



**CeMBeton**  
az építés alapja

# Különleges betonok

**Dr. Czoboly Olivér**

**Magyar Cement, Beton- és Mészipari Szövetség**

Budapest

2020.06 .09.



**Dr. Czoboly Olivér,**  
Beton Technológia Centrum Kft.,  
Termék portfólió vezető,  
czobolyo@btclabor.hu

PhD, Betontechnológus szakmérnök, okl. szerkezet építőmérnök,  
Tűzvédelmi tervezési szakmérnök

|                          |           |                      |
|--------------------------|-----------|----------------------|
| Kutatás / oktatás:       | 2009-2017 | BME Építőmérnöki Kar |
| Laborvezető:             | 2017-2018 | BTC Kft.             |
| Termék portfólió vezető: | 2018 -    | BTC Kft.             |
| Igazságügyi szakértő:    | 2014 -    |                      |

# Nagyszilárdságú, és nagy teljesítőképességű betonok



# Nagy szilárdság fogalmának változása

Balázs (2009) alapján:

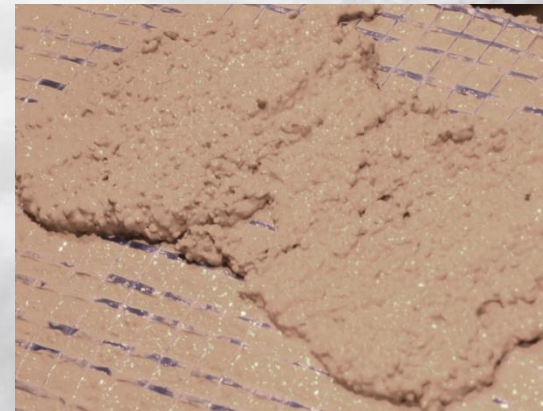
| Időszak | Nagy szilárdság alsó határa |
|---------|-----------------------------|
| 1950    | 34 N/mm <sup>2</sup>        |
| 1960    | 41-53 N/mm <sup>2</sup>     |
| 1970    | 62 N/mm <sup>2</sup>        |

$d_{\max} = 16 \text{ mm}$



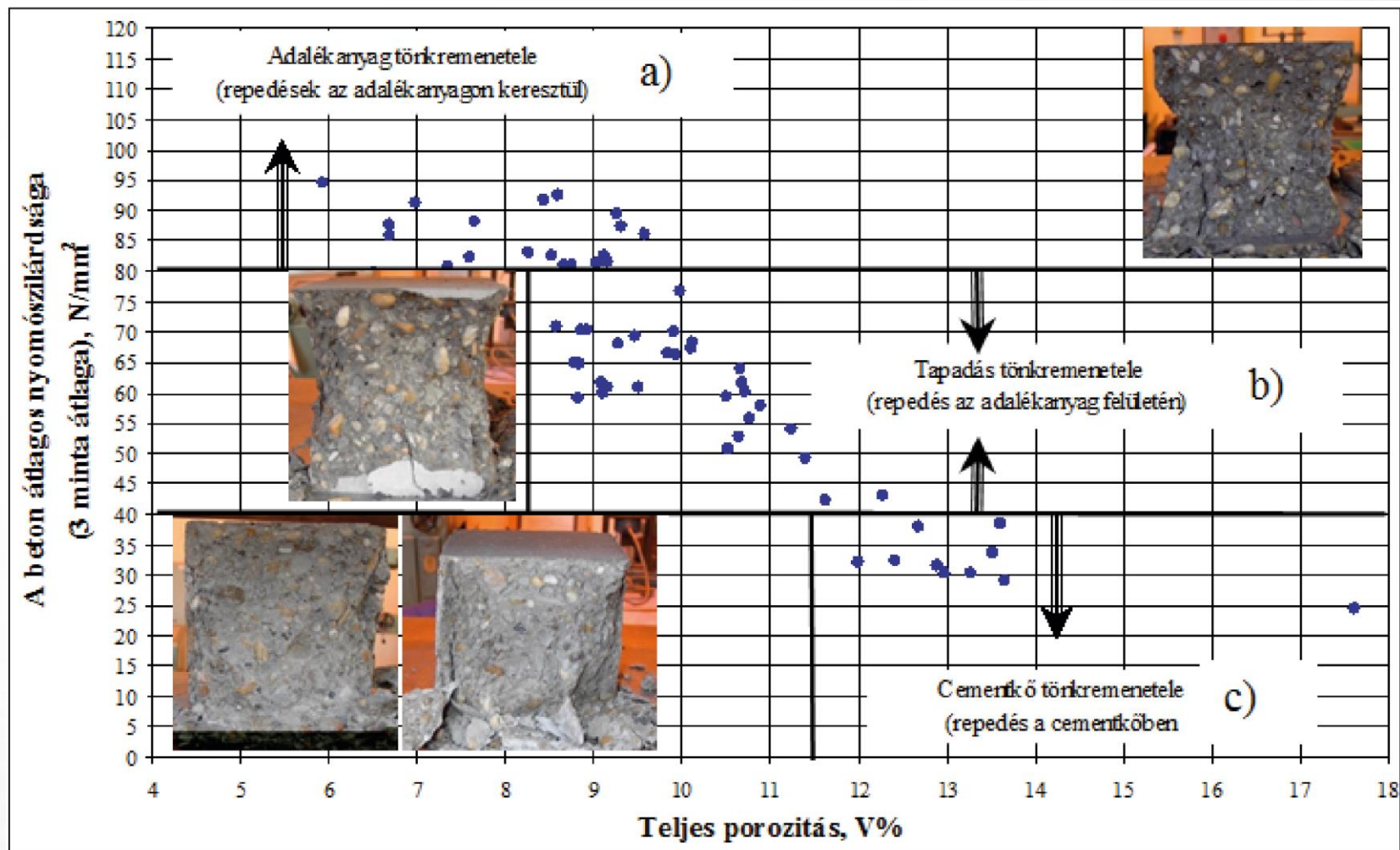
RPC

$(d_{\max} \leq 1 \text{ mm})$

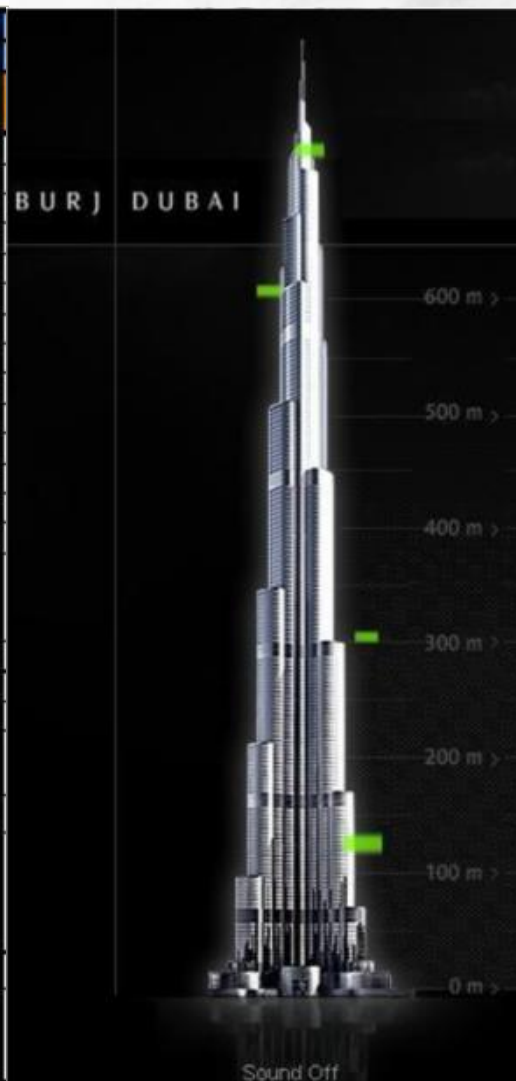


# „Leggyengébb” alkotóelem – szilárdság függvényében

[CemBeton Útmutató, 2017]



| Details                 | TOWER                     |                                    |                                    |                                    |                                    |                           |
|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Submittal               | BD07-00099(00045)         |                                    |                                    |                                    |                                    |                           |
| Mix Code                | T_C80A_20<br>(BD Mix-3)   | T_C80_14<br>(BD Mix-4)             | T_C80_10<br>(BD Mix-16)            | T_C60_10<br>(BD Mix-5)             | T_C50_20<br>(BD Mix-6)             | T_C50_14<br>(BD Mix-9)    |
| Grade                   | C 80                      | C 80                               | C 80                               | C 60                               | C 50                               | C 50                      |
| Design Strength         | 80* (#@56D)               | 80* (#@56D)                        | 80* (#@56D)                        | 60* (#@28D)                        | 50* (#@28D)                        | 50* (#@28D)               |
| Max. Agg. Size          | 20mm                      | 14mm                               | 10mm                               | 10mm                               | 20mm                               | 14mm                      |
| W/C Ratio               | 0.30                      | 0.32                               | 0.32                               | 0.36                               | 0.38                               | 0.38                      |
| Cement(RAK Cement,OPC)  | 380                       | 384                                | 400                                | 376                                | 328                                | 338                       |
| PFA (Ashresource)       | 60                        | 96                                 | 100                                | 94                                 | 82                                 | 112                       |
| GGBS(Falcon)            | -                         | -                                  | -                                  | -                                  | -                                  | -                         |
| M. Silica (Fusil)       | 44                        | 48                                 | 50                                 | 25                                 | 25                                 | 25                        |
| Water (DEWA)            | 132                       | 155                                | 160                                | 169                                | 155                                | 171                       |
| 20mm(Fujairah)          | 581                       | -                                  | -                                  | -                                  | 599                                | -                         |
| 14mm(Fujairah)          | -                         | 562                                | -                                  | -                                  | -                                  | 554                       |
| 10mm(Fujairah)          | 327                       | 303                                | 847                                | 838                                | 309                                | 298                       |
| W.Sand(RAK)             | 573                       | 525                                | 498                                | 524                                | 549                                | 511                       |
| D.Sand(Alain)           | 337                       | 322                                | 332                                | 350                                | 339                                | 341                       |
| Admixture Type          | Glenium Sky 504 (Degussa) | Glenium Sky 504 (Degussa)          | Glenium Sky 504 (Degussa)          | Glenium Sky 504 (Degussa)          | Glenium 110UM (Degussa)            | SP- 491+ SP- 430 (Fosroc) |
| Admixture Dosage(* f* ) | 4.2~5.0                   | 3.0~3.5                            | 3.0~3.5                            | 2.5~3.0                            | 2.5~3.0                            | 6.13 + 3.25               |
| MCI-2005(* f* )         | -                         | -                                  | -                                  | -                                  | -                                  | -                         |
| Required Flow(* )       | 550 ± 75                  | 600 ± 75                           | 650 ± 50                           | 650 ± 50                           | 500 ± 75                           | 600 ± 50                  |
| Required Slump(* )      | -                         | -                                  | -                                  | -                                  | -                                  | -                         |
| Required E-modulus(* )  | 43,800(@90D)              | 41,000(@56D)                       | 41,000(@56D)                       | 37,600(@28D)                       | -                                  | -                         |
| Members                 | Column & Wall             | Column & Wall                      | Column & Wall                      | Column & Wall                      | Beams & Slabs                      | Beams & Slabs             |
| Level                   | B2~L40                    | L41~L108                           | L109~L126                          | L127~L154                          | B2~L108                            | L109~L154                 |
| Remark                  | -                         | Need to relax initial setting time | Need to relax initial setting time | Need to relax initial setting time | Need to relax initial setting time | To be modified later      |

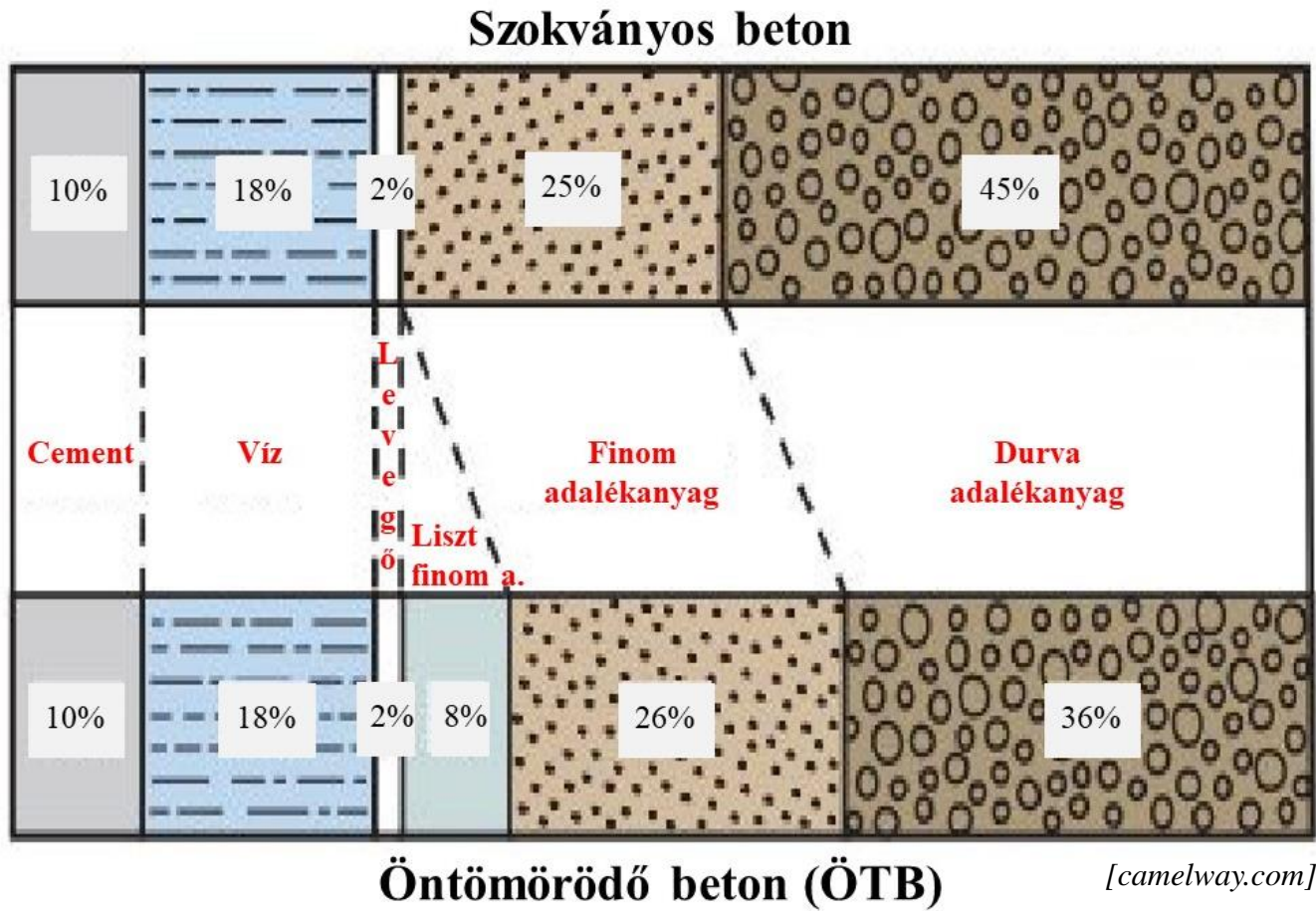


[Nehme, 2012]

# Öntömörödő betonok



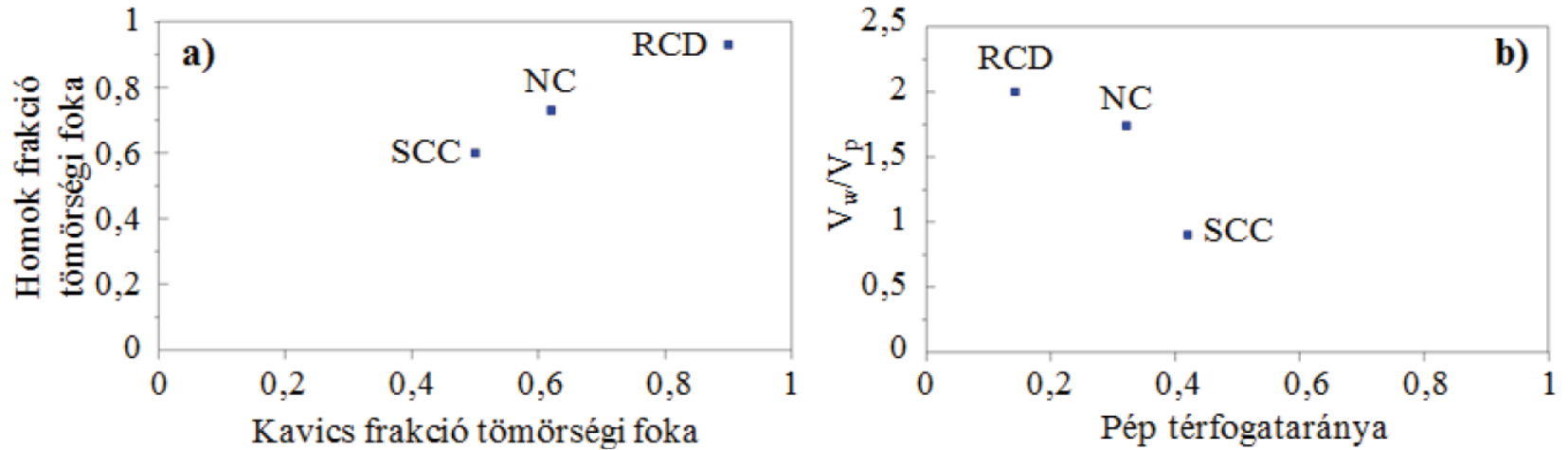
# Öntömörödő beton elmélete





# Öntömörödő beton elmélete

[CemBeton Útmutató, 2017]



SCC: Öntömörödő beton

NC: Szokványos beton

RCD: Hengerelt beton

# Látszóbetonok / látványbetonok



# Látszóbeton / látványbeton osztályozása

## A felület megmunkálása alapján:

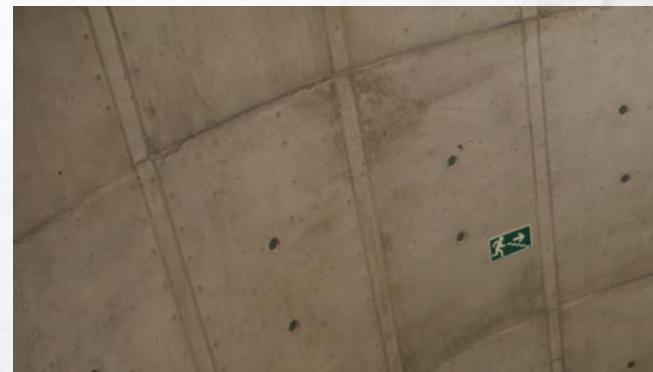
- Natúr beton felület
- Csiszolt beton felület
- Savazott beton felület
- Matricázott beton felület
- Struktúrált beton felület
- Mart beton felület

Készítés helye alapján

Zsaluzat alapján

Felhasználásának helye alapján

...



## Utcabútorok / használati eszközök

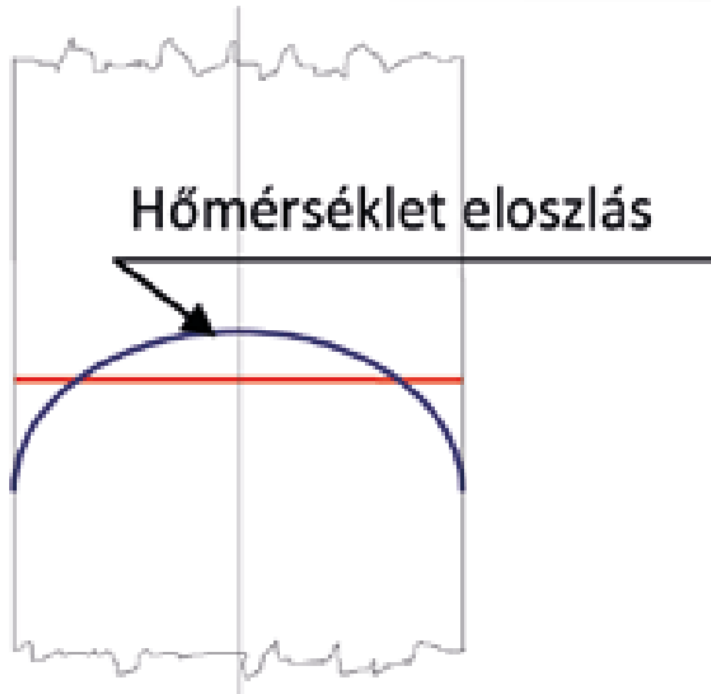


# Nagy tömegű betonok

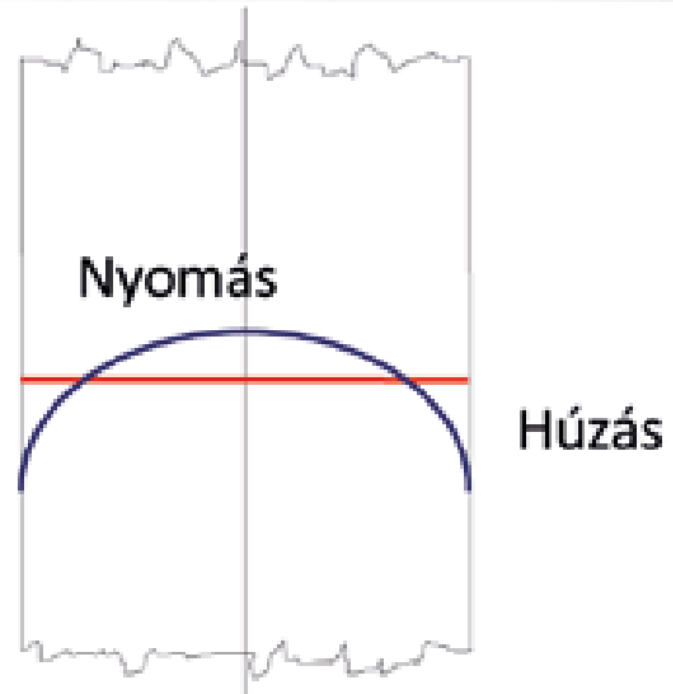


# Hőmérséklet alakulása a betonban

[CemBeton Útmutató, 2017]



a) Hőmérséklet eloszlás

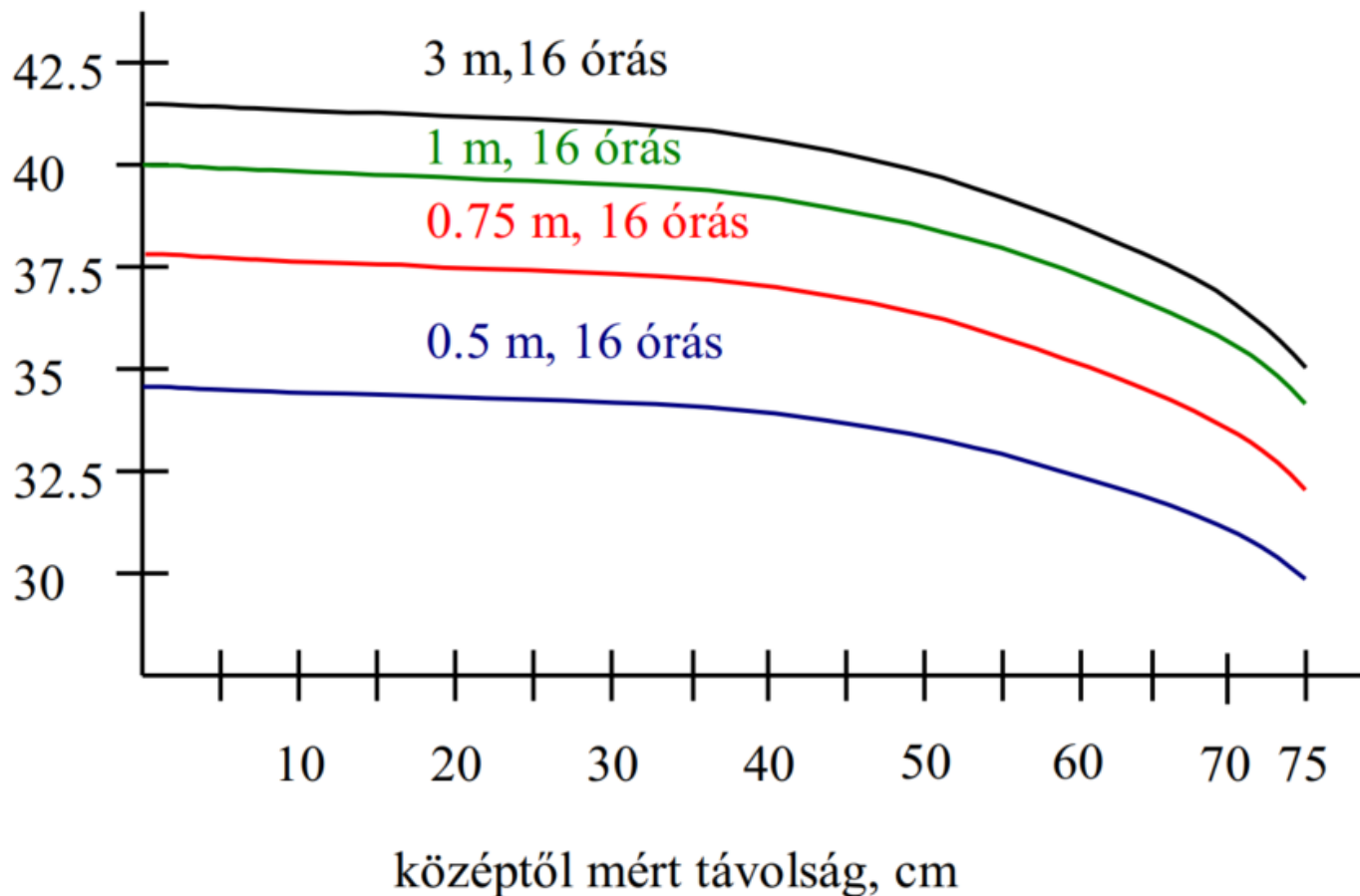


b) Hőmérséklet okozta feszültség

# Falvastagság hatása

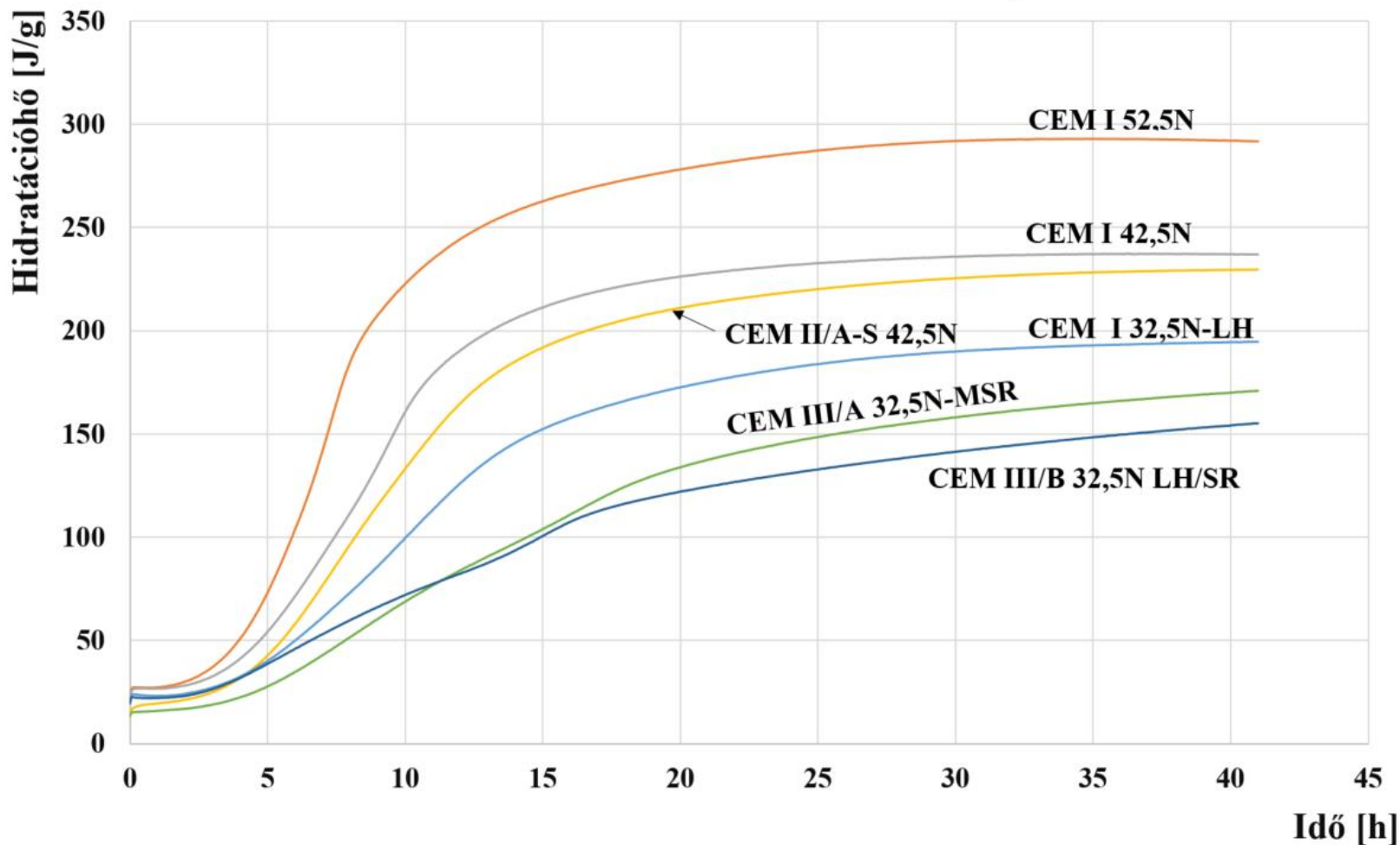
Hőmérséklet, °C

[Nehme, 2012]



# Cementtípus hatása

## Hidratáció hő alakulása - DDC cement típusoknál





Az európai cement szabványok szerint megkülönböztetünk

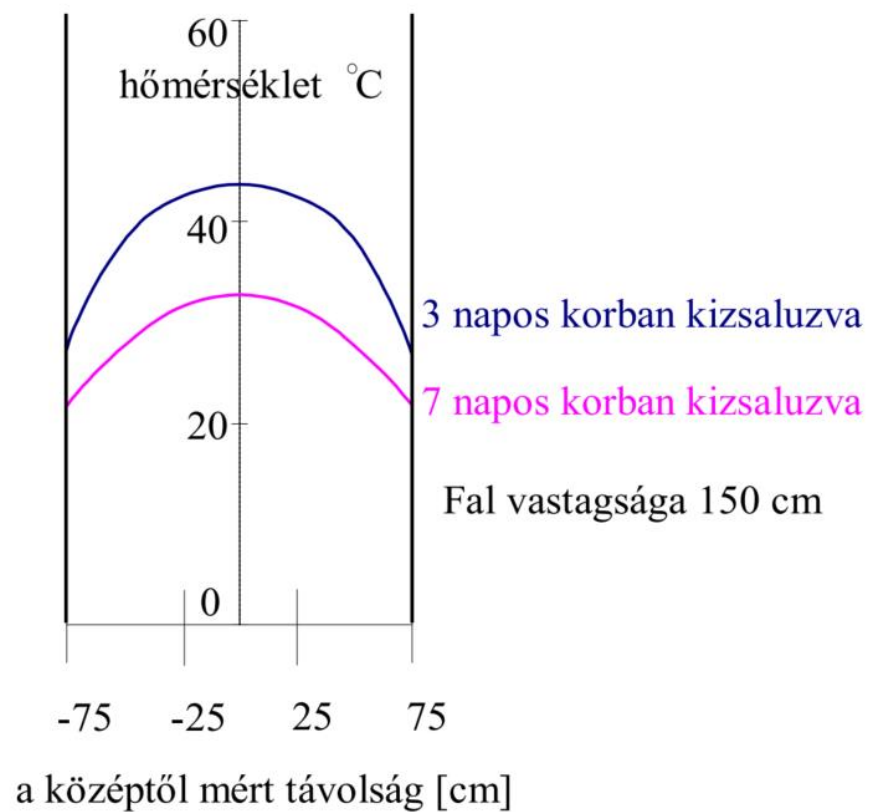
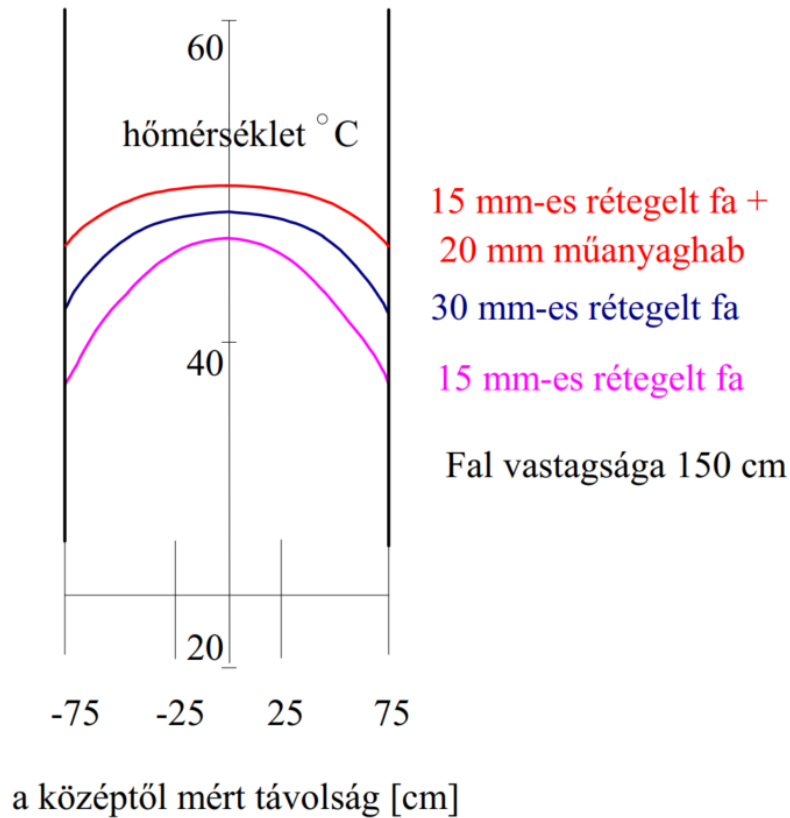
- **kis hőfejlesztésű általános felhasználású cementet (MSZ EN 197-1)**, amelynek maximális szabványos hőfejlesztése **270 J/g**,
- **nagyon kis hőfejlesztésű különleges cementet (MSZ EN 14216)**, amelynek maximális szabványos hőfejlesztése **220 J/g**.

Az **MSZ EN 197-1** szabvány szerint bármely összetételű és szilárdsági osztályú cement lehet kis hőfejlesztésű, amelynek megfelelő a hidratációs hője ( $\leq 270$  J/g).

Ebben az esetben a cement szabványos jelölését **LH** (**L**ow **H**eat of Hydratation) jelzéssel kell kiegészíteni

**Pl: CEM III/B 32,5 N-LH/SR**

# Zsaluzat / kizsaluzás hatása a beton hőmérsékletére



[Nehme, 2012]

# Könnyűbetonok



# Könnyűbeton

## **Könnyűbeton [MSZ 4798:2016]**

*A beton testsűrűsége alapján könnyűbetonnak nevezzük a kiszáritott állapotában **legalább 800 kg/m<sup>3</sup> és legfeljebb 2000 kg/m<sup>3</sup>** testsűrűségű betont. **Ezt teljesen vagy részben könnyű adalékanyag felhasználásával készítik.***

*MEGJEGYZÉS: Ha nincs külön megadva, akkor a könnyűbeton testsűrűsége a beton 28 napos korára értendő, egyéb esetben pedig a kort megadják. A testsűrűséget a könnyűbeton (60±5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárított állapotában határozzák meg.*

## Könnyűbeton testsűrűségi osztályok [MSZ 4798:2016]

| Testsűrűségi osztály   | D1,0               | D1,2               | D1,4                | D1,6               | D1,8                | D2,0                |
|--|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| <b>A testsűrűség tartománya az MSZ EN 12390-7 szerint vizsgálva</b><br>kg/m <sup>3</sup> | ≥ 800 és<br>≤ 1000 | >1000 és<br>≤ 1200 | > 1200 és<br>≤ 1400 | >1400 és<br>≤ 1600 | > 1600 és<br>≤ 1800 | > 1800 és<br>≤ 2000 |

## Könnyű adalékanyag [MSZ 4798:2016]

Ásványi eredetű adalékanyag, amelynek kiszárított állapotában az MSZ EN 1097-6 szerint meghatározott **szemcsetestsűrűsége  $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$** , vagy kiszárított állapotában az MSZ EN 1097-3 szerint meghatározott **laza halmazsűrűsége  $\leq 1200 \text{ kg/m}^3$** .



# Szűrőbetonok – egyszemcsés betonok



[Józsa, 2012]

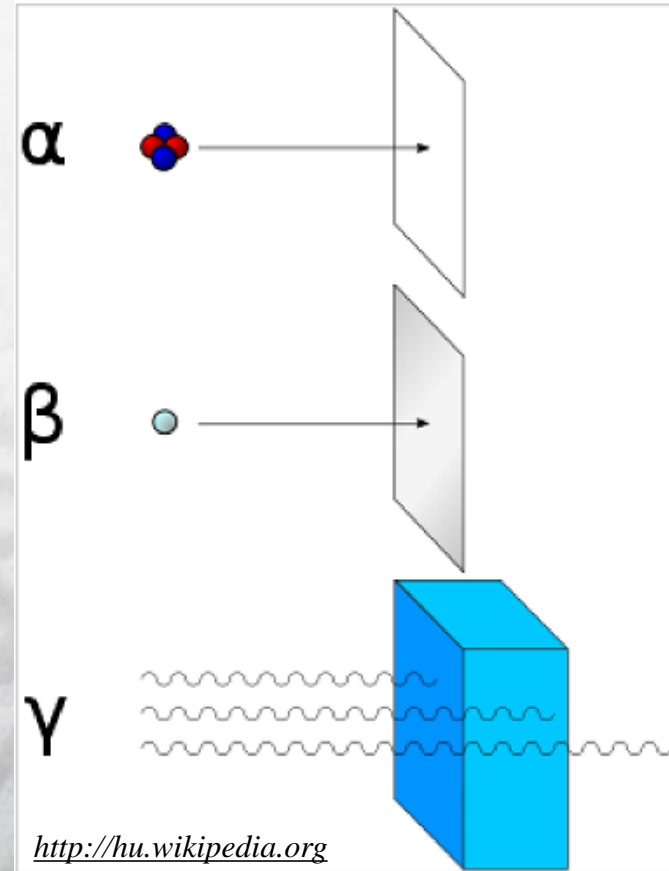
## Pórusbeton ( / gázbeton)





# Nehézbetonok, sugárvédő betonok

Rudabányai-II meddőhányó BARITMIX I



## **Nehézbeton [MSZ 4798:2016]**

A beton testsűrűsége alapján nehézbetonnak nevezzük a kiszárított állapotában **2600 kg/m<sup>3</sup>-nél nagyobb** testsűrűségű betont.

## **Nehéz adalékanyag [MSZ 4798:2016]**

Adalékanyag, amelynek kiszárított állapotában az MSZ EN 1097-6 szerint meghatározott **szemcsetestsűrűsége  $\geq 3000 \text{ kg/m}^3$** .

## **Nehéz betonok a sugárvédelemben [Nagy – Szendrei, 2007]:**

A nehézbeton „működési elve” arra épül, hogy a **fotonok ütköznek az anyag atommagjaival, és az ütközés során vesztenek az energiájukból. Minél több az atommag, annál több az ütközés, és annál nagyobb az anyag sugárgyengítő képessége.**

## Nehéz adalékanyagok

[Nehme, 2012]

| Anyag  | Jele   | Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup> |
|--|--|--------------------------------|
| Barit (sulypát)  | BaSO <sub>4</sub>                                  | 3700-4200                      |
| Magnetit   | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                     | 4300-5200                      |
| Hematit  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                     | 3500-4500                      |
| <b>Bauxit (hidrát betonhoz)</b>  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O  | 2700-3000                      |
| <b>Limonit (hidrát betonhoz)</b>   | 2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O | 3200-3800                      |
| limonit vasérc, leggyakrabban hematittal és magnetittel keveredve fordul elő |  | 3200-3800                      |
| <b>Szerpentin (hidrát betonhoz)</b>  |  | 3500                           |
| Vas  |  | 7400-7800                      |
| Ólom   |  | 11400                          |

## Sugárvédő betonok

- **Nehézbeton**  $\rho_t > 2600 \text{ kg/m}^3$  [Nehme, 2012]
- **Hidrátbeton:** Védőképességét a kémiaailag kötött víztartalmának (hidrátvíz) köszönheti. A hidrátbeton készítéséhez hidrátvíz tartalmú adalékanyagot kell használni, pl.: limonit, götit, hidrohetit, haidit, szerpentin, bauxit.
- Sugárvédő közönséges tömegbeton

**Neutron sugárzás elleni védőképessége a hidrátvíz tartalom növekedésével nő.**

### Hidrátvíztartalom és szilárdság

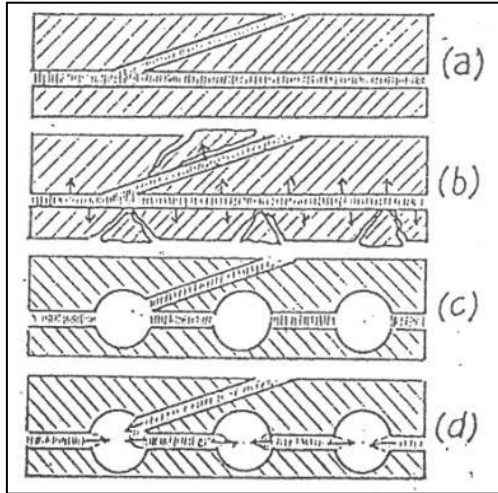
- |                     |          |                         |
|---------------------|----------|-------------------------|
| • <b>Szerpentin</b> | 11-14 %, | kb 60 N/mm <sup>2</sup> |
| • <b>Limonit</b>    | 10-15 %, | 10-60 N/mm <sup>2</sup> |
| • <b>Bauxit</b>     | 20-25 %, | 3-25 N/mm <sup>2</sup>  |

# Fagy- és olvasztósóálló betonok

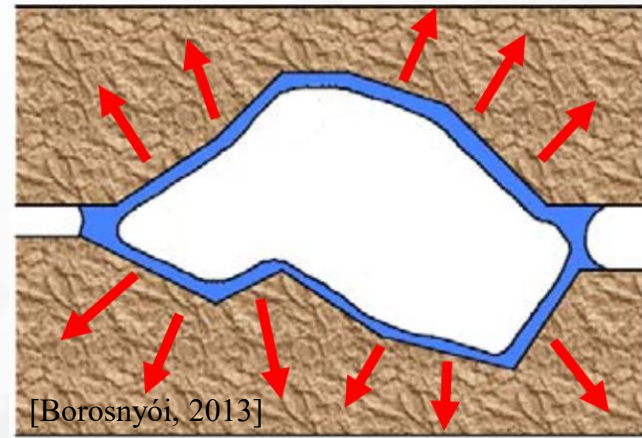


|  | Fagyás-olvadás okozta korrózió <sup>h)</sup>  |   |                   |                   | Fagyás-olvadás okozta korrózió <sup>h)</sup>  |        |        |  |
|--|---|---|-------------------|-------------------|---|--------|--------|--|
|  | XF1 <sup>a)</sup>   | XF2 <sup>l)</sup>   | XF3 <sup>l)</sup> | XF4 <sup>l)</sup> | XF2(H)  | XF3(H) | XF4(H) |  |
|  |   | Légbuborékképző szerrel   |                   |                   | Légbuborékképző adalékszer nélkül   |        |        |  |
| Legnagyobb v/c <sup>c) d)</sup>                            | 0,55  | 0,55  | 0,50              | 0,45              | 0,50  | 0,45   | 0,40   |  |
| Legkisebb nyomószilárdsági osztály <sup>e)</sup>           | C30/37  | C25/30  | C30/37            | C30/37            | C35/45  | C40/50 | C40/50 |  |
| Legkisebb cementtartalom <sup>c)</sup> , kg/m <sup>3</sup> | 300   | 300   | 320               | 340               | 320   | 340    | 360    |  |
| Friss beton levegőtartalma, térfogatszázalék               |   | A friss beton összes levegőtartalma (légpórus + légbuborék) a NAD F3. táblázat szerinti határértékek közé essék |                   |                   |   |        |        |  |
| Egyéb követelmények  | MSZ EN 12620 szerinti kielégítő fagyás/olvadás állóságú adalékanyag (lásd a NAD E1. és NAD 2. táblázatot) |   |                   |                   | Alkalmazása út- és repülőtéri pályaburkolatok esetén tilos!<br>Az adalékanyag fagyálló, illetve fagy- és olvasztósóálló legyen (lásd a NAD E1. és NAD E2. táblázatot) |        |        |  |

[Ujhelyi, 2005]

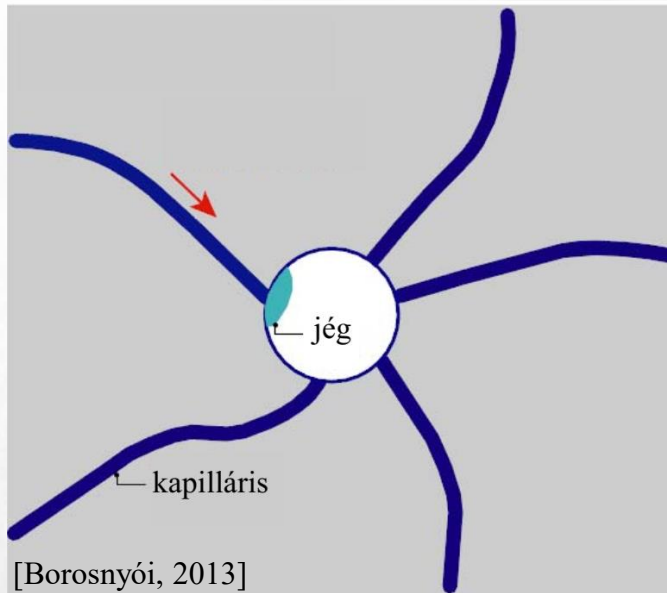


Légbuborék képző adalékszer nélkül

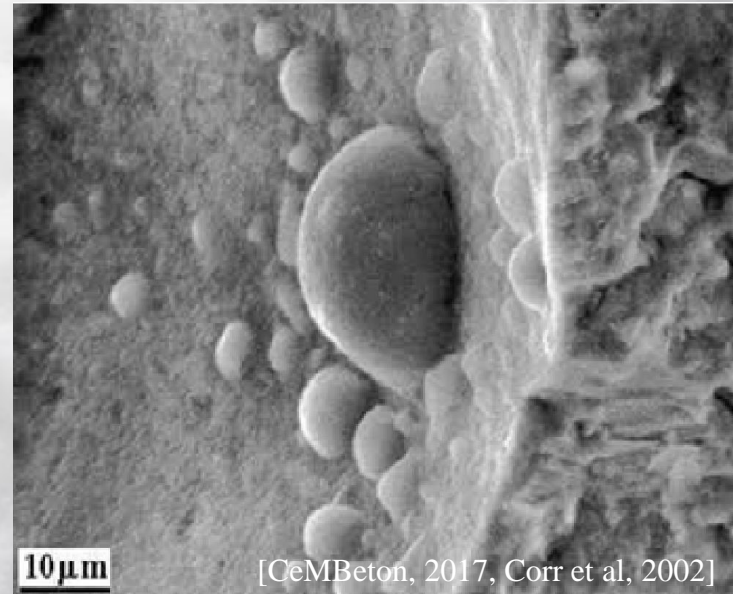


[Borosnyói, 2013]

Légbuborék képző adalékszerrel

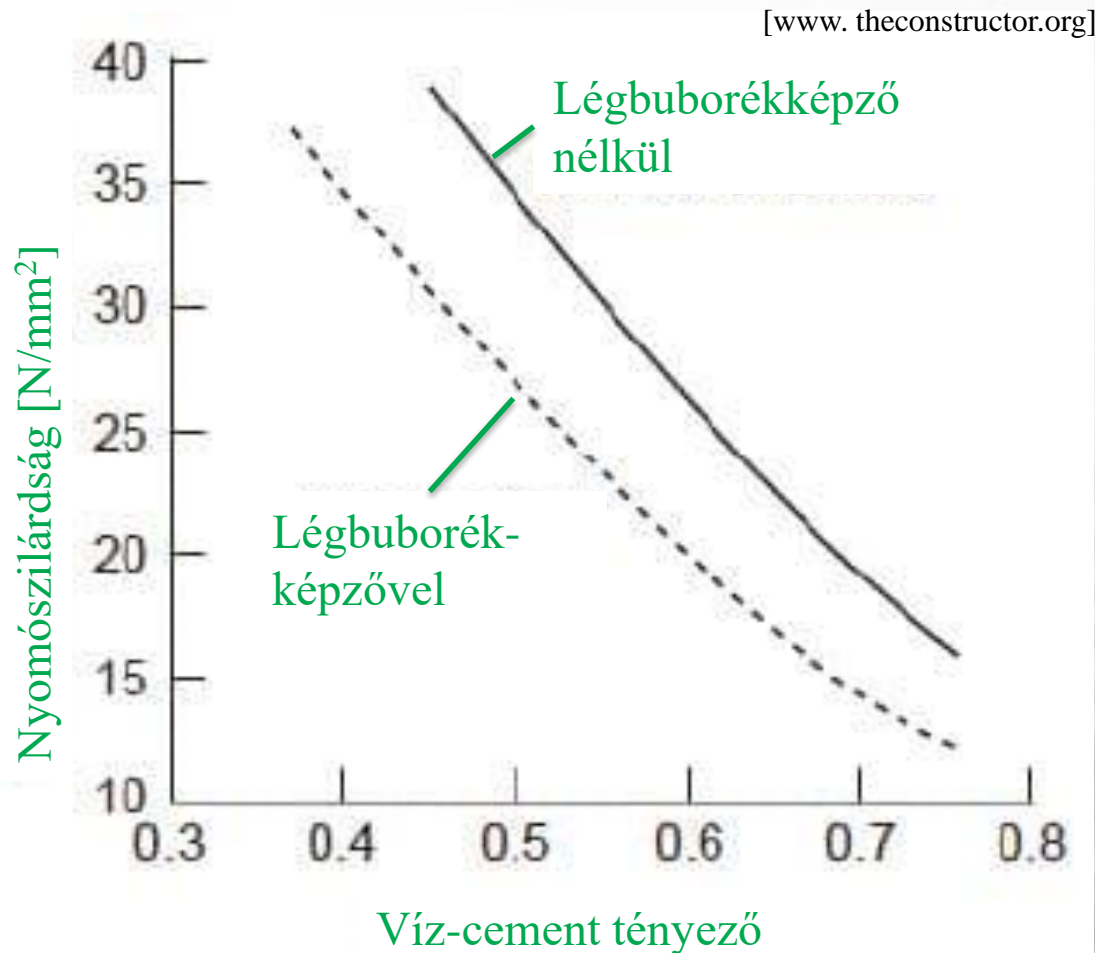


[Borosnyói, 2013]



[CeMBeton, 2017, Corr et al, 2002]

# Légbuborékképző adalékszer hatása a nyomószilárdságra



[www.theconstructor.org]

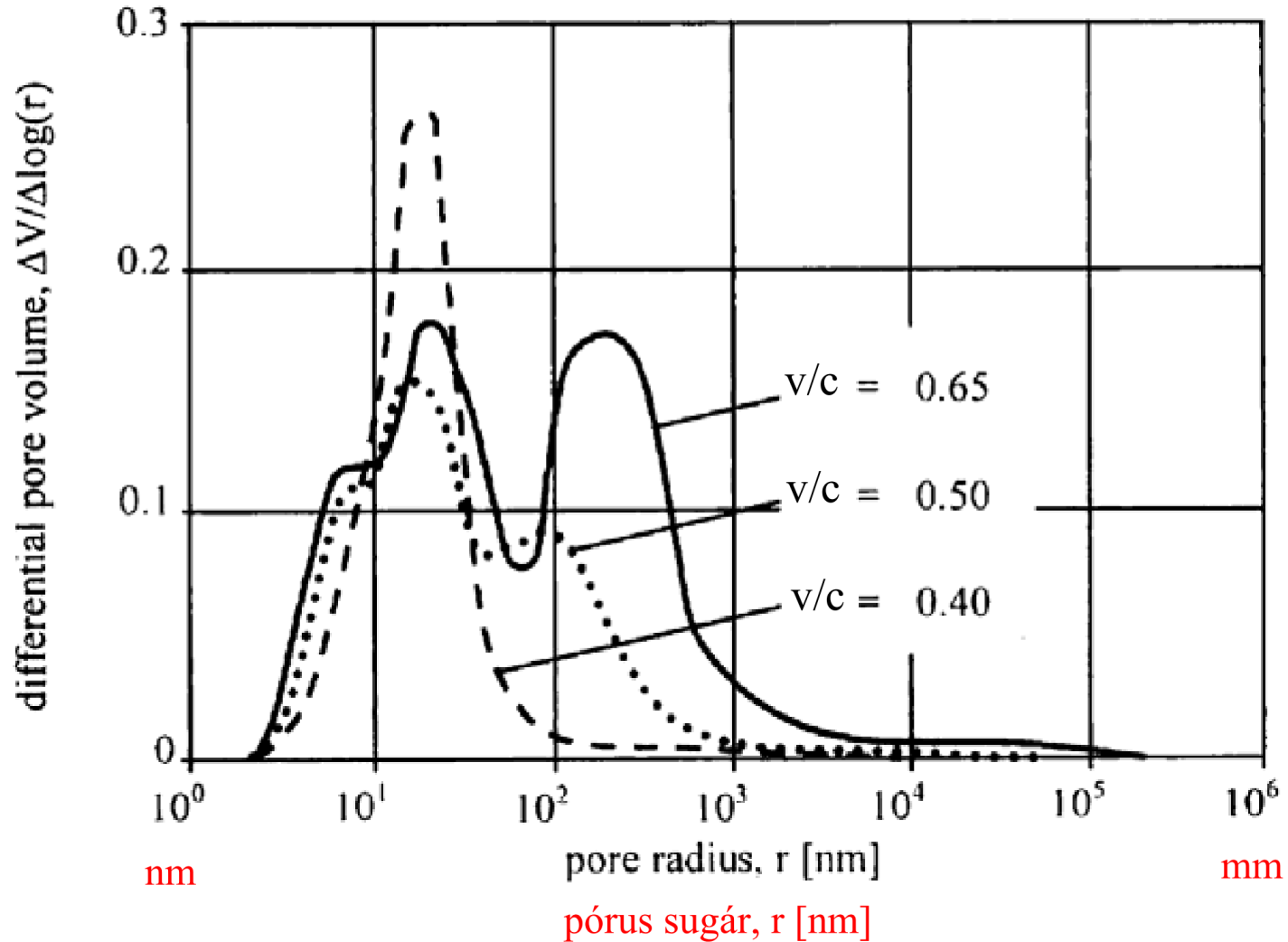


|  | Fagyás-olvadás okozta korrózió <sup>h)</sup>  |   |                   |                   | Fagyás-olvadás okozta korrózió <sup>h)</sup>  |        |        |  |
|--|---|---|-------------------|-------------------|---|--------|--------|--|
|  | XF1 <sup>a)</sup>   | XF2 <sup>l)</sup>   | XF3 <sup>l)</sup> | XF4 <sup>l)</sup> | XF2(H)  | XF3(H) | XF4(H) |  |
|  |   | Légbuborékképző szerrel   |                   |                   | Légbuborékképző adalékszer nélkül   |        |        |  |
| Legnagyobb v/c <sup>c) d)</sup>                            | 0,55  | 0,55  | 0,50              | 0,45              | 0,50  | 0,45   | 0,40   |  |
| Legkisebb nyomószilárdsági osztály <sup>e)</sup>           | C30/37  | C25/30  | C30/37            | C30/37            | C35/45  | C40/50 | C40/50 |  |
| Legkisebb cementtartalom <sup>c)</sup> , kg/m <sup>3</sup> | 300   | 300   | 320               | 340               | 320   | 340    | 360    |  |
| Friss beton levegőtartalma, térfogatszázalék               |   | A friss beton összes levegőtartalma (légpórus + légbuborék) a NAD F3. táblázat szerinti határértékek közé essék |                   |                   |   |        |        |  |
| Egyéb követelmények  | MSZ EN 12620 szerinti kielégítő fagyás/olvadás állóságú adalékanyag (lásd a NAD E1. és NAD 2. táblázatot) |   |                   |                   | Alkalmazása út- és repülőtéri pályaburkolatok esetén tilos!<br>Az adalékanyag fagyálló, illetve fagy- és olvasztósóálló legyen (lásd a NAD E1. és NAD E2. táblázatot) |        |        |  |

|                  |                    | Powers és Brownyard (1946-1947) |                   | Wesche (1974)      |                       | Setzer (1987) |            | Nehme           |           | Víz fagyáspont |           |
|------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|---------------|------------|-----------------|-----------|----------------|-----------|
| Teljes porozitás | Kapilláris pórusok | Légpórusok                      | Durva pórusok     | > 1 mm             | Légzárványok          |               | > 4 mm     |                 | Porozitás | 10–300 μm      | 0-(-3) °C |
|                  |                    |                                 | Makrokapillárisok | 0,3 – 1 mm         | Légbuborékok          |               | 0,3 – 4 mm |                 |           |                |           |
|                  |                    |                                 | Kapillárisok      | 1 μm – 0,3 mm      | Hatékony légbuborékok |               | 20–300 μm  |                 |           |                |           |
|                  |                    |                                 |                   | Nyitott légpórusok | Zárt légpórusok       |               |            |                 |           |                |           |
|                  | Kapilláris pórusok | Mikrokapillárisok               | < 1 μm            | Kapilláris Pórusok |                       | 1 nm – 10 μm  |            | (-15)- (-43) °C |           |                |           |
|                  |                    | Mezopórusok                     | 0,1 μm – 1 nm     |                    |                       |               |            |                 |           |                |           |
|                  |                    | Gélpórusok                      | Gélpórusok        | Mikropórusok       | < 1 nm                | Gélpórusok    |            |                 |           |                | < 1 nm    |

(Hilsdorf, Reinhardt, 1999)

[Borosnyói, 2013]



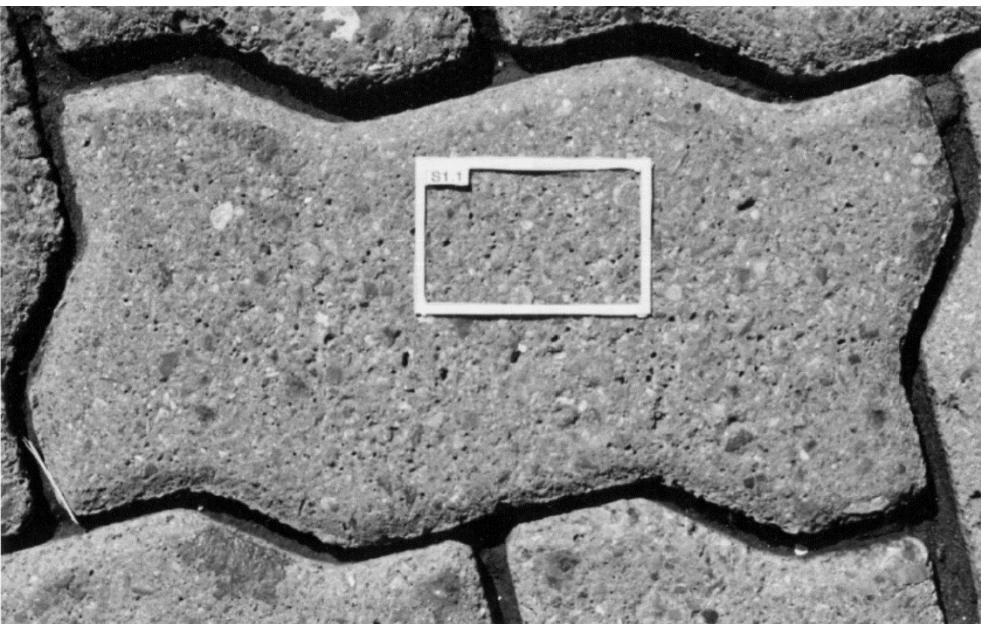
$-160^\circ\text{C}$

$(-43)-(-15)^\circ\text{C}$

$0-(-3)^\circ\text{C}$

[Setzer, 1987]

# Kopásálló betonok



[Borosnyói, 2013]

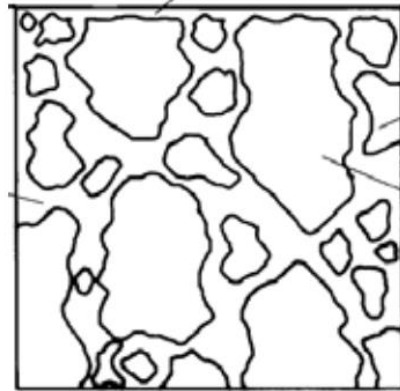
# Környezeti osztályok – koptató hatáshoz

| Az osztály jele   | A környezeti hatás leírása  | Tájékoztató példák a környezeti osztályok előfordulására  |
|---|---|---|
| <p><b>Koptató hatás okozta korrózió</b></p>   |   |   |
| <p>Amikor a beton csiszoló, csúszó, gördülő, súrlódó igénybevétel, ütés vagy vízáramlás alatt mozgatott gördülő hordalék koptató hatása éri, akkor az ezekből származó igénybevételt a következők szerint kell osztályozni:</p> |   |   |
| XK1(H)  | Könnyű szemcsés anyagok koptató igénybevétele. Gyalogos forgalom, fúvott kerekes járművek koptató igénybevétele                     | Könnyű adalékanyagok, termények stb. tárolására alkalmas silók, bunkerek, tartályok; járdák, lépcsők, garázspadozatok.                        |
| XK2(H)  | Gördülő igénybevétel okozta koptató hatás nehéz terhek alatt, tömör gumi kerekes járművek.  | Betonút, durva, nehéz szemcsés anyagok tárolói, görgetett hordalékkal érintkező betonfelületek, villástargonca forgalom.                      |
| XK3(H)  | Csúsztató-gördülő igénybevétel okozta koptató hatás igen nehéz terhek alatt, acél kerekes targonca forgalom.                        | Repülőtéri le- és felszálló pályák valamint gurulóutak, nehézipari szerelőcsarnokok, konténerátrakó állomások.                                |
| XK4(H)  | Csúsztató-gördülő igénybevétel okozta koptató hatás igen nehéz terhek alatt, nagy felületi pontosság és pormentesség igénye esetén. | Nehéz terheknek, hernyótalpas járműnek kitett térburkolatok, csarnokok és raktárak betonja. Kemény felületű, pormentes ipari padlóburkolatok. |

[CemBeton Útmutató, 2017]

# Beton kopásának mechanizmusa

[Borosnyói, 2013]

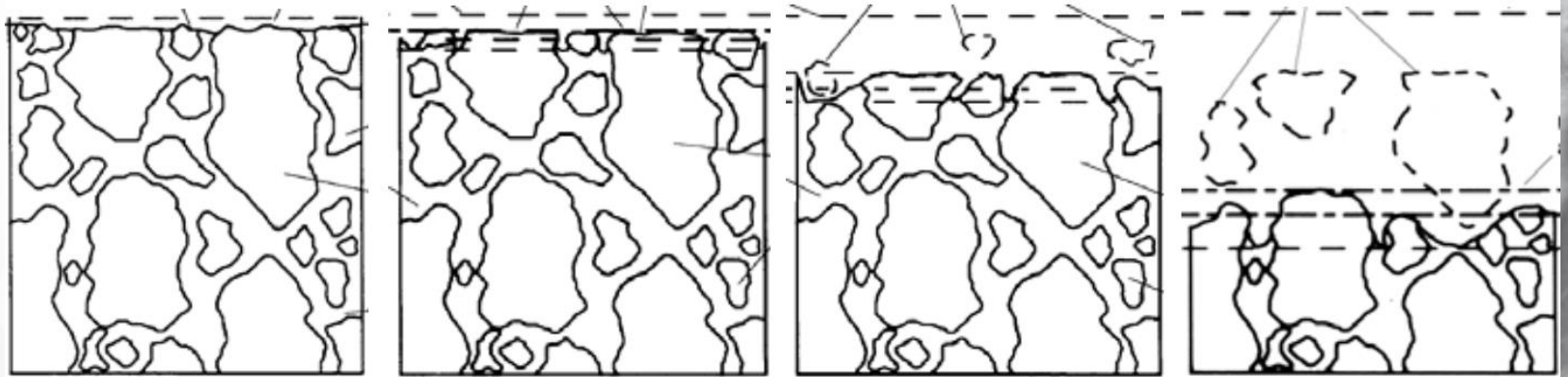


**I.**

**II.**

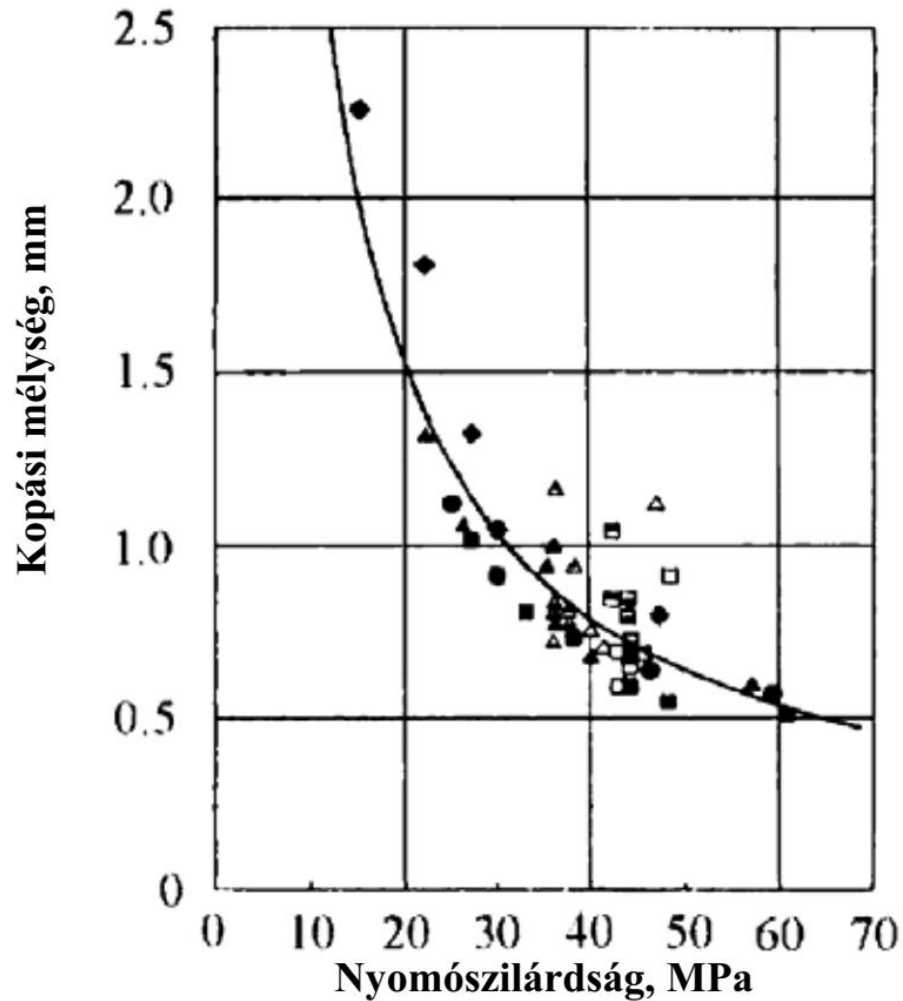
**III.**

**IV.**



# Beton kopási mélysége nyomószilárdság függvényében

(Dhir et al, 1991) [Borosnyói, 2013]



# Kopásálló beton tervezési követelményei

[CemBeton Útmutató, 2017]

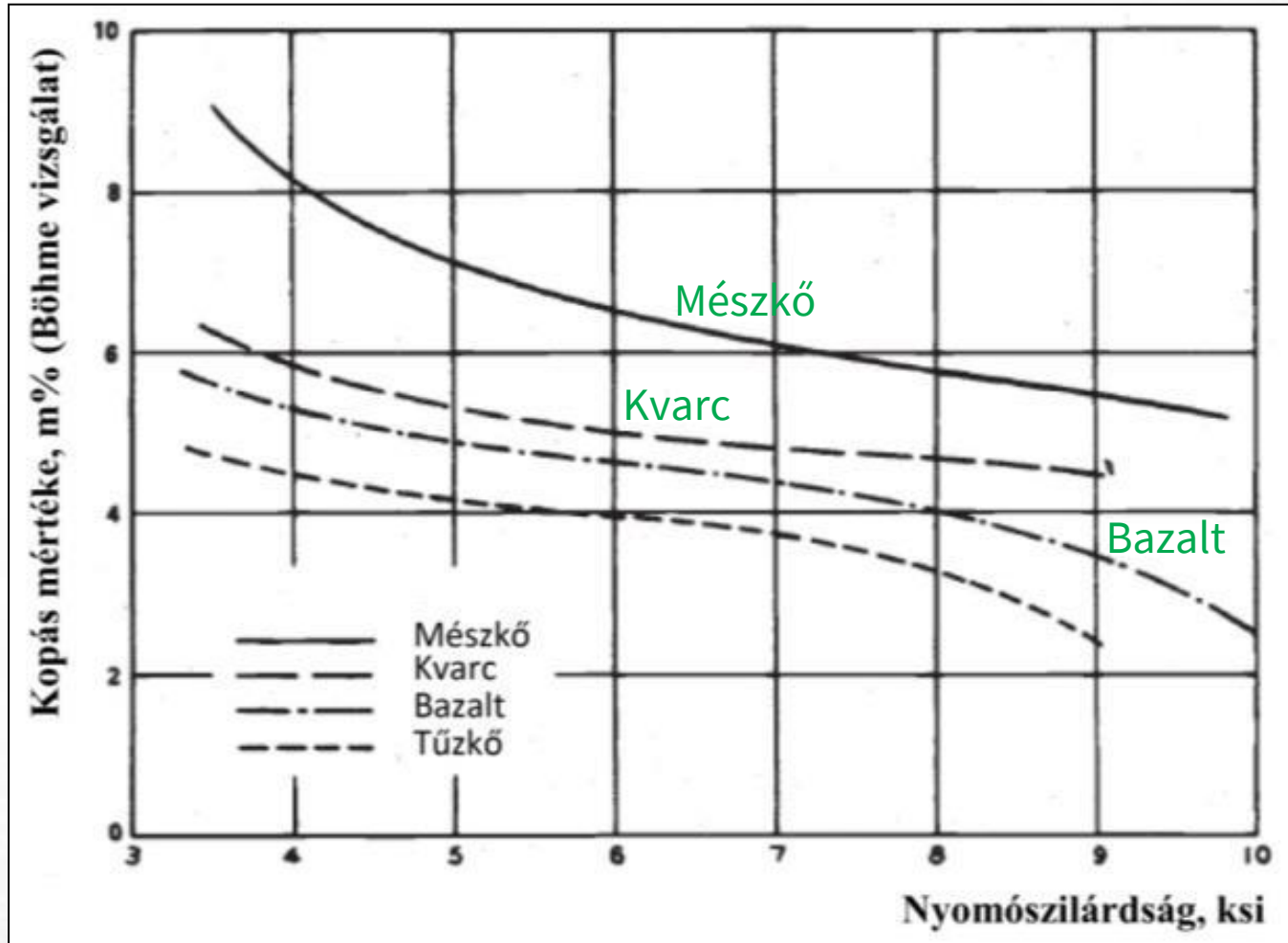
|   |        |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Környezeti osztály jele                     | XK1(H) | XK2(H) | XK3(H) | XK4(H) |
| Legnagyobb v/c tényező                      | 0,5    | 0,45   | 0,4    | 0,38   |
| Legkisebb nyomószilárdsági osztály          | C30/37 | C35/45 | C40/50 | C45/55 |
| Legkisebb cementtartalom, kg/m <sup>3</sup> | 310    | 330    | 350    | 370    |

**XK3(H) – XK4(H) környezeti osztály esetén javasolt **zúzott adalékanyag** használata!!!**



# Közetek kopása

[Lamond - Pielert, 2006]



ksi, azaz kilopound per square inch-ben van megadva,  $1 \text{ ksi} = 6,894757 \text{ N/mm}^2$

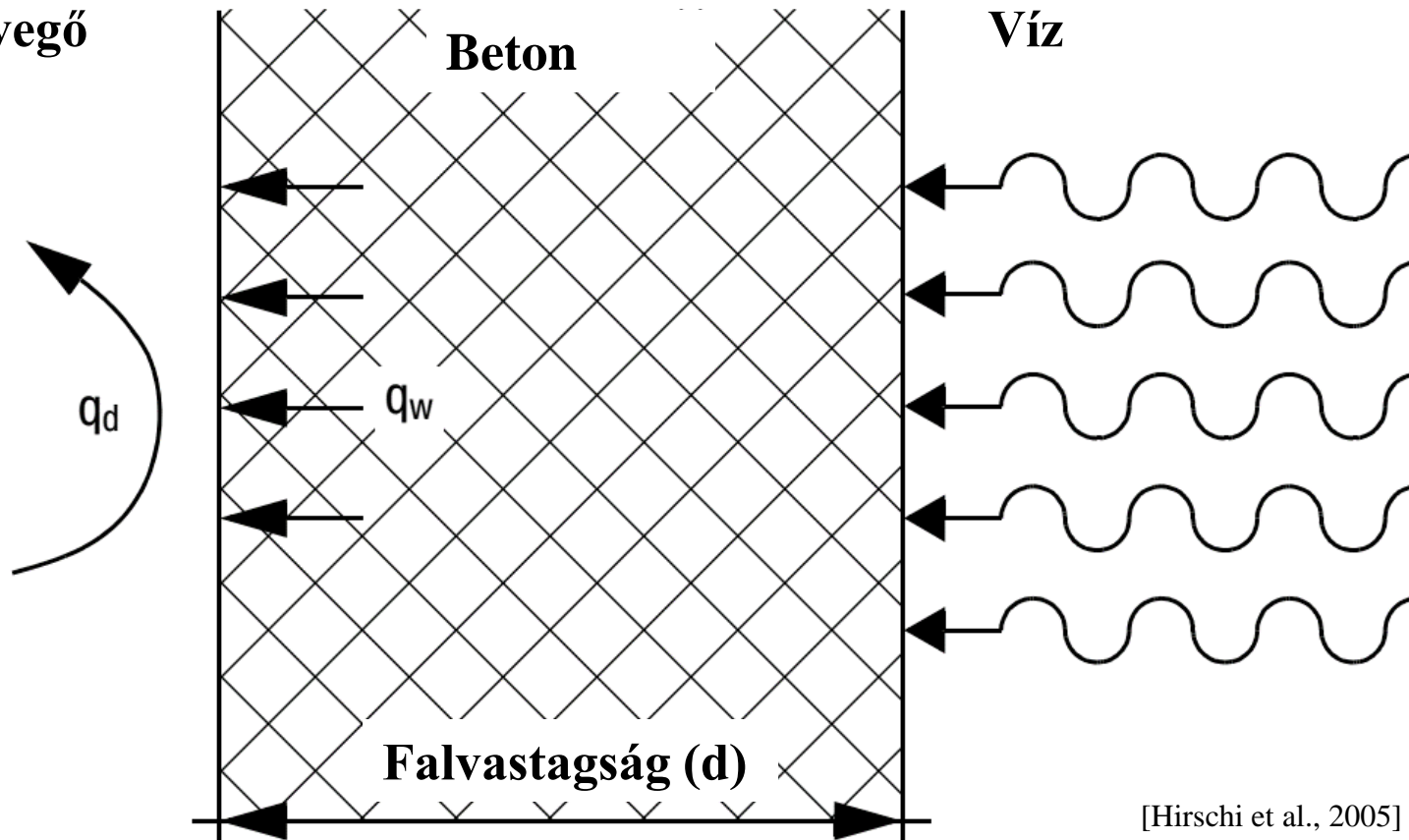
# Vízzáró betonok



# Vízzárás $\neq$ nincs vízáteresztés

$$q_w < q_d$$

Levegő



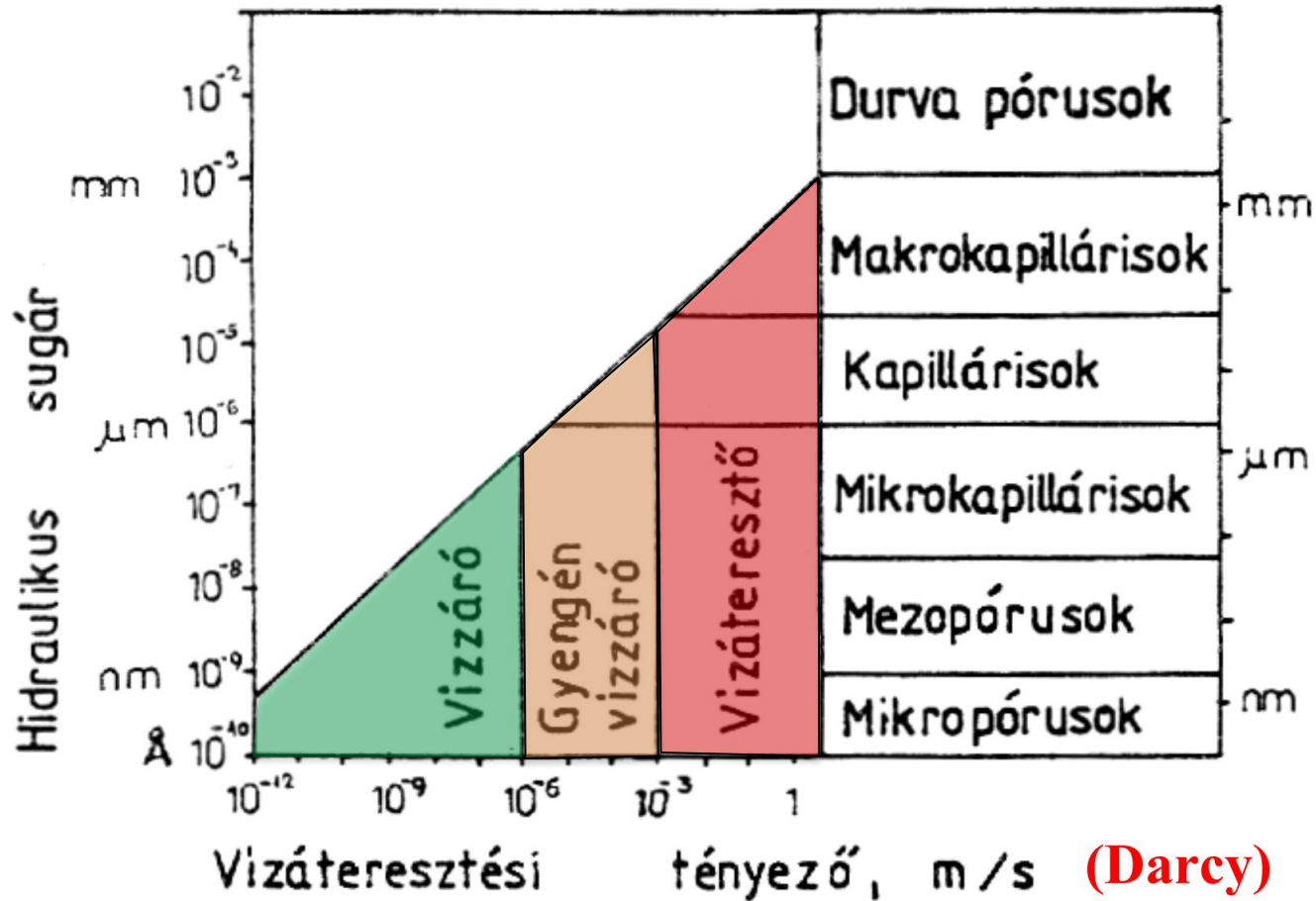
[Hirschi et al., 2005]

**Kedvező a minél nagyobb falvastagság (d)**

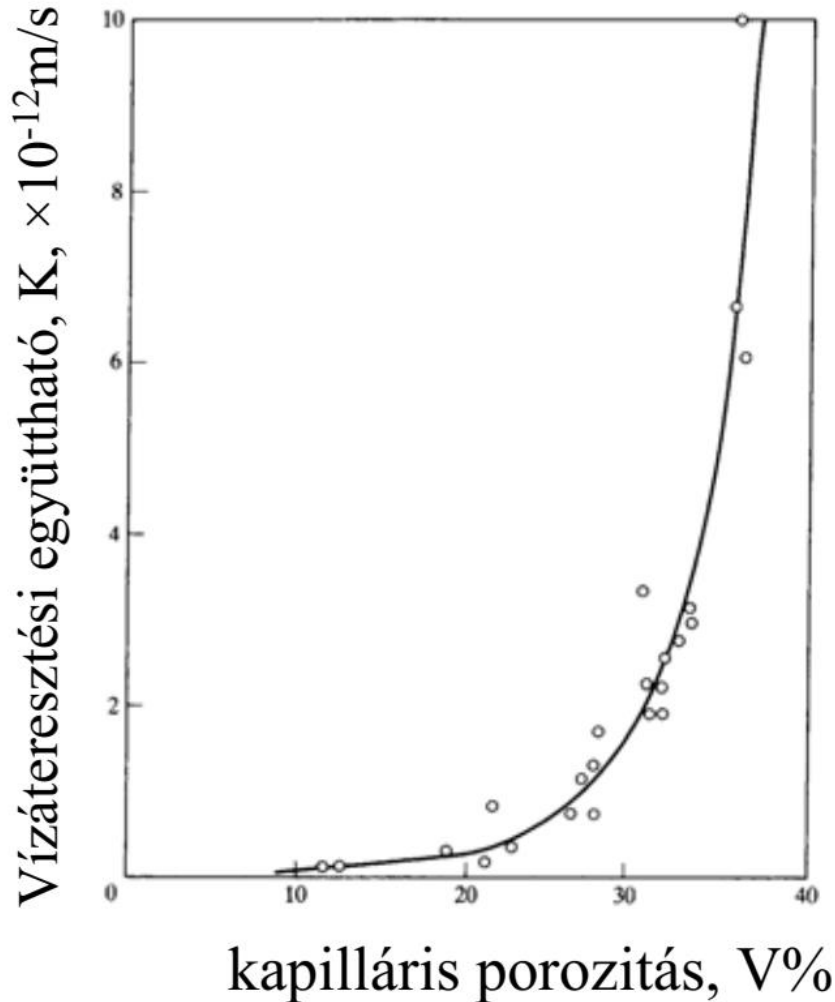
# Pórusrendszer hatása a vízzáróságra

(Setzer, 1987)

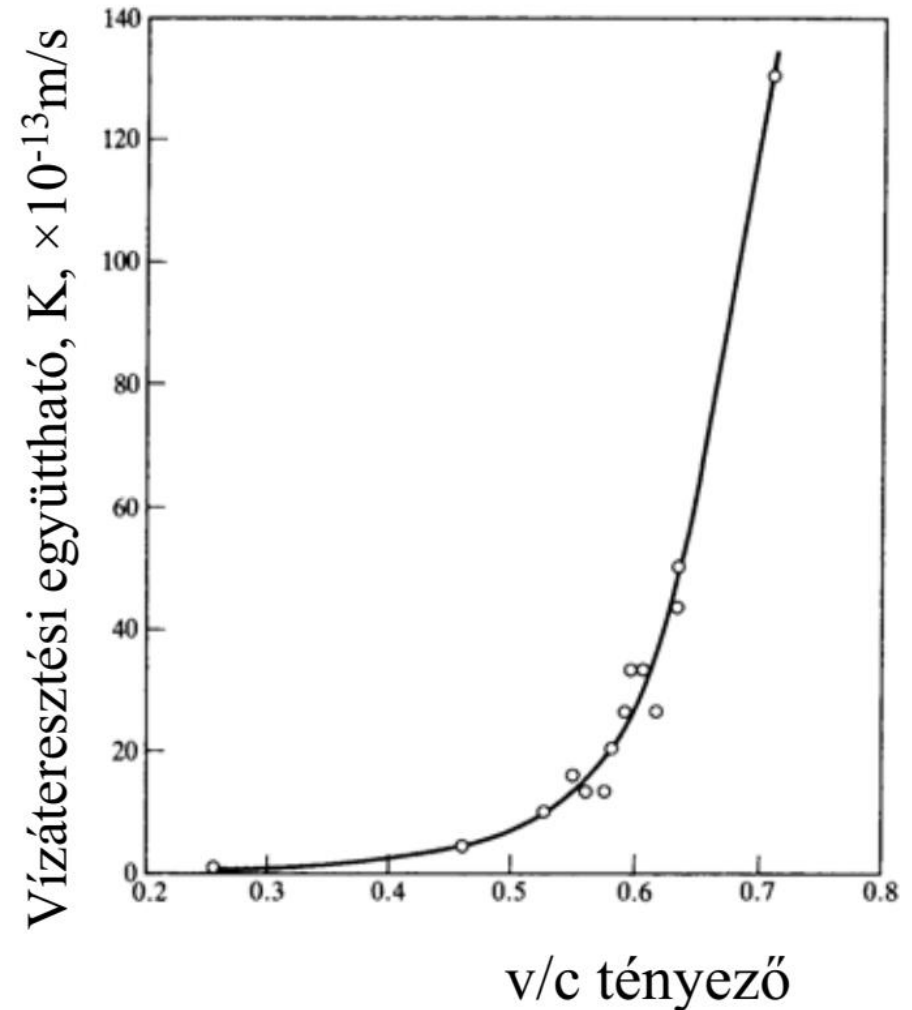
[Borosnyói, 2013]



(Powers, 1958)



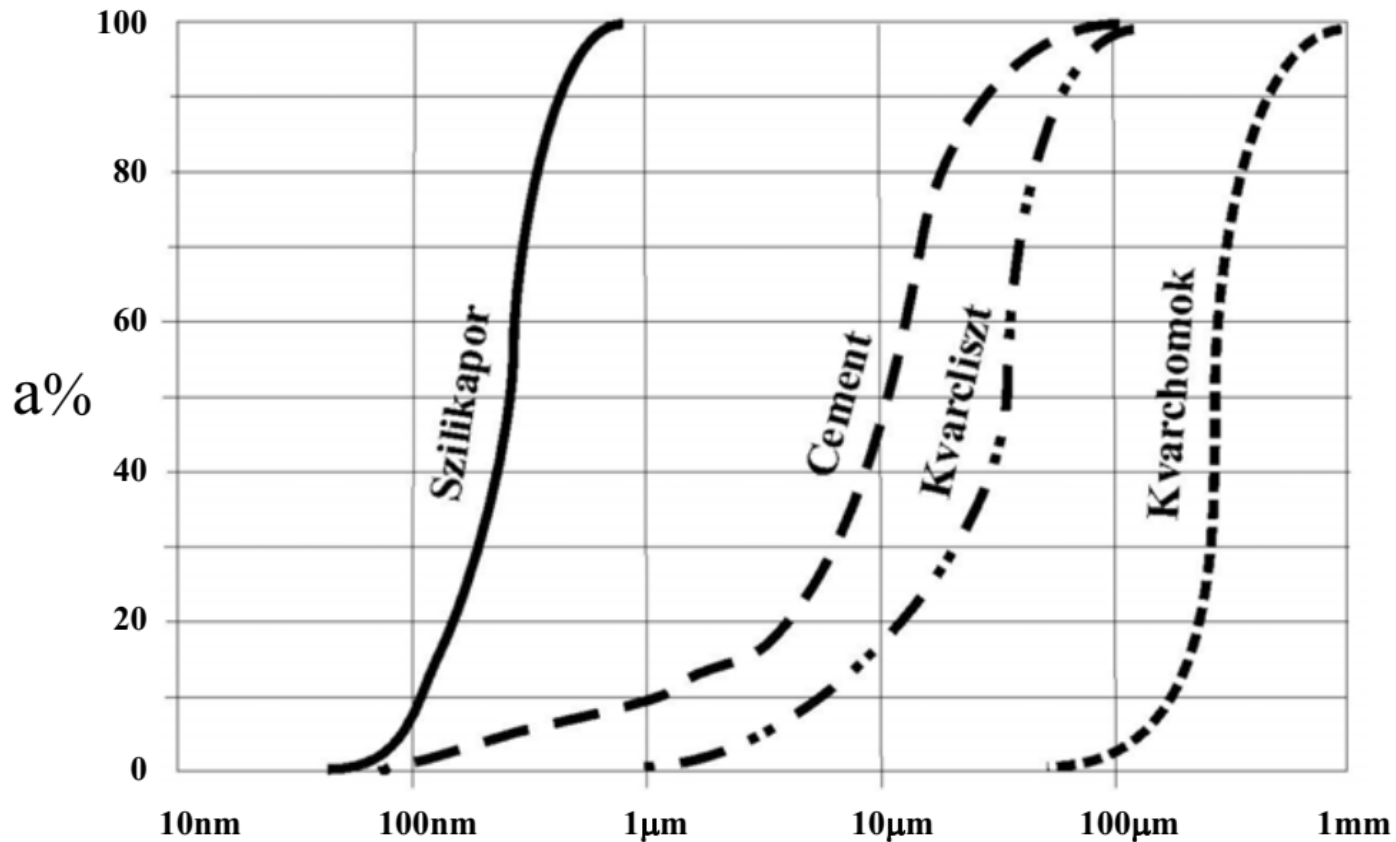
(Powers, 1954)



# Pórusrendszer tömítése

[Borosnyói, 2013]

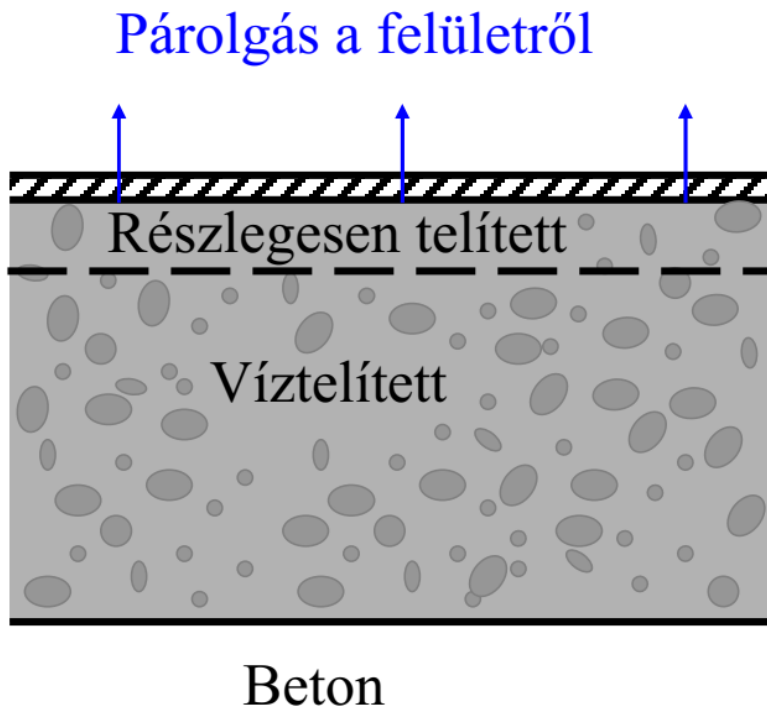
## Szilikapor jellegzetes szemeloszlása



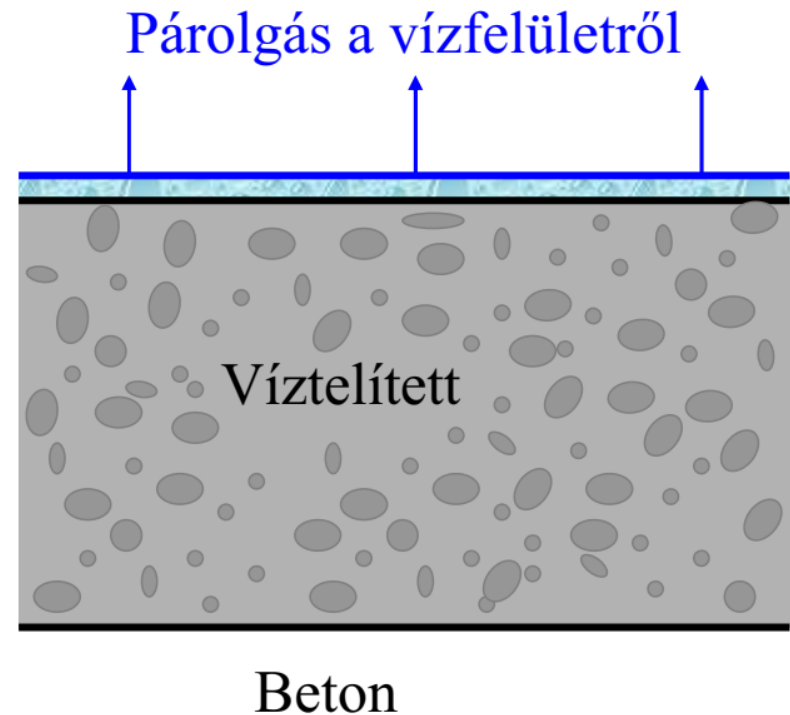
# Utókezelés fontossága

[Borosnyói, 2013]

## fóliával, párazáró bevonattal



## elárasztással, locsolással



# Szálerősítésű betonok





# Szálak széleskörű alkalmazása

## Acélszál

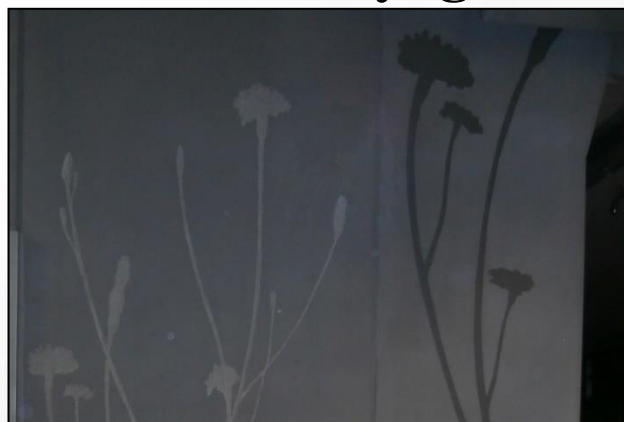
1874. A. Bernard – 1965. J. P. Romualdi – hazánkban 1972. óta SIOME



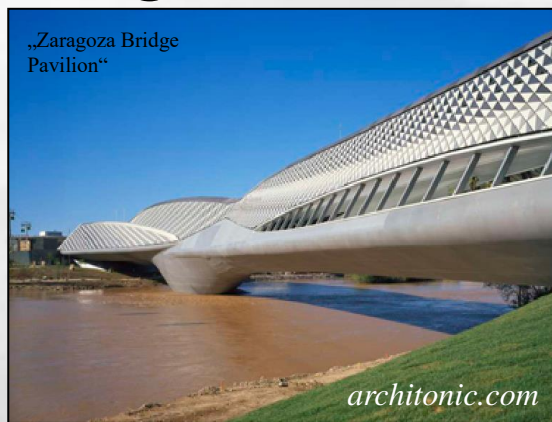
## Makro műanyag szál



## Mikro műanyag szál



## Üvegszál



## Bazalt szál



## Szálak típusai (ACI 544.1R-96 alapján)

- **SFRC:** acélszál erősítésű beton (steel fibre reinforced concrete)



- **GFRC:** üvegszál erősítésű beton (glass fibre reinforced concrete)



- **SNFRC:** szintetikus szál erősítésű betonok (synthetic fibre reinforced concrete)  
poliészter, polietilén, polipropilén, nejlon, aramid és szén

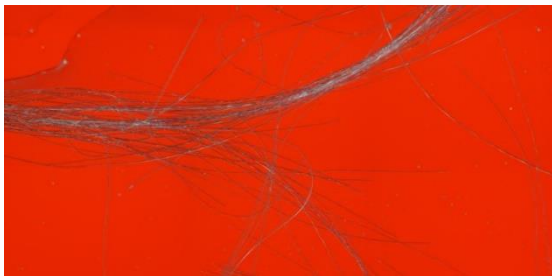


- **NFRC:** természetes szál erősítésű betonok (natural fibre reinforced concrete)



## Polimer szálak csoportosítása (MSZ EN 14889-2:2007 alapján)

- **I. osztály: mikro szál ( $\text{Ø}_f < 0,3 \text{ mm}$ ):**
  - **I.a. osztály: elemi szál (mono-filamented fibres)**

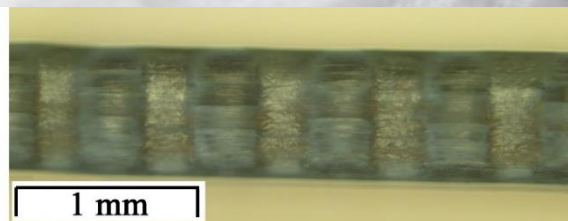


- **I.b. osztály: fibrillált szál / szálköteg (fibrillated fibres)**



<http://www.avers.hu>

- **II. osztály: makro szál ( $\text{Ø}_f > 0,3 \text{ mm}$ )**



# Milyen hatása van a szálaknak a betonban?

## Szálak szerepe a betonban

```
graph TD; A[Szálak szerepe a betonban] --> B[Frissbeton jellemzők]; A --> C[Megszilárdult beton jellemzők];
```

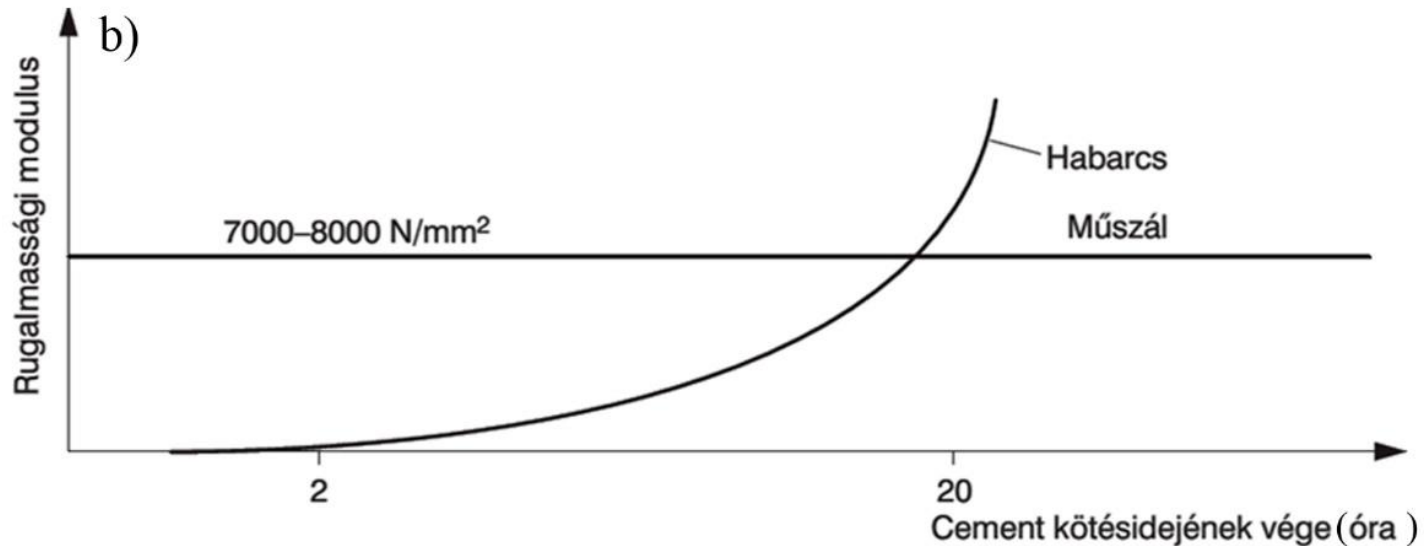
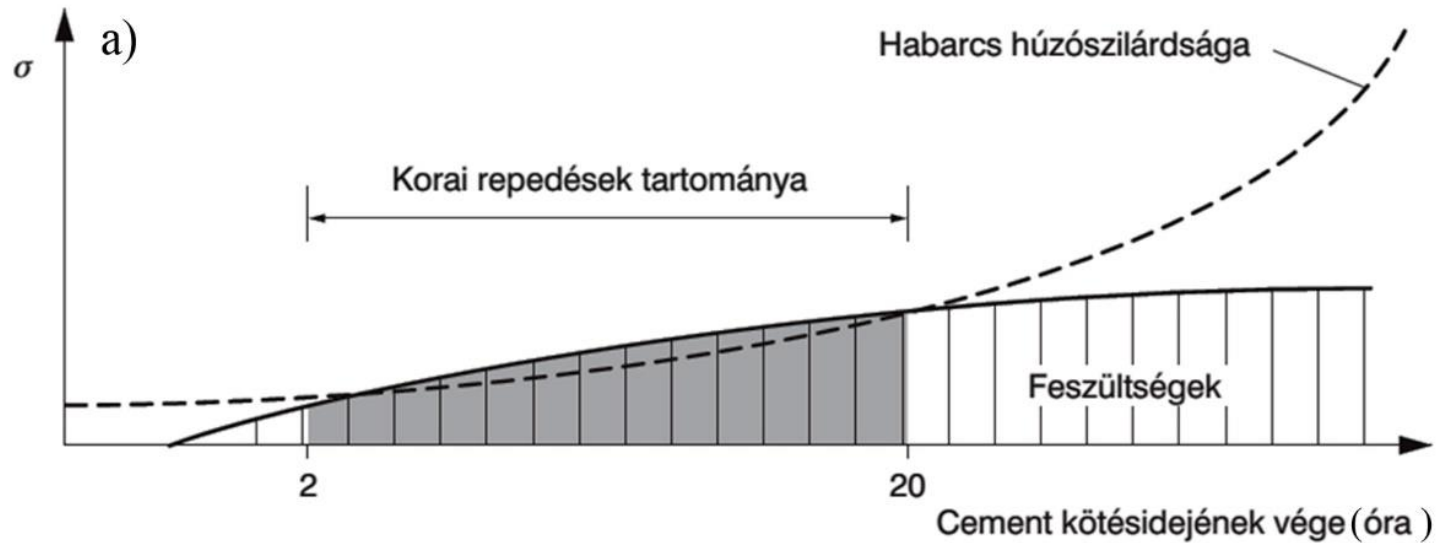
### Frissbeton jellemzők

- Zsugorodási repedés korlátozása
- Vízmegtartó szerep (kisebb kapilláris porozitás)
- Visszahullási veszteség csökkentése

### Megszilárdult beton jellemzők

- Szívósság,
- Szakadónyúlás,
- Berepedést követő maradó húzó / maradó hajlító-húzószilárdság,
- Fáradási szilárdság,
- Lökésszerű terhekkel szembeni ellenállás,
- ...
- Tűzállóság (spalling kockázat csökkentése)

# Zsugorodási repedések korlátozása

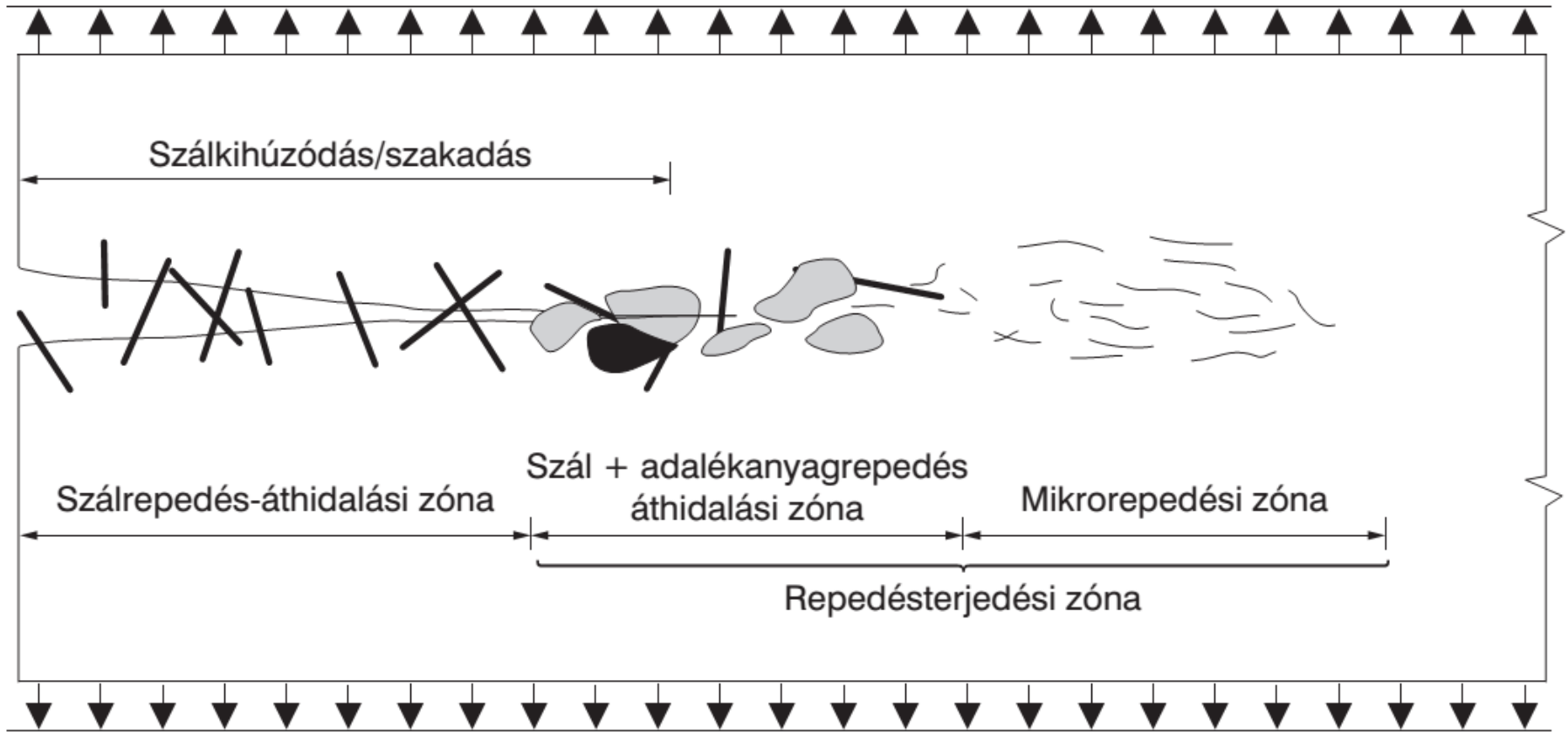


## Főbb anyagjellemzők

| Száltípus    | $\varnothing_f$<br>Átmérő<br>[ $\mu\text{m}$ ] | $l_f$<br>Hossz<br>[mm] | $\gamma_f$<br>Térf.-<br>súly<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $E_f$<br>Rug.<br>modulus<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\nu_f$<br>Poisson<br>tényező | $f_{tf}$<br>Húzó-<br>szilárdság<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\epsilon_{uf}$<br>Szakadó-<br>nyúlás<br>[%] |
|--------------|--|------------------------|--|--|-------------------------------|---|--|
| acél         | 100 - 600                                      | 10 - 60                | 78,5   | 200 000  | 0,28                          | 700 - 2000  | 3,5  |
| polipropilén | 100 - 2000                                     | 5 - 75                 | 9,0  | < 5 000  | 0,29 -<br>0,46                | 400   | 8-18   |
| nylon        | > 4  | 5 - 50                 | 11,4   | < 4 000  | 0,40                          | 750 - 900   | 13,5   |
| E-üveg       | 8 - 10   | 10 - 50                | 25,4   | 72 000   | 0,25                          | 3 500   | 4,8  |
| AR-üveg      | 8 - 10   | 10 - 50                | 27,4   | 78 000   | -                             | 2 500   | 2,5  |
| aramid       | 10 - 12  | 10 - 20                | 14,4   | 50 000 -<br>150 000                              | -                             | 3 500   |  |
| szén         | 8 - 10   | 10 - 20                | 18,0   | 150 000 -<br>300 000                             | 0,35                          | 1 800 - 3<br>500  | 0,8-1,6                                      |
| azbeszt      | 0,1 - 30                                       | 5 - 40                 | 25,5   | 164 000  | 0,30                          | 200 - 1 800   | 2,3  |

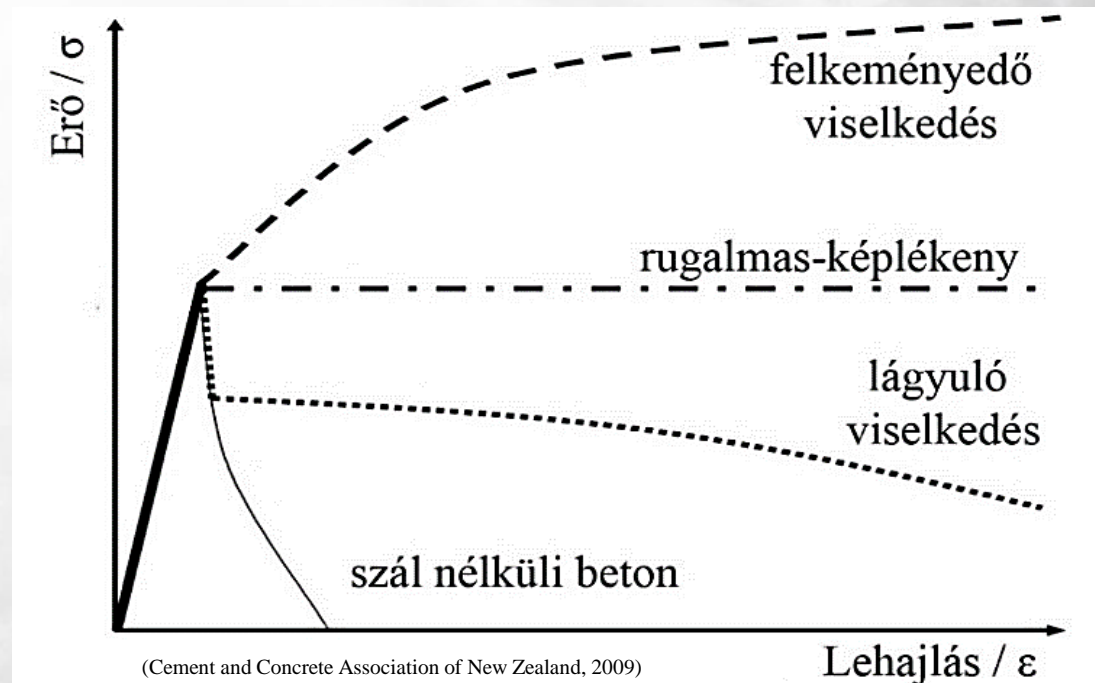
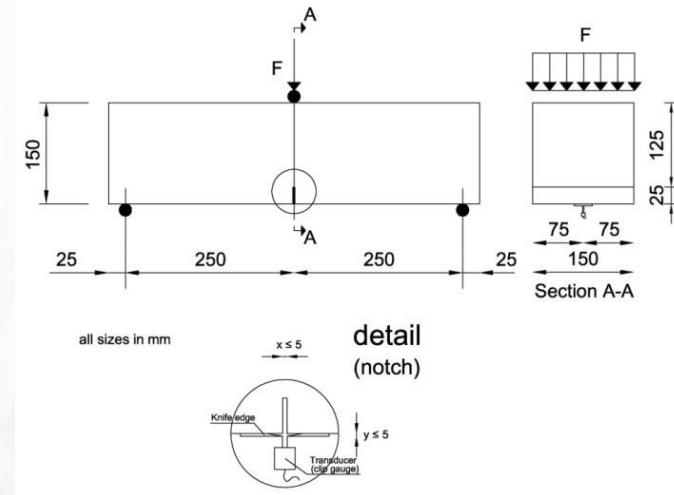
(Balázs L. Gy., Polgár L. (1999): „A szálerősítésű betonok múltja, jelene és jövője”, Vasbetonépítés 1. évf., 1. szám, pp. 3-10.)

# Repedésterjedés szálerősítésű betonban



Li V. C., Maalei M. (1996): „Toughening in Cement Based Composites, Part II: Fiber Reinforced Cementitious Composites”, Journal of Cement and Concrete Composites, Vol. 18., No. 44., pp. 239-249.








# Mi az a maradó hajlító-húzószilárdság?



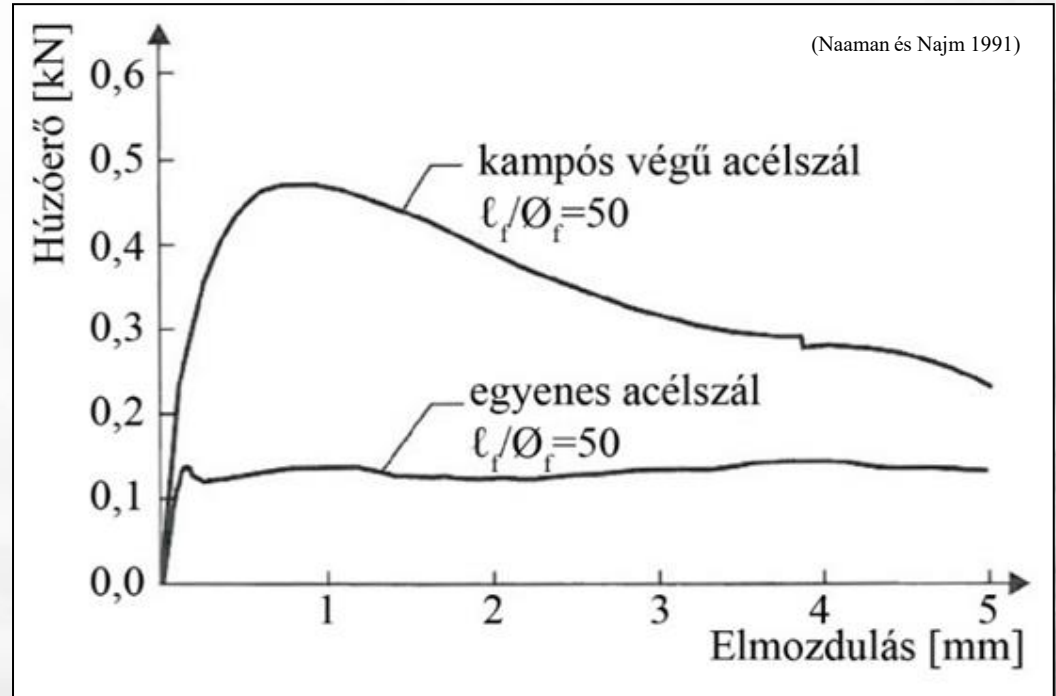
(Cement and Concrete Association of New Zealand, 2009)



## Acélszálak alakjai

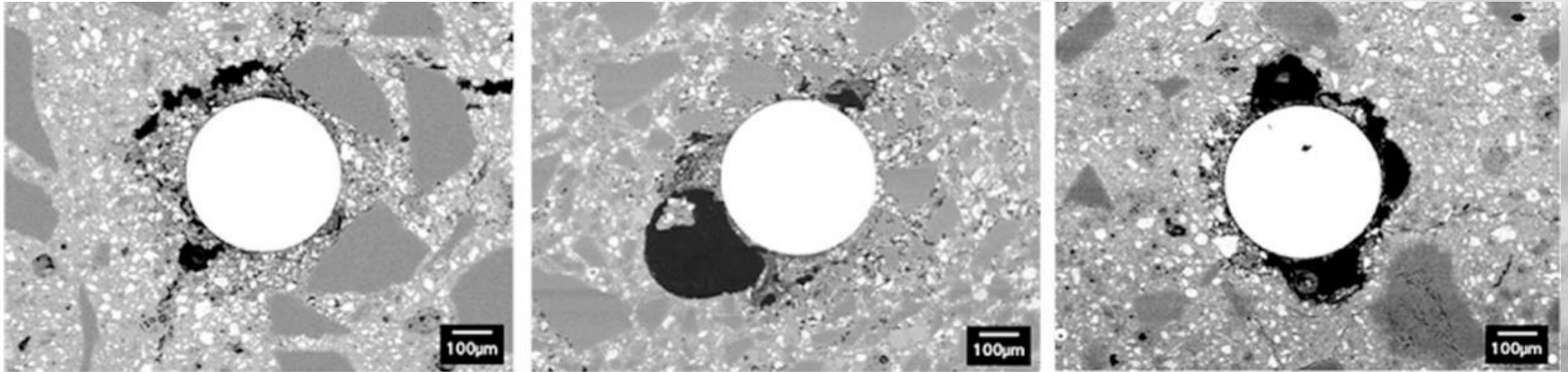
| Sorszám | Megnevezés                     | Alaki jellemző  |
|---------|--------------------------------|---|
| 1.      | huzal                          |  |
| 2.      | gombozott huzal                |  |
| 3.      | kampós végű huzal és lemezszál |  |
| 4.      | hullámos huzal és lemezszál    |  |
| 5.      | golyónyomott lemezszál         |  |
| 6.      | forgácsolt lemez               |  |
| 7.      | öntött szál                    |  |

(Kovács, 1999)



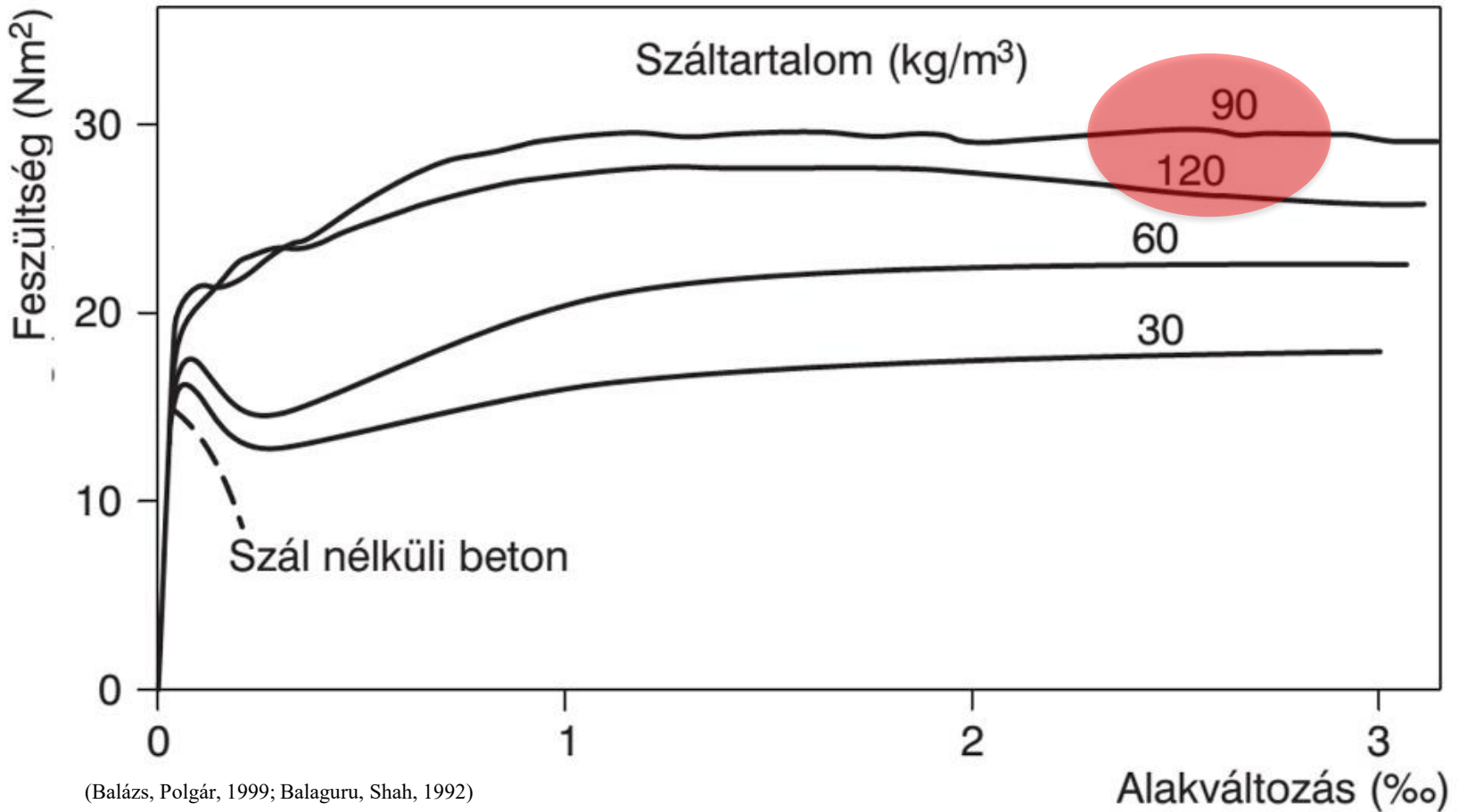
## Szálakkal bevitt levegő

**Acélszál környezetében kialakuló pórusok képe**  
(BSE - backscattered electron image)



(Hwang, Kim és Ann, 2015)

## Száltartalom hatása - hajlításra

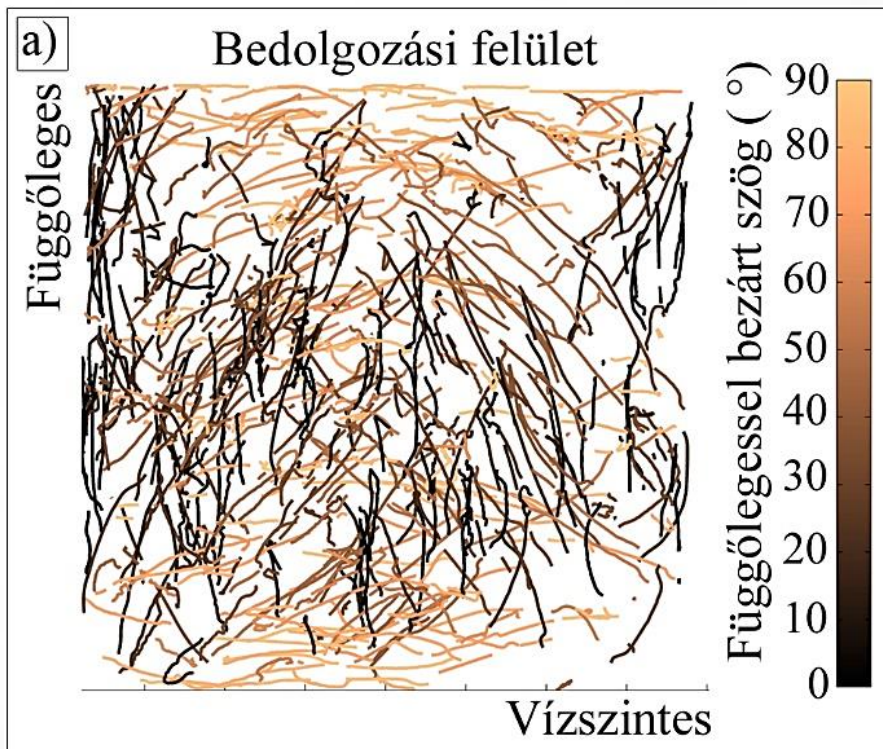


## Csomósodott szálak

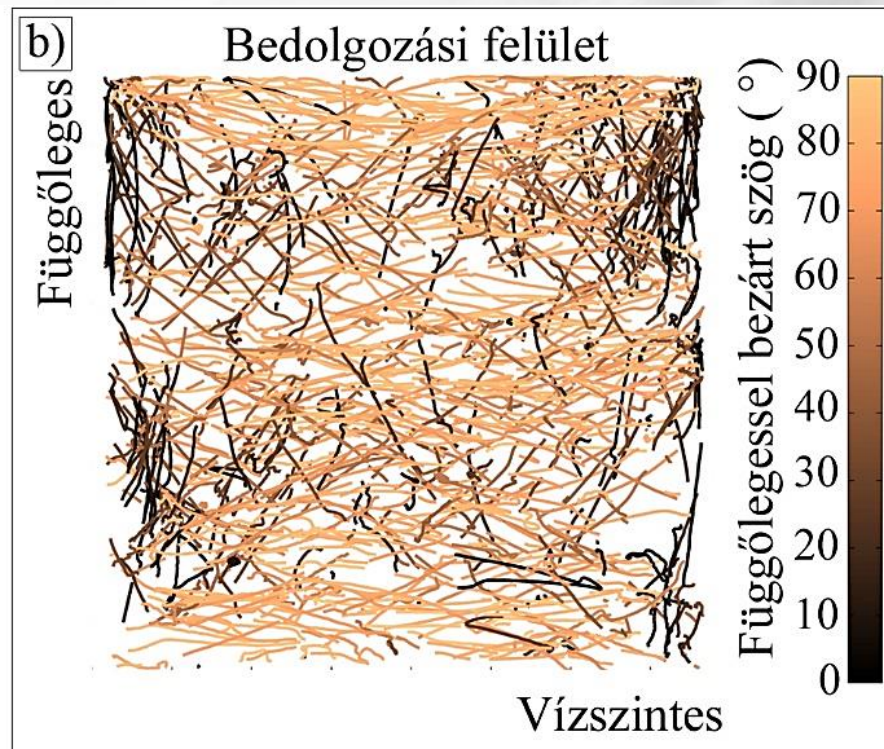


## Acélszálak elhelyezkedése a betonban – CT

0,3V% száltartalom



0,5V% száltartalom



# Hő- és tűzálló betonok



## Betonban a hőterhelés hatására lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok

**A beton megolvad 1400 °C**

**Megkezdődik a beton olvadása**

**Kerámia kötés felbomlása**

**Kálcium karbonát hőbomlása 800 °C**

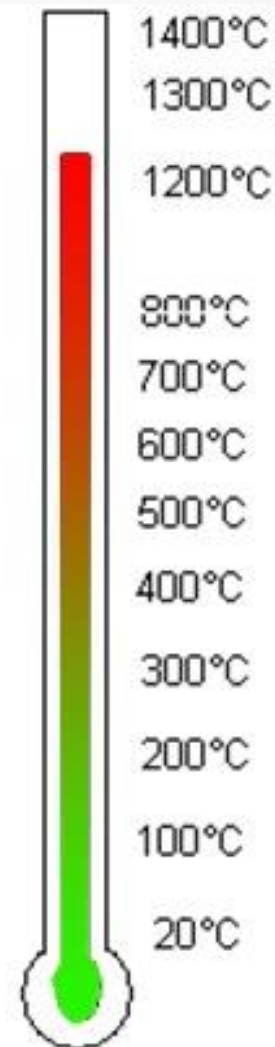
**Kúszás erőteljes növekedése**

**Kvarc térfogat növekedéssel járó átkristályosodása 573°C**

**Kalcium-hidroxid dehidratálódása**

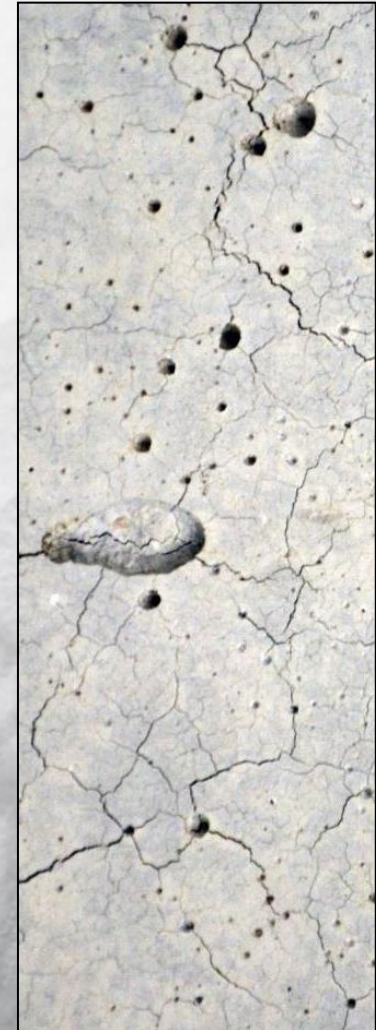
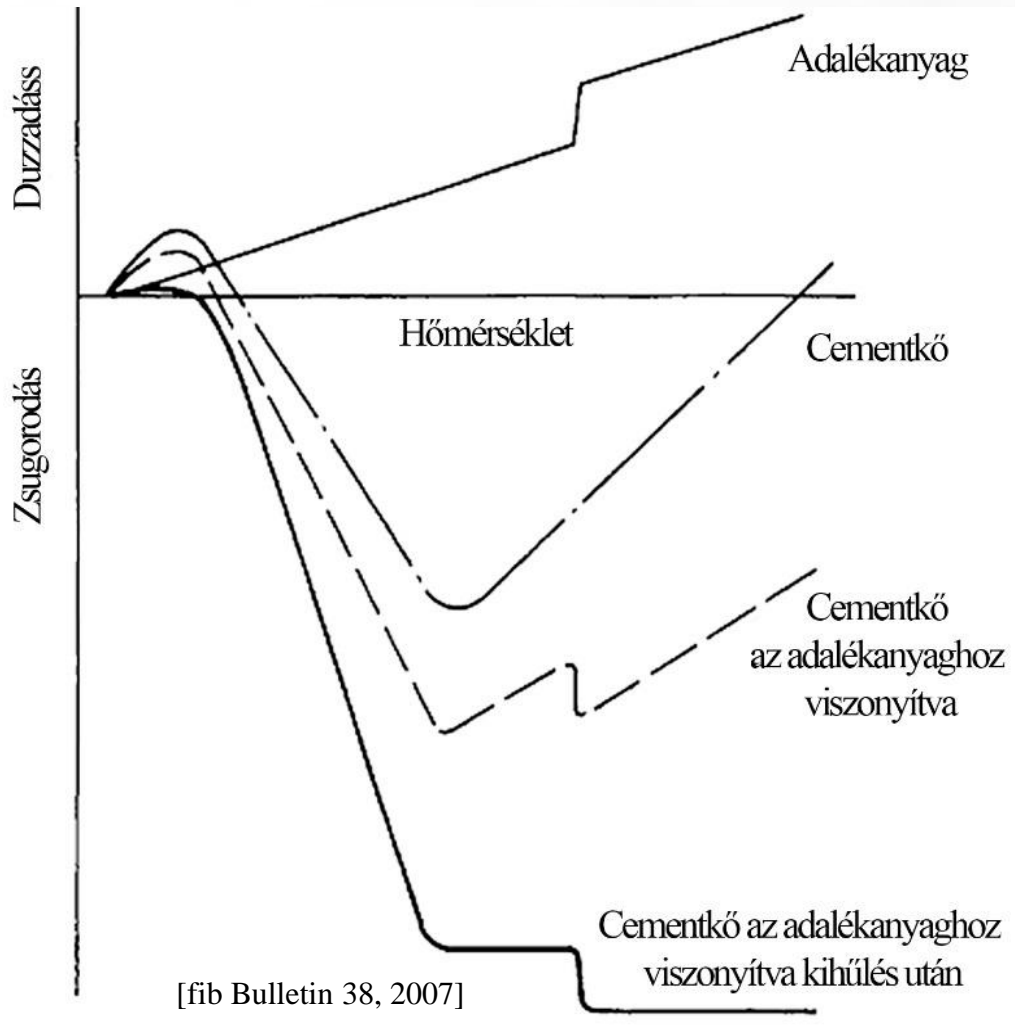
**A beton szilárdságvesztésének kezdete 400°C**

**Kémiaailag kötött víz távozásának kezdete ~100°C**



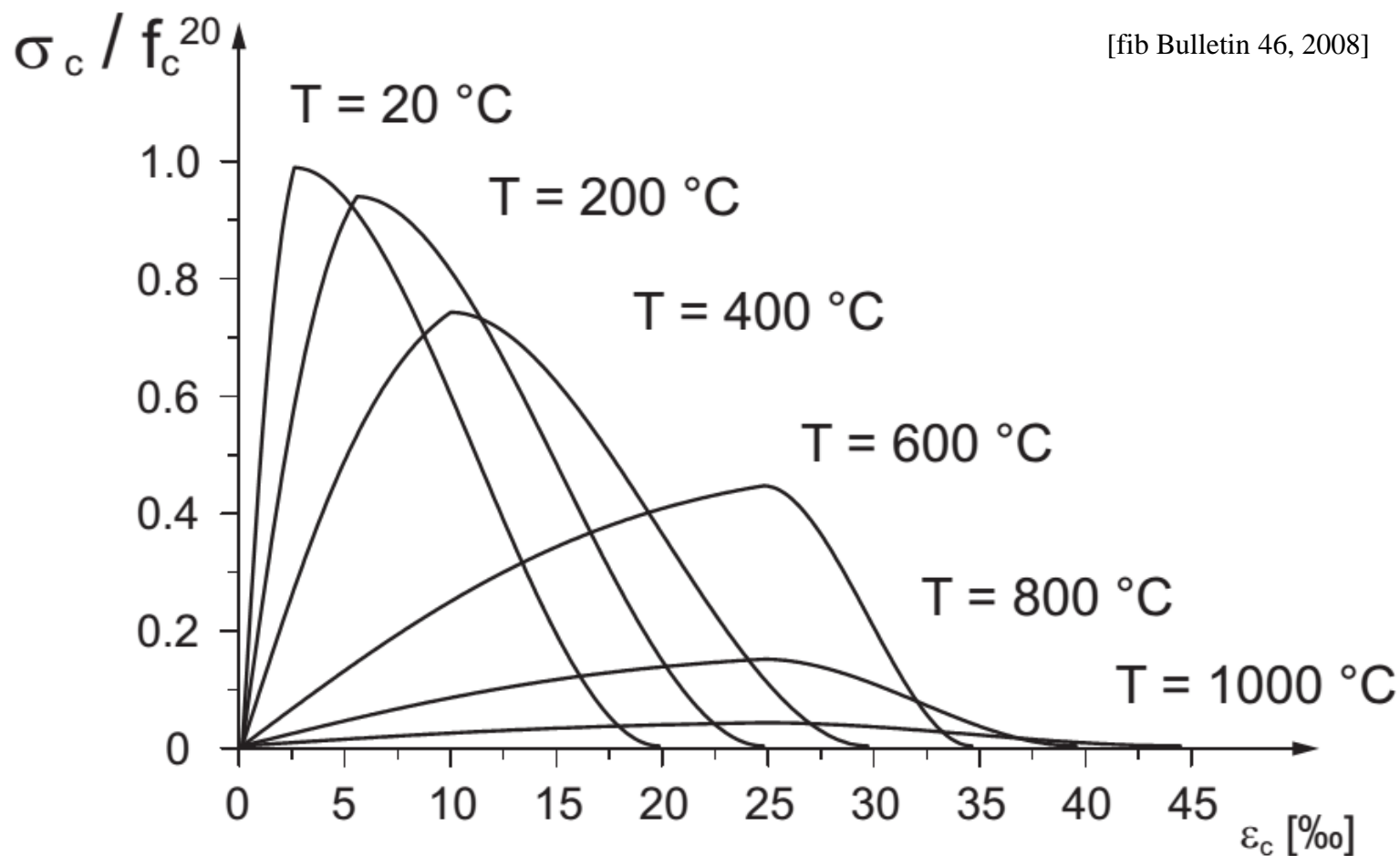
[Niels, 2005]

# Cementkő és az adalékanyag eltérő viselkedésére magas hőmérsékleten az első felmelegedés alkalmával

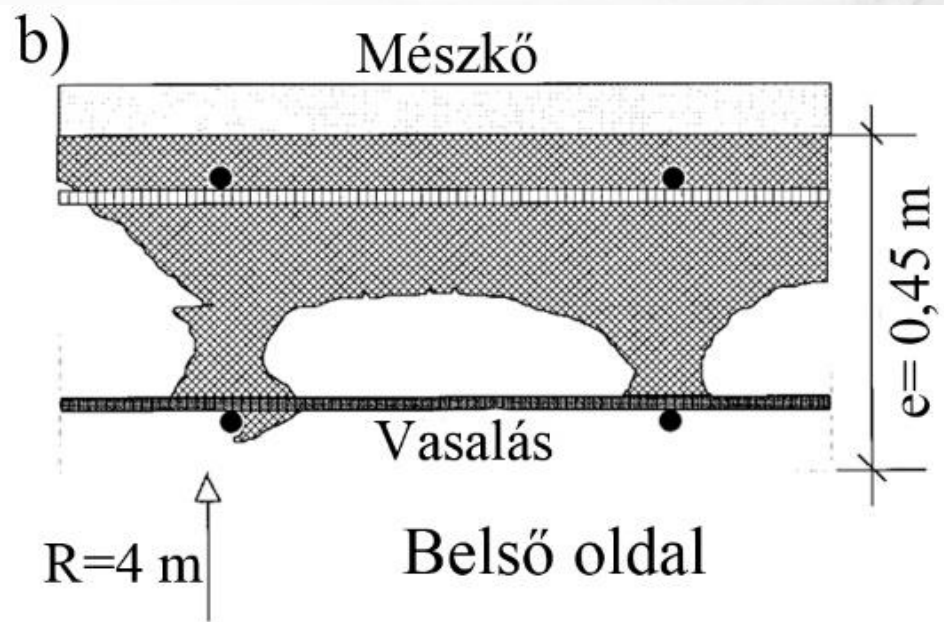




Beton magas hőmérsékleti relatív nyomófeszültség-alakváltozás görbéje (EN 1992-1-2 – Tűzre való méretezés alapján), a relatív feszültség a normál hőmérsékleten (20 °C) mért szilárdság értékéhez arányosítva kerül megadásra



## Betonfedés leválása tűz hatására - Spalling



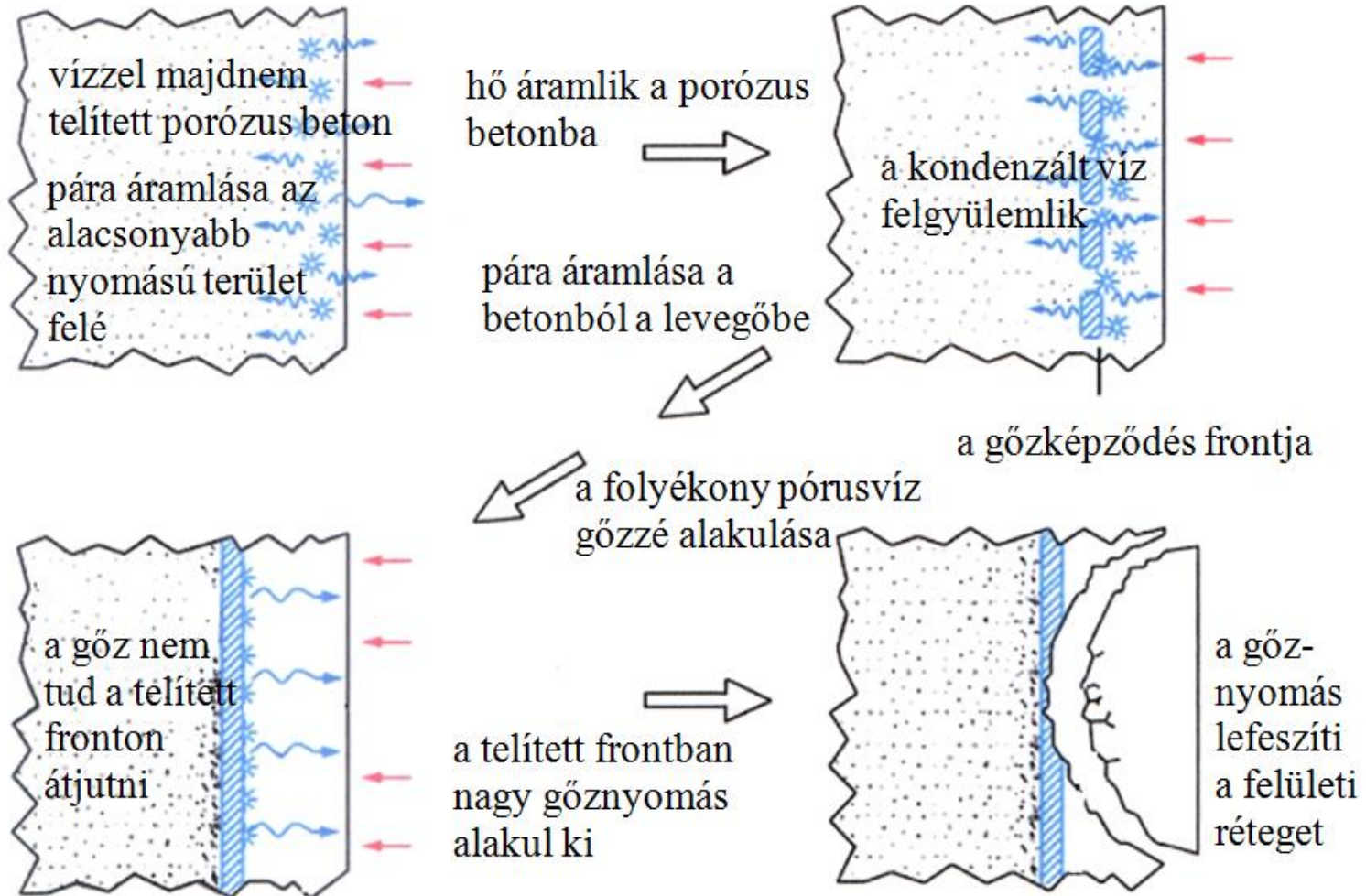
### Csalagút tüzesete 1996-ban

a) tübing felülete a tűz után (Phys.tue.nl, 2011),

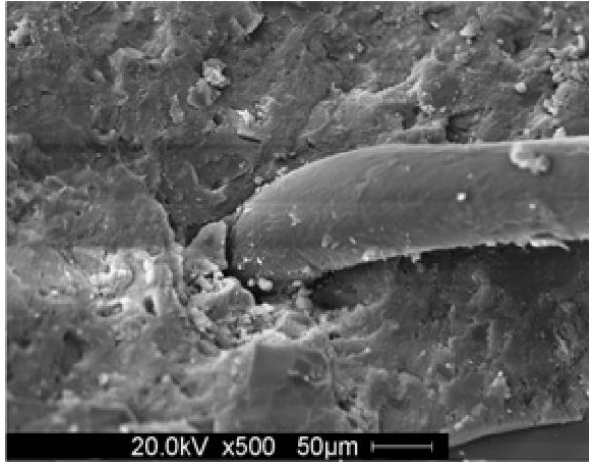
b) tübing megmaradt keresztmetszete a tűz után (Ulm, Acker, Lévy, 1999)

# Spalling folyamat

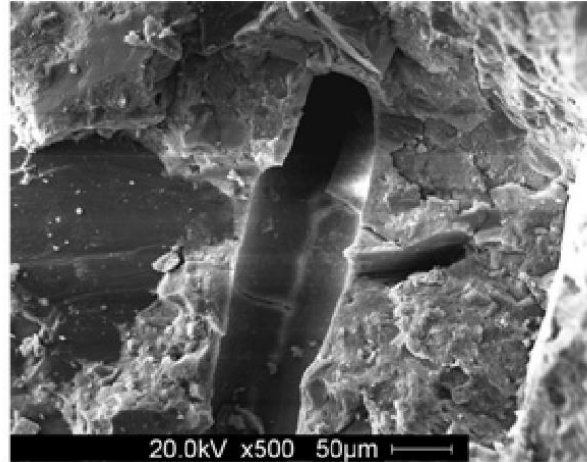
[Winterberg, Dietze, 2004]



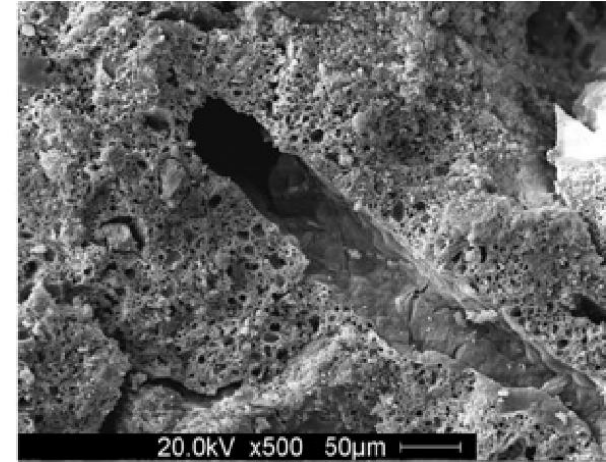
## Mikro műanyagszál – hőmérséklet függvényében



20°C



400°C

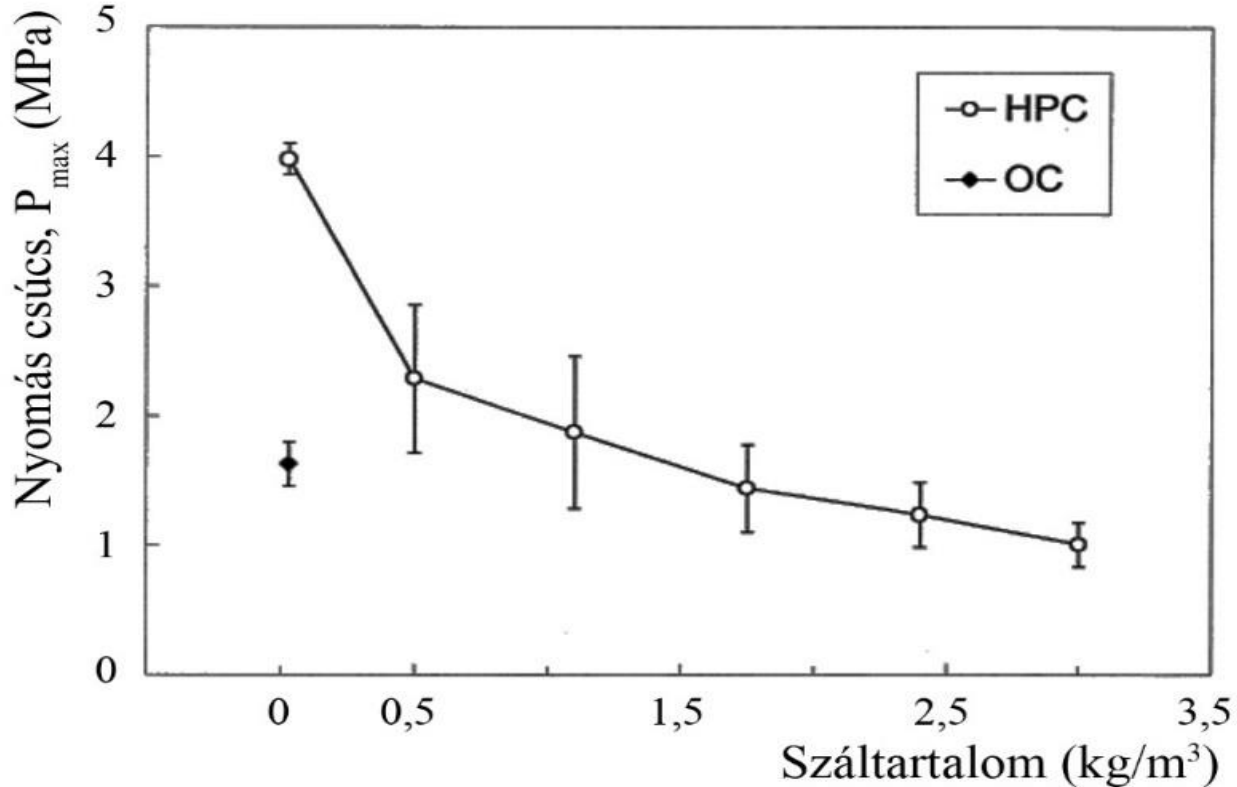


800°C

[Zheng, Li, Wang 2012]

# Beton pórusnyomás csúcsa a száltartalom függvényében

[Kalifaa, Chéné, Galle, 2001]

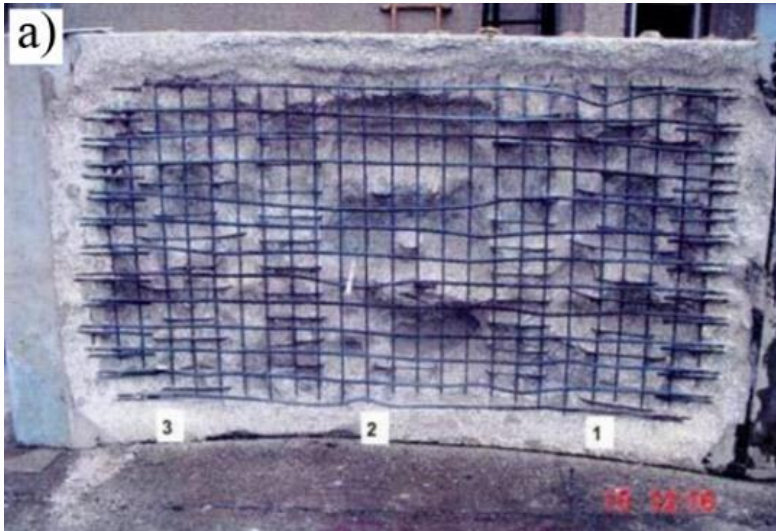


OC – közönséges beton, HPC – nagy teljesítőképességű beton

## Betonelemek közvetlen tűzterhelés után

a) száladagolás nélkül

b) 2 kg/m<sup>3</sup> mikro műanyag szál



[MFPA, 2005]

## Felhasznált irodalom

- Balázs Gy. (1995): Beton és Vasbeton II., Mélyépítési beton- és vasbeton szerkezetek története, ISBN 963 05 6884 5, 751 p.
- Balázs Gy., Borosnyói A., Kausay T., Kopecskó K., Lublói É. (2011): Építőanyagok – MSc. Oktatási segédlet, 153 p.
- Borosnyói A. (2013): Építőanyagok – MSc előadásdia, Tartósság, teljesítőképesség, fenntarthatóság
- Csókás E. (2018): Beton útburkolatok előadásdia, 89 p.
- e-ÚT 06.03.31 [ÚT 2-3.201 ] (2006): Útügyi Műszaki Előírás, Beton pályaburkolatok építése. Építési előírások, követelmények, 49 p.
- <http://germann.org>: <http://germann.org/products-by-application/air-void-system-parameters/rapidair>
- Kausay T. (2008): <http://www.betonopus.hu/notesz/fogalomtar/58-legbuborek.pdf>
- Kausay T. (2008-2): <http://www.betonopus.hu/notesz/fogalomtar/56-levegotartalom.pdf>
- Keleti I. et al. (2012): Betonburkolatok, ISBN 978-963-08-4585-4, 427 p.
- Salem G. N. (2004): A beton porozitása, PhD értekezés, 113 p.
- Setzer M. J. (1987): Einwirkung von Kohlenoxid, Fachtagung 10/11, pp. 2-9
- Tóth E. (1987): Újtechnológiai és szervezési módszere a hidak állagának megtartására, KMSZ 423-426 pp.
- Török Zs. (2017): Hídépítési betonok, Cembeton Útmutató, ISBN 978-963-12-8133-0, pp. 145-153
- Ujhelyi J. (2005): „Beton-ismeretek”, Egyetemi tankönyv, ISBN 963 420 833 9, Műegyetemi Nyomda, Budapest, 346. p.
- [www.eagt.bme.hu](http://www.eagt.bme.hu): [http://www.eagt.bme.hu/tananyagok/BSC\\_kepzes/BMEKOEAA118\\_Kozlekedesi\\_palyak/Meszaros\\_K%C3%B6zleked%C3%A9si%20p%C3%A1ly%C3%A1k.3.pdf](http://www.eagt.bme.hu/tananyagok/BSC_kepzes/BMEKOEAA118_Kozlekedesi_palyak/Meszaros_K%C3%B6zleked%C3%A9si%20p%C3%A1ly%C3%A1k.3.pdf)
- [www.theconstructor.org](https://theconstructor.org): <https://theconstructor.org/concrete/effect-air-entrainment-concrete-strength/8427/>
- Zement Taschenbuch: Verein Deutscher Zementwerke e. V. 2002. Düsseldorf

## Felhasznált irodalom

- Balázs Gy., Tóth E. (szerk.)(1997):” Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája. I. kötet. Általános diagnosztikai vizsgálatok.”,ISBN 9634205445, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 396 p.
- Balázs Gy. (2009): „Különleges betonok és betontechnológiák II.” Akadémia Kiadó, ISBN 9789630586733, Magyarország, 408 p.
- Balázs L. Gy., Borosnyói, A., Kausay T., Kopecskó K., Lublóy É. (2011): „Oktatási segédlet, Építőanyagok – MSc.”, BMEEOEMMST7, 152 p.,  
[http://www.epito.bme.hu/eat/htdocs/oktatas/tantargy.php?tantargy\\_azon=BMEEOEMMST7](http://www.epito.bme.hu/eat/htdocs/oktatas/tantargy.php?tantargy_azon=BMEEOEMMST7) (letöltve: 2013. 04. 07.)
- Borosnyói A. (2013): Építőanyagok – MSc előadásdia, Tartósság, teljesítőképesség, fenntarthatóság
- CemBeton Útmutató (2017), ISBN 978-963-12-8133-0, 323 p.
- Czoboly O. (2017): Szálak és szálkocktéllok hatása a beton hőterhelést követő tulajdonságaira, 85 p.
- Fenyvesi O. (2012): „Betonok korai zsugorodási repedésérzékenysége”, PhD-értekezés, BME Építőmérnöki Kar, (Tudományos vezető: Józsa Zs.), Budapest, 103 p.
- fib bulletin 38 (2007): „Fire design of concrete structures- materials, structures and modelling”, Working Party 4.3-1, ISBN: 978-2-88394-078-9, 97 p.
- fib bulletin 46 (2008): „Fire design of concrete structures-structural behaviour and assessment”, ISBN: 978-2-88394-086-4, Task Group 4.3, 209 p.
- Hirschi T., Knauber H., Lanz M., Schlumpf J., Schrabback J., Spirig C., Waeber U. (2005): Sika Concrete Handbook, 151 p.  
<http://www.hasznalattargonca.hu>: [http://www.hasznalattargonca.hu/hasznalt\\_targonca.php](http://www.hasznalattargonca.hu/hasznalt_targonca.php), letöltve: 2019. 02. 05.
- Ingham J. (2009): „Forensic engineering of fire-damaged structures”, Proceedings of ICE Civil Engineering 162, doi: 10.1680/cien.2009.162.5.12, pp. 12-17.
- Józsa Zs. (2012): Könnyűbetonok régi-új anyagok, BME előadás jegyzet, 74 dia.



## Felhasznált irodalom

- Kalifaa P., Chéné G., Galle C. (2001): „High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres From spalling to microstructure”, Cement and Concrete Research 31, pp. 1487–1499.
- Kausay T. (2013): „Beton, a betonszabvány néhány fejezetének értelmezése”, Oktatási és továbbképzési kiadvány, Mérnöki Kamara Nonprofit Kft., ISBN 978-963-88358-4-0, Budapest, 334. p.
- Kazimir, Julius (1978): „Karbonátos betonadalékanyag kémiai állandóságának vizsgálata”, Építőanyag, XXX. évfolyam. 1978. 8. szám. pp. 304-306. 1978.
- Kodur V. K. R., Sultan M. A. (1998): “Structural Behaviour of High Strength Concrete Columns Exposed to Fire”, Proceedings, International Symposium on High Performance and Reactive Powder Concrete, Sherbrooke, Canada, pp. 217-232.
- Kovács T.–Nehme S. G. (1999): Műanyag szálerősítés hatása a frissbetonra. Beton, 7/9, 8–9.
- Köneke (1978): Ausbessern von Beton mit Zementgebundenen Stoffen. Beton 1978, 450–453.,
- Lamond Joseph F., Pielert J. H. (2006): Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, 664 p.
- Makelainen P., Miller K. (1983): „Mechanical Properties of Cold-Formed Galvanized Sheet Steel Z32 at Elevated Temperatures”, Helsinki University of Technology, Finland.
- MÉASZ ME-04.19:1995: „Beton és vasbeton készítése. Műszaki előírás.” 11. fejezet. Alkálivosav és alkáli-karbonát reakciónak ellenálló betonok.
- MFPA (2005): „Abschlussbericht zum BMVBS / BASt Forschungsvorhaben 15.0391/2003/ERB: Brandschutzverhalten von selbstverdichtendem Beton (SVB) im Straßentunnelbau” MFPA (Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig, Németország.
- Nehme, S. G. (2012): Betonstruktúra-tartósság, Víz-cement tényező, finomszemtartalom, tömörítés, utókezelés, konzisztencia, MSc Előadás dia – 380 p.
- Niels, H. P. (2005): „Fire Design of Concrete Structures, proceedings of fib symposium on Keep concrete attractive”, edited by Gy. L. Balázs, A. Borosnyói, 23-25 May 2005, Budapest, pp. 1097-1105.

## Felhasznált irodalom

- PHYS.TUE.NL (2011): „Moisture transport and clogging of concrete under fire conditions”, Eindhoven University of Technology, Transport in Permeable Media, Centre for Material Research with Magnetic Resonance, <http://www.phys.tue.nl/nfcmr/Restop30.html> (feltöltve: 2011. 08. 12.; letöltve: 2013. 02. 23.).
- Puskásné Hőgyes I. (1978): „A dunántúli dolomitok alkalmassága építési célra”, Építőanyag, XXX. évfolyam. 1978. 8. szám. pp. 307-314.
- Szikra Cs., Takács L. (2010): A Miskolc, Középszer u. 20 sz. alatti lakóépület tüzesetének sajátosságai, XIV. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, ÉPKO 2010, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Csíksomlyó, Románia.
- Ulm F.-J., Acker P., Lévy M. (1999): „The “Chunnel” fire. II: analysis of concrete damage”, Journal of Engineering Mechanics, March, pp. 283-289.
- Winterberg, R., Dietze, R., (2004): Efficient passive fire protection systems for high performance shotcrete, Proceeding for the Second International Conference on Engineering Developments in Shotcrete, Cairns, Australia, October, 2004 ISBN: 0415358981 pp. 154-159.
- Woods H. (1968):” Durability of Concrete Construction. ACI Monograph, No. 4., 187 p.  
www.inteszt.hu: <https://www.inteszt.hu/adatlap/epitoipari-vizsgalat/betonvizsgalok/megszilardult-beton-vizsgalok/bohme-fele-koptatogep-c129>, letöltve: 2019. 02. 05.
- Zheng W., Li H., Wang Y. (2012): „Compressive behaviour of hybrid fiber-reinforced reactive powder concrete after high temperature”, Materials and Design, No. 41, pp. 403–409.

# Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

