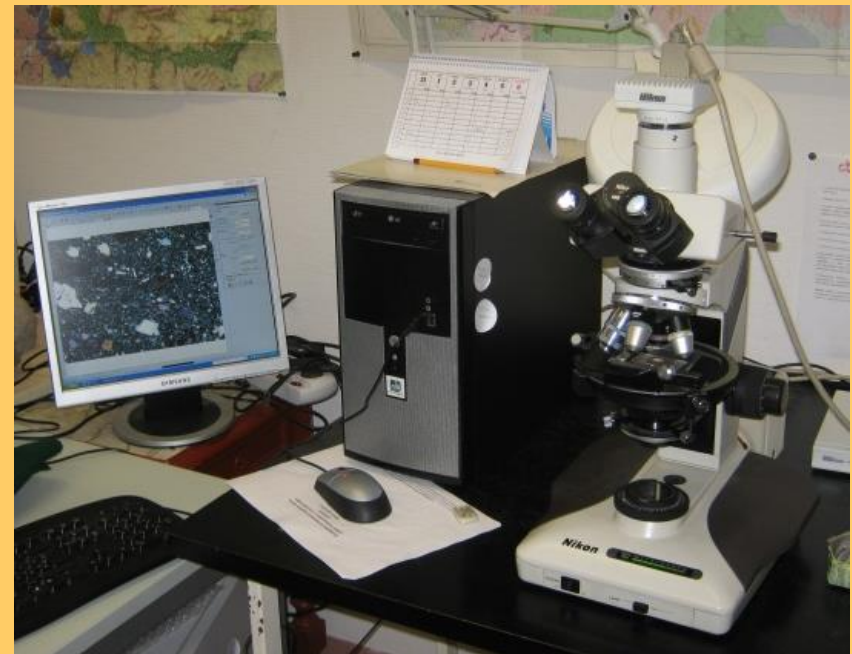
Mintaelőkészítés:

vágás – csiszolás → vékonycsiszolat



Vastagsága: 30 μm → áttetsző

Vizsgálati eszköz:
Polarizációs mikroszkóp



Roncsolásos módszer!

Petrográfia – áttekintés

Nem plasztikus összetevők

- Eredetileg az agyagos üledékben előforduló törmelékszemcsék
- Soványító anyag – szándékosan hozzáadott

→ *nyersanyag származási helye (proveniencia)*

Szöveti vizsgálatok

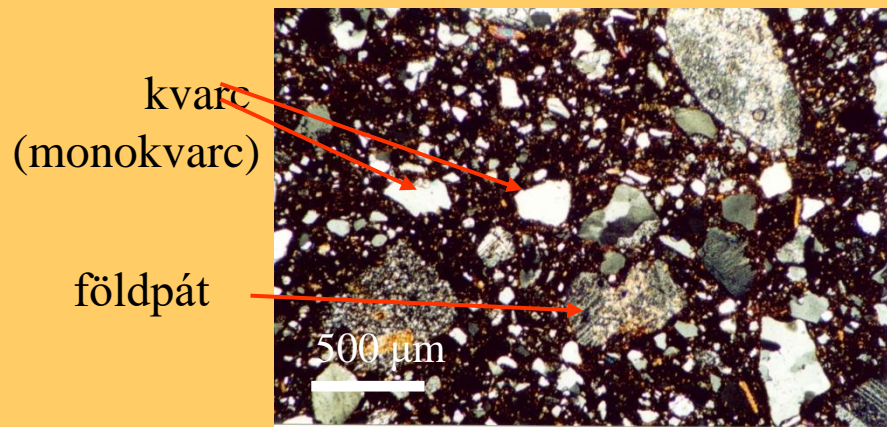
- A nem plasztikus elegyrészek mennyisége, szemcsemérete és eloszlása, osztályozottsága, koptatottsága
- mátrix (szín, optikai aktivitás)

Porozitás

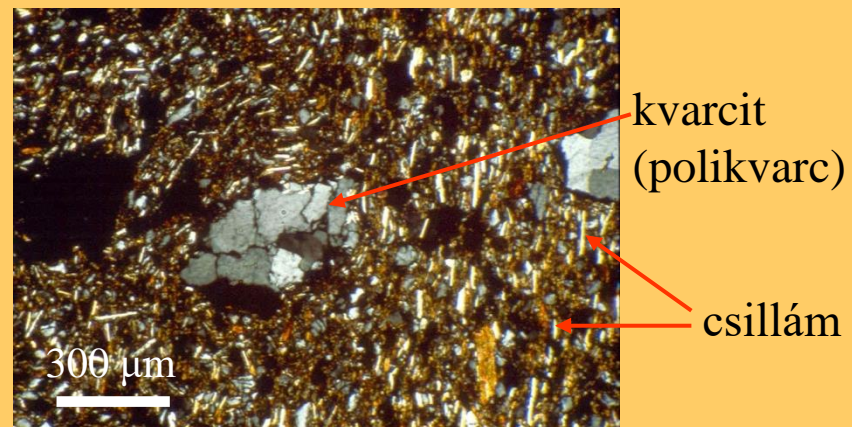
→ *készítési technológia*

Nem plasztikus elegyrészek 1. Ásványtörmelékek

Gyakori elegyrészek:



Szécsény, neolitikum- Zseliz kultúra

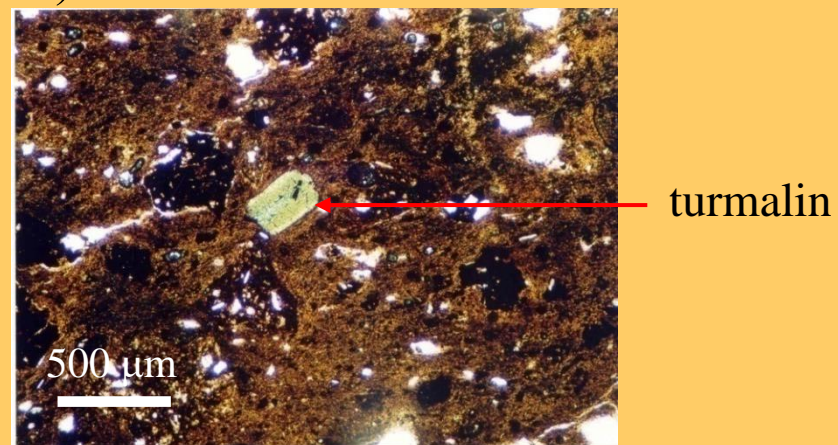


Szőny, Római kor

Ritka elegyrészek (akcesszóriák = nehézásványok):



Szarvas, neolitikum – Körös kultúra



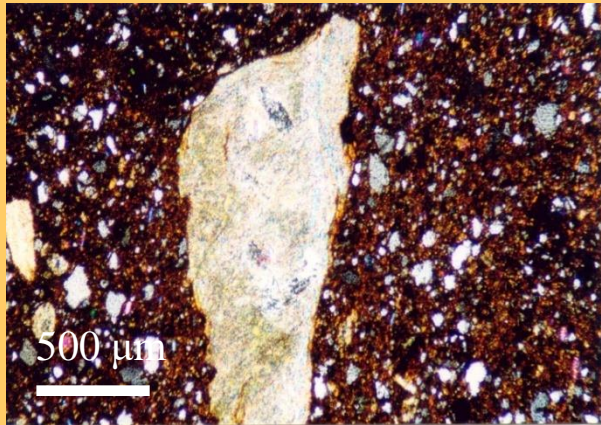
Vörs, neolitikum – Starčevo kultúra

Nem plasztikus elegyrészek 2.

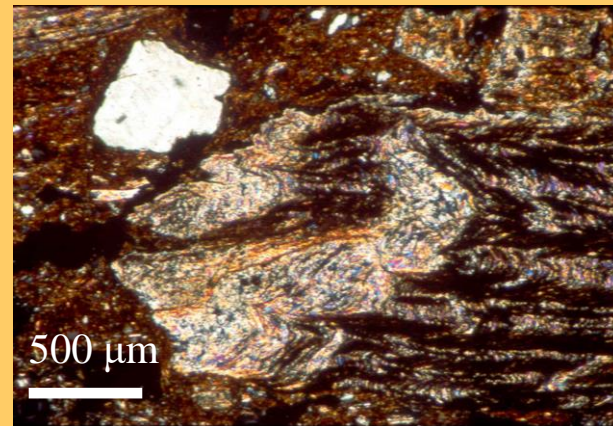
Kőzettörmelékek

Előfordulás: elsősorban durva kerámiákban

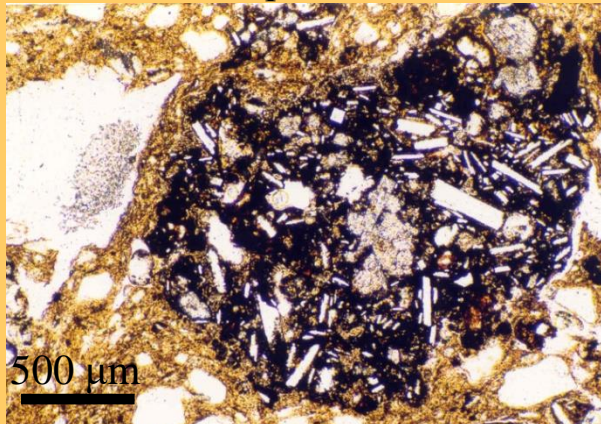
Talkpala - Vaskeresztes, vaskor



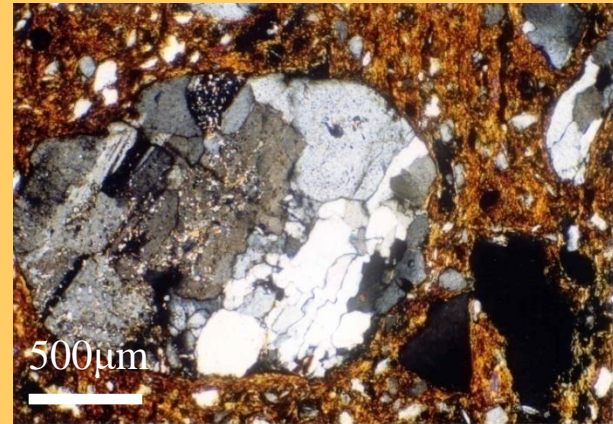
Fillit – Felsővadász, neolitikum, Bükki kultúra



Bazalt - Lovászpataka, vaskor

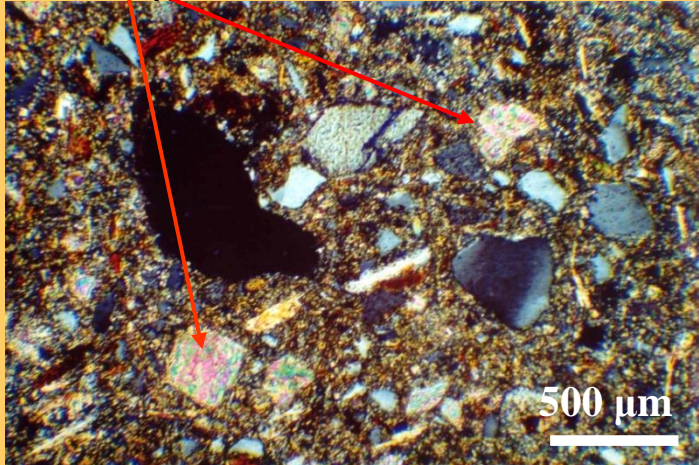


Gneisz – Sé, vaskor



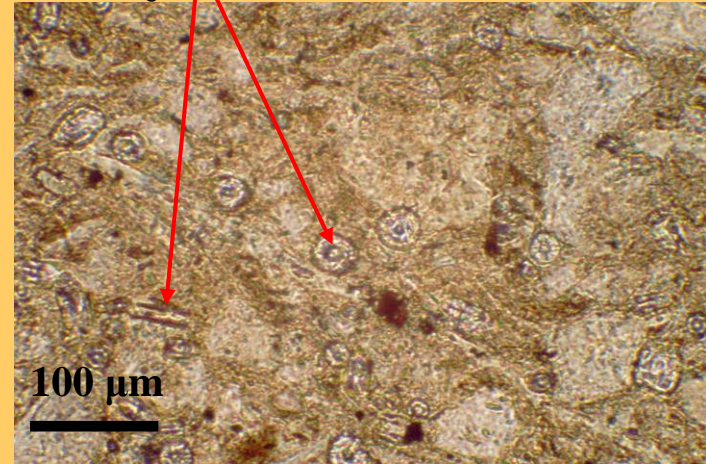
Nem plasztikus elegyrészek 3. Mészkö, kalcit, ősmaradványok

Elsődleges kalcit



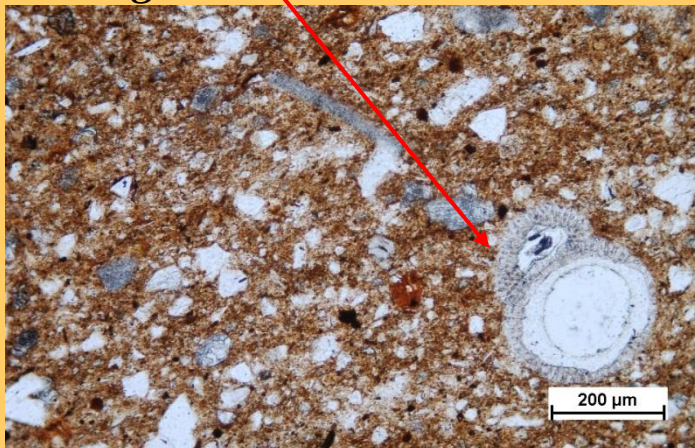
Endrőd, Neolitikum - Körös-kultúra

Kovaszivacstű



Bicske, neolitikum -Dunántúli Vonaldíszes Kerámia

Globigerina



Fażana, Isztria – Római kori amphora

Kovaszivacstű mészkőben

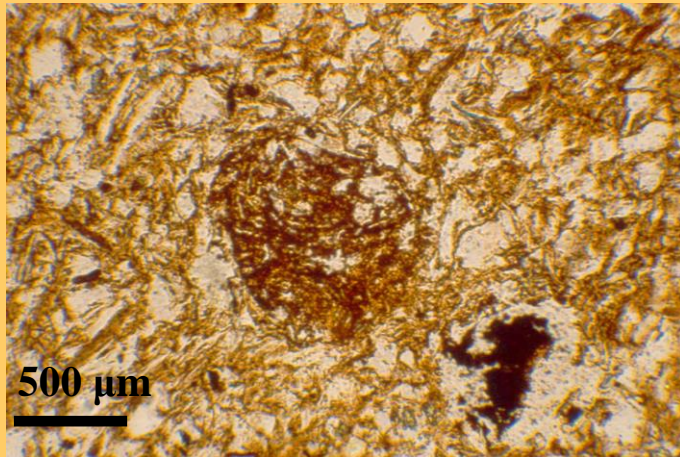


Bicske, neolitikum – Dunántúli Vonaldíszes Kerámia

Nem plasztikus elegyrészek 4.

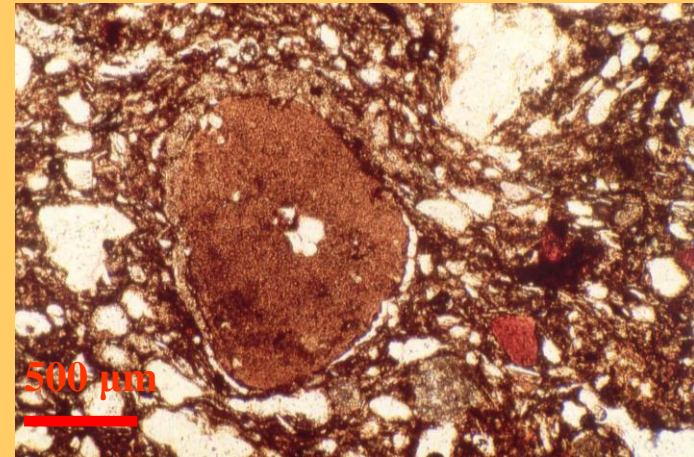
Agyagközetek, tört kerámia – Whitbread (1986)

Agyappellet (agyagos soványítóanyag)



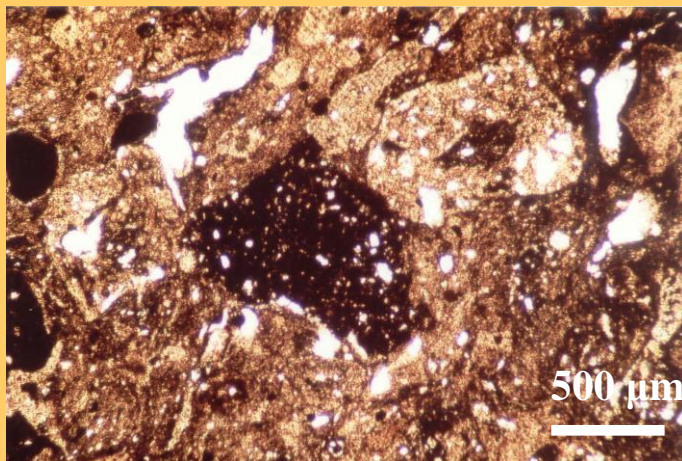
Szóny, Római-kor

Agyagos közettörmelék (ARF)

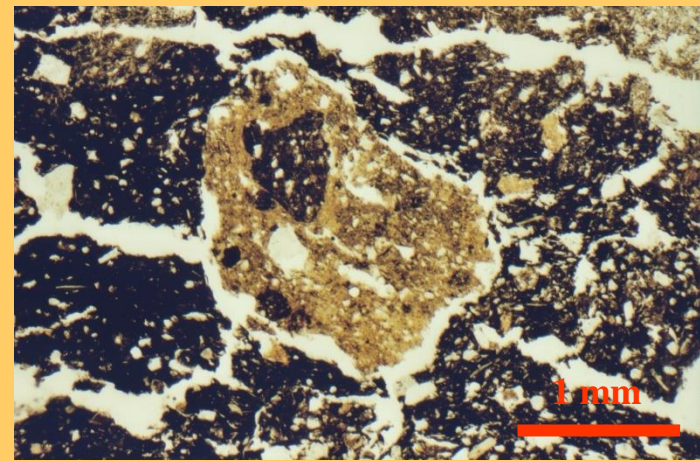


Felsővadász, bronzkor

Kerámia töredékek (grog)



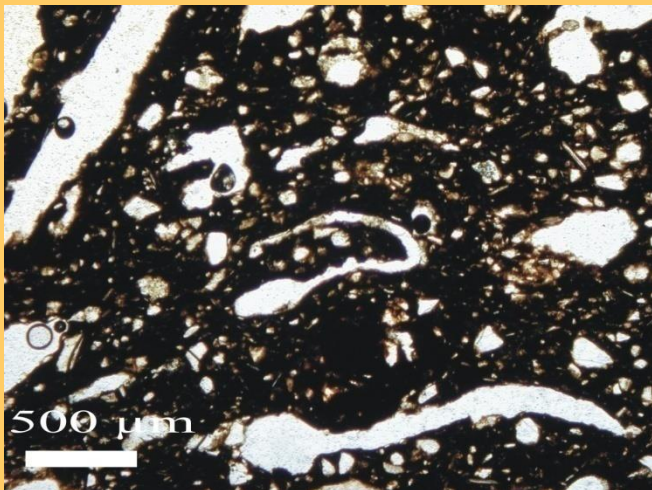
Felsővadász, Neolitikum – Bükki kultúra



Százhalombatta, bronzkor, Nagyrév-kultúra (Kreiter A.)

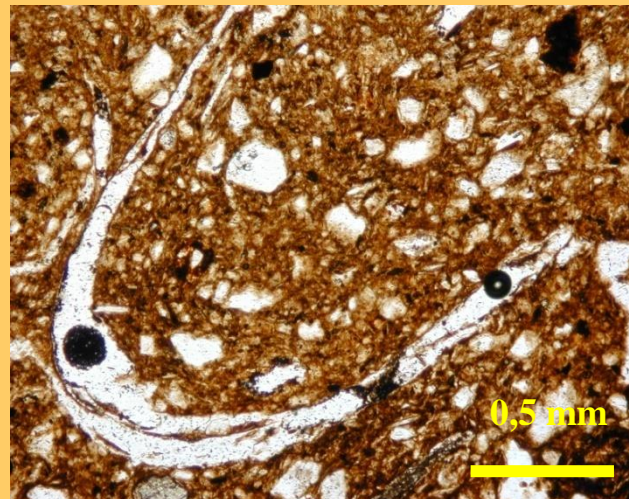
Nem plasztikus elegyrészek 5. Szerves anyag és maradványai

Szerves anyag



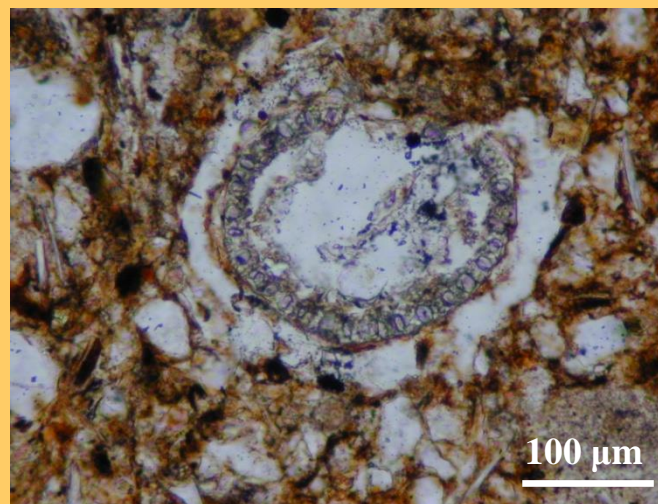
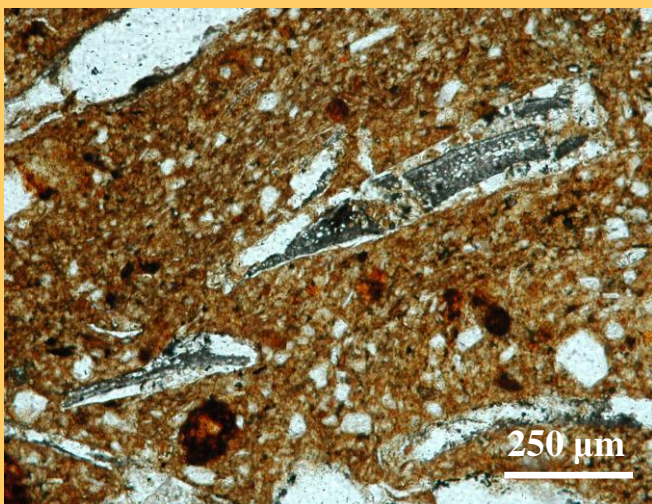
Vörs, neolitikum

Pelyva maradványa/helye

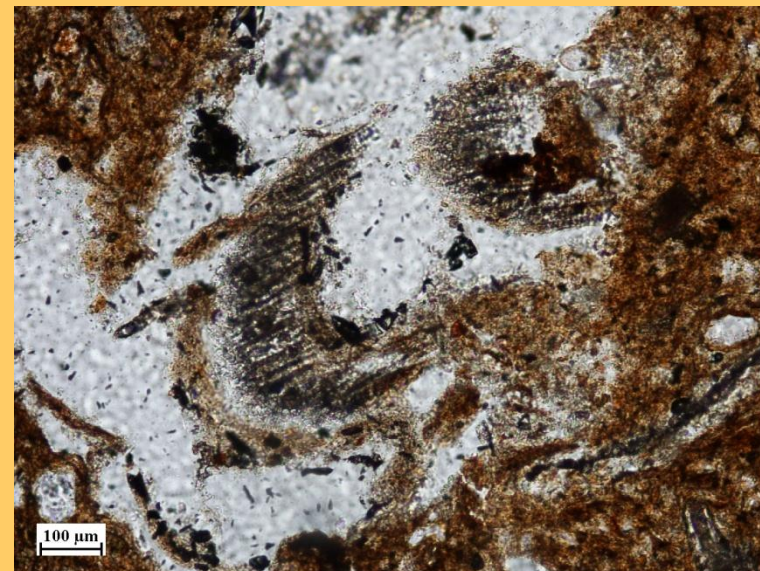
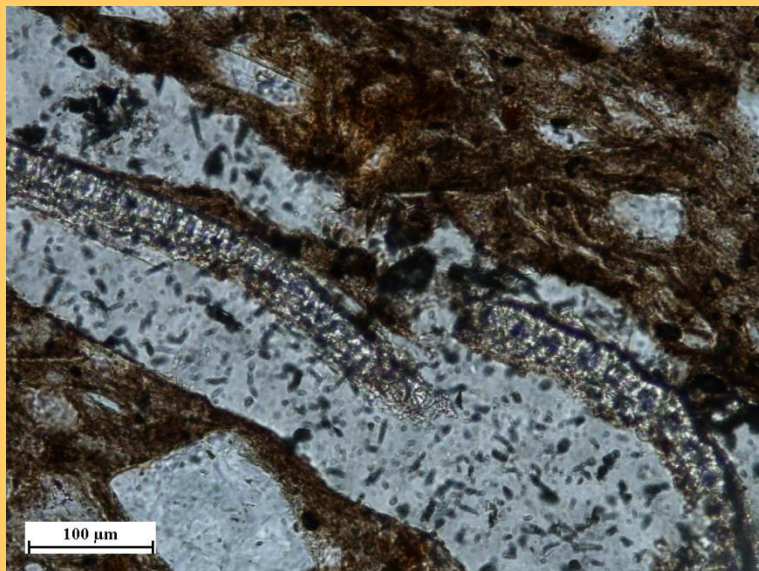
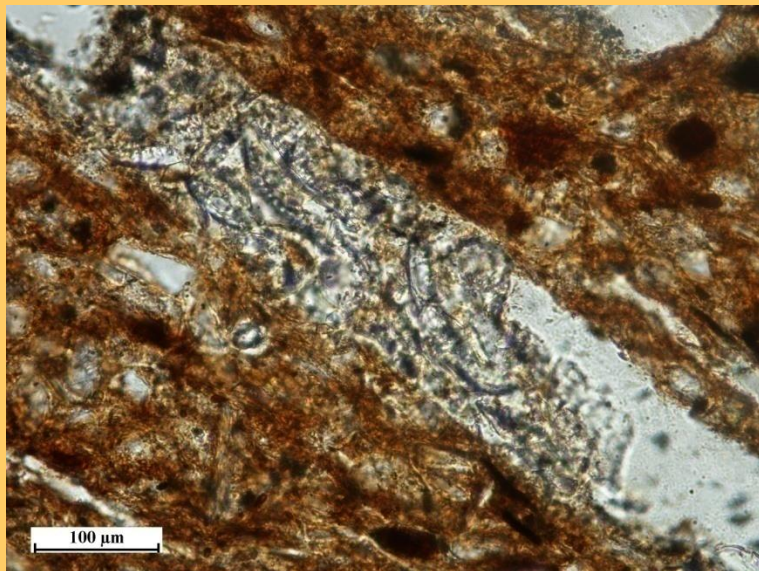


Szarvas-23 kora neolitikum

Fitolit – opál anyagú növénymaradványok – sejtek körül kiválás



Fitolit (növényi opál)



Szarvas és Endrőd, Körös-kultúra, kora neolitikum

Irodalom: Pető Ákos: AM 2009/2, 15-30.

A soványítóanyag származásának azonosítási lehetőségei 1.

A származási hely **azonosítása eredményes**: ha van olyan ásvány vagy kőzettörmelék esetleg ősmaradvány, amelyik egy **adott területre jellegzetes** (ld. talkpala, bazalt, fillit, gneisz, amfibol, kovaszivacstű)

– főleg hegységi-hegységközeli területen.

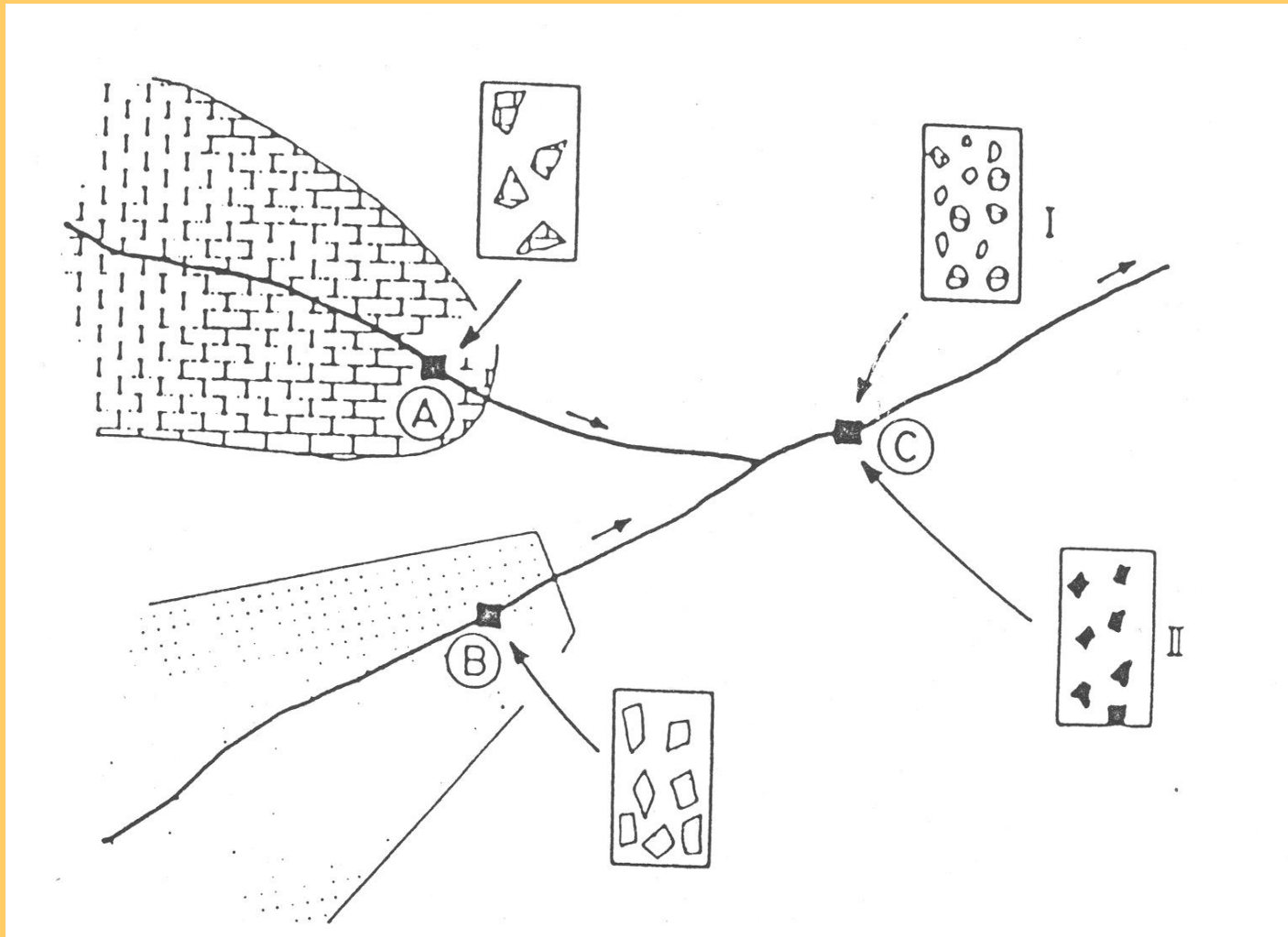
– általában **nagy mennyiségű** kerámiából

Az azonosítás sikere függ az **adott kőzet elterjedésétől**, illetve **változékonyságától**, továbbá a **terület geológiai feldolgozottságától**.

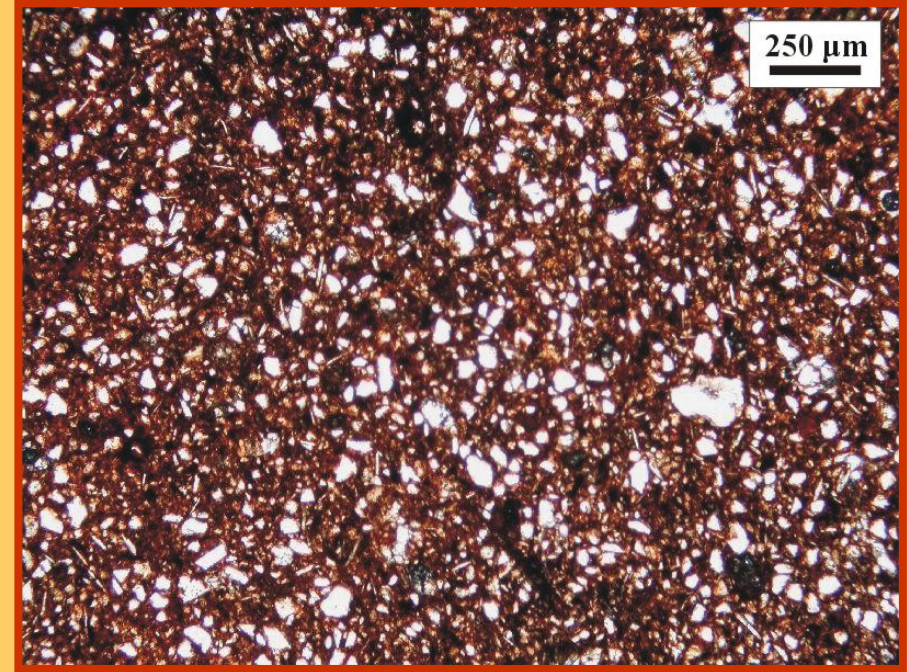
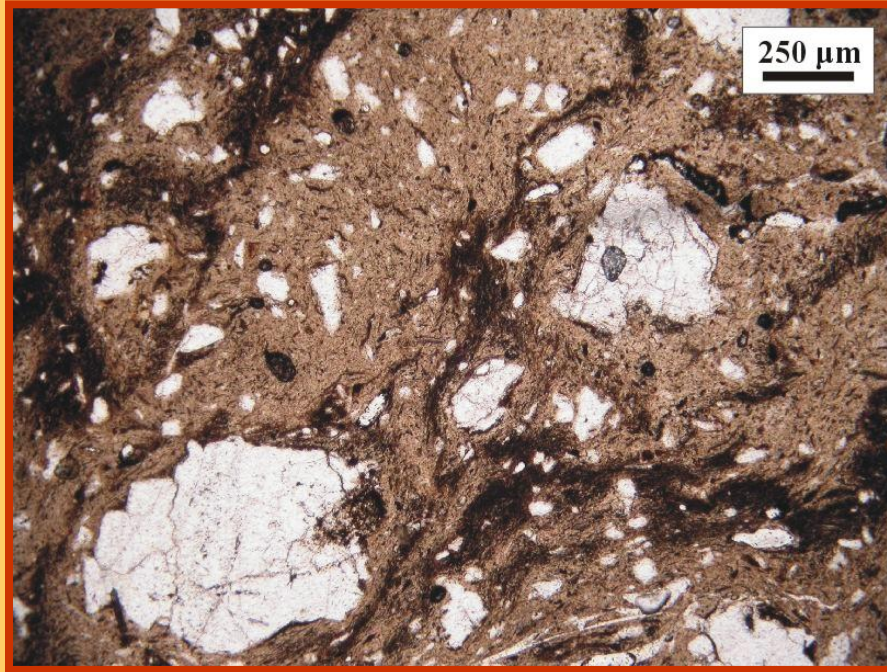
– Az azonosítást csak az adott terület földtanával - kőzettanával történt részletes egyeztetés után szabad megtenni.

Fontos eredmény lehet a nem helyben készült, „**idegen**” anyagú kerámiák kimutatása.

A soványítóanyag származásának azonosítási lehetőségei 2.



Szövet – az agyagok alaptípusai



**Kövér, törmelékszegény
agyag**



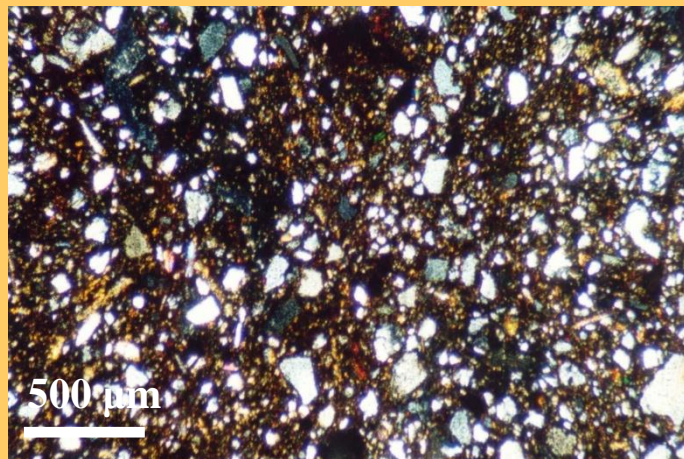
Soványítás szükséges



Sovány agyag

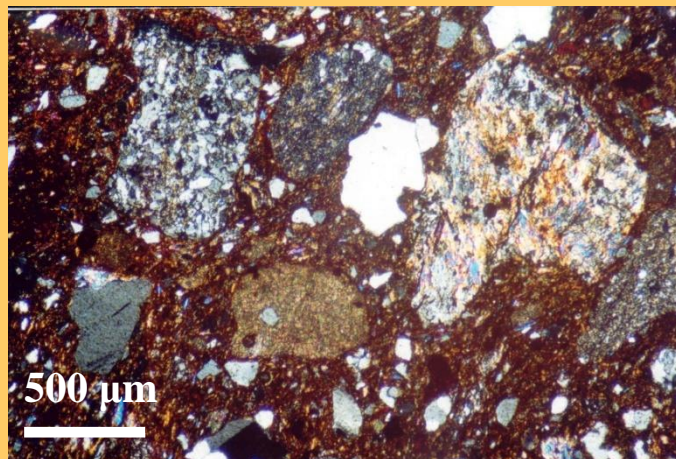
Szöveti vizsgálatok → technológia 1.

Szeriális



Szarvas, Neolitikum – Körös kultúra

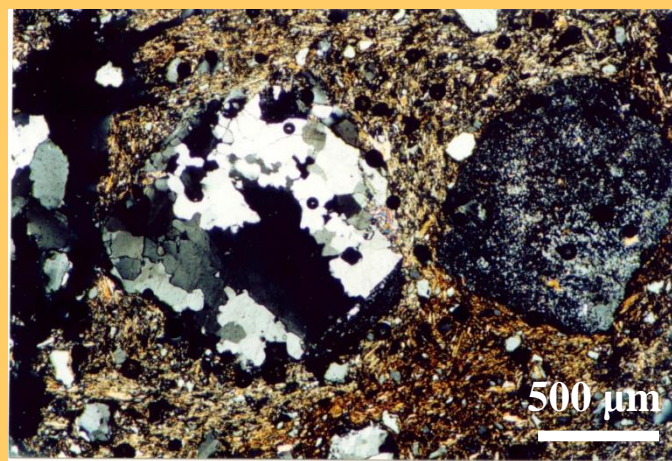
Hiátuszos



Felsővadász, bronzkor

Hiátuszos, koptatott elegyrészekkel

Hiátuszos – szándékos soványítás
de: esetenként természetes üledék
is lehet hiátuszos (pl. folyóvízi
homok)

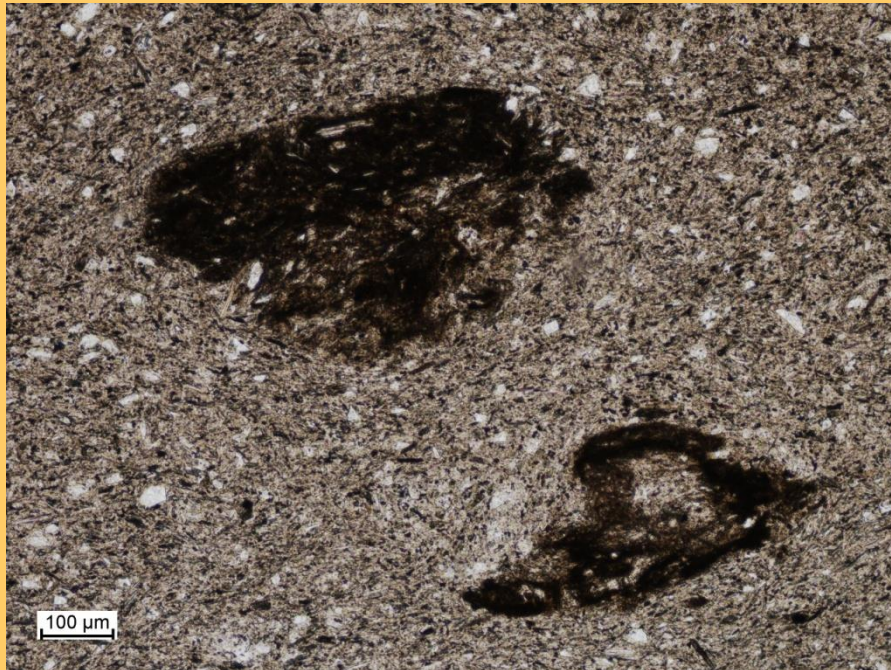


Szécsény, Neolitikum – Zseliz kultúra

Szöveti vizsgálatok → technológia 2 - agyag keverés

- Inhomogenitás vagy „idegen” agyagos mátrix maradványok

Agyagkeverés maradványai



Meszes és nem meszes agyag keverés nyoma



Szöveti vizsgálatok → részletek

Alapanyag (mátrix) színe

- **1 nikollal** (*a kerámia eredeti, saját színe*):
 - vörösés → oxidatív kiégetés/hőntartás
 - szürke → redukív kiégetés/hőntartás
- **Keresztezett nikolokkal**: izotropitás → *kiégetési hőmérséklet*
 - Izotróp (optikailag inaktív)
 - Erősen kettőtörő (optikailag aktív)

Szemcseméret

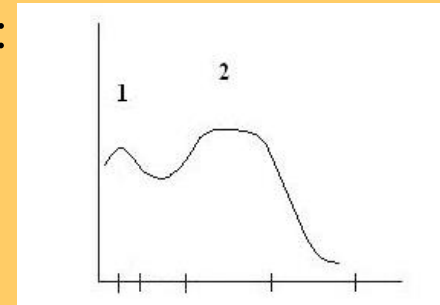
- Uralkodó/átlagos szemcseméret(ek)
- Maximális szemcseméret
- Hiátuszos/szeriális (hiátusz szemcseméret tartománya)
- Szemcseméret eloszlás – szemcseeloszlási görbe; pl.:
- Oszályozottság

Koptatottság → *homok ↔ tört közet soványító anyag*

Irányítottság → *gyártási technológia (formázás)*

Porozitás – alak, méret, eloszlás, kitöltés

- Elsődleges (száradás során)
- Másodlagos (kiégetés során)



Szöveti vizsgálatok eredménye – táblázat

Csoport		I. csoport										
		I./a)									I./b)	
Mintaszám		SP-13	SP-2	SP-3	SP-7	SP-8	SP-12	SP-15	SP-17	SP-18	SP-6	SP-14
Alapanyag színe	1N	sötét barnásvörös	közepesen sötét barnásvörös	közepesen sötét barnásvörös	közepesen sötét barnásvörös	közepesen sötét vörösbarna	közepesen sötét barnásvörös	közepesen vörös	közepesen sötét vörösbarna	közepesen sötétvörös	közepesen sötét barnásvörös	mag: közepesen sötét szürkésbarna ; szegély: közepesen sötét vörösbarna
	+N	sötétvörös	sötétvörös	sötétvörös	sötétvörös	sötét vörösbarna	sötétvörös	közepesen sötét sárgásvörös	-	közepesen sötétvörös	sötétvörös	-
Alapanyag izotropitása		csaknem izotróp	közepes (3)	közepes (3)	közepes (3)	jó (4)	közepes (3)	gyenge (2)	csaknem izotróp	nincs (1)	közepes (3)	izotróp
Szövet		gyengén hiátuszos	gyengén hiátuszos	hiátuszos	gyengén hiátuszos	hiátuszos	hiátuszos	hiátuszos	gyengén hiátuszos	hiátuszos	hiátuszos	gyengén hiátuszos
Pórus	méret (µm)	200-600	100-2000	100-500	100-600	500-1000	500-2000	nagyon kicsi	200-500	nem értékelhető	100-250	500-800
	alak	szabálytalan	szabálytalan	szabálytalan	szabálytalan	szabálytalan	szabálytalan	-	szabálytalan		szabálytalan	szabálytalan
Szemcseméret eloszlás	osztályozottság	gyengén	rosszul	gyengén	rosszul	rosszul	rosszul	közepesen	rosszul	közepesen	rosszul	rosszul
	eloszlás	3 max.	3 max.	3 max.	3 max.	3 max.	3 max.	2 max.	3 max.	2 max.	3 max.	3 max.
Átlagos szemcseméret (µm)	kicsi	20-50	20-60	20-50	20-50	20-50	25-50	20-80	20-60	20-80	20-50	20-60
	közepes	80-120	100-150	100-150	100-200	80-120	100-150	-	100-150	-	100-150	100-200
	nagy	400-700	250-400	300-700	250-400	300-800	300-600	250-600	250-400	500-750	300-600	300-550
Max. szemcseméret (µm)		1250	1500	800	700	1200	900	1000	800	800	700	900
Koptatottság		nem, vagy nagyon gyengén	nem, vagy gyengén	nem, vagy gyengén	nem, vagy nagyon gyengén	szilánkos	nem, vagy nagyon gyengén	gyengén	nem, vagy gyengén	nagyon gyengén	gyengén	nem, vagy gyengén

Szegély, máz

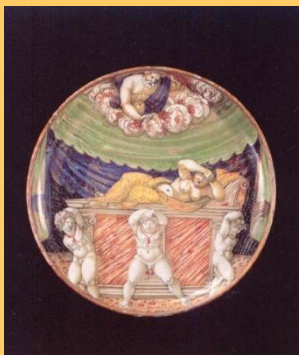
Szlip – vékony agyagbevonat

Engob – színes földfesték

Formázás után, de a kiégetés előtt (iszapolt) anyagú szegély

Ólomház – átlátszó + aláfestés

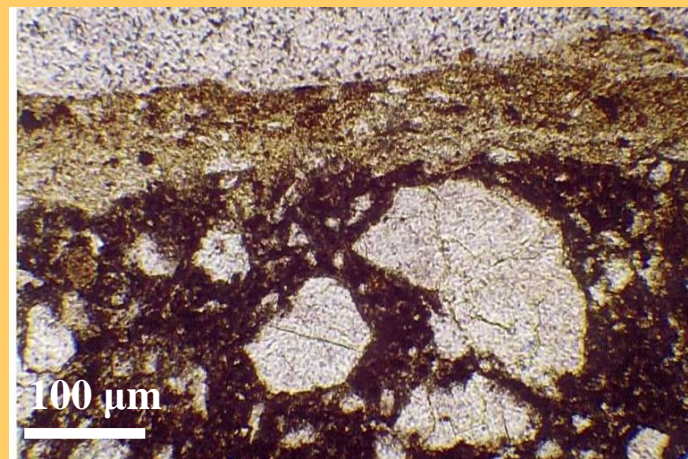
Ónmáz – átlátszatlan fedőház (+ fedőfestés díszítés) – majolika, fajansz



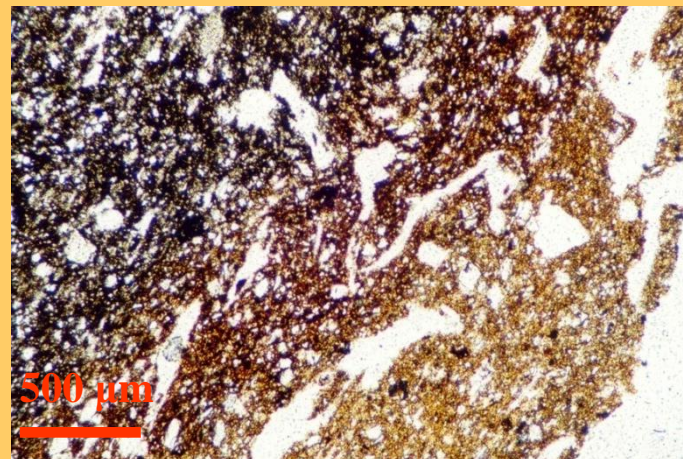
Majolika – Iparművészeti Múzeum
(T. Bruder, 2005)

„**Szendvics szerkezetű**” kerámia

Szegély kialakulása az égetés – hőntartás során, oxidatív – redukív körülmények változásának hatására



Felsővadász, Neolitikum – bükki kultúra



Szarvas, Neolitikum – Körös kultúra

Edénydízítési technikák – máztörténet

Legkorábbi mázas kerámia: Mezopotámia ~1500 BC – összetétel kb azonos az ugyanakkor készült üvegével – alkáli mész szilika típus

agyagtestre porrá tört üveget vittek fel és úgy égették ki (frittelés)

Ólommáz: megjelenés: Anatólia, ~1. évszázad BC,

PbO 45-60%

könnyebb kezelhetőség

repedés veszélyének csökkentése

fényesebb

Elterjedés:

Római birodalom, Bizánc – Pb tartalmú szuszpenzió hozzákeverés

Iszlám világ, Európa, Közel-Kelet – Pb és szilika keverék

Ónmáz: megjelenés:

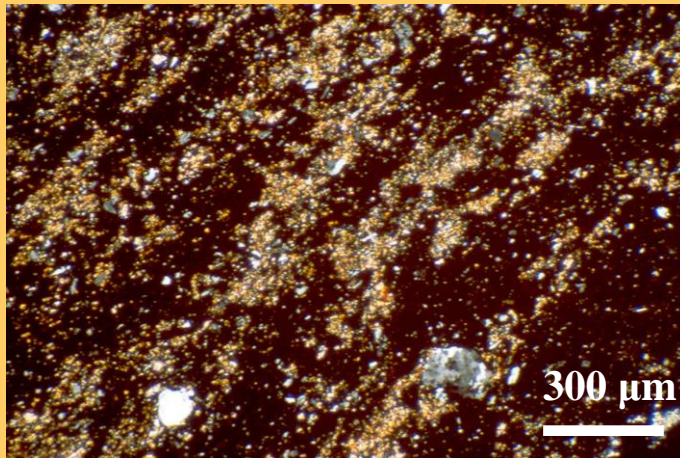
Abbasid, Irak, 8-9 szd AD

Fatimid, Egyiptom 10-11. szd AD (+ Pb-alkália típus is)

Elterjedés: Egyiptom → Iszlám + Iszlám Ibériai félsziget → Itália (13. szd)

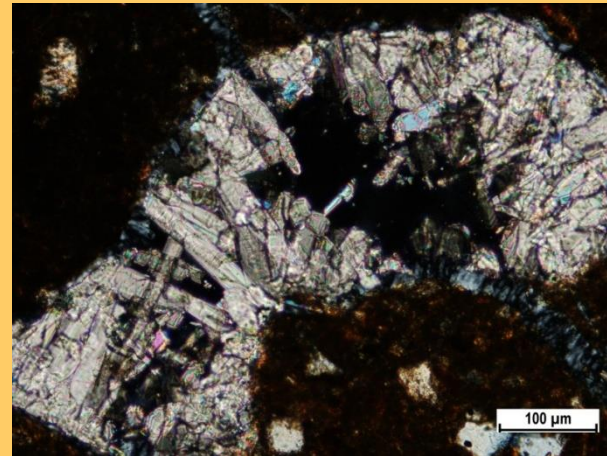
Utólagos átalakulás - használat, betemetődés

Karbonátos átítatás



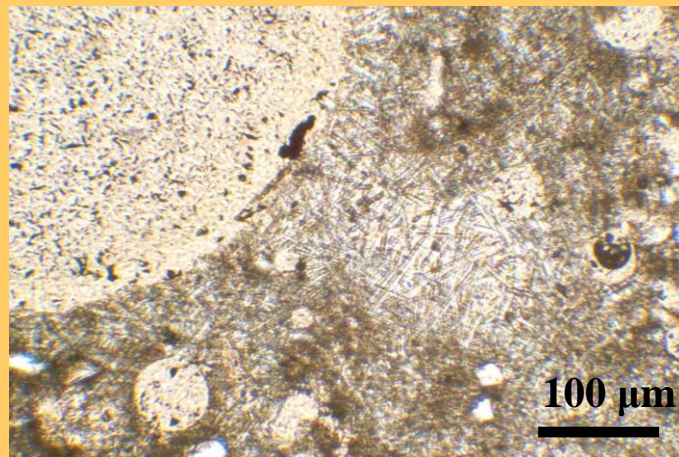
Szőny, Római-kor

Póruskitöltő karbonát



Fažana, Isztria – Római kori amphora

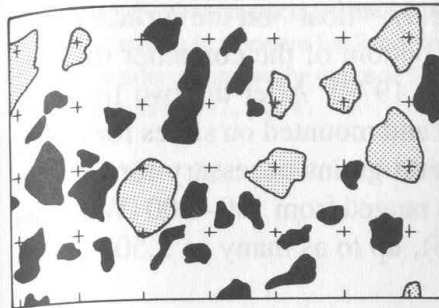
Megolvadás



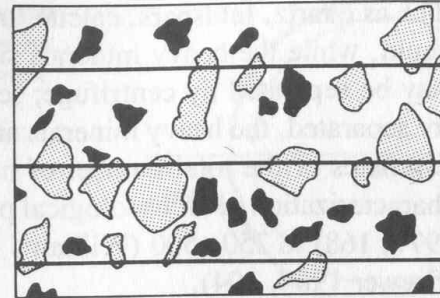
Bicske, Neolitikum, – Dunántúli
Vonaldíszes Kerámia

Mennyiségi kiértékelés 1. – kimérés típusai

pontszámlálás

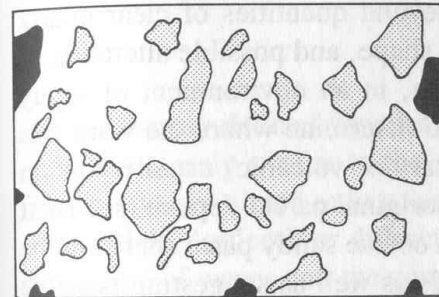


a

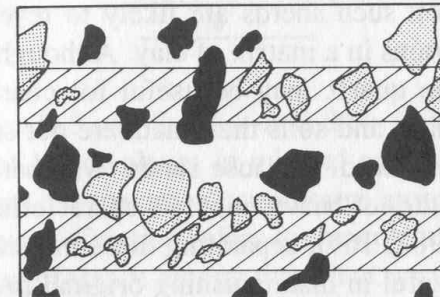


b

vonala menti
kimérés



c



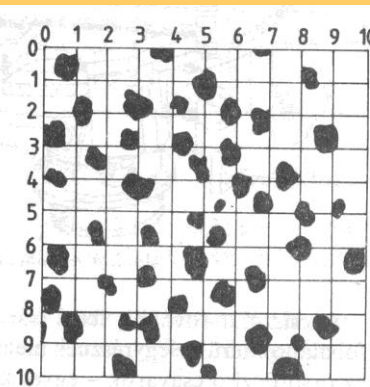
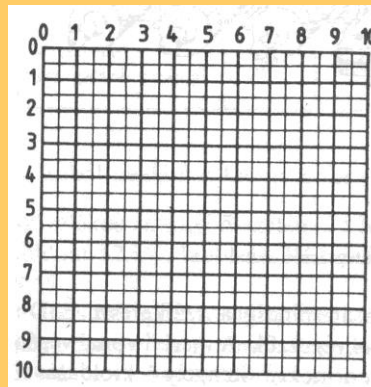
d

sávossal
kimérés

térfogat-
százalékos
kimérés
(területmérés)



módszer:
négyzethálós
okulárbetéttel



Mennyiségi kiértékelés 2.

Térfogat- vagy darabszázalékos kimérés

- Mátrix
- Nem plasztikus elegyrészek
- Agyagos közettörmelékek
- Pórusok

egymáshoz viszonyított aránya

- Nem plasztikus elegyrészek egymáshoz viszonyított aránya

Mennyiségi kiértékelés táblázatosan

Mintaszám	Szecs-1	Szecs-2	Szecs-3	Szecs-4	Szecs-5	Szecs-5	Szecs-6
					belső	szegély	
Alapanyag	71.1	84.6	81.2	79.7	77.1	84.3	71.2
Pórus	0.3	5.5	1.2	3.5	2.2	4.1	1.3
Agyagsomó	1.1	-	0.9	-	-	-	2.9
Törmelékszemszék	27.5	9.9	16.7	16.8	20.7	11.6	24.6
A törmelékszemszék egymáshoz viszonyított eloszlása (tf%)							
Kvarc	28.5	71.4	56.9	59.5	51.4	74.5	35.3
Kvarcit (polikvarc)	32.1	7.6	14.7	25.0	24.2	11.1	31.2
Turmalinos kvarcit	ny	-	-	-	-	-	-
Mikrokvarcit	ny	3.5	3.7	ny	ny	-	ny
Plagioklász	19.8	3.9	1.9	1.6	8.2	1.0	14.7
Kálföldpát	8.1	6.4	1.0	1.4	7.9	1.1	6.9
Muszkovit (szericit)	ny	1.0	4.0	6.2	3.0	7.4	2.8
Biotit	ny	ny	1.3	ny	ny	ny	1.0
Csillám aggregátum	ny	-	ny	1.0	ny	-	1.6
Opakás vány	ny	1.1	3.3	1.4	1.4	1.9	1.4
Augit	1.0	-	ny	-	-	-	-
Hipersztén	ny	-	-	-	-	-	-
Barnaamfibol	ny	-	-	-	ny	-	-
Hornblende	ny	ny	ny	-	-	ny	-
Turmalin	1.0	-	1.0	ny	ny	ny	ny
Gránát	ny	-	1.1	ny	ny	-	ny
Epidot-klinozoizit	-	ny	ny	ny	ny	-	ny
Cirkon	ny	ny	ny	ny	ny	ny	ny
Rutil	ny	-	ny	ny	-	-	ny
Opál	ny	-	-	-	-	-	-
Ortit	-	-	-	-	-	-	ny
Andezit törmelék	4.1	-	-	-	-	-	-
Vulkanit alapanyag	1.6	3.6	4.9	2.1	2.4	1.1	ny
Kőzetüveg	1.2	1.5	1.0	ny	ny	-	-
Felzit	-	ny	-	ny	ny	-	1.0
Granitoid-gneisz	1.5	ny	3.1	1.8	-	-	4.1
Metahomokkő	1.1	-	2.1	-	1.5	1.9	-
Aleurolit	ny	-	-	-	-	-	-

Petrográfia dokumentálása

Szöveges petrográfiai leírás (mintánként vagy petrográfiai típusonként)

- makroszkópos
- polarizációs mikroszkópos
 - nem plasztikus elegyrészek
 - szövet

Táblázatos mintaleírás (mintánként) - jobb összehasonlíthatóság

Összefoglaló kiértékelés

Műszeres vizsgálatok

Katódlumineszcencia

- Petrográfia kiegészítéséhez
- Különböző eredetű ásványok (kvarc, földpát, karbonátok, stb.) elkülönítése – eltérő összetétel, illetve nyomelemeik alapján → eltérő lumineszcens szín
- Egyes szöveti elemek jobb megjelenítése – soványítóanyagok színben jobban eltérnek a mátrixtól
- Kerámiákat ért utólagos hatások (mállás, oldatáramlás) kimutatása

Irodalom:

Bajnóczi et al. (2005): Archeometriai Műhely II/2, 31-41

Havancsák et al. (2009): Archeometriai Műhely VI/4, 1-14.

Mikromineralógia

Akcesszóriák (nehézasványok) elemzése – kis mennyiségben, de nagyon jellegzetesek

- Csoportosítás
- Feltételezett lelőhely(ek) anyagával összehasonlítás → **nyersanyag származási helyének lehatárolása, esetleg azonosítása**

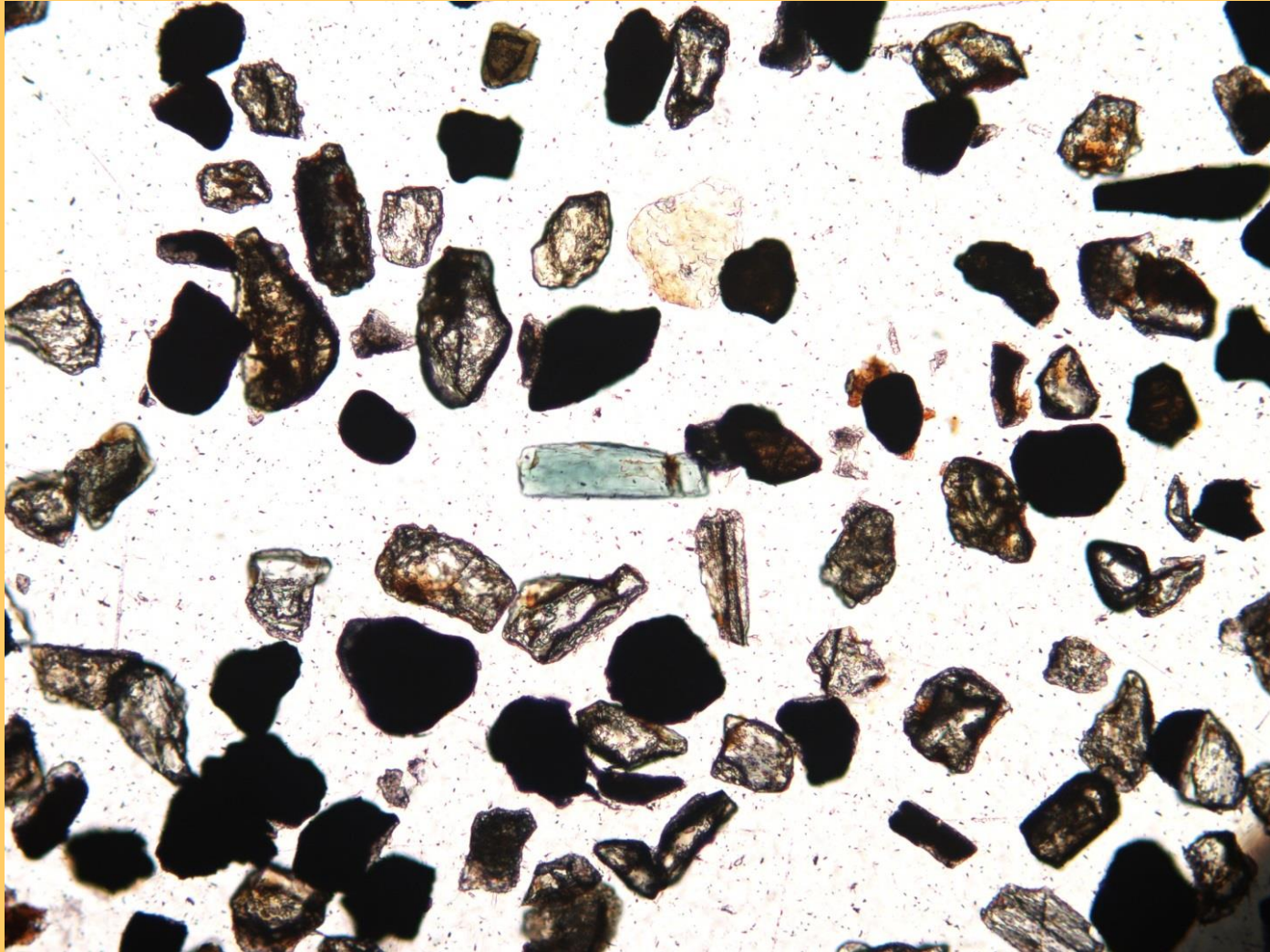
Hátrány:

- **Nagy mennyiségű** régészeti **kerámia** anyag szükséges hozzá – legalább (200-)300 nehézasvány-szemcse szükséges a biztos azonosításhoz
- **Munkaigényes mintaelőkészítés**

Kerámia archeometriai vizsgálatoknál ritkán alkalmazzák, pedig **jelentős többletinformáció**val szolgál

Mikromineralógia

Polarizációs mikroszkóp



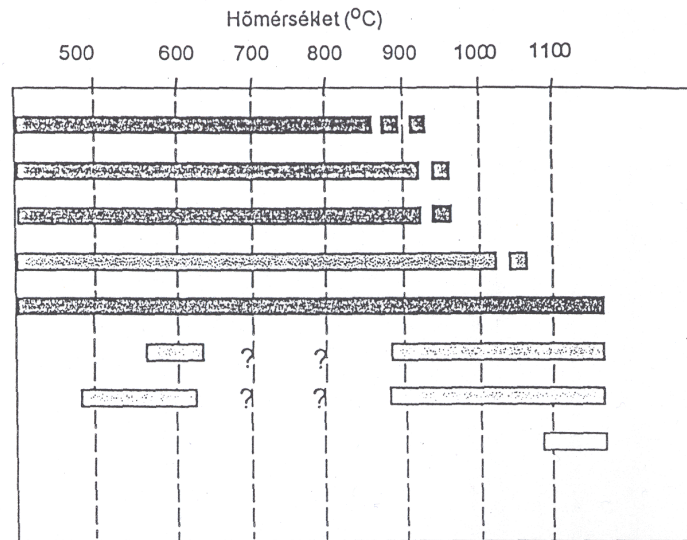
Röntgen-pordiffrakciós vizsgálat (XRD) – áttekintés (részleteket ld. külön előadásban)

Alapvető vizsgálati módszer:

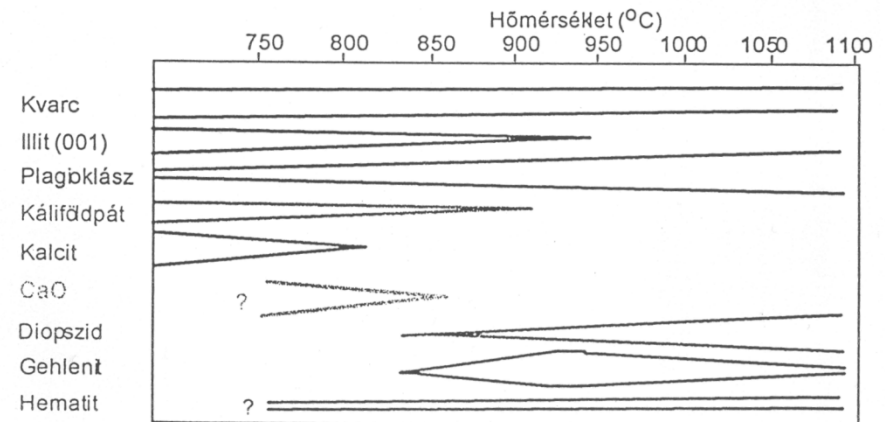
- plasztikus agyag és átalakulási termékei → **kiégetési T**
- másodlagos elegyrészek → utóhatások (használat, betemetődés)

Alap: Hőmérséklet hatására történő fázisátalakulások

Illites, nem meszes agyag:

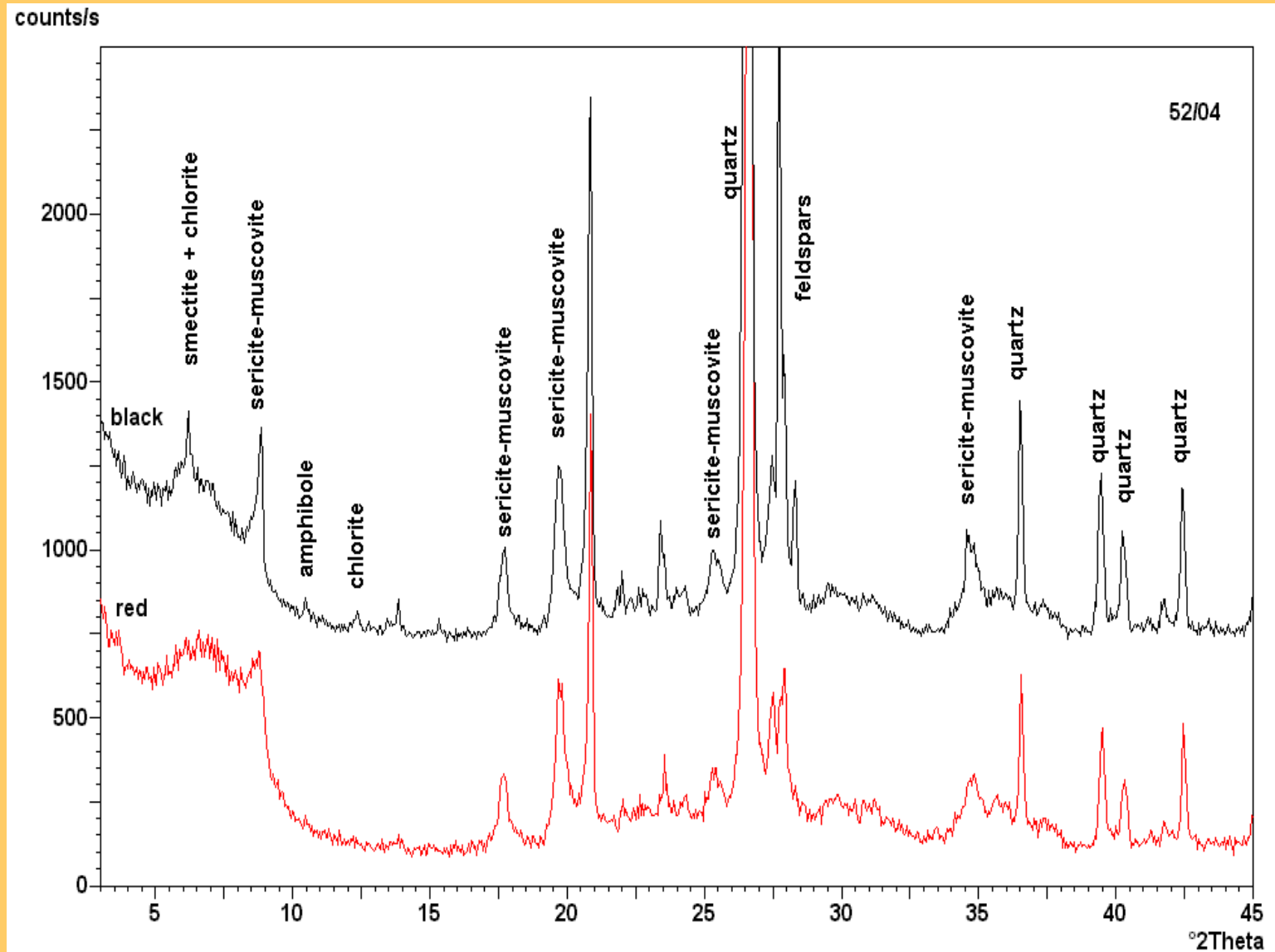


Illites, meszes agyag:



Röntgen-pordiffrakciós vizsgálat – példa

Ásványfázisok azonosítása – szendvics szerkezetű kerámián



Pásztázó elektronmikroszkópia (SEM)

Petrográfiai mikroszkópnál jobb felbontás: mikroszerkezeti bélyegek vizsgálhatók

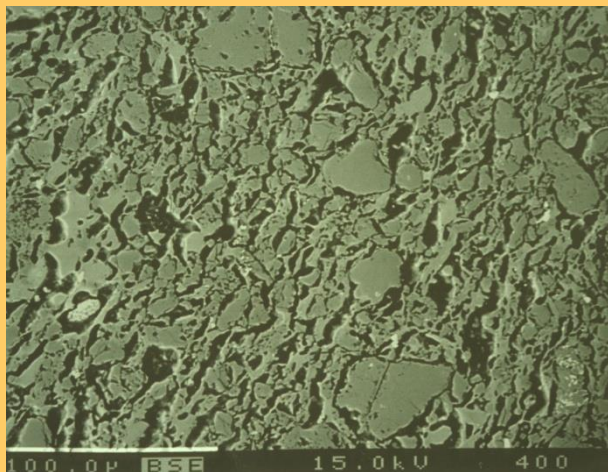
Kiégetési – hőntartási folyamatok nyomkövetése – anyag plasztikussá válásával kapcsolatos átrendeződés, üvegesedés → hőmérséklet becslése

Üvegesedés kezdete:

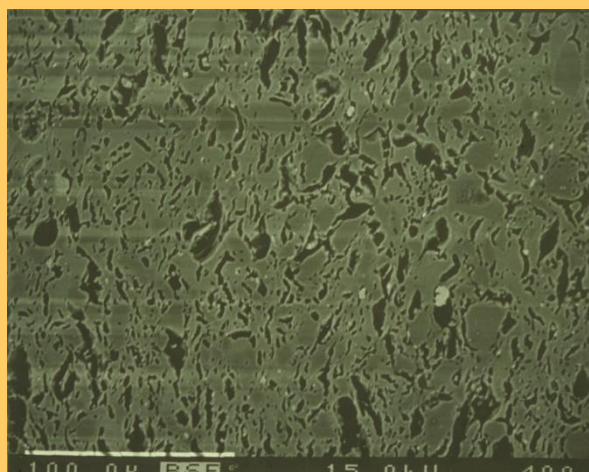
illites-montmorillonitos agyagok kerámiái: ~ 800-850 °C

kaolinites agyagok kerámiái: ~ 1000 °C

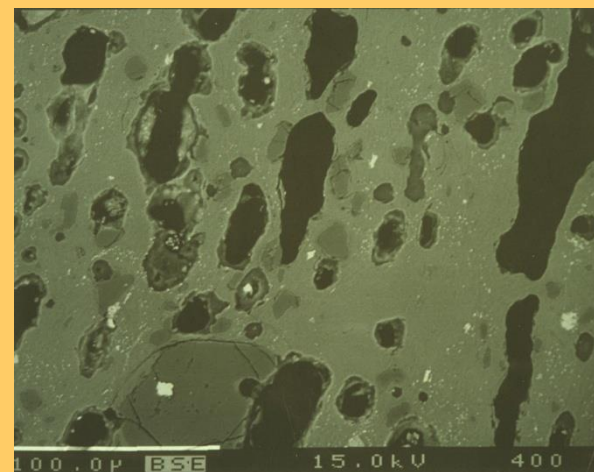
kezdődő üvegesedés



előrehaladott üvegesedés



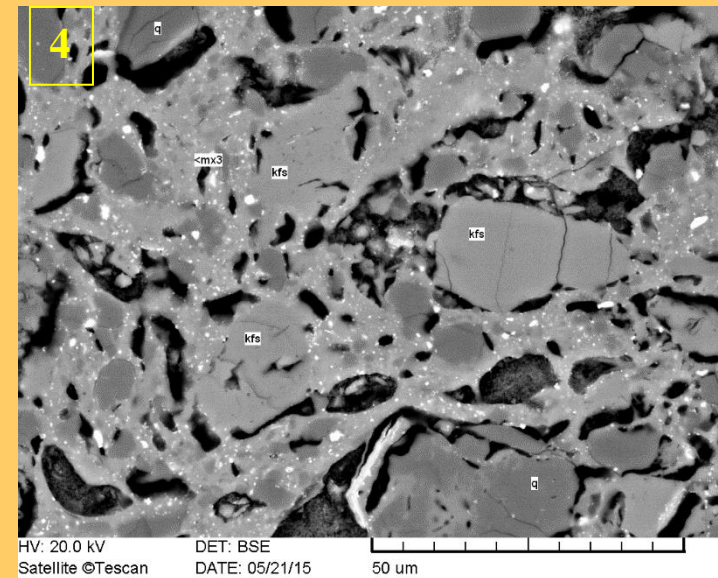
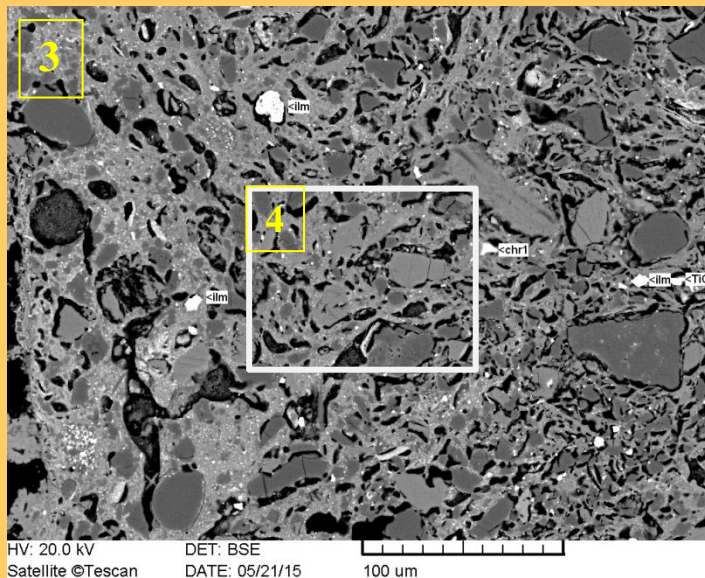
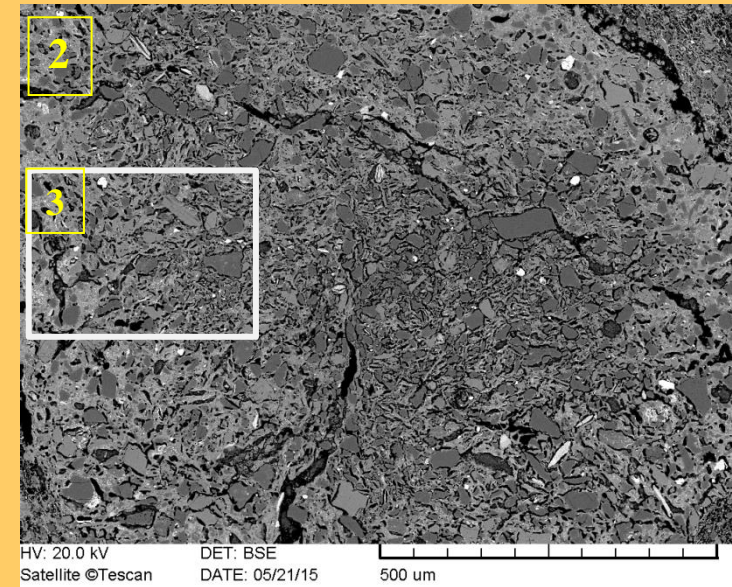
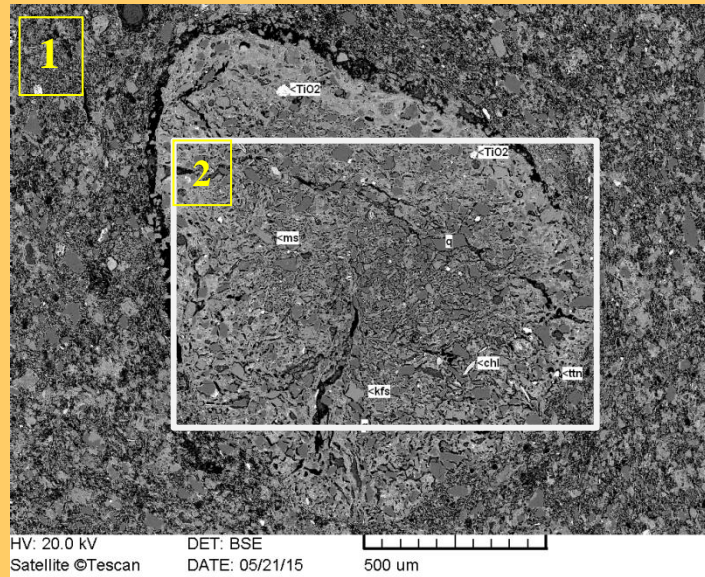
kiterjedt üvegesedés



Tite nyomán

Pasztázó elektronmikroszkópia (SEM-EDX) - nem plastikus elegyrészek és a mátrix kémiai összetétele

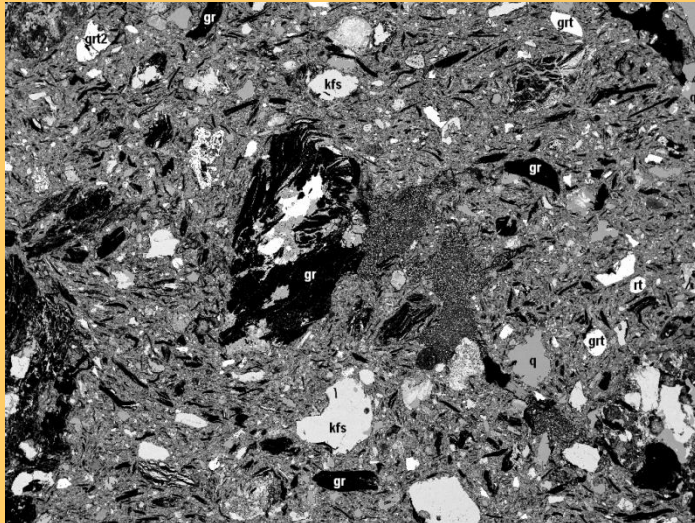
Római kori tegula
fokozatosan
növekvő
nagyítással



Scanning-elektronmikroszkóp (SEM-EDX)

példa 1: törmelékszemcsék, mátrix, ARF

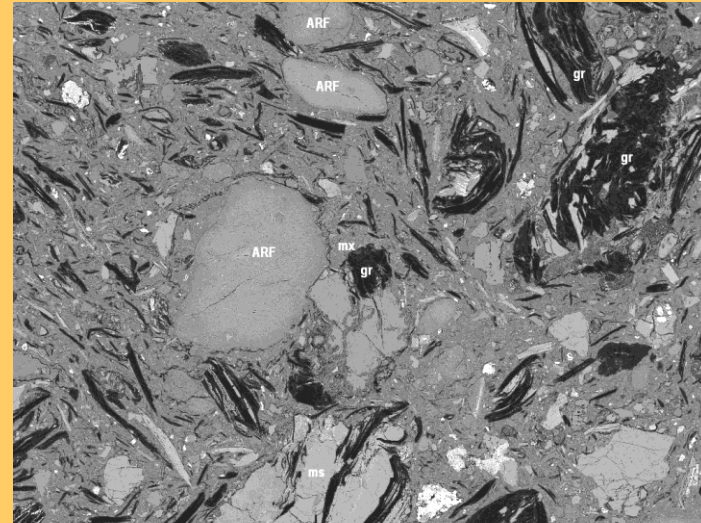
9-11. századi grafitos kerámia, Kisalföldi lelőhelyekről



HV: 20.0 kV
Satellite ©Tescan

DET: BSE
DATE: 10/14/11

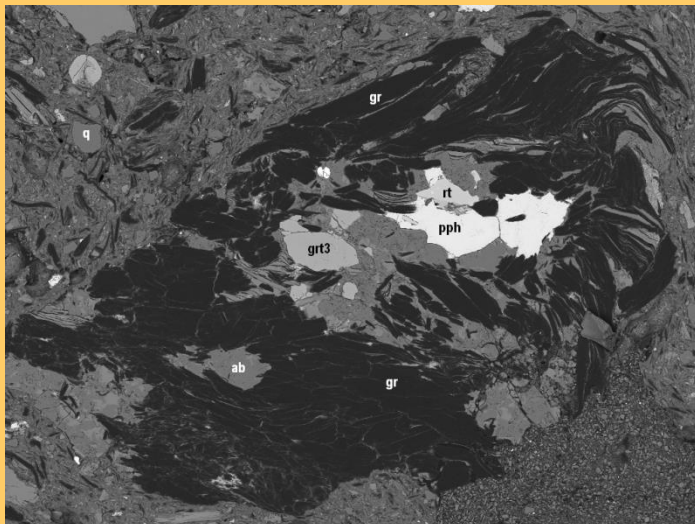
2 mm



HV: 20.0 kV
Satellite ©Tescan

DET: BSE
DATE: 10/14/11

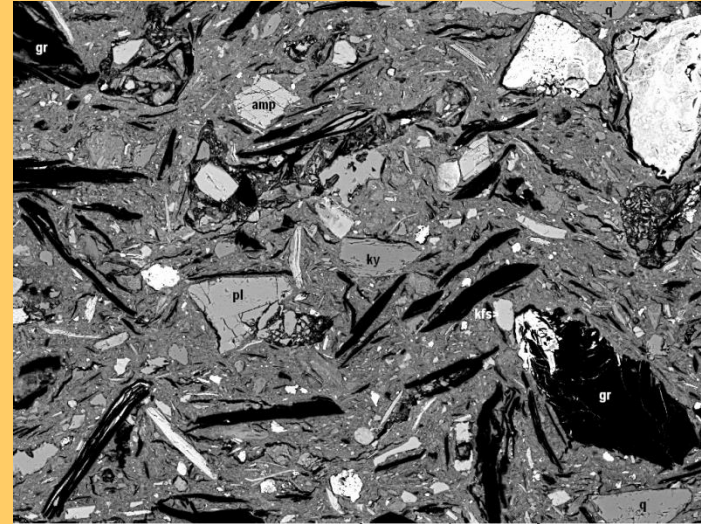
500 um



HV: 20.0 kV
Satellite ©Tescan

DET: BSE
DATE: 10/14/11

500 um



HV: 20.0 kV
Satellite ©Tescan

DET: BSE
DATE: 10/14/11

200 um

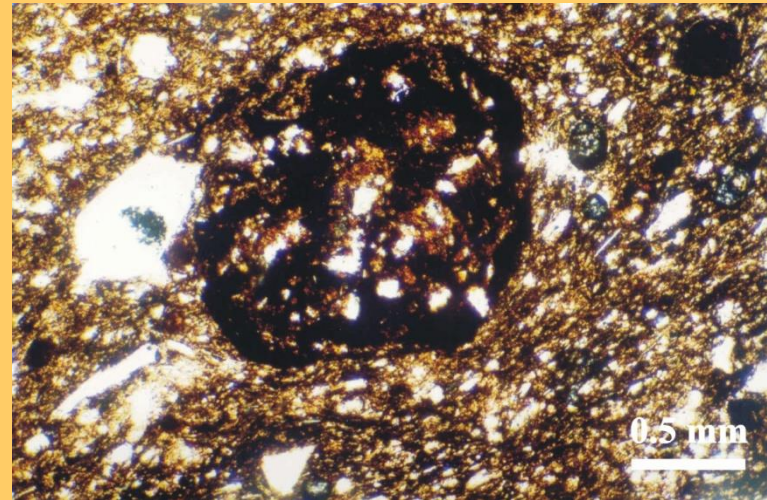
Scanning-elektronmikroszkóp (SEM-EDX) példa 2a: Fe-gazdag konkréciók

Vizsgált minták

(Kora Neolitikum)

Szarvas - Körös kultúra

Vörs - Starčevo kultúra



Szarvas-23 A71/a/1

Méret: 1-2 mm – 1,5 cm

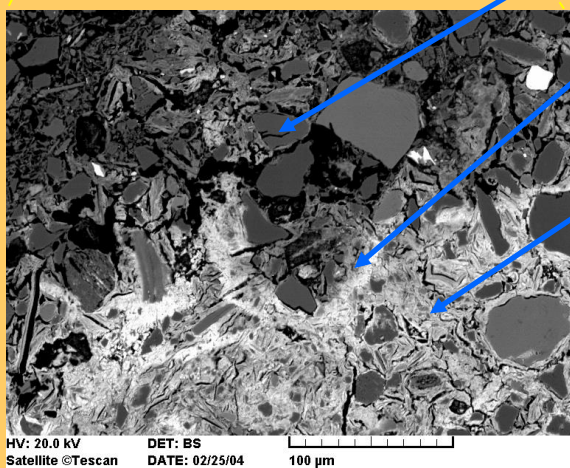
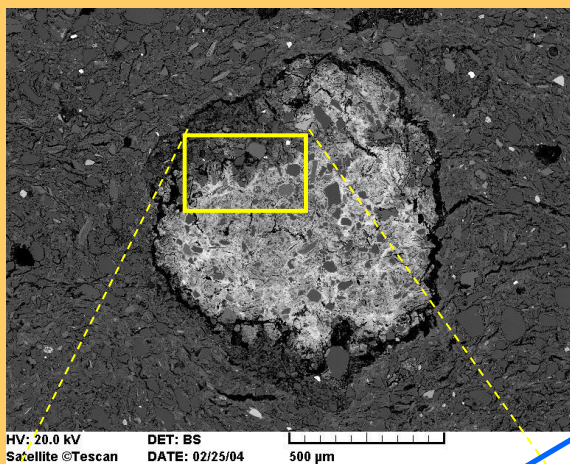
Szín: fekete – sötétbarna

Alak: gömbölyded

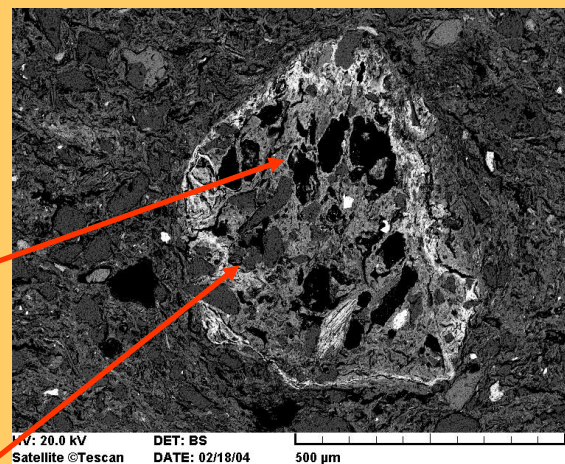
Egyéb: benne apró – elsősorban
kvarc - szemcsék

SEM-EDX példa 2b: Fe-gazdag konkréciók

Körös kultúra – Szarvas-23



Starčevo kultúra - Vörs



kevés Fe

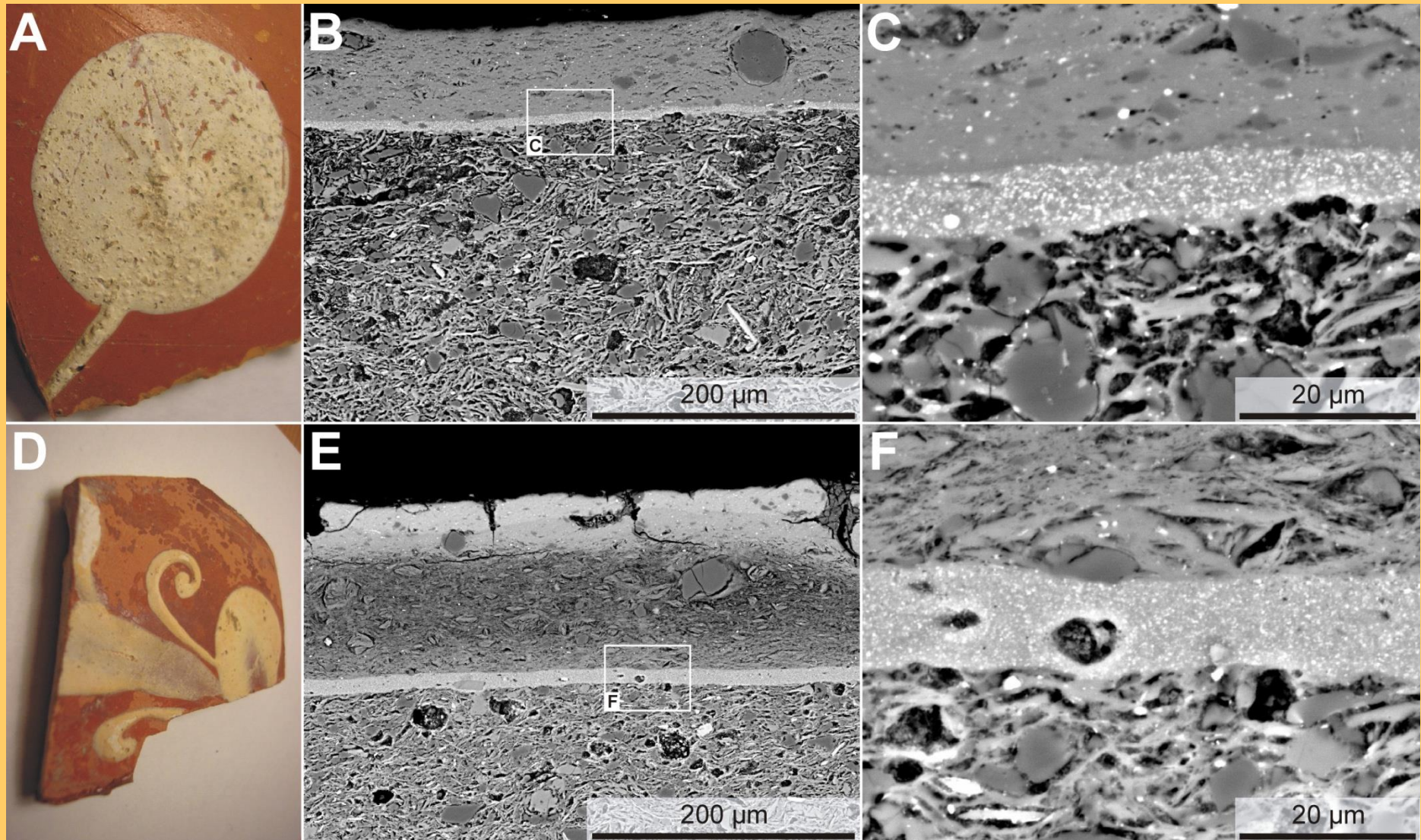
nagyon sok Fe

sok Fe

	Starčevo		Körös		határ
	sötét	világos	sötét	világos	
SiO ₂	49,33	38,82	62,82	33,03	15,74
TiO ₂	0,53	0,44	1,03	0,54	0,00
Al ₂ O ₃	28,45	21,82	20,11	14,94	8,01
FeO	4,52	28,63	5,12	37,98	66,17
MnO	5,47	2,97	0,43	3,92	2,64
MgO	3,15	2,52	2,90	2,86	1,35
CaO	1,96	1,40	1,37	1,42	1,41
Na ₂ O	1,51	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	4,05	2,58	4,35	2,25	1,11
P ₂ O ₅	1,04	0,82	1,87	3,06	3,57
SUM	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Hasonló konkréciók: mocsaras vagy ártéri területeken, réti talajokban

SEM-EDX példa 3: Római kerámiák és barbotin



Geokémia 1.

Fő- és nyomelemek, ritkaföldfémek

Módszerek:

XRF – főelemek + sok nyomelem, (néhány RFF)

NAA – nyomelemek, sok RFF

kiegészítik egymást

ICP OES + ICP MS

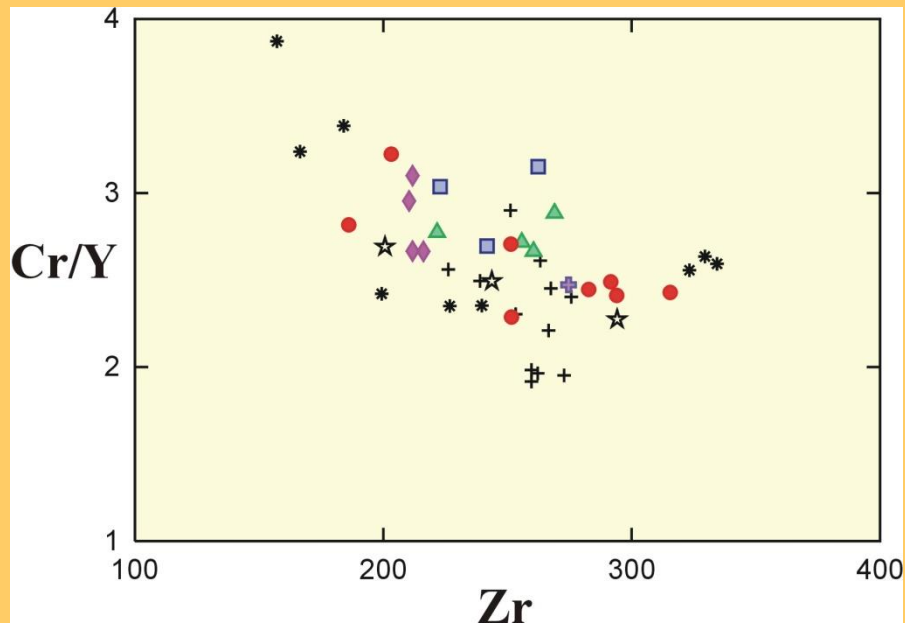
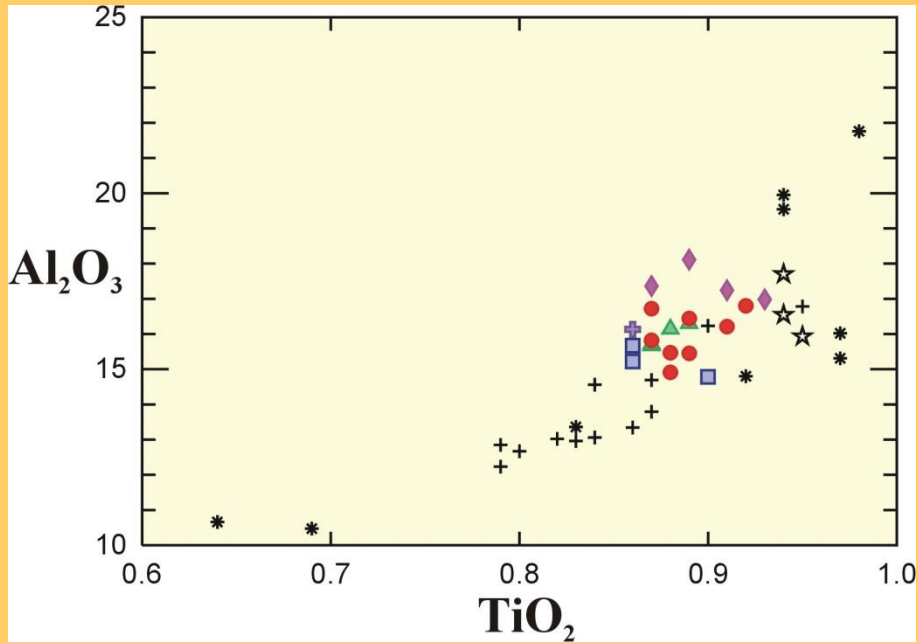
fő- és nyomelemek, teljes RFF spektrum

PGAA

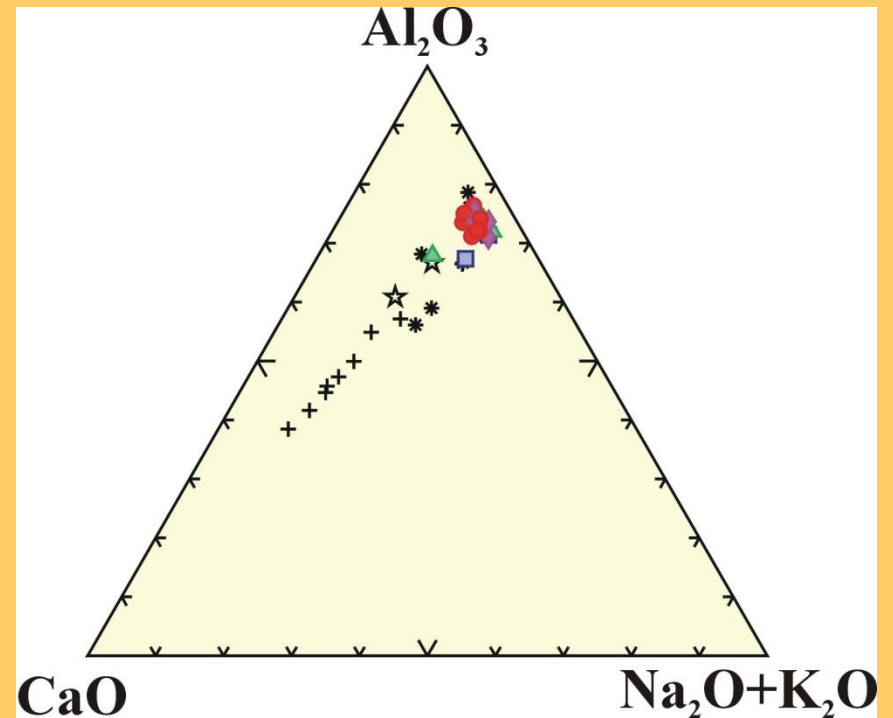
főelemek + néhány nyomelem (köztük a B), kevés RFF

Egyéb módszerek: pl. PIXE, AAS, stb.

Kora neolitikum, Szarvas-Endrőd



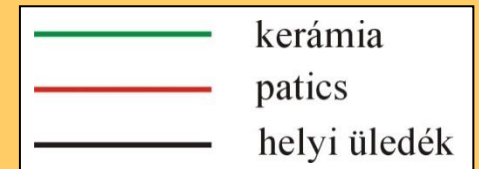
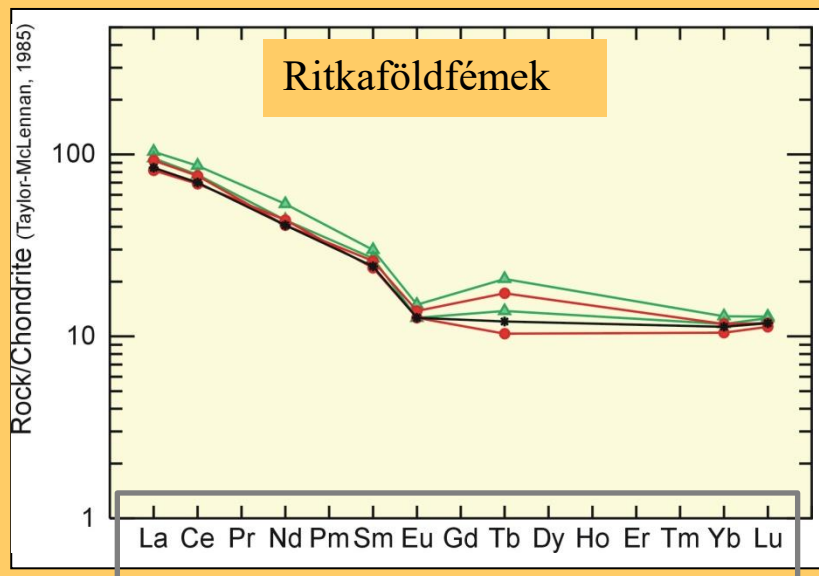
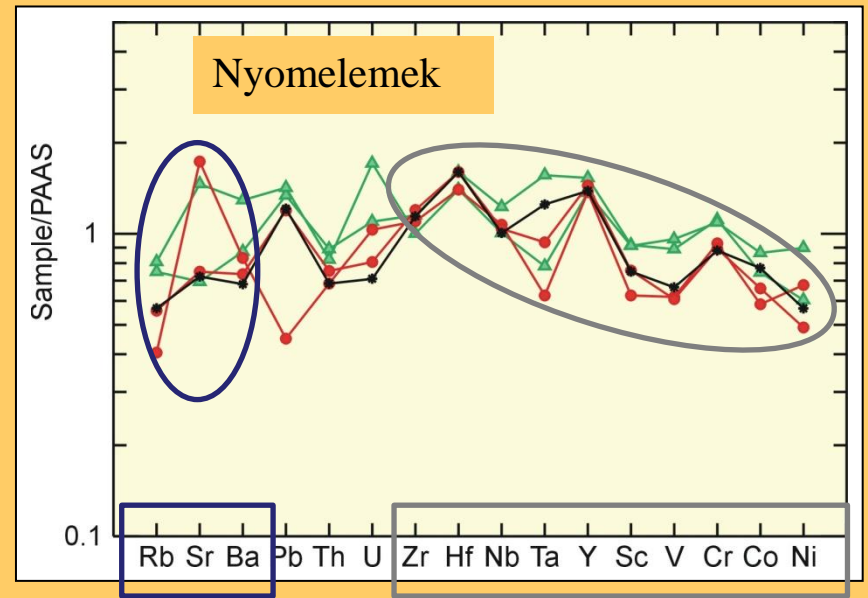
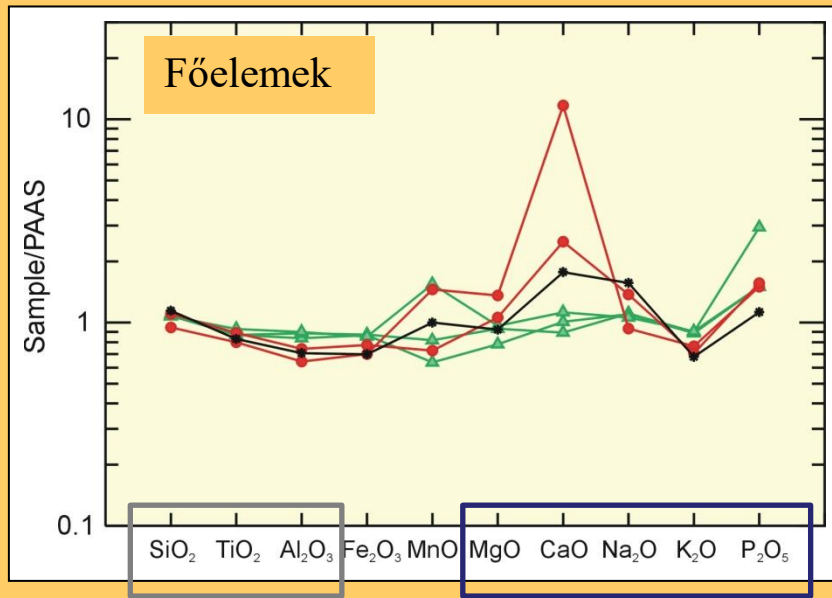
Geokémia 2. - kétváltozós és háromszög diagramok



- ▲ Sg1a ceramic
- Sg1b ceramic
- ◆ Sg2c ceramic
- Sg2d ceramic
- ⊕ Szakálhát ceramic
- + + Holocene sediment
- * * Pleistocene infusile loess sediment
- ★ ★ Pleistocene clayey or silty sediment

Geokémia 3 – sokelemes diagramok

Kerámia – patics – helyi üledék összehasonlítása: Endrőd-39 lelőhely, Neolitikum



Immobilis elemek

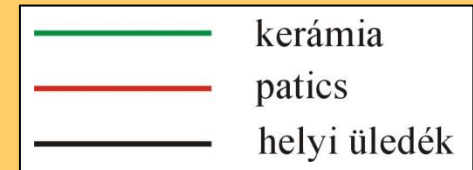
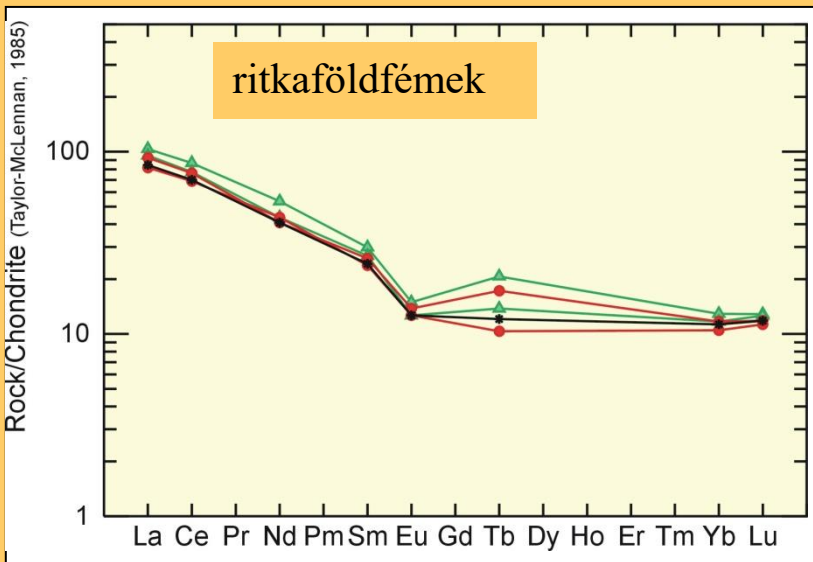
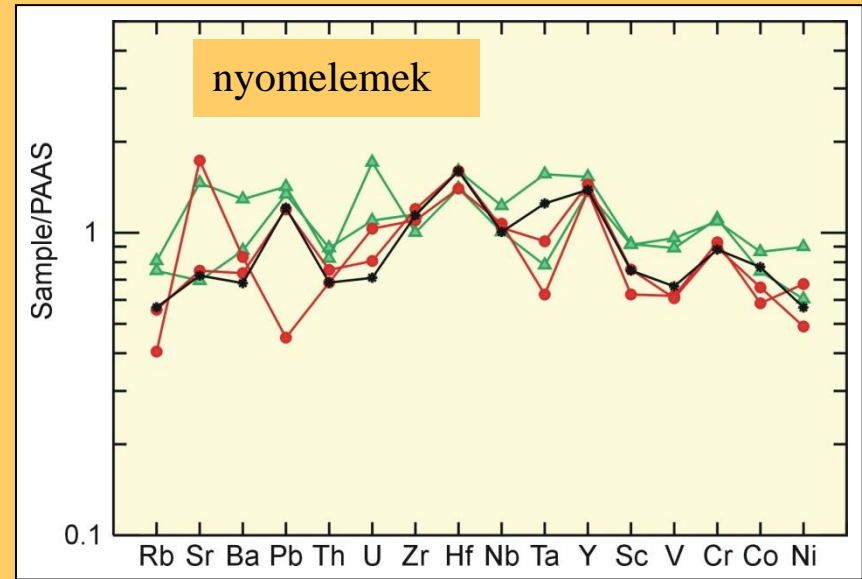
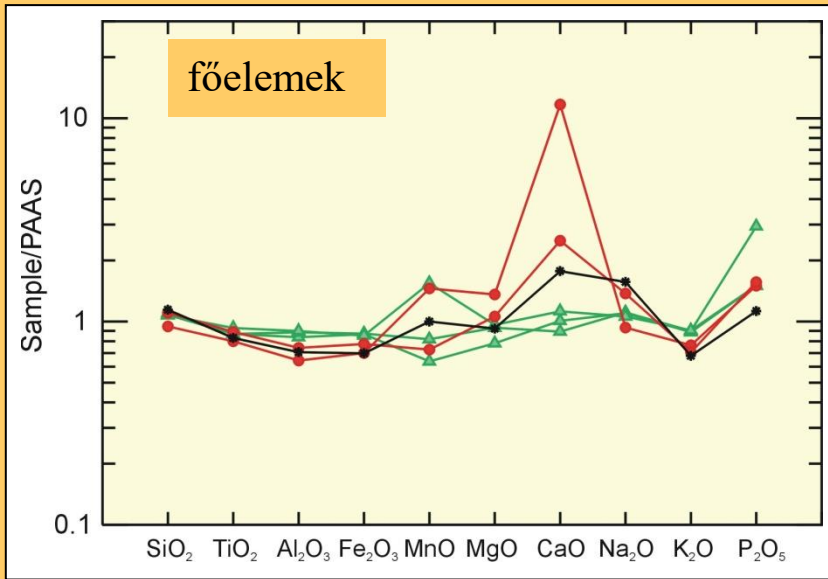
Nyersanyag lelőhelyre jellemzők

Mobilis elemek

Elsősorban a másodlagos folyamatok alakítják

Geokémia 3 - sokelemes diagramok

Kerámia – patics – helyi üledék összehasonlítása: Endrőd-39 lelőhely, Neolitikum



- A helyi üledék kémiai összetétele hasonló a kerámiák és a patics kémiai összetételéhez → **közvetlen helyi nyersanyag-felhasználás**
- A kerámiák nagyobb Al- és néhány immobilis nyomelem-tartalma → **nagyobb agyagtartalomra utal**

Mössbauer spektroszkópia

- vas-oxidok, vas-hidroxidok, vas-oxi-hidroxidok, vastartalmú szilikátok pontos meghatározása
- vas oxidációs állapotának meghatározása, változásának nyomonkövetése
- vasásványok szerkezete, koordinációs állapotok

→ **Kiégelési, hőntartási körülmények rekonstrukciója**

Hátrány

- magas költség
- utólagos oxidációs-redukciós folyamatok zavaró hatása

Raman spektroszkópia

Információ nagyon kis területről – egyedi kis szemcsék, esetleg zárványok vizsgálata;
pl. festék, máz, szerves molekulák

Gorzsa:



Fehér: aragonit (mollusca héj)

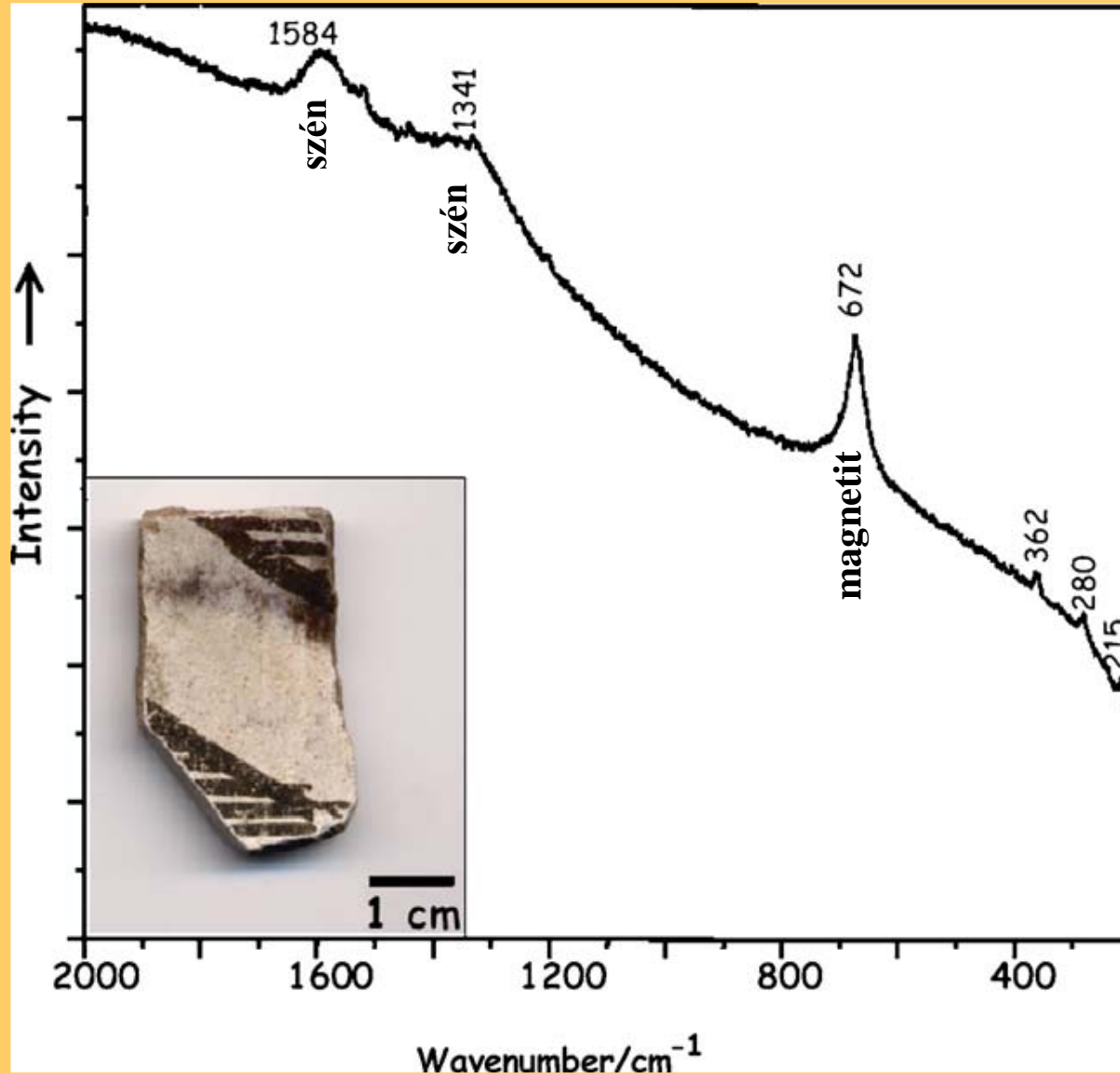


Vörös: okker



Fekete: szenes anyag (faszén?)

Raman spektroszkópia - példa



Wallace Ruin, Colorado: Ancestan Pueblo kerámia (Smith és Clark 2004 JAS 31, 1137-1160):

Termikus vizsgálatok - DTA

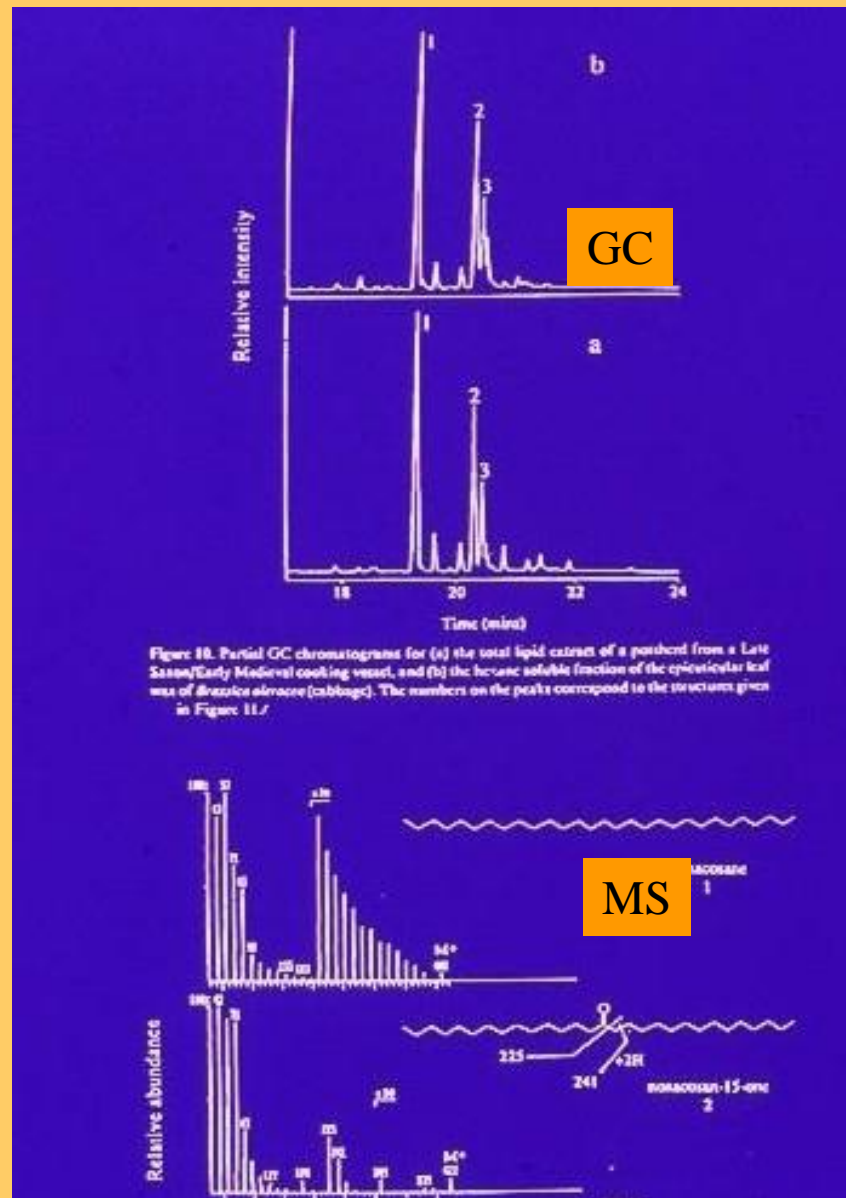
Kerámia vizsgálatoknál kevésbé elterjedt módszer

XRD vizsgálatokkal együtt jól használható

- fázisok azonosítása
- kiégetési hőmérséklet becslés

Kerámia tartalom: szerves maradványok

- Lipidek – hidrofóbok → megmaradnak
- Oldószerrel kioldás
- Szeparálás gáz kromatográfiával (GC)
- Meghatározás tömegspektrométerrel (MS)
- Növényi eredetű – zsírsavak, viaszos levelek, gyanta
- Állati eredetű – zsírsavak, koleszterin
- Elkülönítés: zsírsavak szénizotóp arányai alapján
 - Kérődzők – nem kérődzők
 - Állati eredetű zsírok és tej származékok (zsírok)



Egyéb irodalom

- 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, Miskolc, Egyetemi Kiadó pp. 49-90.
- Szakmány, Gy. (2013): Kerámiák archeometriai vizsgálata – közzétani 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, pp.: 735-754. (ISSN 2062-9877, ISBN 978-963-306-241-8)
- Szakmány, Gy., Nagy, A.. (2017): Kerámiák petrográfiai mikroszkópos vizsgálata: megfigyelések és értelmezés. In: Ridovics A., Bajnóczi B., Dági M., Lövei P. (szerk.): Interdiszciplinaritás. Archeometriai, régészeti és művészettörténeti tanulmányok, Magyar Nemzeti Múzeum – Szépművészeti Múzeum, Budapest, pp.: 249-261. ISBN: 978-615-5209-79-6
- Szilágyi, V. (2011): Kerámia anyagvizsgálata. In: Müller, R.: Régészeti kézikönyv. Magyar Régész Szövetség, Budapest: 493-504.
- Quinn, P. S. (2013): Ceramic Petrography. Archaeopress, Oxford, 254 pp.