

## Kerámiák archeometriai vizsgálata

Szakmány György – Szilágyi Veronika

Archeometria - 2019. április 12.

### 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  $< 2 \mu\text{m}$  szemcsenagyság
- 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 tölcstorkolatokban
- Talajok: gyakori az aleuritos agyag vagy az agyagos aleurit (vályog)
- Kerámia osztályozása szemcseméret alapján
  - *finomkerámia* – max.  $0,1-0,2 \text{ mm}$  szemcsék, pórusok fazekasáru, mázas kerámiák, keménycserép, kőedény
  - *durvakerámia* – szemcsék, pórusok mérete  $> 0,1-0,2 \text{ mm}$  építési kerámiák, téglák, kőagyag cső

## Agyag - kémiai összetétel

- **Uralkodó összetevők**
  - Szilícium ( $\text{SiO}_2$ )
  - Alumínium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
  - $\text{H}_2\text{O}$ 
    - $\rightarrow$  víztartalmú alumínium szilikátok
    - eltérő Si, Al és  $\text{H}_2\text{O}$  tartalom  $\rightarrow$  különböző agyag típusok
    - $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$  változása általában 1:1 – 1:4
    - $\text{H}_2\text{O} \sim 13-35\%$
- **Egyéb összetevők**
  - Egyéb oxidok (leggyakoribb Fe, Mg, Na, K stb.)  $\rightarrow$  kémiai összetételt befolyásolja

## 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  $<$   $1550^\circ\text{C}$ )**
  - 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

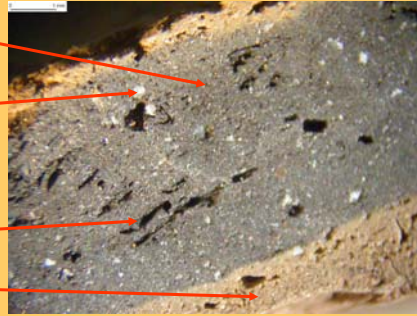
- > 15 $\mu$ m
- relik
- ásvány-kőzettörmelék, homok, szerves anyag (növénymaradványok, csont stb.)

### Pórus

#### Szegély (máz)

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

**Másodlagos fázisok** – használat illetve betemetődés során képződnek



Vörs – neolitikum, Starčevo-kultúra

## 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 kőzettörmelék
  - tört kerámia (grog)
  - grafit
  - szervesanyag (pl. pelyva, lószőr stb.)
  - csontörlemény
  - kagylóhéj



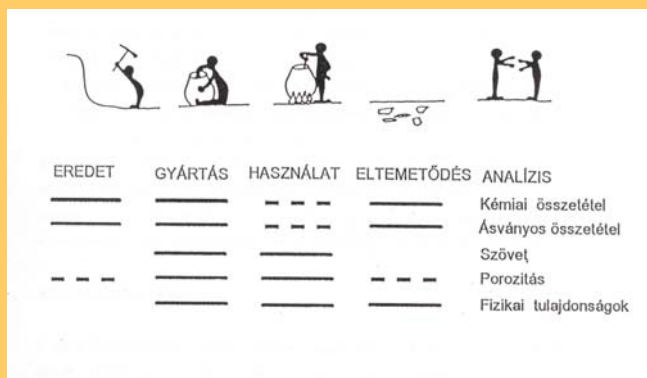
Bronzkor, Biatorbágy  
fotó: Kreiter Attila

## 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

### Vízátárolók

- 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

## A megfelelő nyersanyag felkutatása

Mi a megfelelő?

Plaszticitás (képlékenység)

Zsugorodási tulajdonságok (szárítás, égetés)

Szemcseméret (és eloszlás), szemcse összetétel



Figure 4.10. Laboratory performance tests to evaluate workability: (a) coil test; (b) loop test; and (c) ball test.

Herbert & McReynolds, 2008



Figure 4.11. A lean sample (FBR015). Note the broken coil (upper left), sagging loop (upper right), and deeply cracked ball (bottom).

<<< Nem megfelelő

Elrepedő hurka

Nem alaktartó hurok

Berepedező tömbperem

**TÚL SOVÁNY AGYAG**

Megfelelő

>>>

Alaktartó hurka

Alaktartó hurok

Ép tömbperem

**KELLŐEN KÖVÉR AGYAG**

**de: erősen zsugorodik!**



Figure 4.12. A good sample (FBR040). The coils and ball did not crack, and the loop retained its shape.

Herbert & McReynolds, 2008

## A nyersanyag előkészítése az edénykészítéshez



**SOVÁNY AGYAG**

A képlékenységi tulajdonságokat javítani kell!

Pl. keverés kövér agyaggal

**KÖVÉR AGYAG**

A zsugorodási tulajdonságokat javítani kell!

-soványító anyaggal

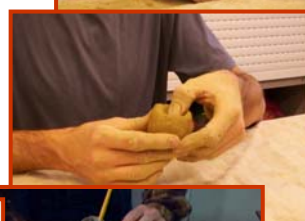
-sovány agyag hozzákeverésével



## Edényformálási technikák

### Az edény előformálása:

- hurka-/szalagtechnika
- egy nagyobb tömb agyagból történő kézi formálás (pl.: nyomkodás, felhúzás, sulykolás)
- lapokból történő felépítés
- formába nyomás (földbe vájt türeg)
- korongolás: kézi/lábi?  
lassú/gyors?



### Az edény további formálása:

- utánkorongolás

## Edényformálási technikák – I.: hurka- vagy szalagtechnika

1. talp megformálása
2. a szalagok egyenkénti gyúrása
3. szalagok talpra építése
4. az illesztések összedolgozása
5. felületi eldolgozás



## Edényformálási technikák – II.: egy nagyobb agyagdarabból történő kinyomkodás



Csak a szabad kéz  
használatával

## Edényformálási technikák – II.: egy nagyobb agyagdarabból történő kinyomkodás



Nyomkodás vagy  
valamilyen eszköz  
használatával:  
sulykolás

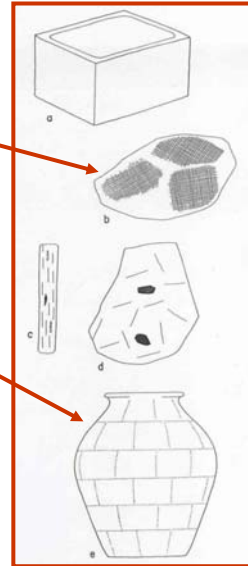


## Edényformálási technikák – III.: lapokból történő edényfelrakás



felületeldolgozás  
nyomai

a lapok  
illesztésének  
nyomai



Rye, 1981

## Edényformálási technikák – IV.: formába nyomás

Pozitív formára nyomás

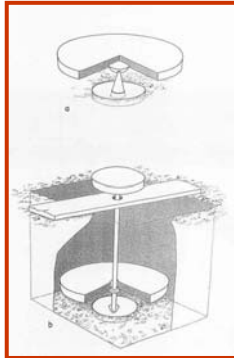


Negatív formába nyomás



## Edényformálási technikák – V.: korongolás – lassú és gyors

**Kézi/állótengelyű/  
lassú korong  
és  
lábítós/forgótengelyű/  
gyors korong**



**rögzített és forgó tengelyek**



## Edénydíszítési technikák Mit értünk az egyes definíciók alatt?

Polírozás (fényezés, kavicsolás, sikálás)



Negatív díszítés:

- eszköz lenyomat (...pecsét, rádli...)
- eszközlenyomat kitöltése (pl.: mészbetétes kerámia)

Pozitív díszítés:

- rátett díszek (...borda, gomb...)
- barbotin (írókázás, gurgulyázás)



Festés:

- engób (festett agyagbevonat)
- festés
- máz



## Edénydísztési technikák – I.: polírozás

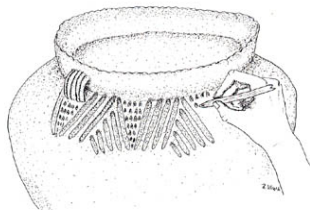


A polírozás börkemény kerámián történik!

Eszközei: kavics, bőr, csont, kemény termés

Eredménye: tömörített felületi réteg  
(nagyobb impermeabilitás, fényes felület)

## Edénydísztési technikák – II.: negatív díszítés

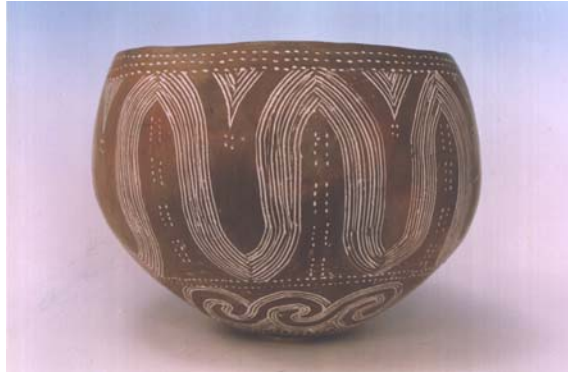


A negatív díszítés nyers vagy börkemény kerámián történik! (eltérő vonalprofil)

Eszközei: hegyes pálca (fa, fém, csont), rádni, pecsételő, termések-levelek

Eredménye: a felületbe bemélyedő motívumok

## Edénydíszítési technikák – II.: negatív díszítés+kitöltés



Mészbetétes kerámia: a bevéselt motívumokat kitöltötték  
Pl.: csontörlemény, mészörlemény (kagyló, mészkő)

## Edénydíszítési technikák – III.: pozitív díszítés



A pozitív díszítés nyers, de már kissé szárított  
 vagy bőrkemény kerámián történik!

Eszközei: kézzel formált fülek, bütykök,  
gombok, .../híg agyagos szuszpenzió felvitele  
(írókázás=gurgulyázás)

Eredménye: a felületből kiemelkedő (esetleg  
gyakorlati funkciót nyerő) motívum



## Edénydíszítési technikák – IV.: festés-mázazás



- szlip (festetlen agyagbevonat)
- Festés:
  - engób (festett agyagbevonat)
  - festés (égetés előtti/égetés utáni)
  - máz (ólom/ón)

Az engóbozás és a festés bőrkemény vagy már zsenyélt (kis T-n kiégetett) kerámián, a mázazás majdnem minden esetben zsenyélt kerámián történik!



Eszközei: vékony/hegyes eszközzel (ecset, pálca) történő híg agyagos szuszpenzió/festék paszta/máz felvitel vagy mártás

Eredménye: az eredeti felületet részben/teljesen elfedő, az edény anyagával azonos vagy attól eltérő színű és anyagú bevonat (dekoratív, nagyobb permeabilitás)

## Edénydíszítési technikák – IV.: festés

Festékanyagok:

égetés előtt felvitt és az égetéssel kialakított színek

MnO-ok  
(pl. manganit),  
faszén,  
grafit,  
goethit

hematit,  
goethit,  
lepidokrokit,  
bauxit/laterit,  
vörösre égő  
agyag/okker

limonit,  
sziderit,  
okker,  
„dudiföld”

gipsz,  
kaolinit,  
csont,  
diatóma-  
föld,  
mész



magnetit,  
grafit

malachit, azurit

cinnabarit

okker

kaolinit,  
csont,  
mész

égetés után felvitt (égetetlen) színek

+ egyéb (ásványi/növényi anyagokkal) színezett agyagok = engóbok

## Edénydíszítési technikák – IV.: mázazás

### Mázanyagok:

ólommázak: átlátszó, üvegszerű máz

engőb+festés > zsengezés > máz > „mázára égetés” (alacsony T)  
színtelen

sárga (Fe), barna (Mn), zöld (Cu), kék (Co)

ónmázak: nem átlátszó, fedőmáz

majolika/fajansz = zsengezés > máz+festés > „mázára égetés” (magas T)  
fehér, barna-lila (Mn), türkizzöld, kék (Co), sárga (Sb)



Ólommázás butellák



Ónmázás fajansz tál - habán

## Edénydíszítési technikák – IV.: máztörténet

**Első mázas kerámia:** Mezopotámia ~1500 BC – összetétel kb azonos az ugyanakkor készült üveggel – 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)

## 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 ↔ redukív**

- Szín: **vörös-bézs** ↔ **fekete/szürke**
  - változó: szendvicsszerkezet



- Befolyásolja: keménységet, zsugorodást, porozitást
- A reakciók oxidatív körülmények között kisebb T-n végbemennek, mint redukív körülmények között

## Kiégetés 2. - szín

| Kerámia színe                                    | Felfűtés atmoszférája | Hűlés atmoszférája | Szerves anyag tartalom |
|--|-----------------------|--------------------|------------------------|
| Szegély: <b>vörös-bézs</b><br>Mag: <b>fekete</b> | redukív               | <b>oxidatív</b>    | nincs/kevés            |
|  | <b>oxidatív</b>       | <b>oxidatív</b>    | sok                    |
| <b>Szürke-fekete</b>                             | redukív               | redukív            | nincs/kevés            |
| <b>Vörös-bézs</b>                                | <b>oxidatív</b>       | <b>oxidatív</b>    | nincs/elvétve          |
|  | redukív               | <b>oxidatív</b>    | nincs                  |

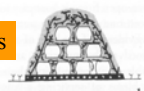
*Picon 1973, Nodari et al. 2004*

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

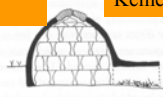


gödörégetés

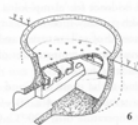
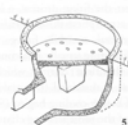


Szabályozatlan áramlás

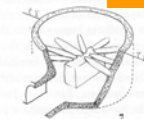
Kemence égetés



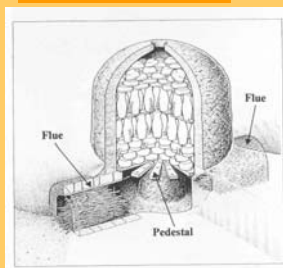
Felfelé áramló levegő



Római-kori kemencék



Középkori kemence



Henderson, 2000

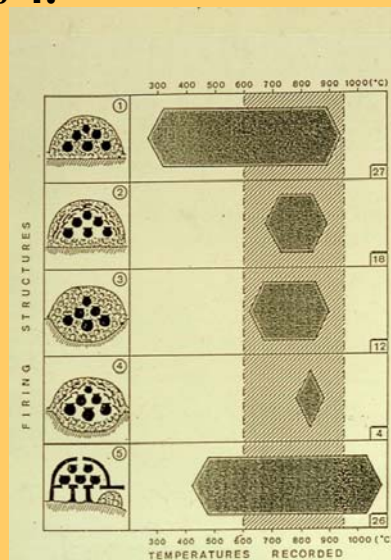
## Kiégetés 4.

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

- 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



Gosselain and Livingstone Smith, 1995

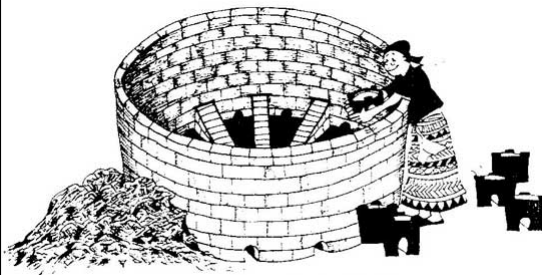
## Máglya égetés



## Gödrös égetés



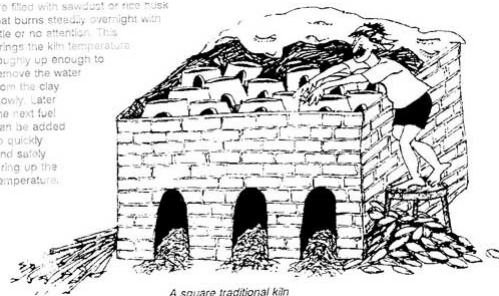
## Kemencés égetés



*The round enclosed fire kiln*



is filled with sawdust or fire brush  
at burns steadily overnight with  
little or no attention. This  
rings the kiln temperature  
highly up enough to  
remove the water  
from the clay  
slowly. Later  
the next fuel  
can be added  
& quickly  
and slowly  
ring 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

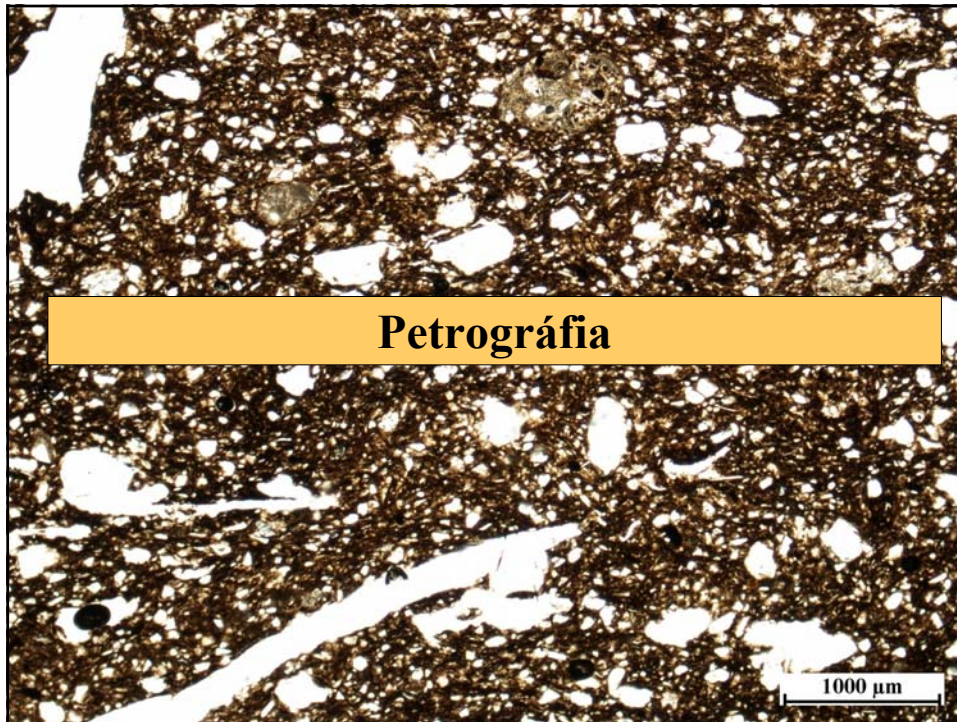
- fehér, esetenként áttetsző
- nagyon kemény, igen kis porozitású
- kiégetési T: igen magas (1300-1450°C)
- első megjelenés:
  - É-Kína: 6-7. század AD
    - nyersanyag: kaolinit
  - D-Kína: 10. század AD
    - nyersanyag: „porcelánkő”: kvarc+muszkovit+albit±kaolinit
  - Európa:
    - 16. század, Itália (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   |
|--|---|---|
| <b>Petrográfia</b><br>+elektronmikroszkópia<br>(SEM-EDX)                   | Nem plasztikus<br>elegyrészek<br>Szövet (+mátrix)<br>Másodlagos fázisok | Nyersanyag azonosítása és<br>származási helye<br>Technológia<br>Használati ill. betemetődési<br>viszonyok |
| <b>Rtg-pordiffrakció</b>   | Mátrix<br>Másodlagos fázisok  | Technológia (kiégetés T)<br>Nyersanyag azonosítása<br>Betemetődési viszonyok                              |
| <b>Kémiai elemzések</b> (fő- és<br>nyomelemek)<br>(NAA, XRF, ICP-MS, PGAA) | Teljes anyag (mátrix +<br>soványító anyag)                              | Kerámiák csoportosítása<br>Műhely azonosítása<br>Származási hely  |
| <b>Egyéb</b> (mikromineralógia,<br>katódlumineszcencia stb.)               | Vizsgálati módszertől<br>függ   | Nyersanyaglelőhely,<br>technológia pontosítása<br>Utóhatások  |



## Petrográfia: polarizációs mikroszkópi vizsgálat

- Alapvető vizsgálati módszer: nem plasztikus elegyrészek, szövet

**Mintaelőkészítés:**

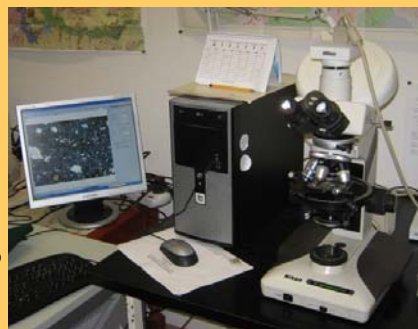
vágás – csiszolás → vékonycsiszolat



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

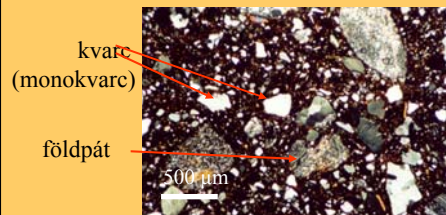
- A nem plasztikus elegyrészek mennyisége, szemcsemérete és eloszlása, osztályozottsága, koptatottsága
- mátrix (szín, optikai aktivitás)

### Porozitás

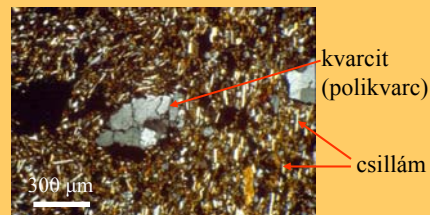
→ *készítési technológia*

## Nem plasztikus elegyrészek 1. Ásványtörmelékek

### Gyakori elegyrészek:



Szécsény, neolitikum- Zseliz kultúra

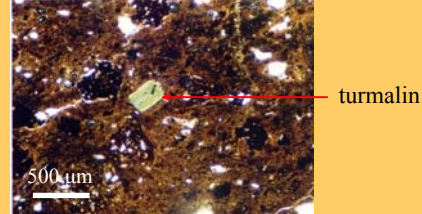


Szőny, Római kor

### Ritka elegyrészek (akcesszóriák = nehézásványok):



Szarvas, neolitikum – Körös kultúra

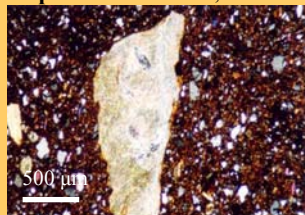


Vörs, neolitikum – Starčevo kultúra

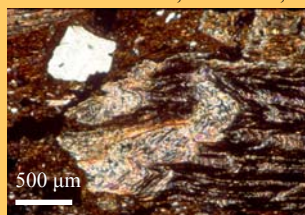
## Nem plasztikus elegyrészek 2. Kőzettörmelékek

Előfordulás: elsősorban durva kerámiákban

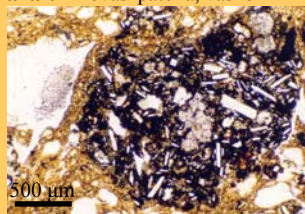
**Talkpala** - Vaskeresztes, vaskor



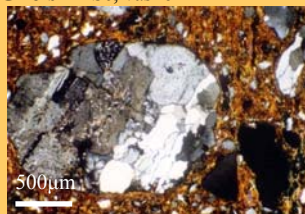
**Fillit** – Felsővadász, neolitikum, Bükki kultúra



**Bazalt** - Lováspatona, vaskor

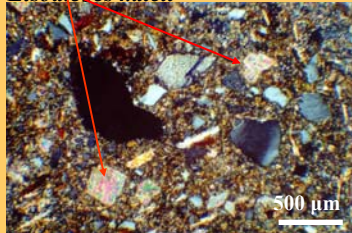


**Gneisz** – Sé, vaskor



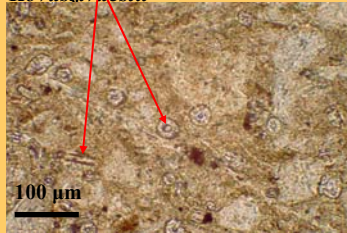
## Nem plasztikus elegyrészek 3. Mészkő, kalcit, ősmaradványok

*Elsődleges kalcit*



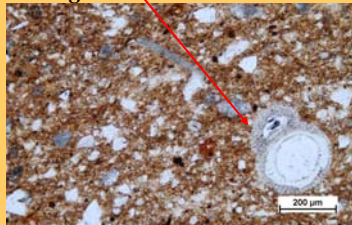
Endrőd, Neolitikum - Körös-kultúra

*Kovaszivacstű*



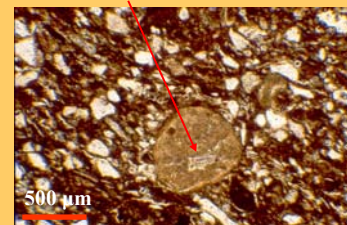
Bicske, neolitikum -Dunántúli Vonaldíszes Kerámia

*Globigerina*



Fażana, Isztria – Római kori amphora

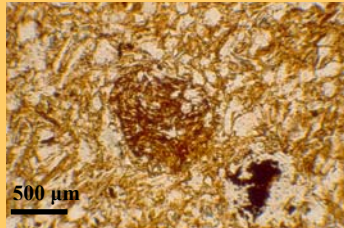
*Kovaszivacstű mészkőben*



Bicske, neolitikum – Dunántúli Vonaldíszes Kerámia

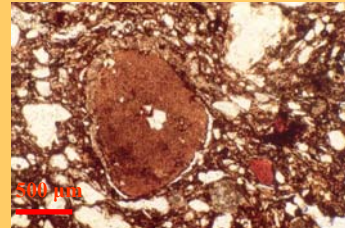
## Nem plasztikus elegyrészek 4. Agyagkőzetek, tört kerámia – Whitbread (1986)

*Agyagpellet (agyagos soványítóanyag)*



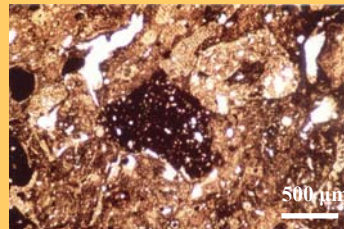
Szőny, Római-kor

*Agyagos kőzettörmelék (ARF)*

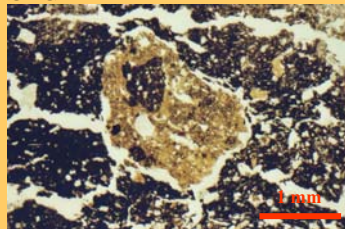


Felsővadász, bronzkor

*Kerámia töredékek (grog)*



Felsővadász, Neolitikum – Bükki kultúra



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

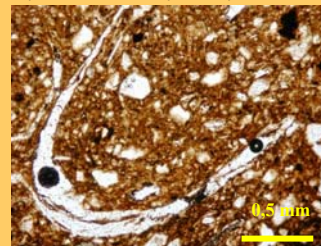
## Nem plasztikus elegyrészek 5. Szerves anyag és maradványai

*Szerves anyag*



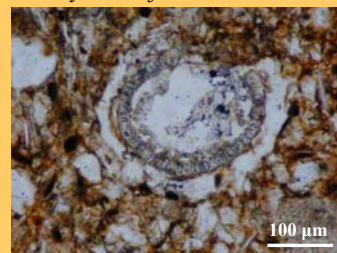
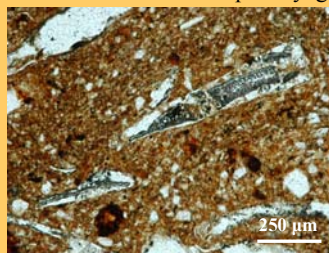
Vörs, neolitikum

*Pelyva maradványa/helye*

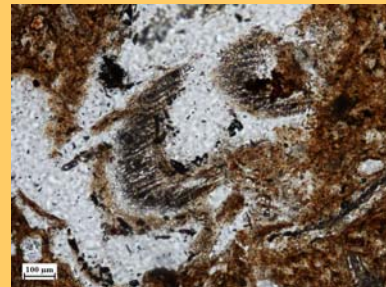
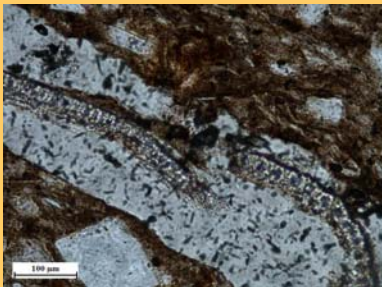
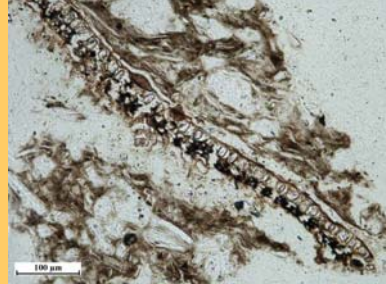
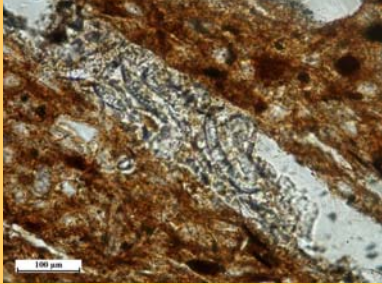


Szarvas-23 kora neolitikum

*Fitolit* – opál anyagú növénymaradványok – sejtek körül kiválás



## Fitolit (növényi opál)

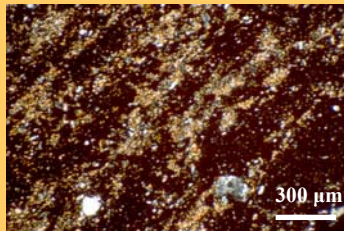


Szarvas és Endrőd, Körös-kultúra, kora neolitikum

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

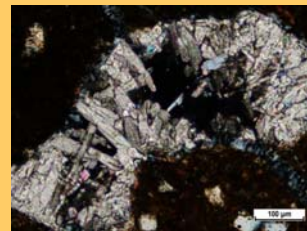
## Utólagos átalakulás - használat, betemetődés

### Karbonátos átítatás



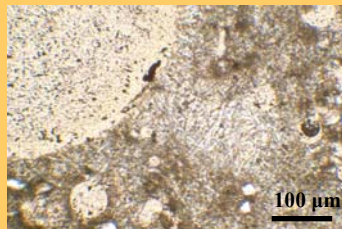
Szöny, Római-kor

### Póruskitöltő karbonát



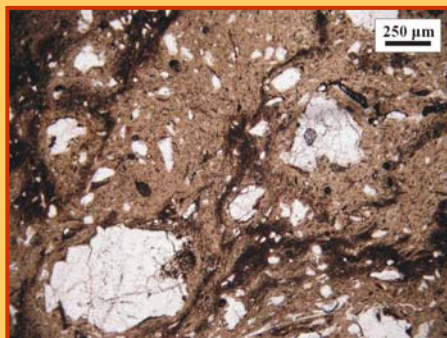
Fażana, Isztria – Római kori amphora

### Megolvadás



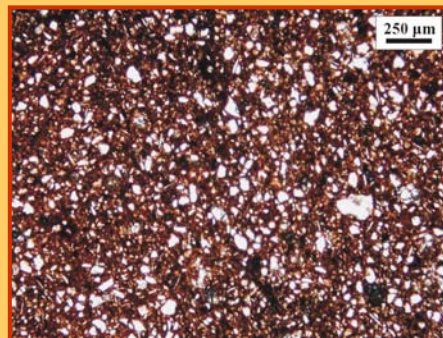
Bicske, Neolitikum, – Dunántúli  
Vonaldiszes Kerámia

## Szövet – az agyagok alaptípusai



↓  
**Kövér, törmelékiszegény  
agyag**

↓  
Soványítás szükséges



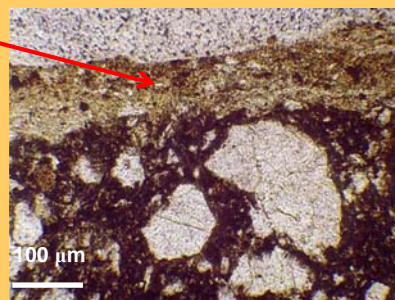
↓  
**Sovány agyag**

## Szegély, szlip, engób

**Szlip, engób** – vékony, agyagbevonat  
(iszapolt agyag)

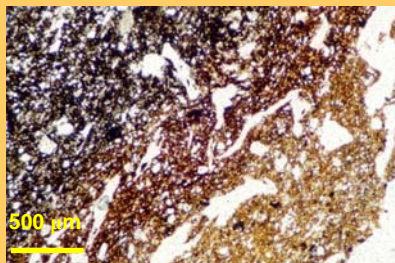
- Színtelen - szlip
- Színes - engób

Formázás után, kiégetés előtt



„Szendvics szerkezet”

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



## 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**

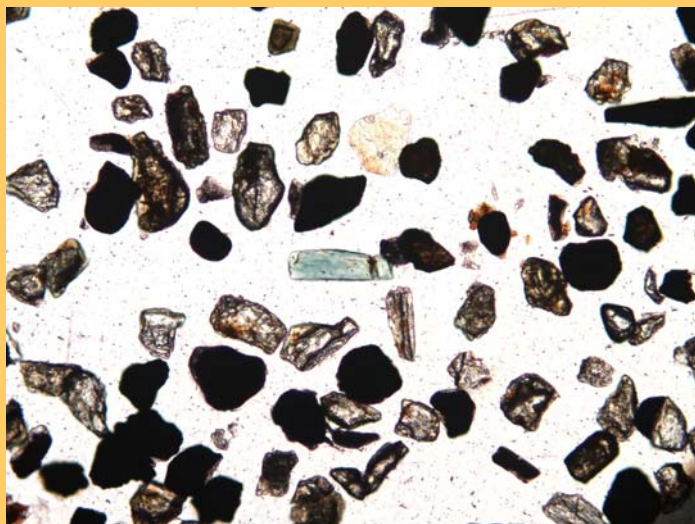
*Hátrány:*

- **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

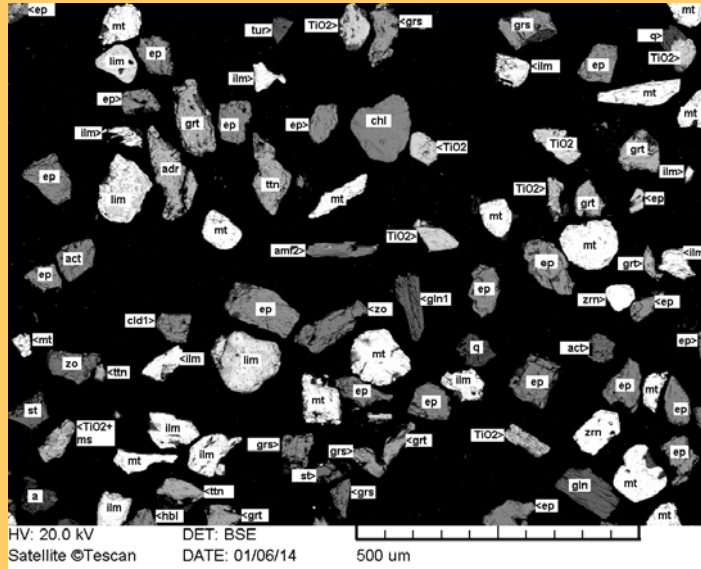
## Mikromineralógia

Polarizációs mikroszkóp



# Mikromineralógia

## Elektronmikroszkóp



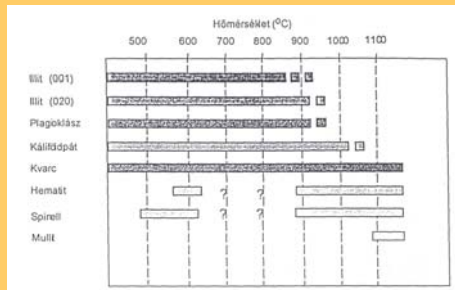
## Röntgen-pordiffrakciós vizsgálat (XRD) 1.

Alapvető vizsgálati módszer:

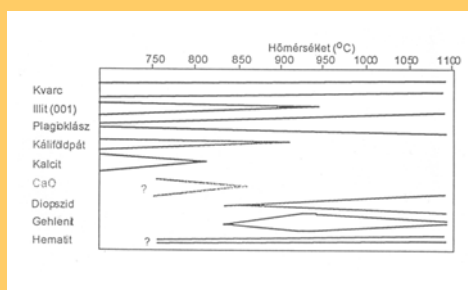
- plasztikus agyag és átalakulási termékei → **kiégetési T**
- másodlagos elegyrészek → utóhatások (használat, betemetődés)

Alap: Hőmérséklet hatására történő fázisátalakulások

Illites, nem meszes agyag:



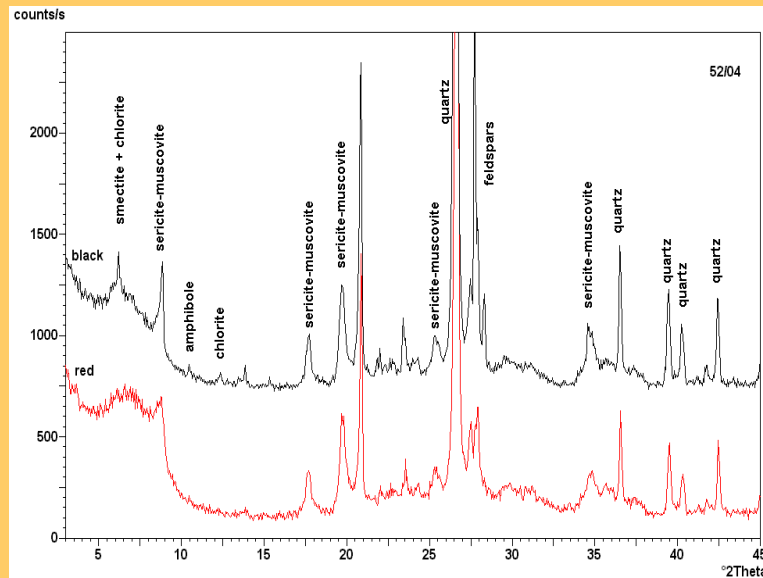
Illites, meszes agyag:



Maggetti, 1982

## Röntgen-pordiffrakciós vizsgálat – példa

Ásványfázisok azonosítása – szendvics szerkezetű kerámián



## Pásztázó elektronmikroszkópia (SEM)

Petrográfiai mikroszkópnál jobb felbontás: mikroszerkezeti bélyegek vizsgálhatók

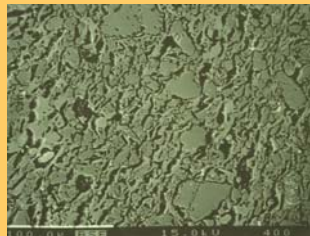
Kiégétségi – hőntartási folyamatok nyomonkövetése – anyag plasztikussá válásával kapcsolatos átrendeződés, üvegesedés → hőmérséklet becslése

Üvegesedés kezdete:

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

kaolinites agyagok kerámiái: ~ 1000 °C

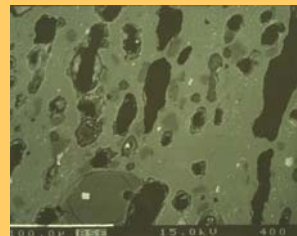
*kezdődő üvegesedés*



*előrehaladott üvegesedés*



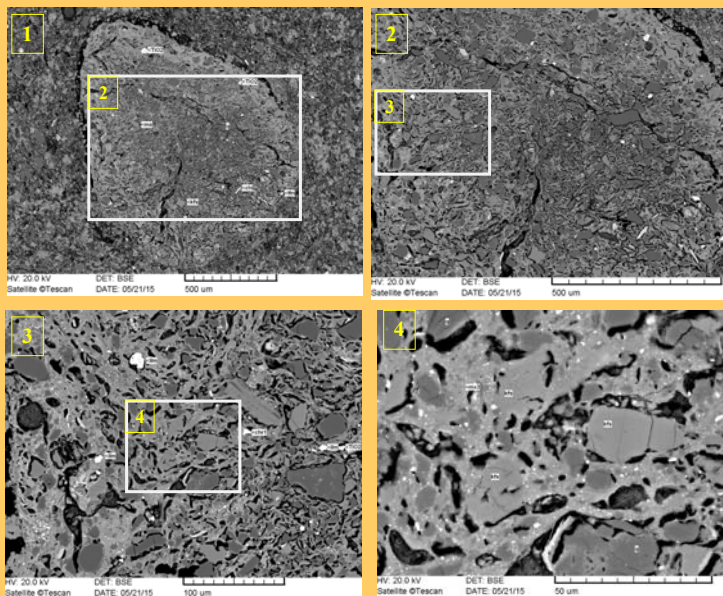
*kiterjedt üvegesedés*



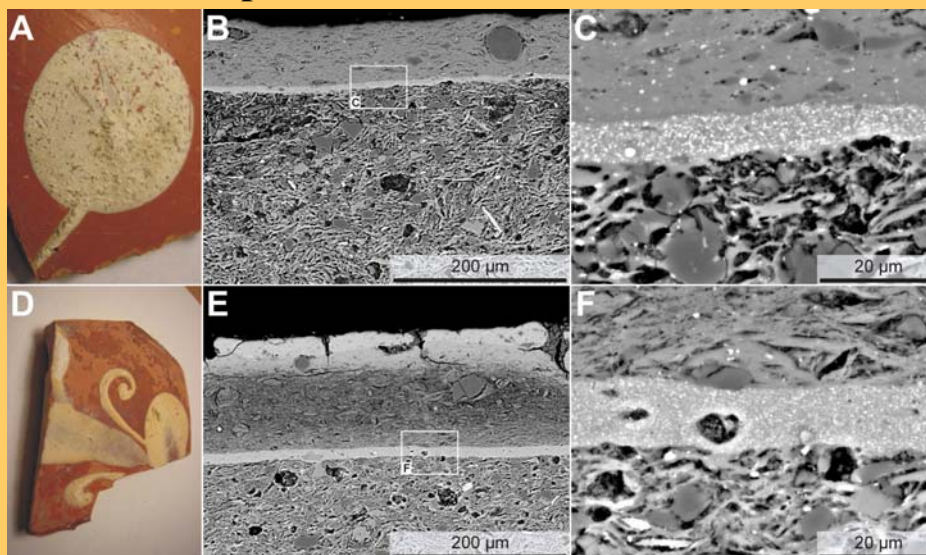
Tite nyomán

## Pásztázó elektronmikroszkópia (SEM-EDX) - nem plasztikus elegyrészek és a mátrix kémiai összetétele

Római kori tegula  
fokozatosan  
növekvő  
nagyítással



## SEM-EDX példa 2: Római kerámiák és barbotin



Irodalom: Harsányi et al. (2013): Applied Clay Science, 82, 31-46

## 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

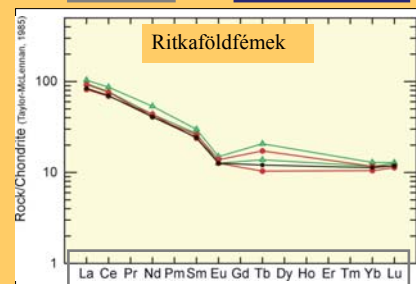
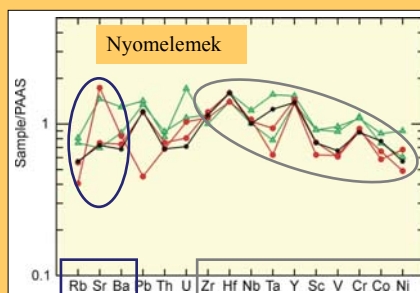
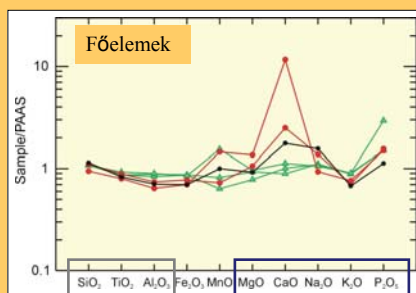
**PGAA**

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

**Egyéb módszerek:** pl. PIXE, AAS, stb.

## Geokémia – sokelemes diagramok

Kora Neolitikum, Endrőd-39 lelőhely



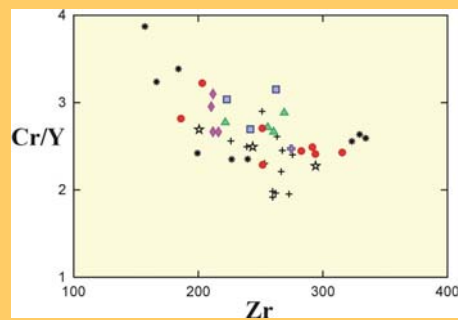
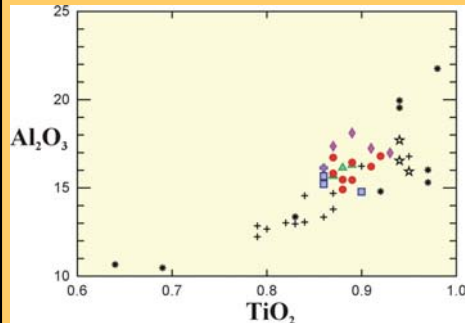
**Immobilis elemek**

Nyersanyag lelőhelyre jellemzők

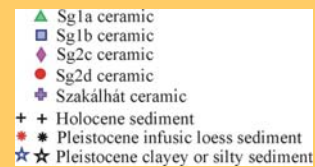
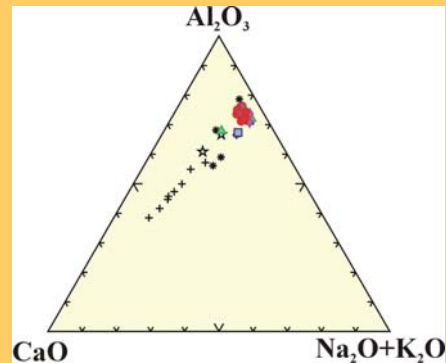
**Mobilis elemek**

Elsősorban a másodlagos folyamatok alakítják

Kora neolitikum, Szarvas-Endrőd



## Geokémia - kétváltozós és háromszög diagramok



## Mössbauer spektroszkópia

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

→ **Kiégelési, hőtartási 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

Gorzsza:



Fehér: aragonit (mollusca héj)



Vörös: okker



Fekete: szenes anyag (faszén?)

## Termikus vizsgálatok - DTA

Kerámia vizsgálatoknál kevésbé elterjedt módszer

XRD vizsgálatokkal együtt jól használható

- fázisok azonosítása
- kiégetési hőmérséklet becslés

## Kerámia tartalom: szerves maradványok

- Lipidek – hidrofóbbok → 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)

