# Világítástechnikai üveghulladék tégla- és cserépipari felhasználhatóságának lehetőségei

## 1. rész

**Laczkó László[1)] – Gyutai Zsolt[1)] – Korim Tamás[2)] – Pósa Imre[1)]**

laborvezető helyettes | kutató analitikus | intézetigazgató, egyetemi docens | okl. gépészmérnök

**[1)]SZIKKTI Labor Szilikátkémiai Anyagvizsgáló-Kutató Kft. (Budapest)**

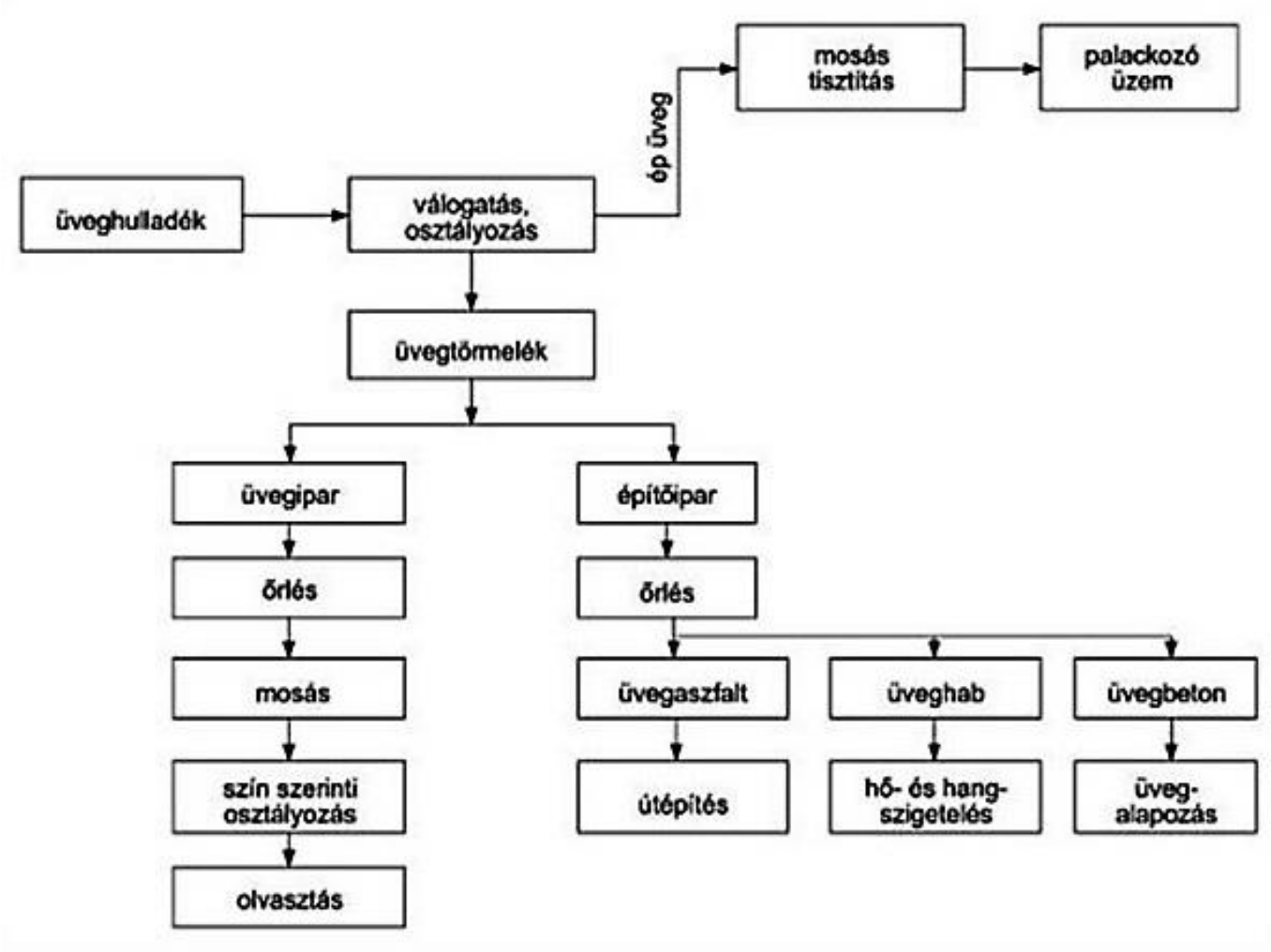
**[2)]Pannon Egyetem (Veszprém) Anyagmérnöki Intézet**

# Célkitűzés

EU-s előírás, hogy a képződött üveghulladékot minimum 80%-ban újra kell hasznosítani. A lámpaüveg hulladék újraolvasztása környezetvédelmi okok miatt nem, vagy csak korlátozott mértékben lehetséges, ezért az építőanyag-ipar más szegmenseiben keresik az újrahasznosítási lehetőségeket.

Kísérleti munkánk célja az építőipari alkalmazás egy szegmensének az **agyagbázisú építőelemek** (tégla és tetőcserép) előállításának vizsgálata volt.

# Az üveghulladék építőipari újrahasznosítása



SZIKKTI LABOR

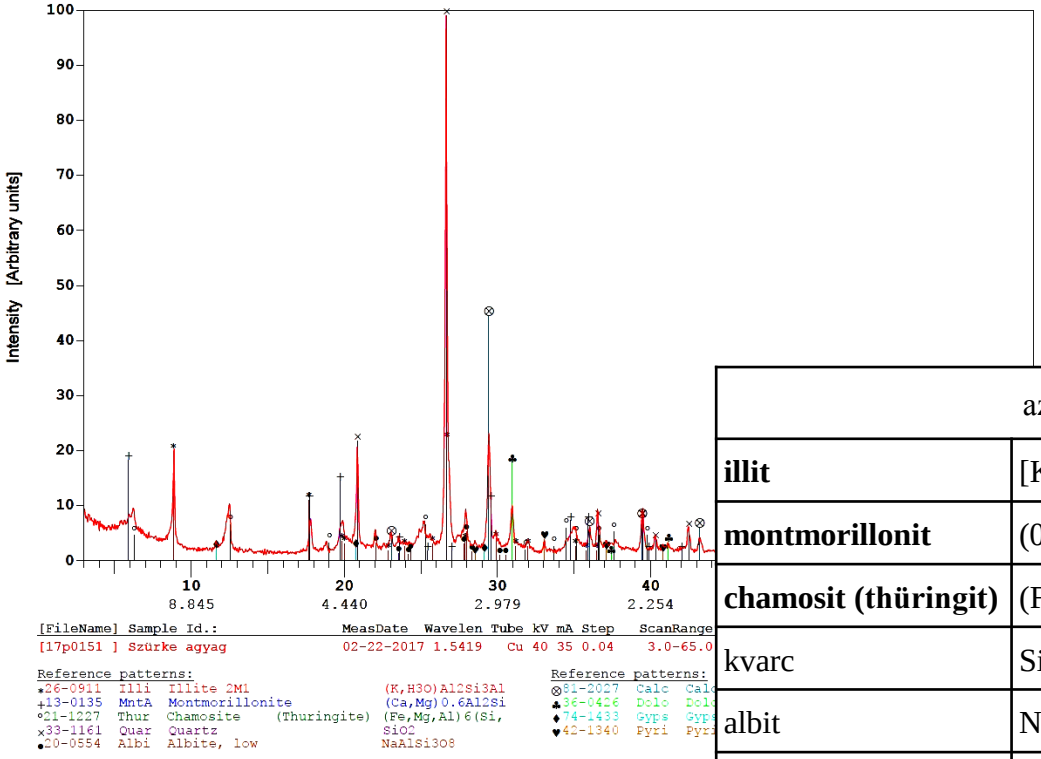
# Az előadás vázlata

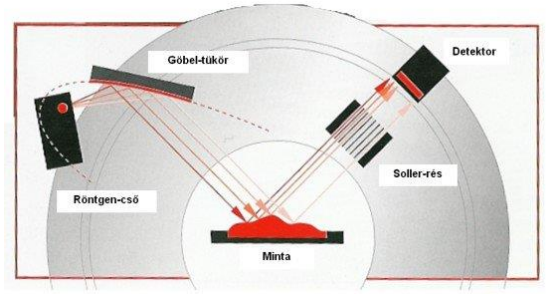
- A felhasznált anyagok jellemzése
- Formázással kapcsolatos tulajdonságok vizsgálata (megmunkálási víztartalom, Pfefferkorn-féle képlékenységi szám)
- Száradással kapcsolatos tulajdonságok vizsgálata (száradási zsugorodás, Macey-féle száradási érzékenység vizsgálat)
- Égetés utáni tulajdonságok vizsgálata (égetési zsugorodás, fáziösszetétel-változás, morfológia, testsűrűség, porozitás, hajlítószilárdság)

# A kísérletekhez felhasznált agyag és üveg kémiai összetétele

| | szürke agyag (Solymár) | üveg minta |
|---|---|---|
| | kémiai összetétel, $^{m}/_{m}$ % | |
| izzítási veszteség (1000 °C) | 11,82 | - |
| $SiO_2$ | 49,88 | 72,36 |
| $Al_2O_3$ | 16,47 | 2,14 |
| $Fe_2O_3$ | 5,53 | 0,13 |
| CaO | 8,06 | 4,89 |
| MgO | 3,06 | 3,26 |
| $SO_3$ | 0,92 | 0,17 |
| $K_2O$ | 2,71 | 0,68 |
| $Na_2O$ | 0,57 | 16,23 |
| $TiO_2$ | 0,75 | 0,06 |
| $Mn_2O_3$ | 0,05 | < 0,01 |
| $P_2O_5$ | 0,12 | 0,01 |
| SrO | 0,05 | 0,04 |
| ZnO | 0,01 | < 0,01 |
| $ZrO_2$ | < 0,01 | 0,03 |

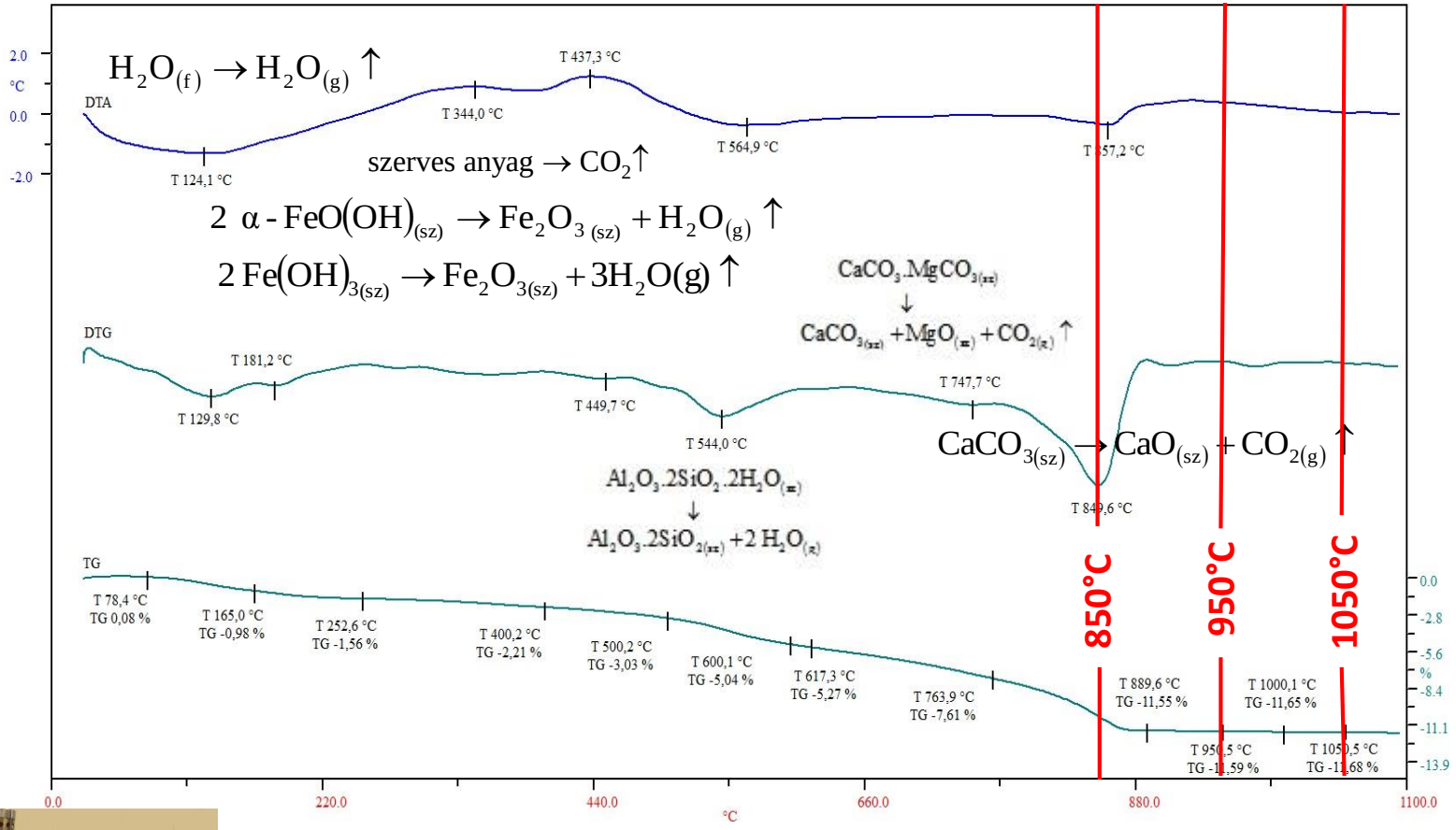
# A kísérletekhez felhasznált agyag ásványi összetétele




| azonosított fázisok | | fázisösszetétel, $^{m}/_{m}$ % |
|---|---|---|
| **illit** | $[K(H_3O)^+]Al_2[SiO_3AlO_{10}](OH)_2$ | **20** |
| **montmorillonit** | $(0{,}5Ca,Na)_{0,7}(Mg_{0,7}Al_{3,3})[(Si_8O_{20})(OH)_4]$ | **25** |
| **chamosit (thüringit)** | $(Fe^{2+},Mg)_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$ | **10** |
| kvarc | $SiO_2$ | 20 |
| albit | $NaAlSi_3O_8$ | 5 |
| kalcit | $CaCO_3$ | 10 |
| dolomit | $(Ca,Mg)(CO_3)_2$ | 5 |
| gipsz | $CaSO_4.2H_2O$ | 1 |
| pirit | $FeS_2$ | 1 |
| röntgenamrof | - | 3 |

# A kísérletekhez felhasznált agyag termoanalitikai vizsgálata



# Masszakészítés

**világítástechnikai üvegzúzalék**
**(egyenes fénycsőüveg)**

**solymári agyag**

**solymári agyag + üvegzúzalék**

# Masszaösszetételek

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0% üvegzúzalék<br>+<br>100 %<br>solymári agyag | 10%<br>0-1 mm<br>szemcseméretű<br>üvegzúzalék<br>+<br>90 %<br>solymári agyag | 20%<br>0-1 mm<br>szemcseméretű<br>üvegzúzalék<br>+<br>80 %<br>solymári agyag | 30%<br>0-1 mm<br>szemcseméretű<br>üvegzúzalék<br>+<br>70 %<br>solymári agyag | 40%<br>0-1 mm<br>szemcseméretű<br>üvegzúzalék<br>+<br>60 %<br>solymári agyag |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0% üvegzúzalék<br>+<br>100 %<br>solymári agyag | 10%<br>1-2 mm<br>szemcseméretű<br>üvegzúzalék<br>+<br>90 %<br>solymári agyag | 20%<br>1-2 mm<br>szemcseméretű<br>üvegzúzalék<br>+<br>80 %<br>solymári agyag | 30%<br>1-2 mm<br>szemcseméretű<br>üvegzúzalék<br>+<br>70 %<br>solymári agyag | 40%<br>1-2 mm<br>szemcseméretű<br>üvegzúzalék<br>+<br>60 %<br>solymári agyag |

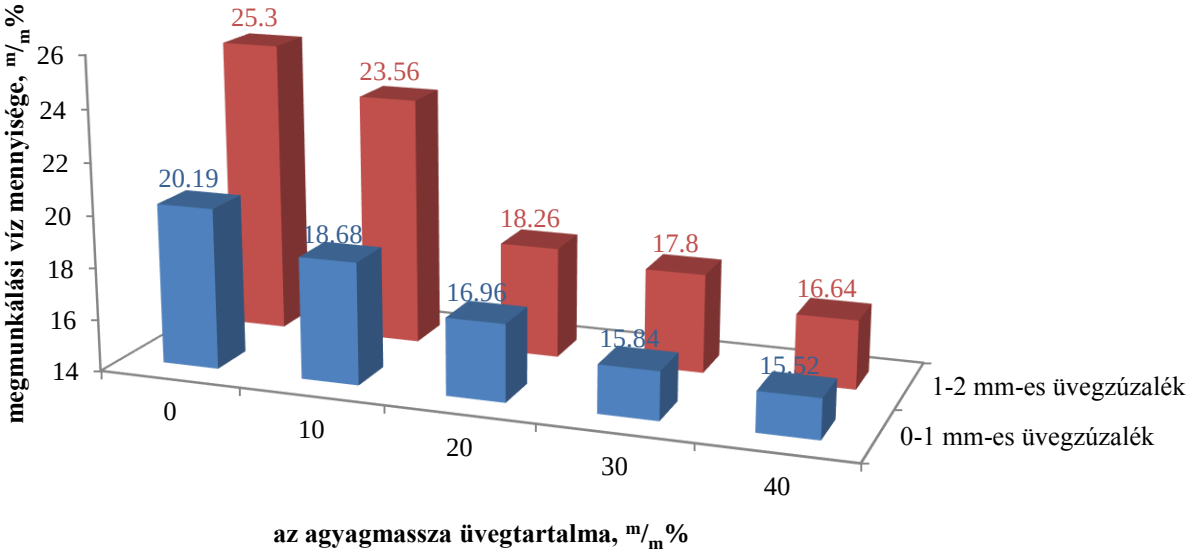
# Próbatestek készítése

32 x 64 x 15 mm
élhosszúságú sablon

A sablonból kiemelt
nyersminta

# Megmunkálási víztartalom

A megmunkálási víztartalom alatt az adott technológia mellett jól formázható massza nedvességtartalmát értjük, a száraz anyag tömegszázalékára vonatkoztatva.

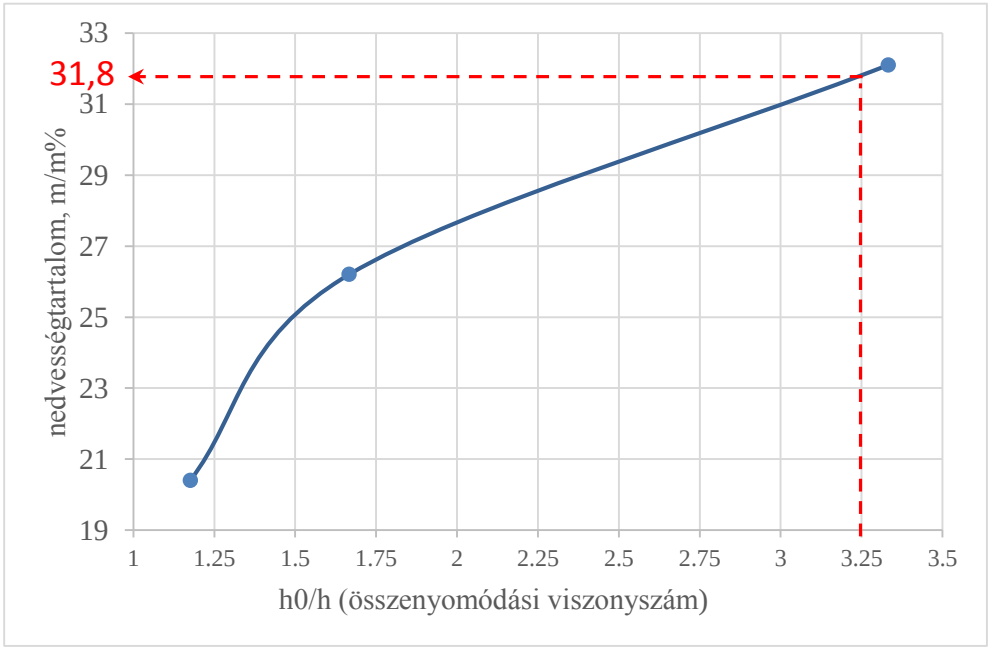



Az **üvegtartalom soványító komponensként viselkedik** az agyagmasszában, mert a megmunkálási víztartalom az üvegtartalom függvényében csökken.

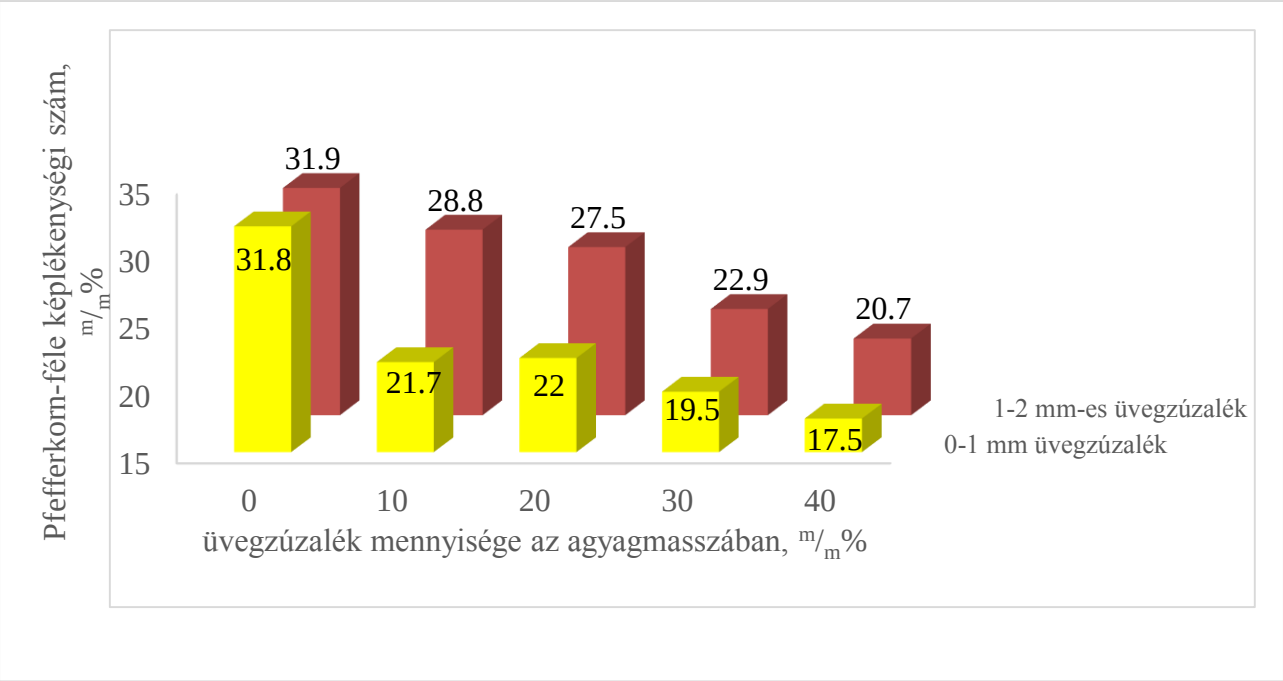
# Pfefferkorn-féle képlékenység

A képlékenység szoros összefüggésben áll az agyagot alkotó agyagásványok mennyiségével, minőségével, szemcseméretével. A képlékenység számszerű meghatározására dolgozták ki az úgynevezett Pfefferkorn-féle képlékenységi vizsgálatot.

A Pfefferkorn-féle képlékenységi szám az a százalékos víztartalom, amelynél egy adott méretű agyagmassza henger meghatározott erő hatására l/0,307 (=3,25) szorosára nyomódik össze.



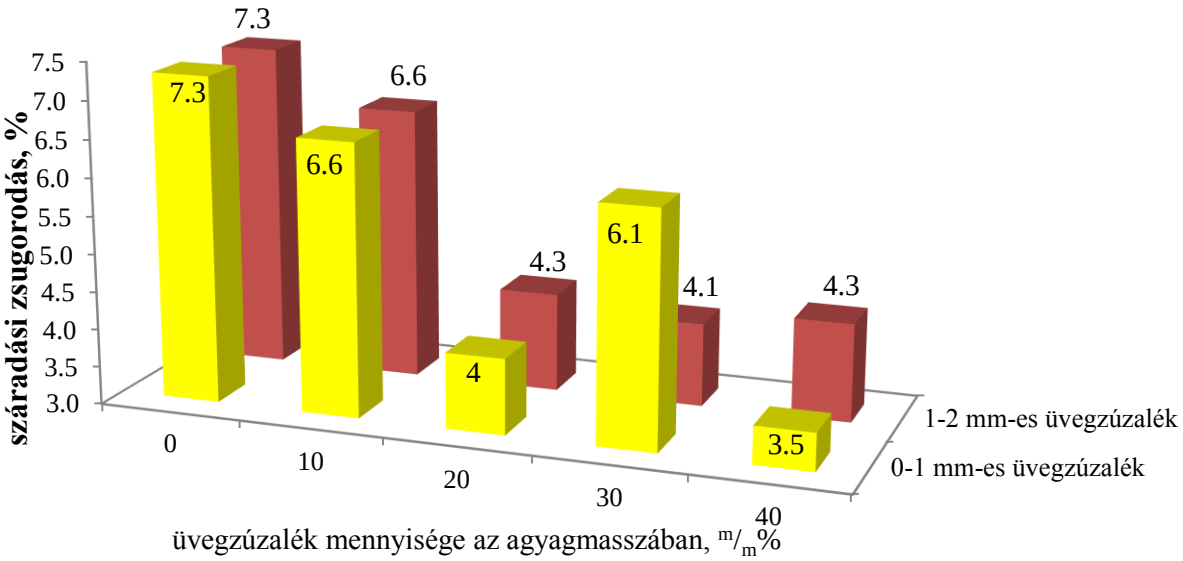
# Pfefferkorn-féle képlékenység




Az üveghulladék soványító hatású, a 40 $^{m}/_{m}$ % 0-1 mm szemcseméretű üveghulladék tartalmú minta képlékenységi értéke kb. a fele, a 40 $^{m}/_{m}$ % 1-2 mm szemcseméretű agyagmassza képlékenysége kb. az 1/3-a az adalékmentes massza képlékenységi értékének.

# Száradási zsugorodás

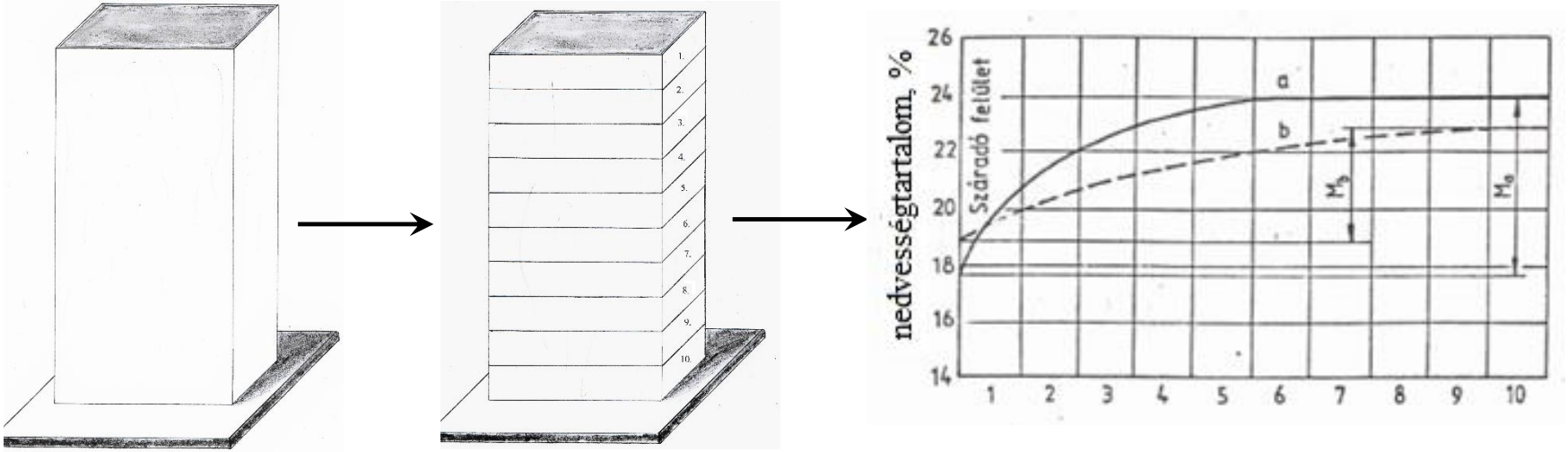
A lineáris száradási zsugorodás a próbatest valamely frissen formázott méretének és a kiszárított test ugyanazon méretének különbsége, a frissen formázott test hosszméretének százalékában kifejezve.



Száradás szempontjából az üveghulladék adagolása kedvező hatású, mivel csökkenti a késztermék méretváltozását, ezáltal kisebb az esély a deformitásra, repedezésre.

# Macey-féle száradási érzékenység

Egyenlőtlen nedvességeloszlás esetén egyenlőtlen száradási zsugorodás lép fel a szárítandó termékben. Ennek hatására az elemek felületén húzó-, belsejében nyomófeszültségek keletkeznek. Ha ezek a húzófeszültségek túllépik az agyag húzószilárdságát, akkor a mintadarabok (gyártás során a nyerstermékek) megrepednek. A száradási érzékenységet a Macey-féle száradási érzékenységi számmal jellemezzük.



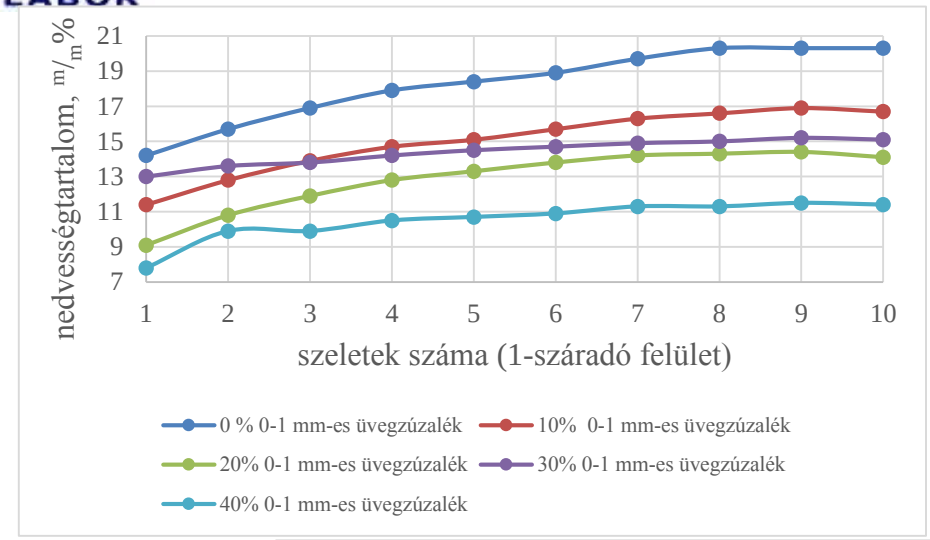

A száradásra nem érzékeny agyagoknál a Macey szám < 3,5; a közepesen érzékeny agyagoknál 3,5-7,0 % közötti, > 7,1 -nél már nagy, > 10,1 -nél a massza igen nagy érzékenységűnek mondható.

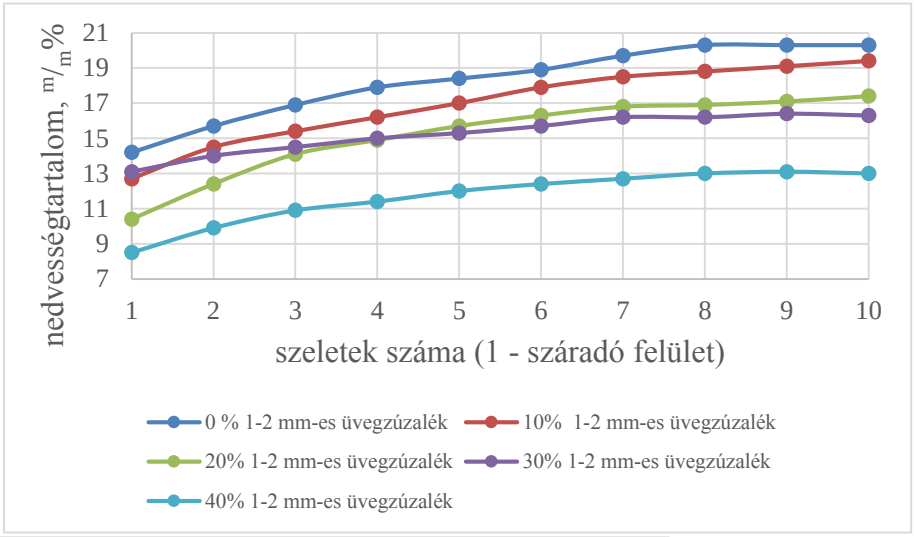
# Macey-féle száradási érzékenység

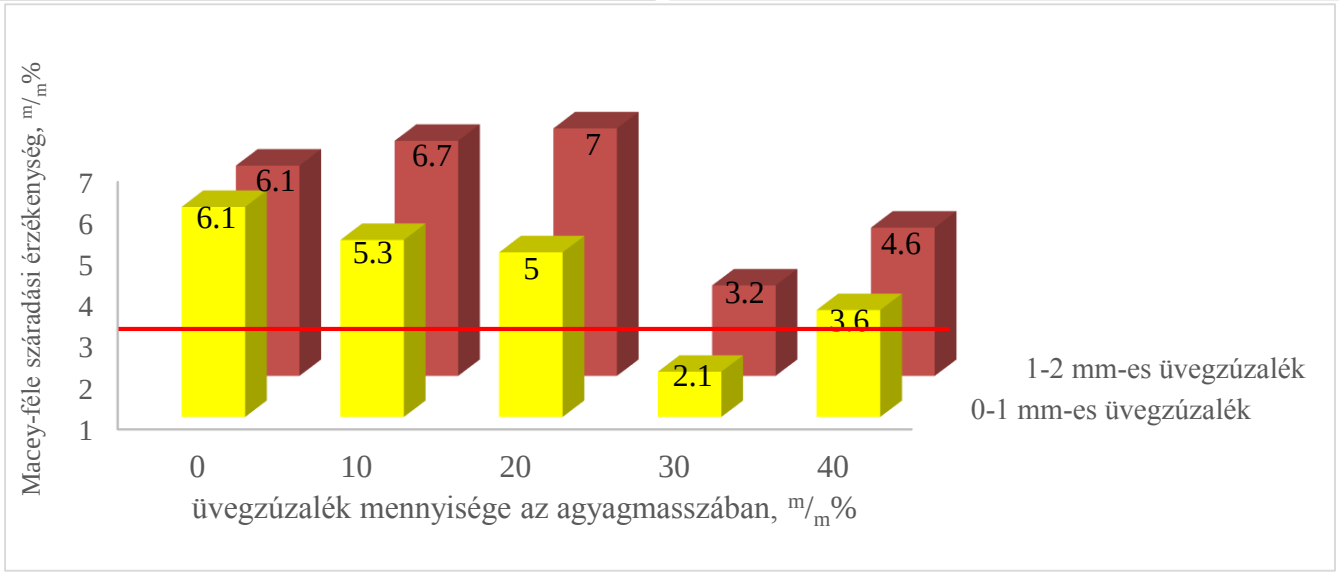
A Macey-próbatest a vízzáró réteg eltávolítása után, feldarabolás előtt, sorszámozva

A próbatest darabok 1-10-ig, a nedvességgradiens meghatározásához

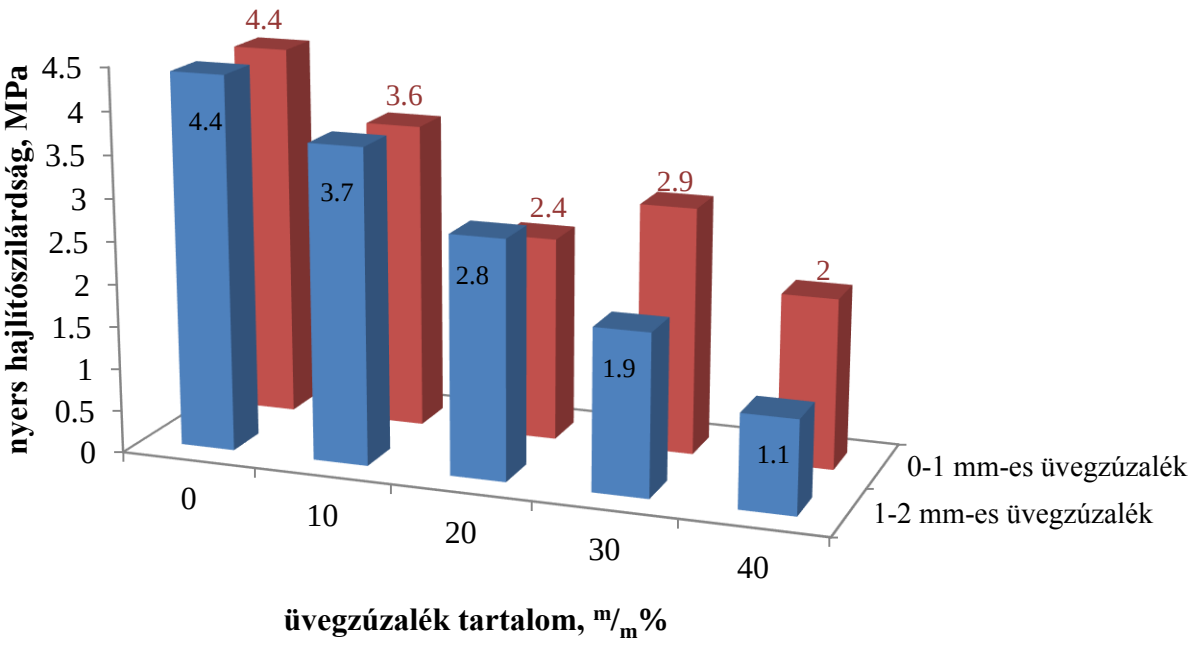
# Macey-féle száradási érzékenység



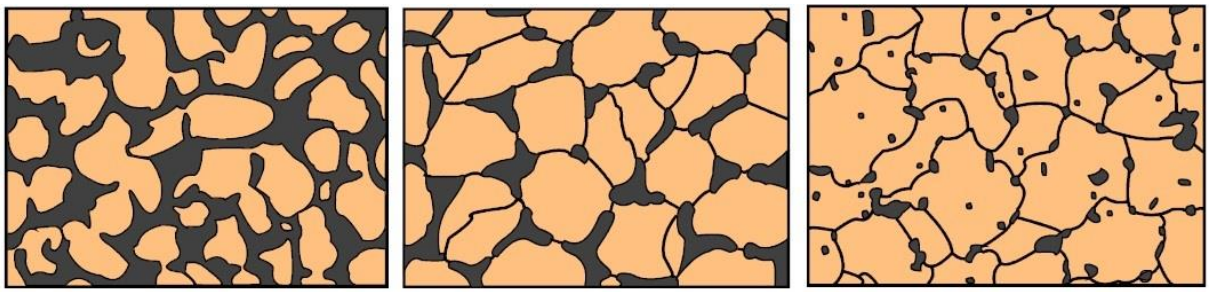



# Szárított próbatestek hajlítószilárdsága



# Égetés

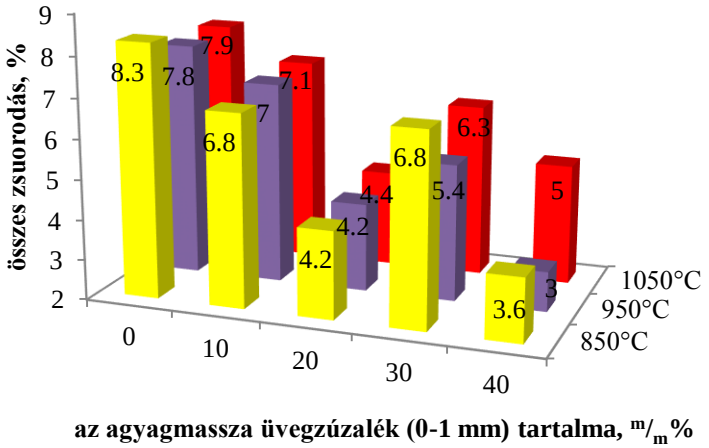
Az égetés közben a kerámiák geometriai méretei, porozitása, morfológiája, fázisösszetétele, szilárdsága jól mérhetően változik. Ezen változások nyomon követésére a próbatesteket 3 különböző hőmérsékleten égettük (850, 950, 1050 $^{0}$C). A csúcshőmérséklet elérése után 2 órás hőntartást alkalmaztunk, majd a kemencében hagytuk azokat szobahőmérsékletűre hűlni.

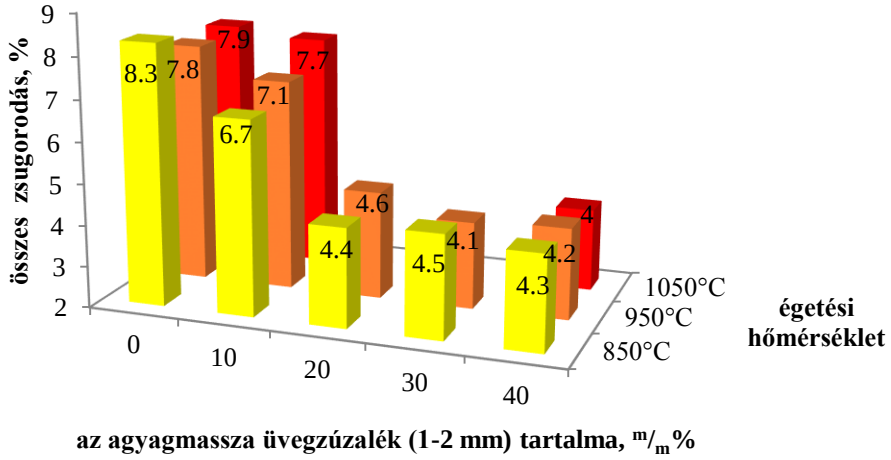


**hőmérséklet növekszik**

# Száradási + égetési (összes) zsugorodás

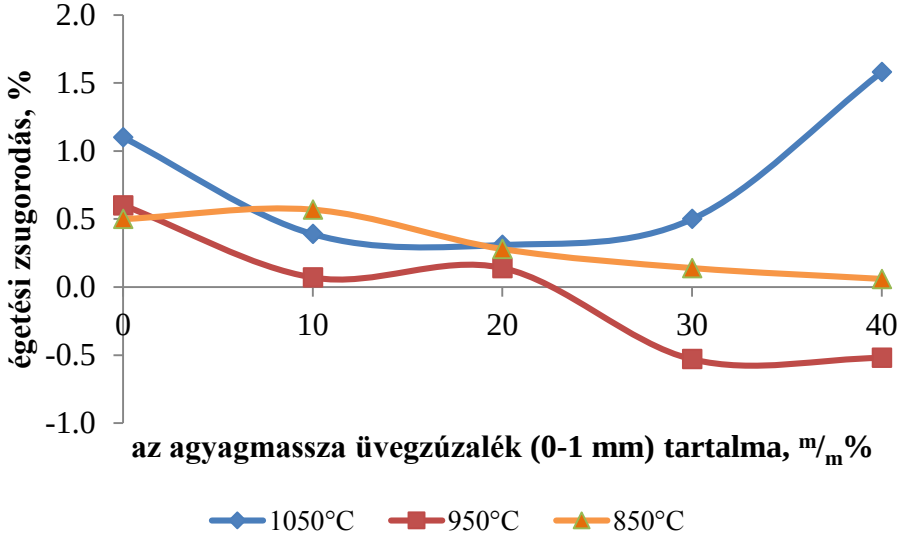
Az összzsugorodás a próbatestek teljes geometriai változását adja meg, a nedves állapottól kezdve, egészen az égetés utáni állapotig.

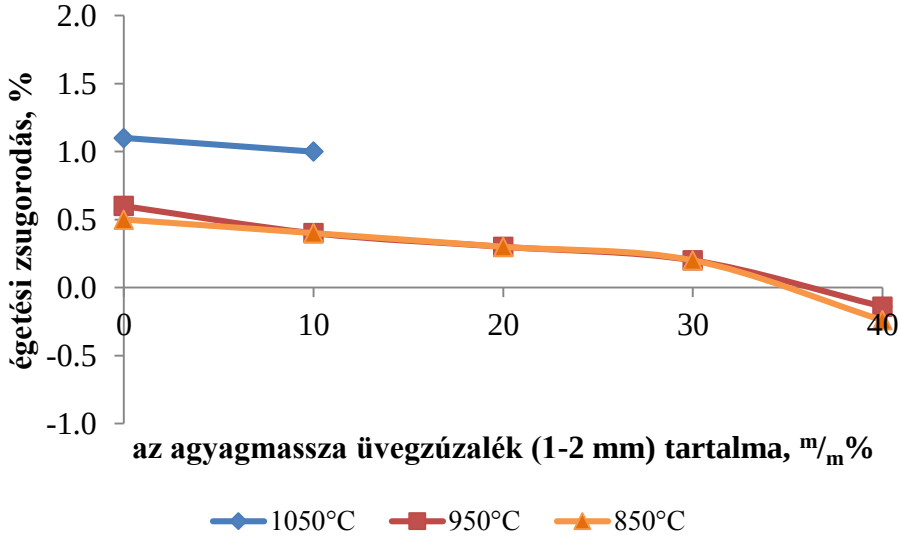


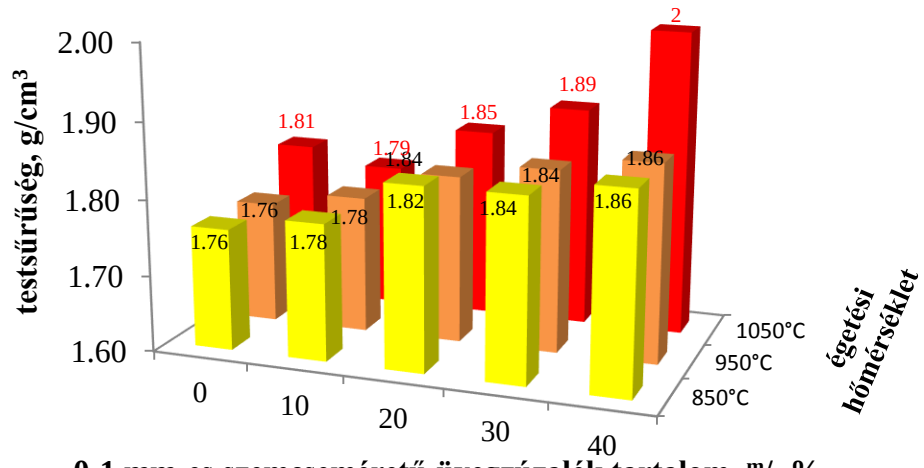
# Égetési zsugorodás

Az égetési zsugorodás a száraz próbatest meghatározott hosszméretének és a kiégetett próbatest hosszméretének különbsége, a száraz próbatest hosszméretében kifejezve.

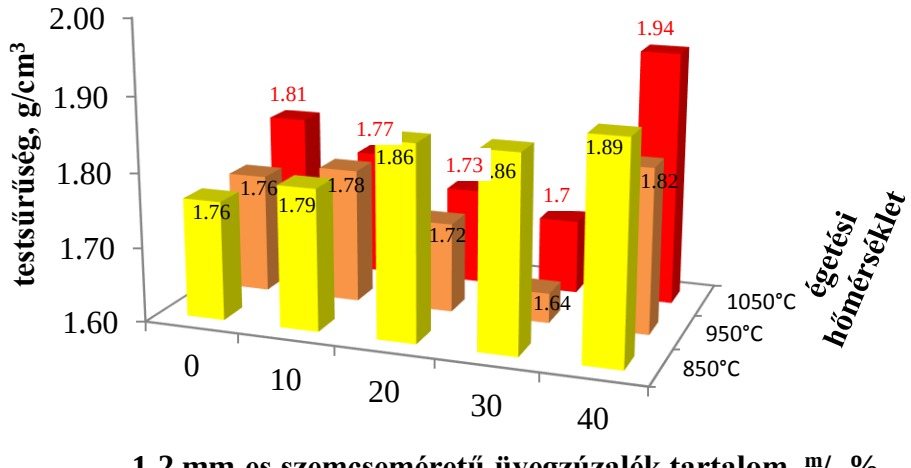


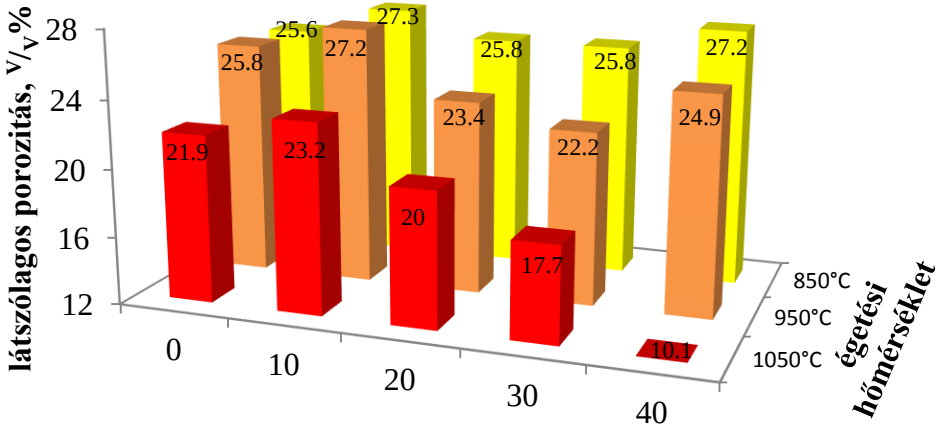
# Testsűrűség, látszólagos porozitás



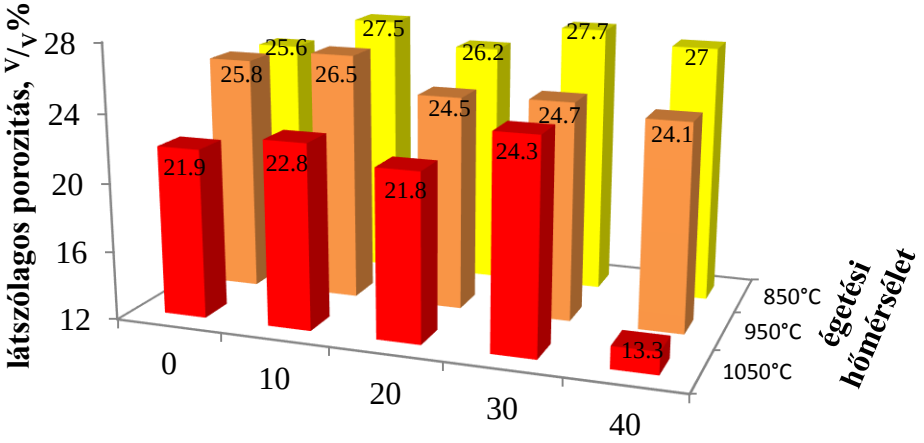

0-1 mm-es szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}\%$




1-2 mm-es szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}\%$

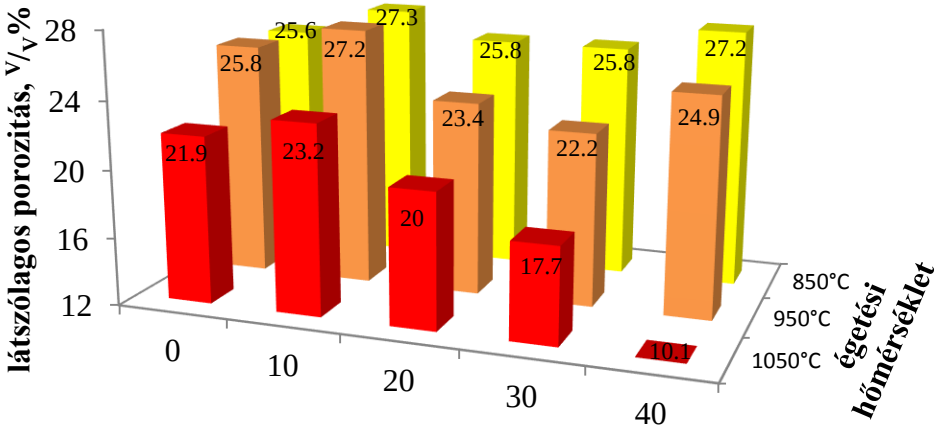



0-1 mm-es szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}\%$

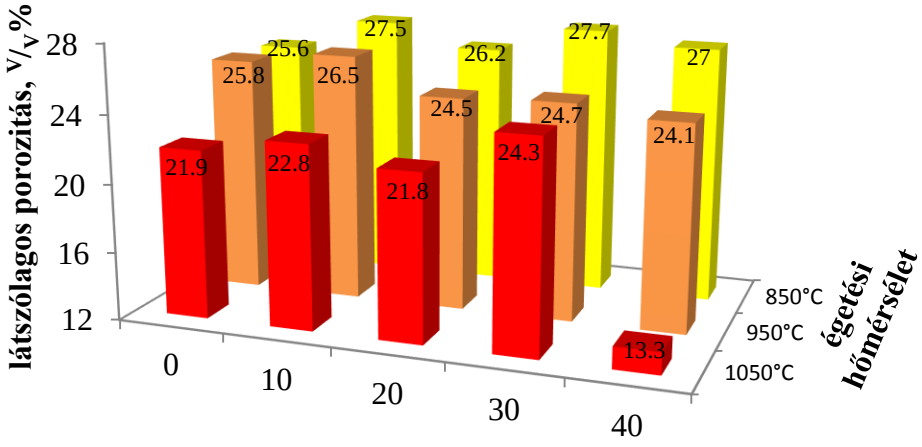



1-2 mm-es szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}\%$

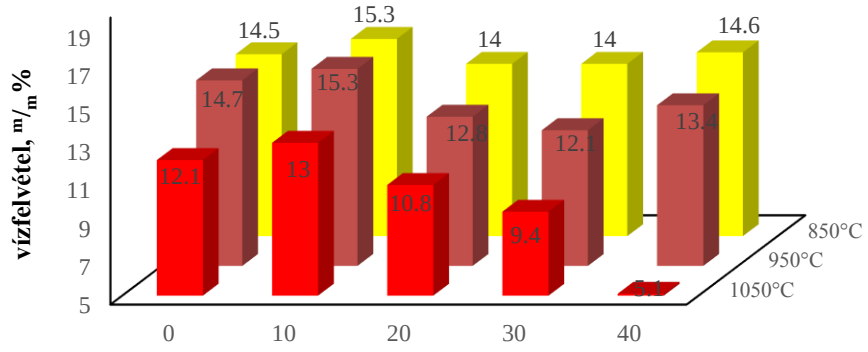
# Látszólagos porozitás, vízfelvétel



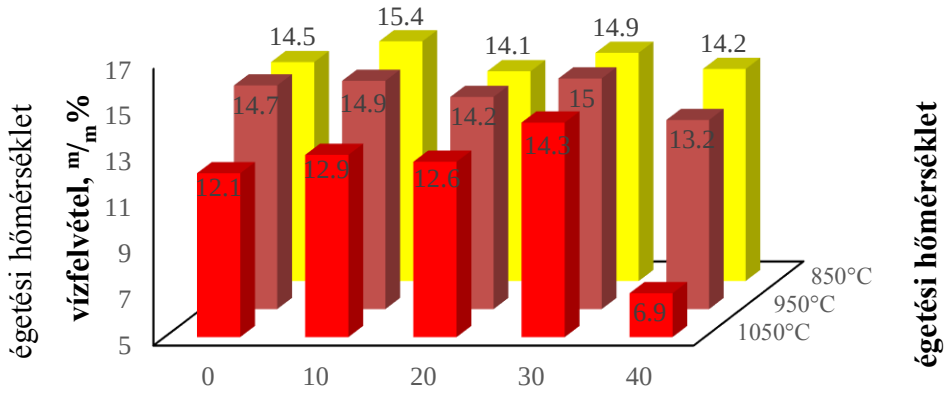

0-1 mm-es szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}$%




1-2 mm-es szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}$%

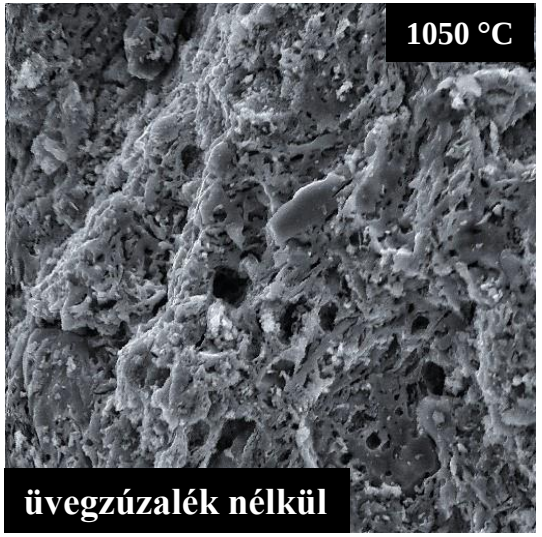


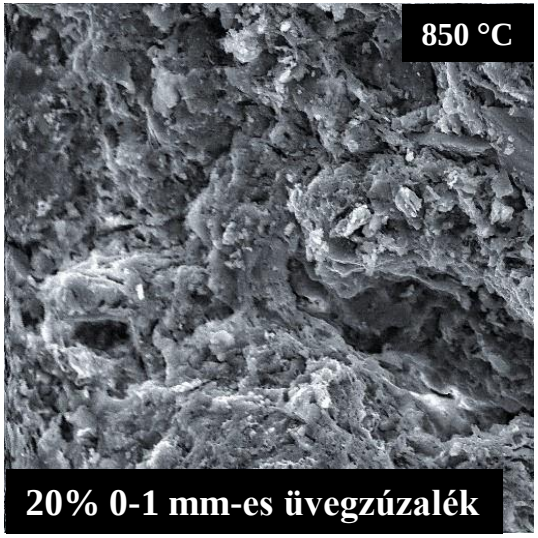

0-1 mm szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}$%

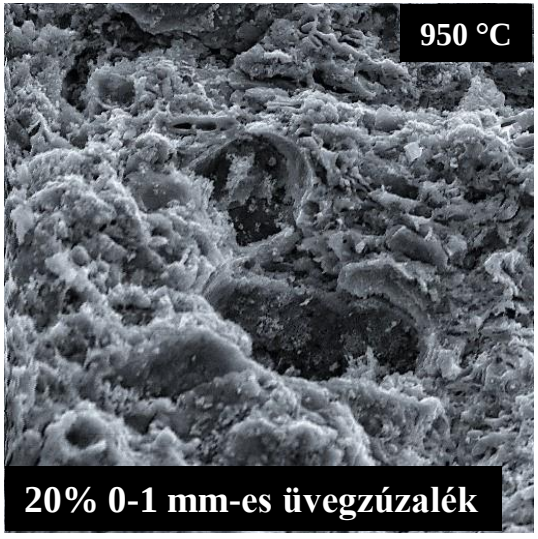



1-2 mm szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}$%

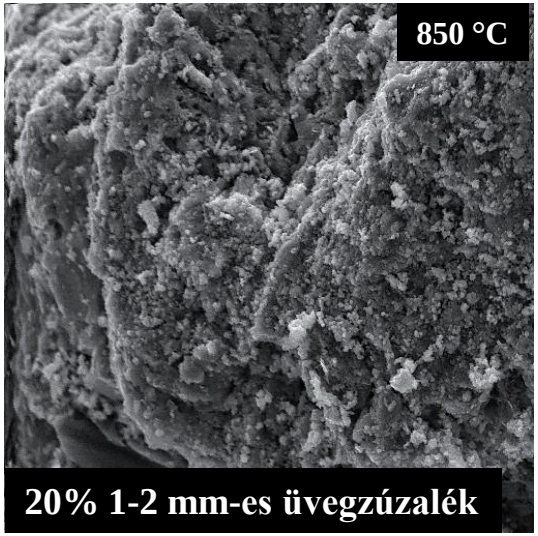
# Az égetés során bekövetkező morfológiai változások

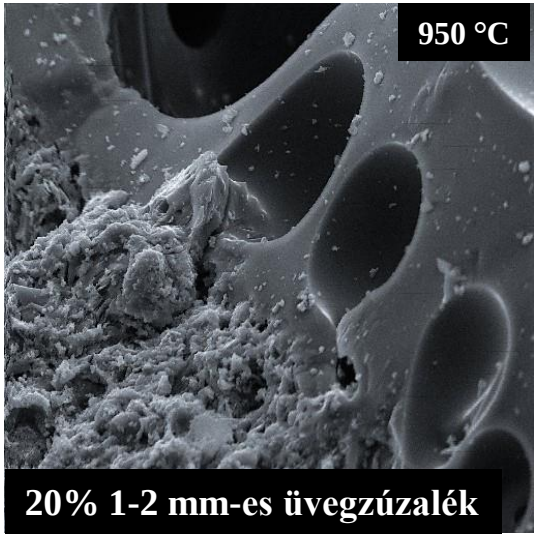


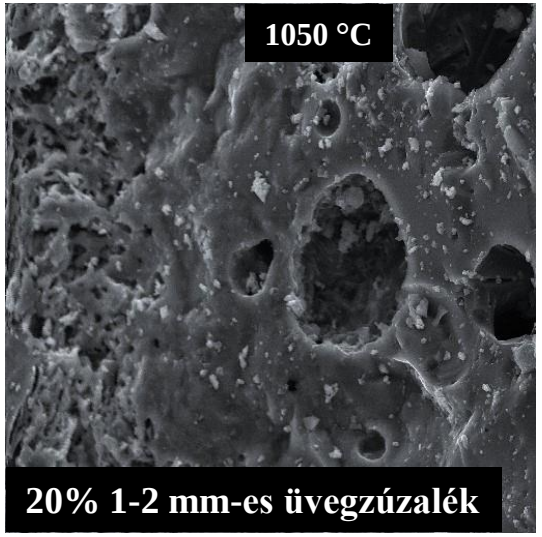



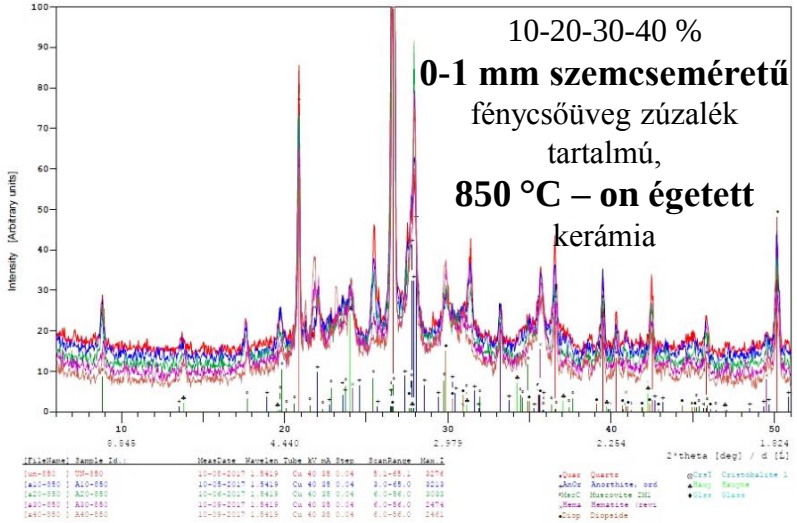
# Az égetés során bekövetkező morfológiai változások

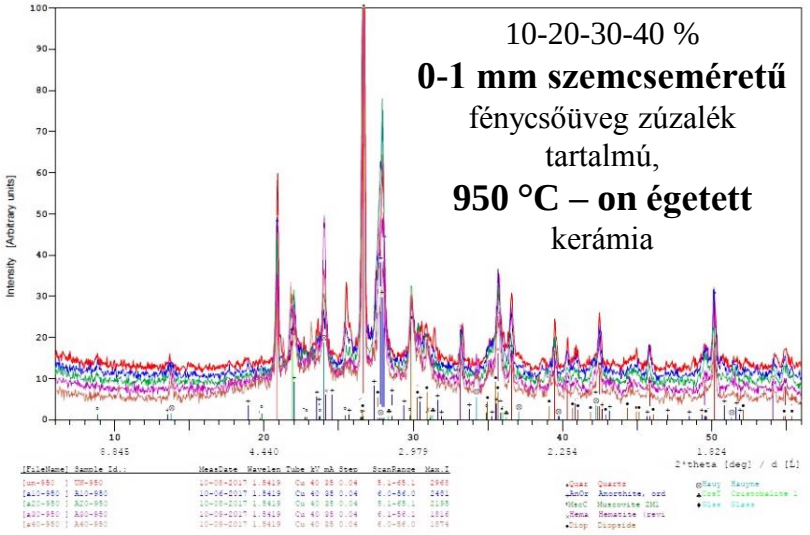


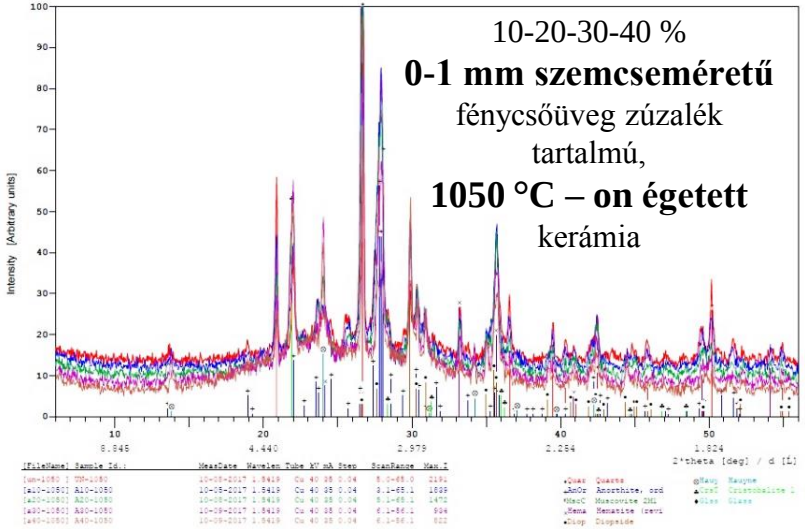



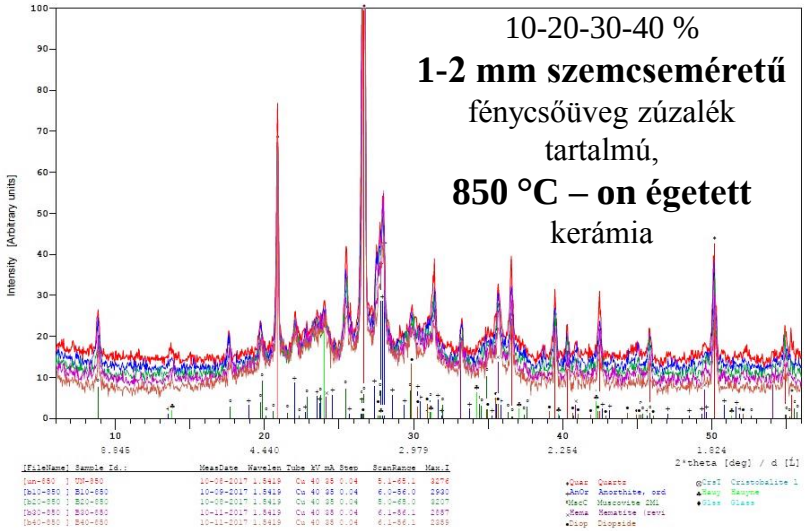
# Az égetés során bekövetkező fázisösszetétel változások

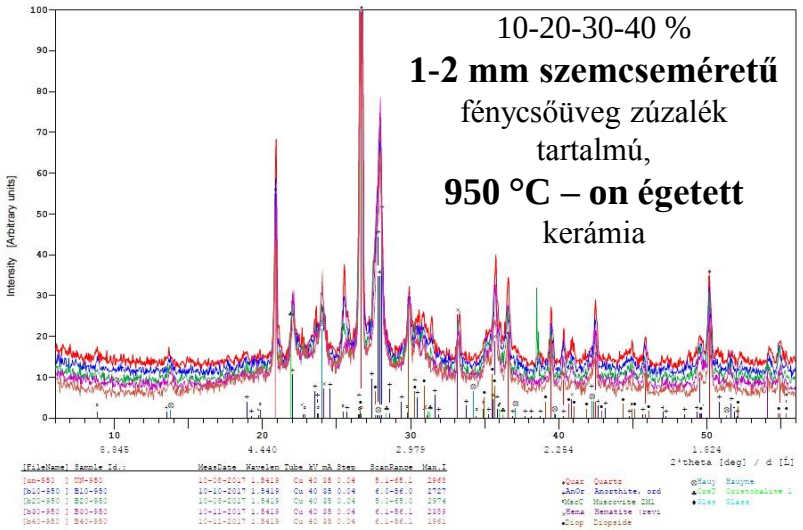


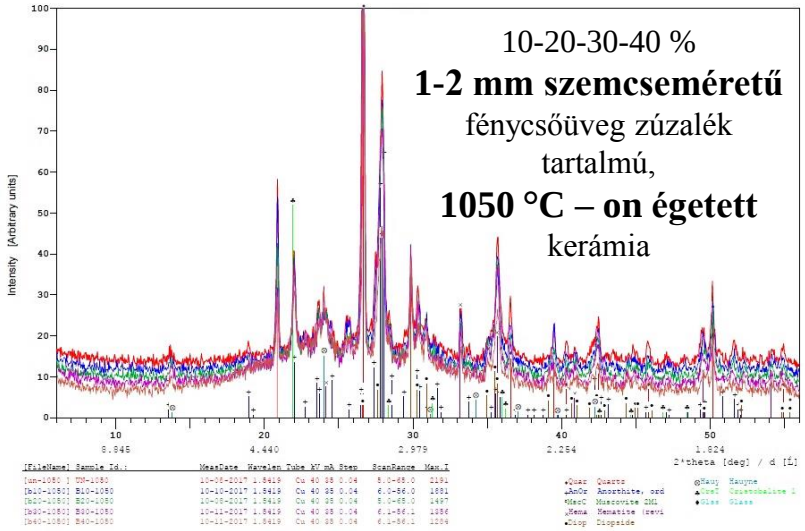



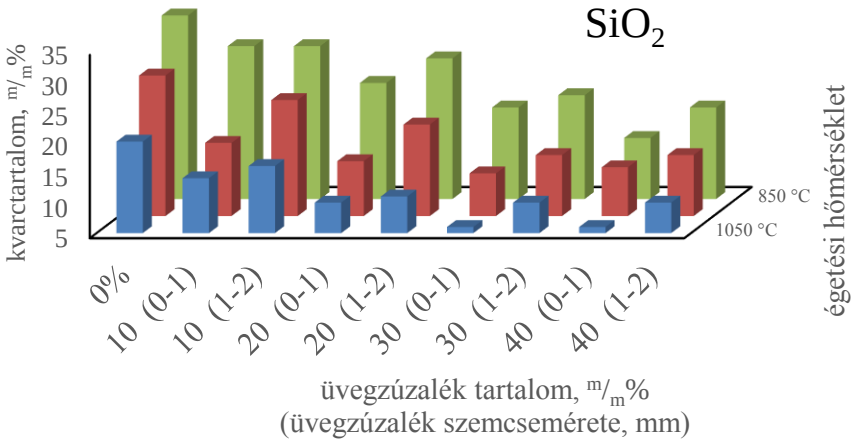
# Az égetés során bekövetkező fázisösszetétel változások

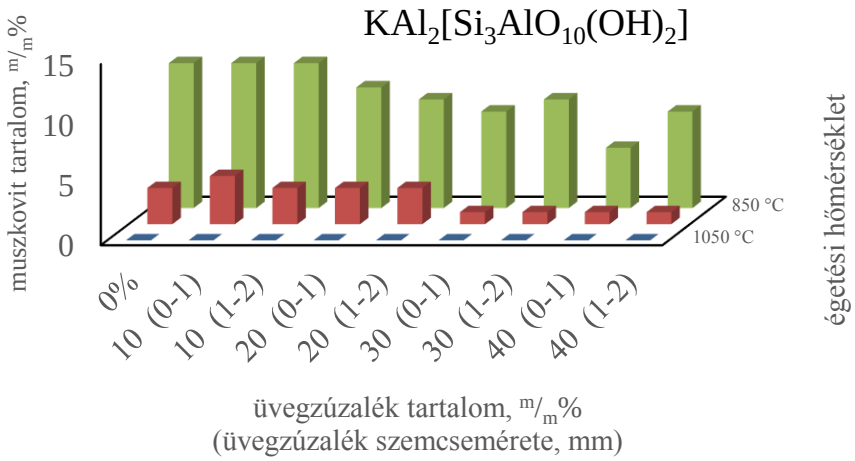


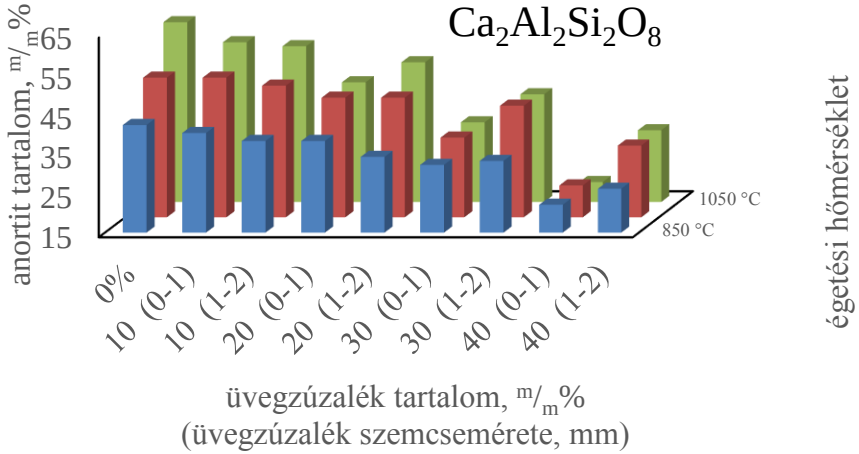



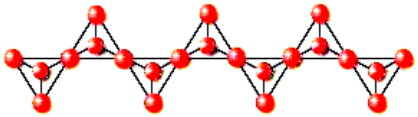
# Az égetés során bekövetkező fázisösszetétel változások

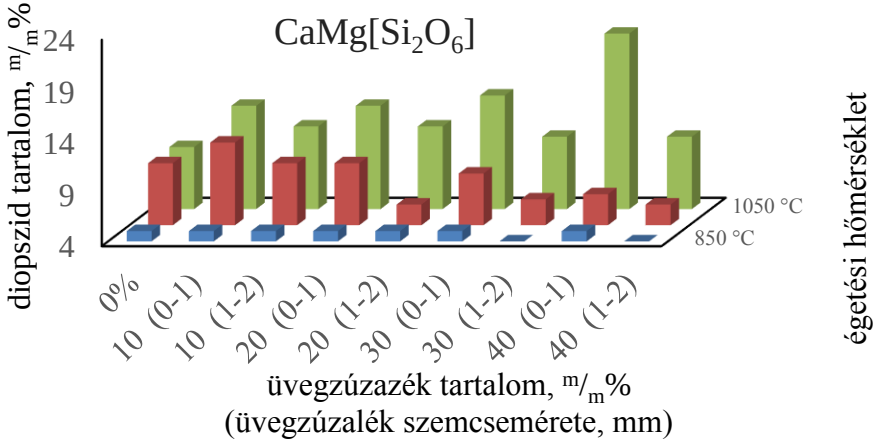


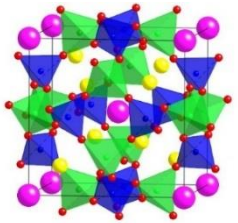



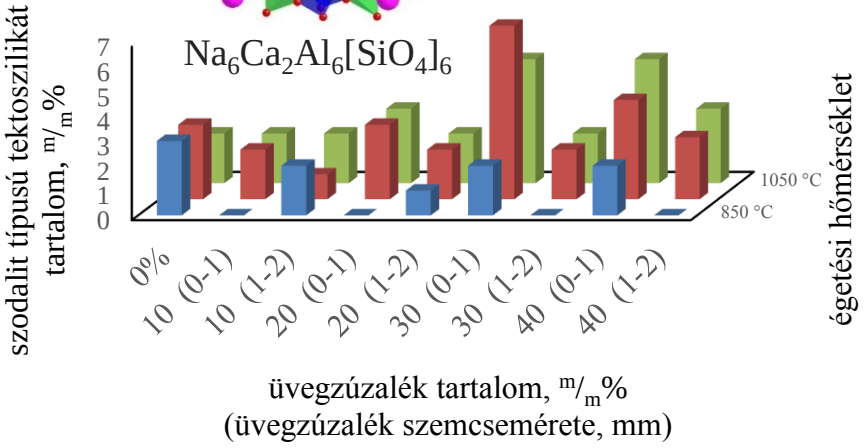



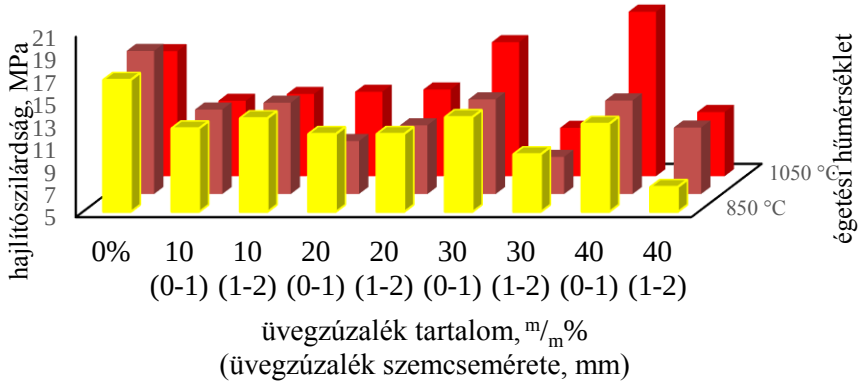
# Az égetés során bekövetkező fázisösszetétel változások



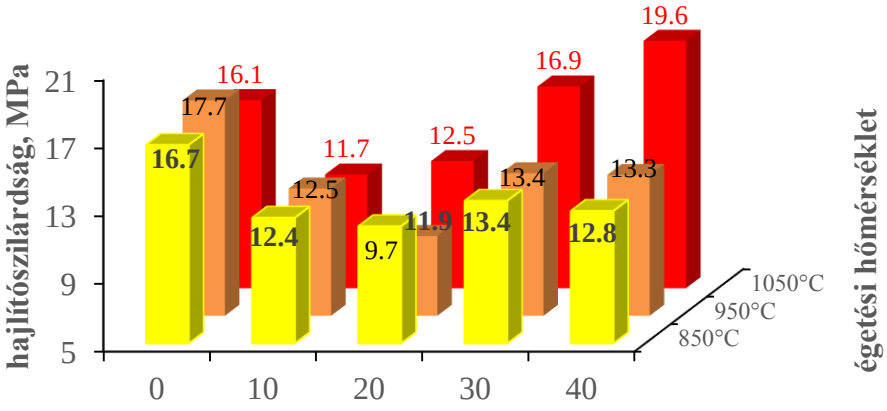


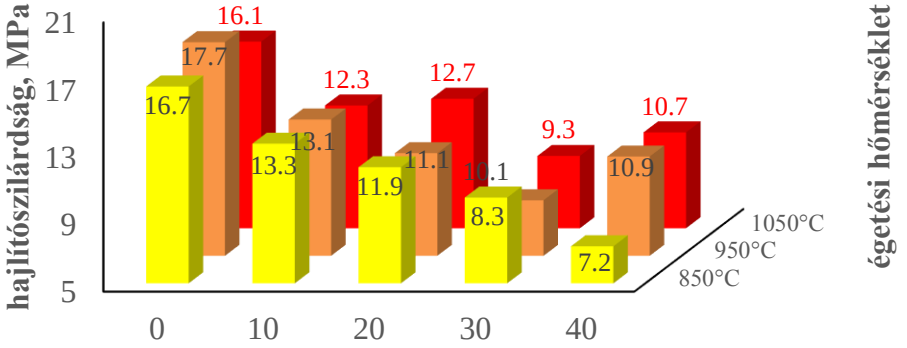


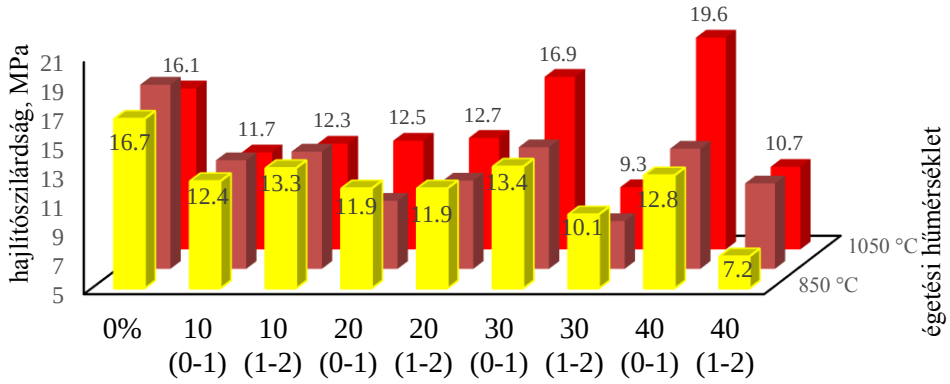
# Hajlítószilárdság vizsgálatok




0-1 mm -es szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}$%



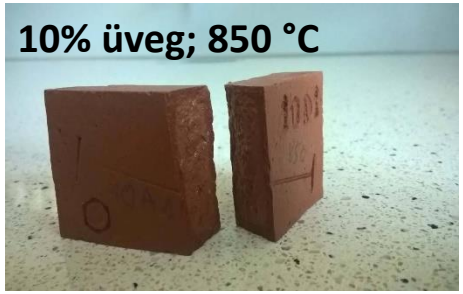

1-2 mm-es szemcseméretű üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}$%

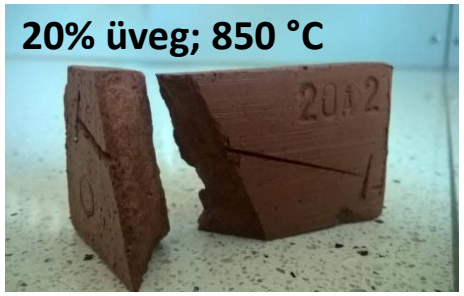


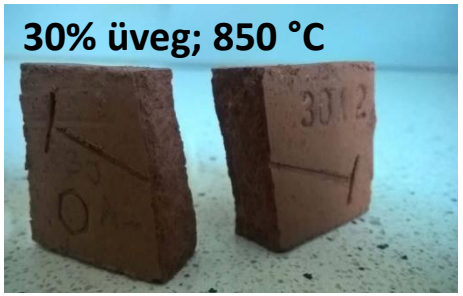

üvegzúzalék tartalom, $^{m}/_{m}$%
(üvegzúzalék szemcsemérete, mm)

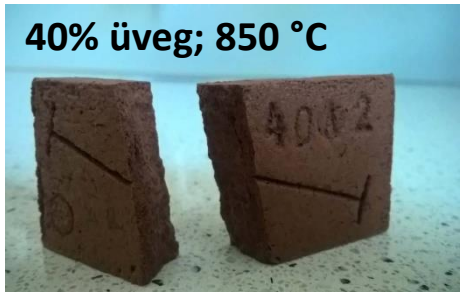
# A kiégetett kísérleti termékek

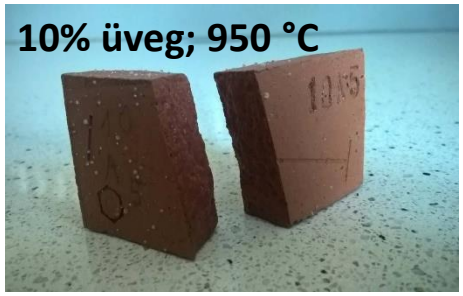
## (0-1 mm szemcseméretű egyenes fénycsőüveg adalékkal)

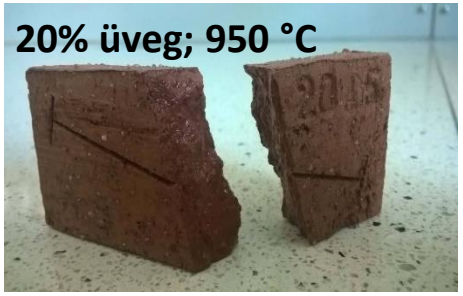


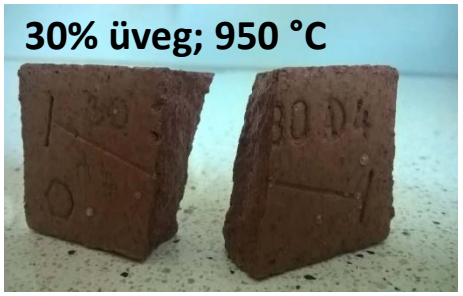



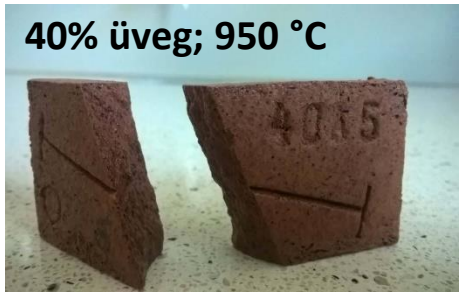



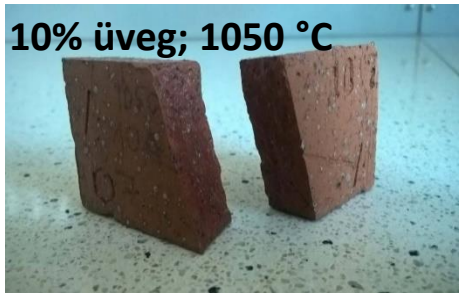



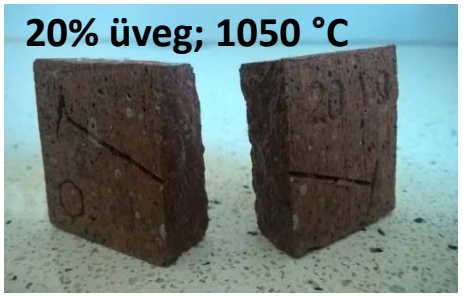



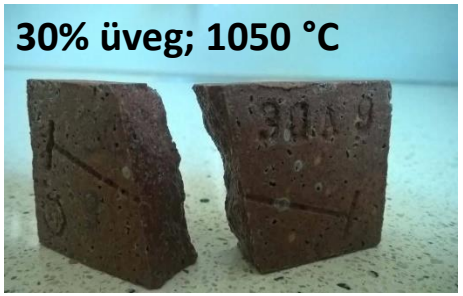



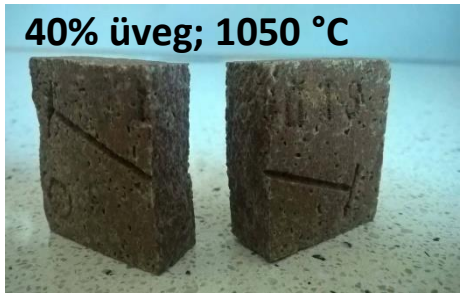



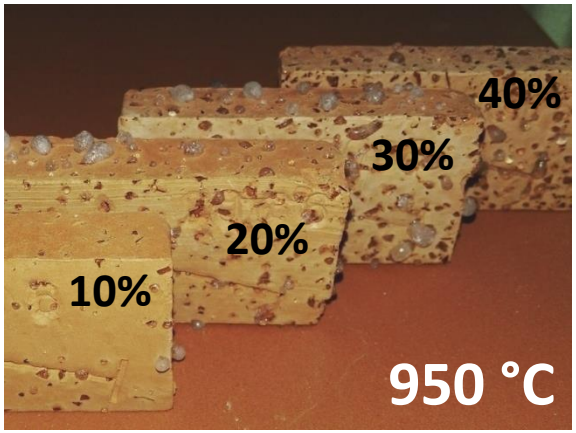



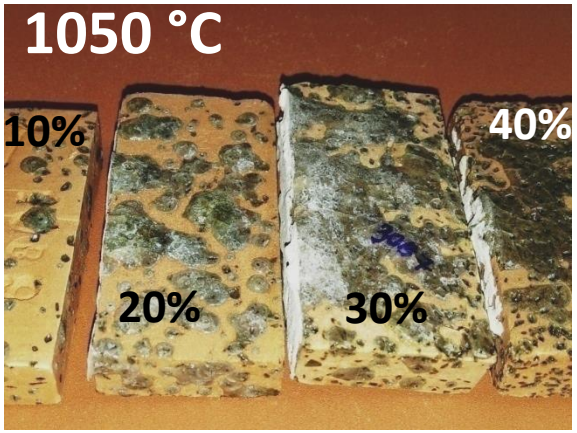



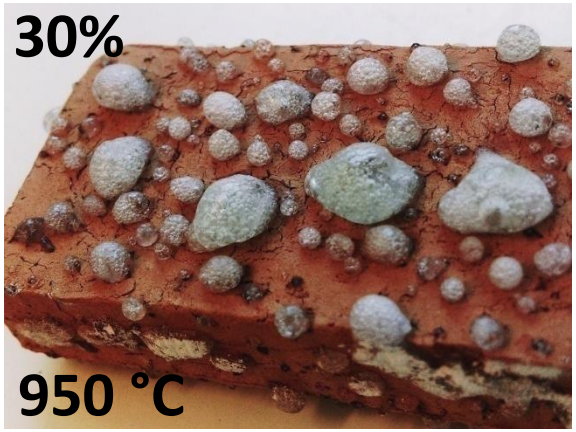



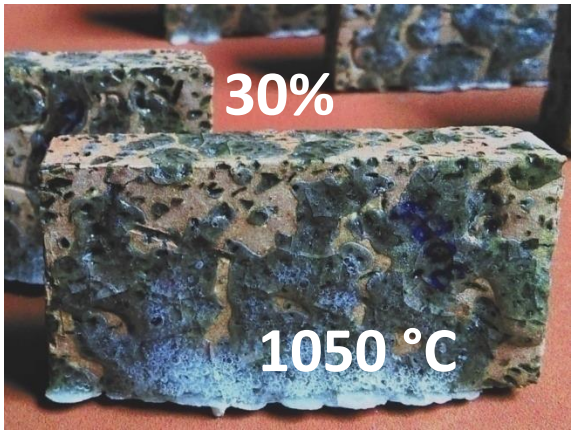



# A kiégetett kísérleti termékek
## (1-2 mm szemcseméretű egyenes fénycsőüveg adalékkal)





# Tervezett vizsgálatok

- nyomószilárdság vizsgálatok
- kioldódó nehézfém-tartalom (Hg, Cd, Pb)
- aktív oldható sótartalom (MSZ EN 772-5)

- dilatációs vizsgálatok
- pórusméret-eloszlás

# Összefoglalás

1) a 0-1 mm-es és az 1-2 mm-es szemnagyságú egyenes fénycsőüveg zúzalék mennyiségének növekedésével a **megmunkálási víztartalom** és a massza **képlékenysége** is csökken.

2) A **száradási zsugorodás, száradási érzékenység** és a **nyers hajlítószilárdság** csökkenése is megfigyelhető az üvegzúzalék mennyiségének növelésével.

3) Az **összes zsugorodás** a növekvő üvegzúzalék tartalommal csökken, a 0-1 mm szemcseméretű üvegzúzalékot tartalmazó próbatestek esetében 950 °C – nál minimumot mutat, és az égetési hőmérséklet emelésével a zsugorodás is növekszik. 1-2 mm-es szemcseméretű üvegzúzalékot tartalmazó próbatestek esetében az összes zsugorodás a növekvő üvegtartalommal és égetési hőmérséklettel csökken.

# Összefoglalás

4) A minták **testsűrűsége** a 0-1 mm szemcseméretű üvegzúzalékot tartalmazó próbatestek esetén a várakozásnak megfelelően alakult, vagyis az üvegtartalom és az égetési hőmérséklet növelésével nő. Az 1-2 mm szemcseméretű üvegzúzalékkal készített minták esetében csak a 850 °C–on égetett minták testsűrűsége növekszik. 950 és 1050 °C–os égetésnél, 30% üvegzúzalék tartalom estén a testsűrűség minimumot vesz fel.

5) A minták **vízfelvétele** az égetési hőmérséklet növekedésével csökken, a legkisebb vízfelvétel a legnagyobb üvegzúzalék tartalmú (40%) 1050 °C–on égetett mintáknál mérhető.

# Összefoglalás

6) A **morfológiai vizsgálatok** alapján az üvegzúzalék nélküli mintáknál az égetési hőmérséklet növekedésével tömörebb textúra alakult ki.

20% (0-1 mm szemcseméretű) üvegadalékot tartalmazó mintánál 950 °C-nál magasabb égetési hőmérérsékleten olvadék képződése jellemző. Ez különösen jól látszik a hasonló körülmények között készített, nagyobb szemcseméretű (1-2 mm) üvegadalékot tartalmazó mintánál.

7) A minták **röntgendiffrakciós vizsgálata** alapján megállapítható, hogy 30-40% üvegtartalomnál 950°C feletti égetési hőmérsékleten egyre nagyobb a diopszid (láncszilikát) és egy szodalit típusú tektoszilikát fázis mennyisége. E két ásványi alkotó jelentős mértékben hozzájárul a **szilárdság** növekedéséhez.

# Köszönetnyilvánítás

**a munka elvégzéséhez nyújtott segítségért:**

## Wojnárovitsné Dr. Hrapka Ilona

ügyvezető igazgató (SZIKKTI Labor Kft.)

## Sajó István

XRD specialista (SZIKKTI Labor Kft.)

## Fórizs Katalin

Laboratórium vezető (SZIKKTI Labor Kft.)

## Bakos Ferencné

vizsgáló technikus (Pannon Egyetem, Anyagmérnöki Intézet)

## Farda Zsolt, Vígh Krisztián

egyetemi hallgatók (Pannon egyetem)

# Köszönöm megtisztelő figyelmüket!

web: **www.szikktilabor.hu**
e-mail: **laczko.laszlo@szikktilabor.hu**
tel.: **+ 36 1 388-8752**