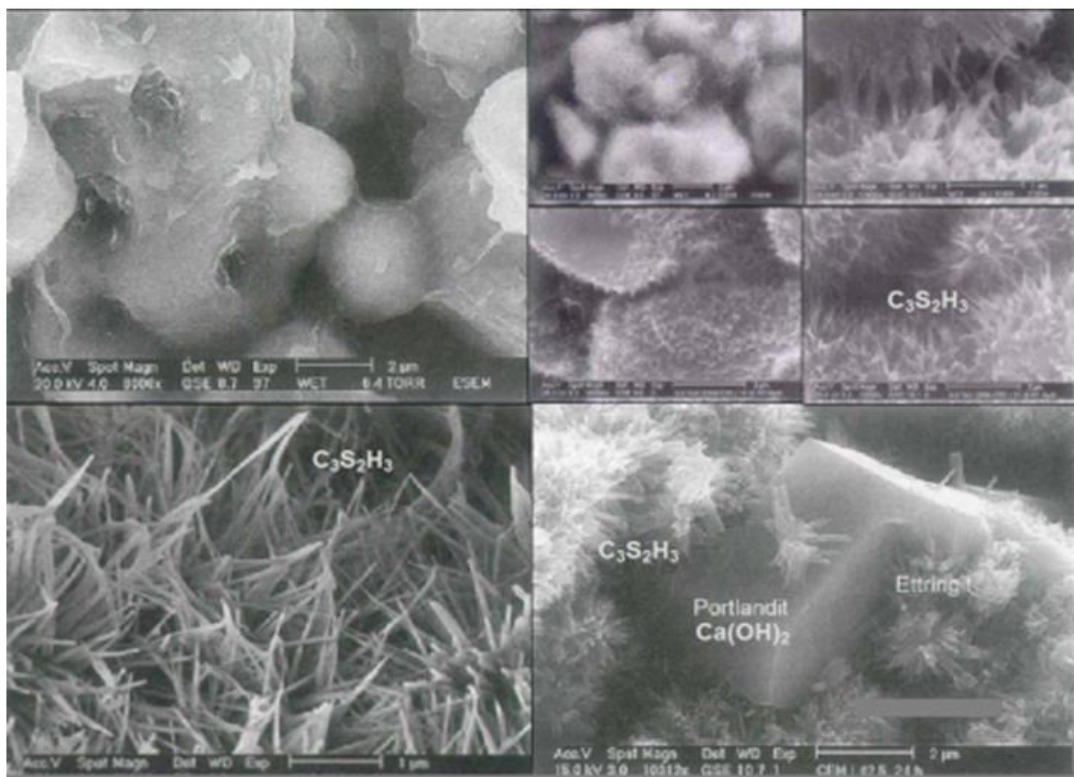
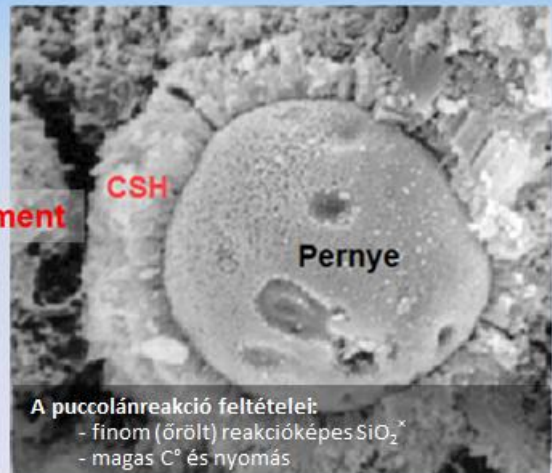
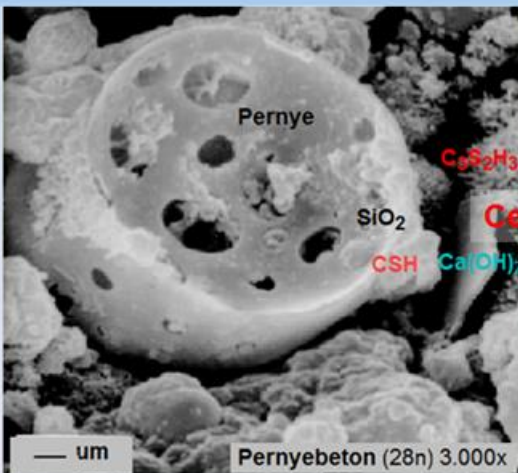
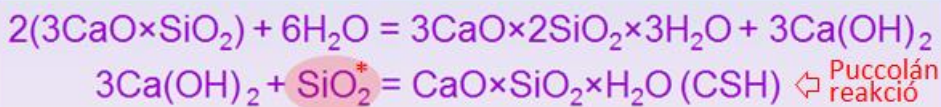




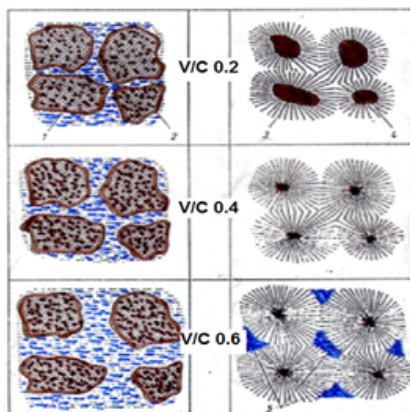
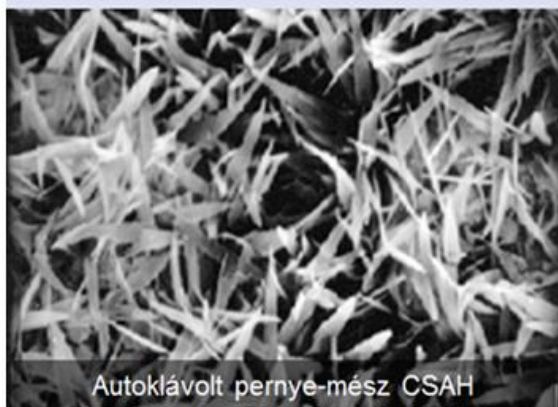
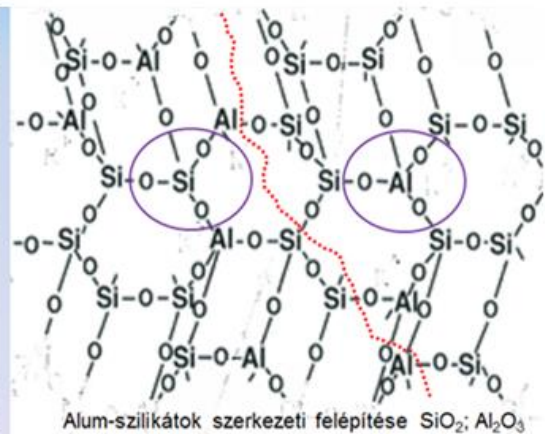
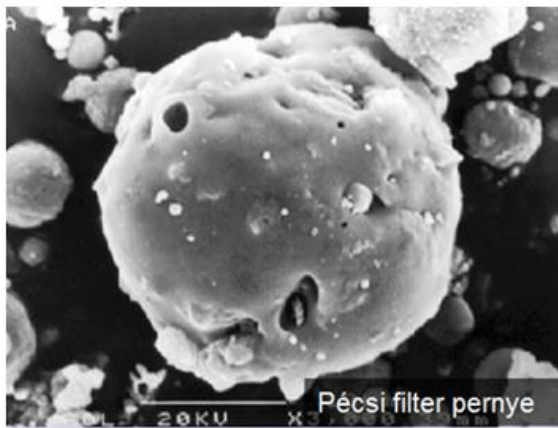
Cement hidratáció és szilárdulás folyamata



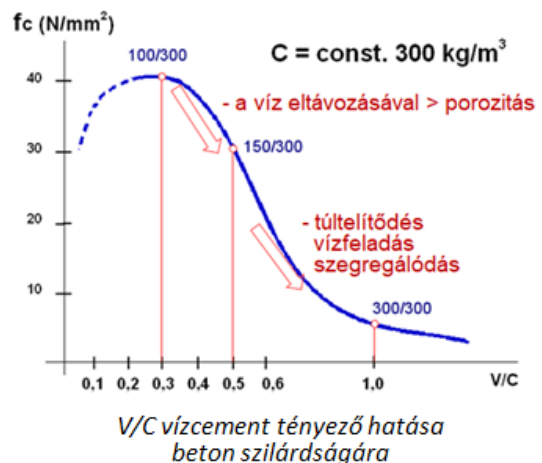
Pernyeadalékos cement hidratációs folyamatai



- Pernye hatása:
- jelentős a beton utószilárdulása (utókezelés)
 - növekszik a beton végszilárdsága
 - növekszik a beton tömörsége (vízzáróság)
 - csökken a beton pH értéke (korrózióveszély)



A víz mennyiségének hatása a cement hidratációjára



A cementhidratáció fő jelenségei:

- kolloidális oldat keletkezik ($h = 10 \mu\text{m}$)
- cement felületén gél réteg jön létre
- gél rétegből kristályok válnak ki, melyek átfonódnak, ez a kötés kezdete
- cementpép megdermed, kőszervé válik
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ szabadul fel, lúgos $\rightarrow \text{pH} \geq 12,6$
- CaCO_3 (CO_2) és CSH (SiO_2) $\rightarrow \text{pH} \geq 11,2$
- utókezelés szükségessége és hiánya

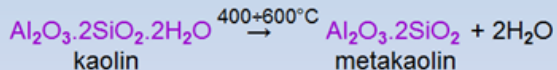
Utólagos vízadagolás és átkeverés hatása:

- A cementszemcse felszínét már CSH kristályok borítják.
- Az utólagosan adagolt víz **nem tud reakcióba lépni** a klinker-ásványokkal.
- A beton keverésekor a **CSH kristályok letöredeznek** a cementszemcse felszínéről.
- Nem kapunk homogén betonkeveréket.
- A megszilárdult betonnak nagy lesz a porozitása, zsugorodása, száradási repedései.

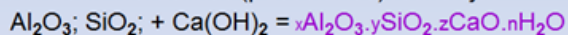
A cementek hidraulikus kiegészítő (töltő) anyagai

1. Erőművi pernyék (reakcióképes SiO_2)
2. Kohósalak (granulált, őrölt)
3. Puccolánok (természetes trasz)
4. Szilikapor (mikroszilika (ferroszilícium))
5. Metakaolin (égetett és őrölt kaolin)

Metakaolin előállítása és puccolán reakciója:



Metakaolin hidraulikus (puccolános) reakciója:



Alkalmazásukkal a cementet részben helyettesítik.

Figyelembe kell venni a „k” hatékonyságukat:

(puccolán aktivitás, mészkapacitás)

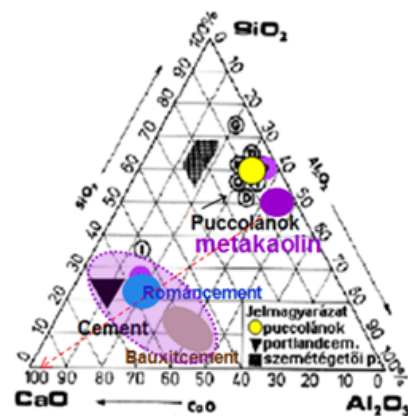
$X = V/C \rightarrow \text{Víz/Cement} + k \times \text{kiegészítő anyag}$

„k” hatékonysági tényező értékei:

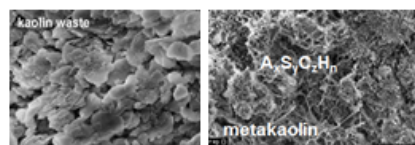
- 0,4 erőművi pernyék
- 0,6 kohósalak őrlemény
- 0,4 természetes puccolánok
- 1,0 szilikapor
- 1,0 metakaolin (2,0)

A metakaolin tulajdonságai:

- Nagyfokú mész megkötő képesség (pH!)
- Korrozio állóság és kivirágzás csökkentés
- Tömörség, szilárdság és vízzáróság növelés
- Öntömörödő és UHPC betonok adaléka
- Adagolás a cement 5 ÷ 20 m%



Elhelyezkedés a 3 összetevős rendszerben



Cementek fajtái és jelölései

Cementek fajtái:

- CEM I - Portland cement
- CEM II - Kompozit pc. (S, V, L)
- CEM III - Kohósalak cement
- CEM IV - Puccolán cement
- CEM V - Kompozit cement

Cementek jelölései:

- CEM I 52,5 R
- CEM II/A - L 42,5 N
- CEM II/B - S 32,5 R
- CEM III/A - S 32,5 N-LH
- CEM III/B - S 32,5 N-LH/SR

Cementek betűjelölései:

- 42,5 - jellemző nyomószil. (N/mm²)
- A - hidraulit mennyisége < 20%
- B - hidraulit mennyisége > 20%
- S - kohósalak (granulált)
- L - mészkő (CaCO₃ > 75m%)
- LL - mészkőliszt
- V - erőművi pernye (savas)
- N - normál szilárdulású

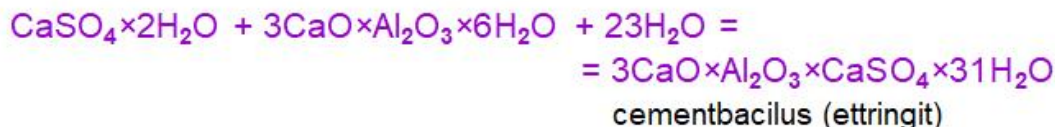
- M - kompozit (V-L)
- P - természetes puccolán
- D - szilikapor (SiO₂)
- LH - kis hőfejlesztésű
- SR - szulfátálló
- MSR- mérsékelten szulfátálló
- S - szulfátálló (AM = 0,54)
- R - nagy kezdőszilárdságú (rapid)

Cementek megnevezése és jelölése az EN 197-1 szerint:

- Portlandcementek: CEM I 52,5N és CEM I 42,5N
- Kohósalak portlandcementek : CEM II/A-S 42,5N és CEM II/A-S 32,5R
- Pernye portlandcementek: CEM II/A-V 42,5N és CEM II/A-V 32,5R
- Kompozit portlandcement: CEM II/A-M(V-L) 42,5N
- Kohósalak cementek: CEM III/A-S32,5N (36%) és CEM III/B (66%)

Betonok szulfátos korróziója (duzzadás)

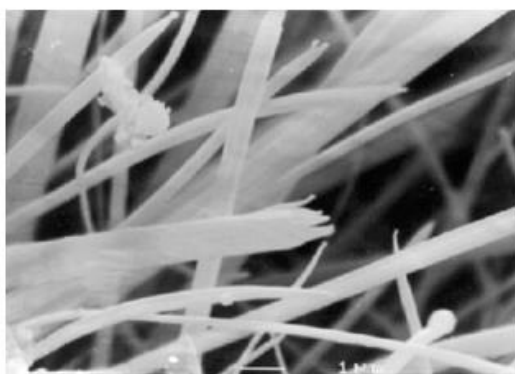
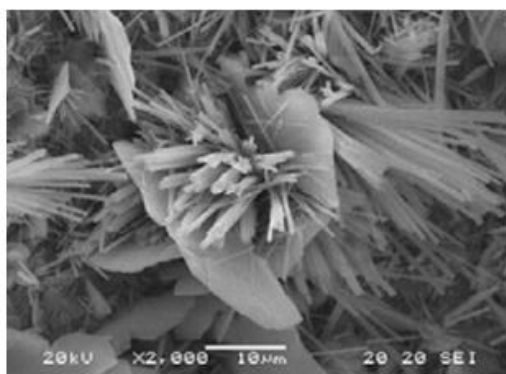
Szulfátos talajvíz hatása:



Károsodás: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lekötés, térfogat növekedés

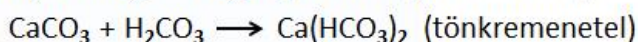
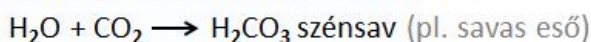
Védelem : CEM I 32,5 S* (szulfátálló cement)

AM = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,54 < 0,6$ Al_2O_3 lekötve C_4AF által

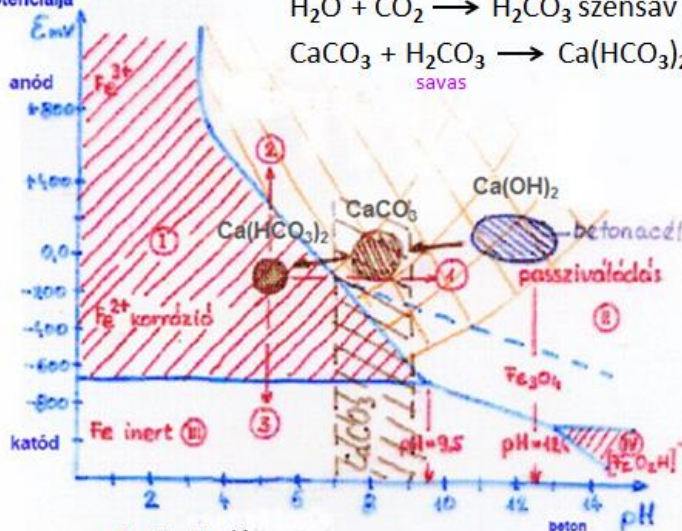


Ettringit kristályok növekedése a betonban

Vasbeton szerkezet savkorróziója a levegő CO_2 hatására



A fém elektród
potenciálja



1 pH növelés

2 Passzivitás inhibitorok alkalmazásával (NaNO_3)

3 Katódos védelem

A vas Pourbaix (potenciál-pH) diagramja



Adalékanyag betontechnológiai tulajdonságai

Hidrotechnikai jellemzők:

- nedvességtartalom n %
- **felületi nedvesség** n_f %
- vízfelvétel V %
- 1 órás vízfelvétel V_{10} %

Agyag-iszap tartalom: $f < 1\%, 3\%, 6\%, 10\%$ Cl, S

Adalékanyag szerves **agyag- és iszap** tartalmának meghatározása homokeyenérték (HE) vizsgálattal:



Homokeyenérték (HE) vizsgálata:

A homokszennyezők (szerves agyag és iszap) mennyiségét és minőségét jellemzi.

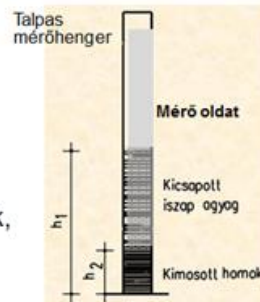
Mérőoldat: desztillált víz

kalcium-klorid + glicerín + formaldehid

Felrázás után ülepedik a szuszpenzió.

A pelyhesedett és ülepitett finomszemcsék és a homok, éles határvonallal válik el egymástól.

$$HE \% = 100 \times h_2 / h_1 \quad h_1 \text{ és } h_2 - \text{mm-ben}$$



Betontechnológiai jellemzők:

- | | |
|---|---|
| - hézagterfogat ($225 \div 300$ liter/m ³) | - szemalak és felület (zömök, lemezes, sima) |
| - fajlagos felület (vízigény) | - tömegjellemzők (testsűrűség, hézagterfogat) |
| - cementpép igény (telítettség) | - szilárdság (szétaprózódás) |
| - finomrész tartalom ($< 0,25$ mm) > 400 kg/m ³ | |
| cement + agyagiszap + por + liszt + finomhomok | |

A beton fagyállósága

1. Fagyállósági vizsgálat: MSZ 4719:1982

A beton belső szerkezeti sérüléseit vizsgálja

Fagyasztási-olvasztási ciklus:

egy ciklus: $+ 18^\circ\text{C}$ víz, $- 20^\circ\text{C}$; 6 - **6** óra

jelölés (ciklus szám alapján): **f25; f50; f100; f150**

Fagyállósági követelmények:

- tömegvesztés: max 5%
- szilárdság csökkenés: max 25%

2. Fagy- és olvasztósó állóság vizsgálata: MSZ 4798-1:2004

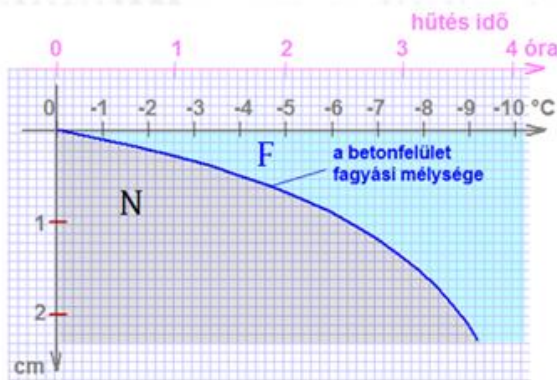
A fagnak és olvasztósó hatásnak kitett beton felületi lehámlását vizsgálják:

- 3%-os NaCl oldat a beton felületén (3mm)
- 56 fagyasztási-olvasztási ciklus után
- a beton felületi lehámlását vizsgálja (kg/m²)

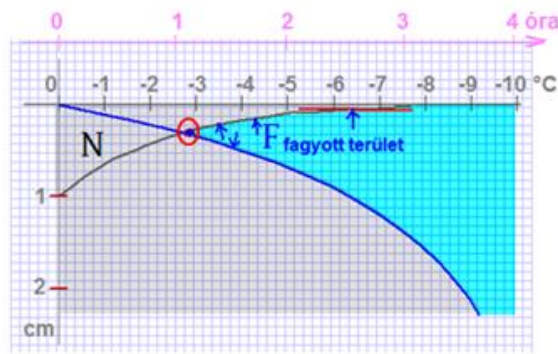
3. A beton fagyállóságának megítélése

Lágyulási tényező: $lt. = f_{c, \text{telített}} / f_{c, \text{száraz}} > 0,80$ (fagyálló)

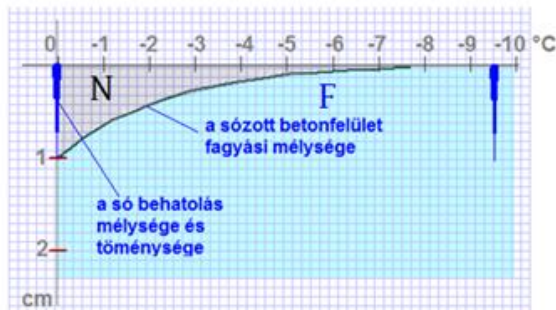
Telítési tényező: $tt. = V\% \text{ grav. telítés} / V\% \text{ nyomás alatt} < 0,80$ (f.á.)



Fagyási mélység a $-^{\circ}\text{C}$ függvényében



A sózott beton fagyási mélysége



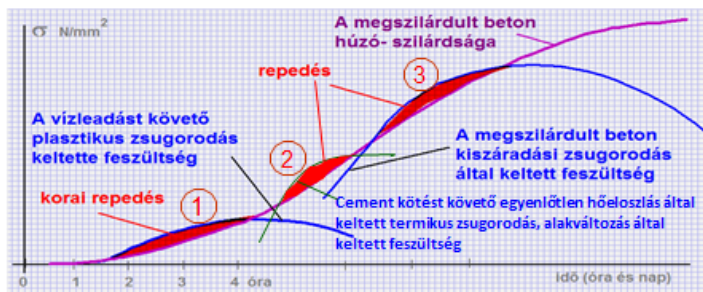
Az olvasztósó fagyásgátló hatása

A felszíni betonréteg lehámlásának hatásmechanizmusa:

- a beton megfagyása mélységből (belülről) indul (fokozatosan a felszín felé és befelé haladva)
- a betonban megfagyó nedvesség térf. növ. fesztőhatást fejt ki a beton belsejében
- a jég fesztő hatásának zónája, hűlés közben közelít a felszínhez
- a felszínközeli belső feszültség a vékony betonréteg lehámlását idézi elő

Az olvasztósó hatására előidézt lehámlás, hatásmechanizmusa

A beton szilárdulása közbeni zsugorodási jelenségek



A beton szilárdulása közbeni zsugorodási jelenségek

1. Plasztikus zsugorodás
 - gyors vízvesztés
 - töppedés,
2. Termikus zsugorodás
 - hőmérséklet különbség
 - alakváltozás 10 ó + 1 hét
3. Száradási zsugorodás
 - víz eltávozása
 - térfogat csökkenés

A beton zsugorodását befolyásoló tényezők:

- A beton víztartalma, V/C, a vízleadás mértéke és sebessége.
- Adalékanyag finomrész tartalma, cementpép telítettség.
- Betonkeverés és tömörítés, vasalás- és szál erősítés mennyisége.
- Szilárdulás közbeni egyenlőtlen hőeloszlás és alakváltozás.
- Az utókezelés mértéke, a környezet $^{\circ}\text{C}$, $\Psi\%$.

A beton zsugorodási repedéseit előidéző okok:

- A kiszáradást követő vízvesztés, alakváltozás (töppedés) feszültség.
- Az adalékanyag magas agyagtartalma, a gyenge húzószilárdság.
- A dilatációképzés nem megfelelő távolsága.

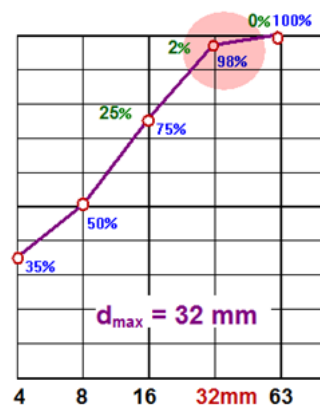
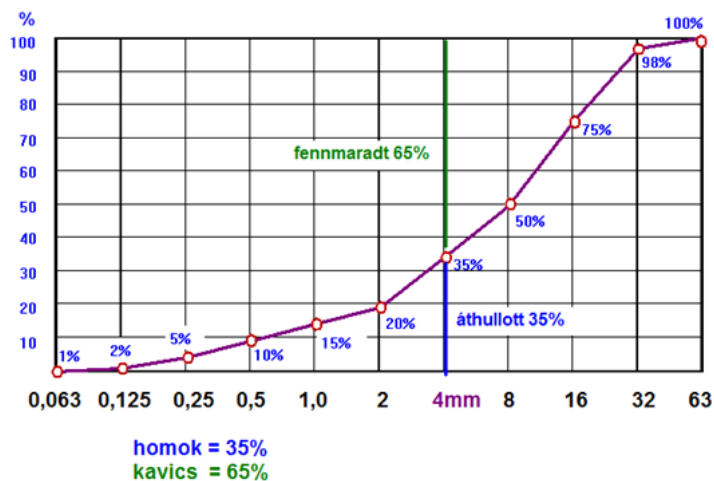
A szemmegoszlási görbe jellemzői és minősítése

1. Homok- és kavicsstartalom:

- 4 mm rosta m %

2. d_{max} . legnagyobb névleges szemnagyság:

- rosta méret (fennmaradt m% < 5%)
- a legkisebb szerkezeti méret $1/3$, $1/4$
- a betonacél távolság között áthullik 90%
- feszített vb. szerkezet: $d_{max} < 24$ mm



A frissbeton konzisztenciája

Konzisztencia:

- a friss betonkeverék mozgékonyasága
- bedolgozási munkaigénye, folyékonyasága
- mérőeszközzel vizsgálva, számszerű adat

Konzisztenciák jelölései:

- ~~AFN~~ - alig földnedves
- ~~FN~~ - földnedves
- ~~KK~~ - kissé képlékeny
- ~~K~~ - képlékeny
- ~~F~~ - folyós
- ~~Ö~~ - önthető

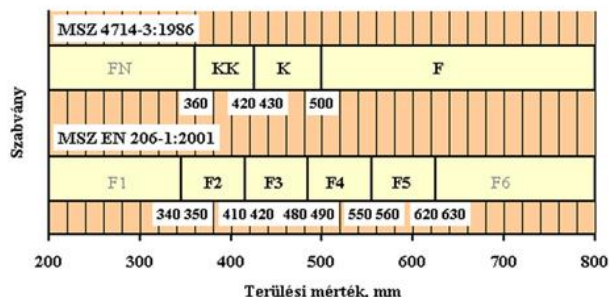


Konzisztencia meghatározása (mérő eszközök):

- ① Abrams-féle roskadásmérő kúp (**S** - roskadási mérték, mm)
- ② Területst mérő ejtő asztal (**F** - területi mérték, mm)
- ③ Vebe méter, vibrációs átfarmálási idő (**V** - átfarmálási idő, sec)
- ④ Walz-féle tömörítés mérő edény (**C** - tömörítési mérték)

Konzisztencia jellege az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint	Konzisztencia osztályok az MSZ EN 206-1:2001 honosított európai szabvány szerint			
	Roskadási osztály	Területi osztály	VEBE osztály	Tömörítési osztály
(Alig földnedves)				C0*
Földnedves	S1	F1*	V0*	C1
			V1	
Kissé képlékeny		F2	V2	
Képlékeny	S2	F3	V3	C2
			V4*	
Folyós	S3	F4		C3
	S4	F5		
	S5*	F6*		

Területi mérték az MSZ 4714-3 és az MSZ EN 206-1 szabvány szerint



Konzisztencia osztályok az MSZ EN 206-1:2001 szabvány szerint	
Roskadási osztályok	Roskadási mérték, mm MSZ EN 12350-2:2000
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5*	220 ≤
Területi osztályok	Területi mérték, mm MSZ EN 12350-5:2000
F1*	≤ 340
F2	350 - 410
F3	420 - 480
F4	490 - 550
F5	560 - 620
F6*	630 ≤
VEBE osztályok	VEBE-méteres átfarmálási idő, s MSZ EN 12350-3:2000
V0*	≥ 31
V1	30 - 21
V2	20 - 11
V3	10 - 6
V4*	5 - 3
Tömörítési osztályok	Tömörítési mérték MSZ EN 12350-4:2000
C0*	≥ 1,46
C1	1,45 - 1,26
C2	1,25 - 1,11
C3	1,10 - 1,04

Friss betonok konzisztencia jelölései

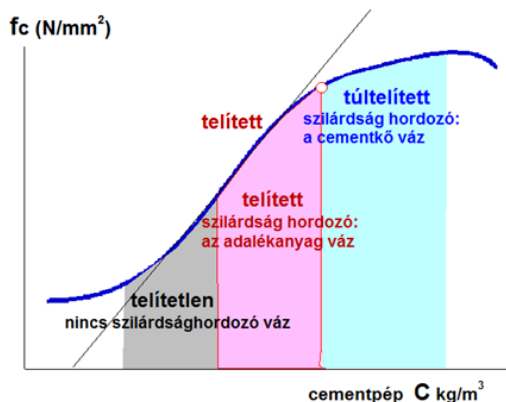
A frissbeton telítettsége

- Telítettség mértéke:
- telítetlen beton (telítettség < 100%)
 - telített beton (telítettség = 100%)
 - túltelített beton (telítettség > 100%)

A telített frissbetonban a cementpép:

- az adalékanyag-váz hézagait éppen kitölti
- adalékanyag szemcsék felületét bevonja

Telítettség hatása a beton szilárdságára



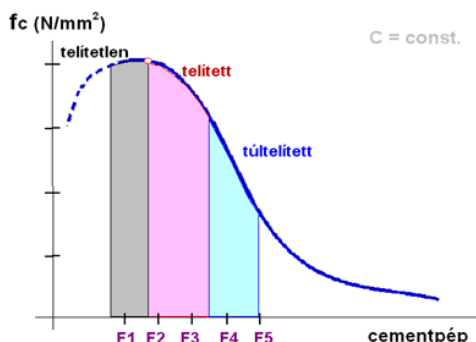
Telítettség hatása a beton konzisztenciájára

Az adalékanyag hézagterfoglata
szemszerkezettől függően:

$$V_h = 220 \div 300 \text{ lit./m}^3$$

Telítetlen beton: cementpép hiány (%)

Túltelített beton: cementpép többlet (%)



Követelmény:

A cementmárkát, a beton szilárdságához kell igazítani

- nagyszilárdságú C30/37 betonhoz CEM 52,5
CEM 32,5 alkalmazásával túltelített beton
- alacsony szilárdságú C8/10 betonhoz CEM 32,5
CEM 52,5 alkalmazásával telítetlen beton
- optimális cementpép mennyisége: kb.: 250 lit./m³
- optimális cementmennyiség : kb. 300 kg/m³

A beton zsugorodásának csökkentése adalékszerekkel

Zsugorodást csökkentő vegyi adalékszerek:

1. Sika Control
2. Mapei Expancrete
3. Denka CSA
4. Duzzadó kötőanyag keverék

Sika Control zsugorodást csökkentő adalékszer:

A cementkő porusfolyadékának **felületi feszültségét csökkenti**, ezáltal csökken a vízvesztés és a cementkővet összehúzó erő.

Mapei Expancrete adalékszer:

A szilárdulás kezdeti szakaszában oly mértékben duzzasztja meg a betont, mint amekkora a várható teljes zsugorodás.

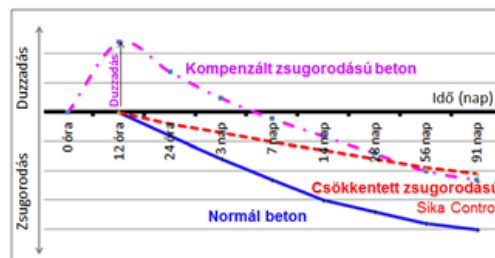
Az Expancrete adalék a kezdeti duzzadás miatt csökkenti a beton végső zsugorodását.

Denka CSA száradási zsugorodás csökkentő

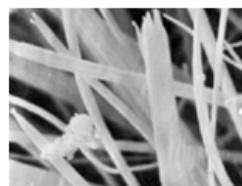
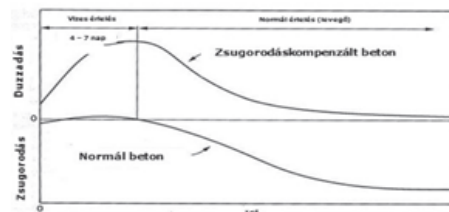
Hidratációja során ettringitet hoz létre még a cementpép szilárdulása előtt, mely duzzadó kristályszerkezet.

Duzzadó beton kötőanyag keverék (ettringit)

- 75 % aluminátcement
- 23 % gipsz őrlemény
- 2 % mészhidrárt.



A kompenzált és a csökkentett zsugorodás összehasonlítása





Repesztett betonlajzat utólagos javítása

A beton zsugorodásának kompenzálása duzzadó betonnal

Zsugorodás kompenzáló beton

A zsugorodás-kompensáló beton duzzadó cementtel készül, mely az első **7 napon duzzad**. Ezt követően, mint a normál beton, zsugorodik.

Duzzadó beton közepébe **acélhálót** helyeznek. A beton duzzadása **előfeszíti** ezt a vasalatot, mely nyomó feszültséget hoz létre a betonban. A beton későbbi zsugorodásakor nem alakul ki húzófeszültség a betonban, helyette a **nyomófeszültség épül le**. (nincs táblafelhajlás)



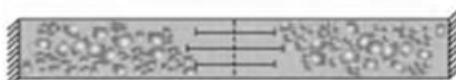
Betonba elhelyezett acélháló



Eredeti hossz



Száradási zsugorodás



Ha a zsugorodás gátolva van (pl az ágyazat által) akkor húzófeszültség keletkezik a betonban



Amikor ez a húzófeszültség meghaladja a beton aktuális húzószilárdságát a beton megreped

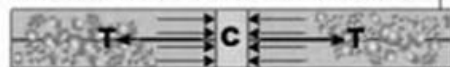
Zsugorodási repedés keletkezése a hagyományos betonszerkezetben



Eredeti hossz



A beton duzzad. A duzzadás húzást ébreszt a betonacélban ami nyomást kelt a betonban. A beton nyomófeszültség halmozódik fel



A zsugorodás során keletkező húzófeszültség a duzzadás során létrejött nyomást építi le a betonban. Így a beton sose kerül húzásba. Tehát nem reped meg.

A megmaradó alakváltozás lehet kis duzzadás vagy kis összehúzódás, de kizárólag annyi amellyel járó húzófeszültség nem haladja meg a beton húzószilárdságát

Zsugorodási folyamatok a zsugorodás-kompensáló betonban

A betonok jellemző alakváltozásainak összehasonlítása

Jellemző nyomószilárdság

- Gauss-féle haranggörbe
- Student-féle eloszlás
- σ szórás érték

f_{ck} - jellemző nyomószilárdság

5%-os alulmaradási valószínűséghez tartozó szilárdság, karakterisztikus érték

$f_{ck, cyl}$ - hengeren meghatároz.

$f_{ck, cub}$ - kockán

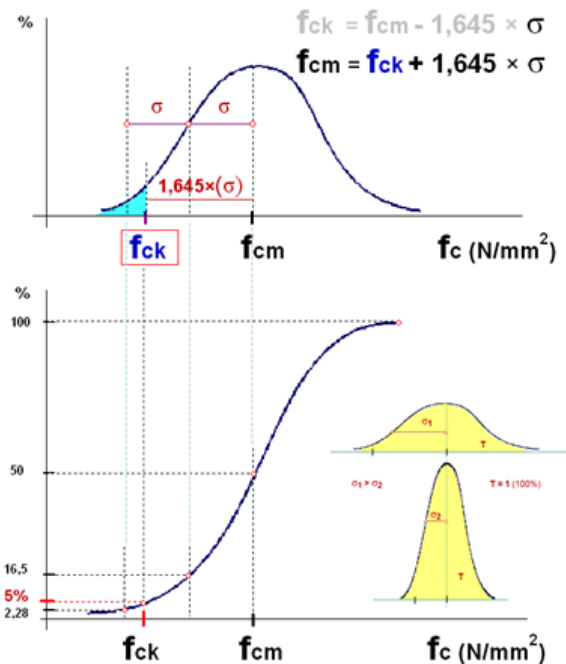
f_{cm} - átlagszilárdság

Jellemző nyomószilárdság:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \times \sigma$$

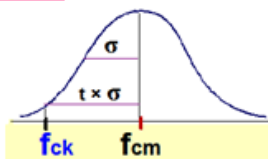
$$f_{cm} = f_{ck} + 1,645 \times \sigma$$

(f_{ck}) és f_{cm} közötti összefüggés



A jellemző- és átlagszilárdság összefüggése

MSZ 4798 szerint:



$$f_{cm} = f_{ck} + t_n \times \sigma$$

($t_{Student}$: $t_n \geq 40 = 1,645$)

Egyenletes minőség: $\sigma_1 < \sigma_2$

$$f_{cm1} < f_{cm2} \text{ és } C_1 < C_2$$

Eurocode 2 szerint:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad t = 1,645 \quad (\sigma = 5)$$

MSZ EN 206 szerint:

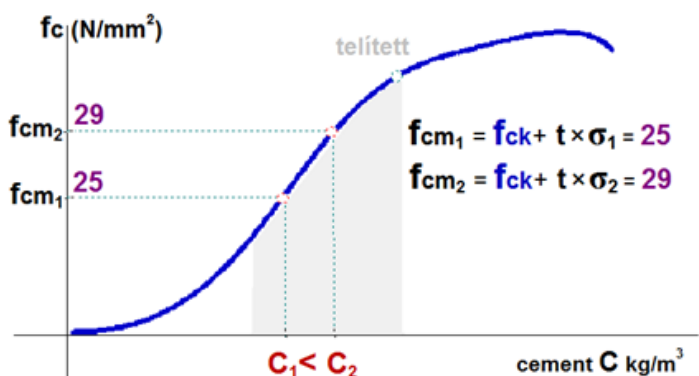
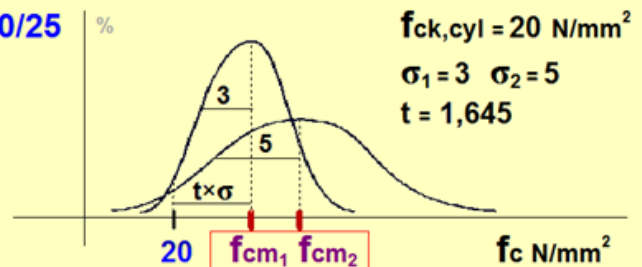
$$f_{cm} = f_{ck} + \lambda_n \times \sigma$$

(λ_{Taerwe} : $\lambda_n \geq 15 = 1,48$)

Taerwe f. megfeleltetés esetén

$$f_{cm} = f_{ck} + 4 \quad (\sigma = 3)$$

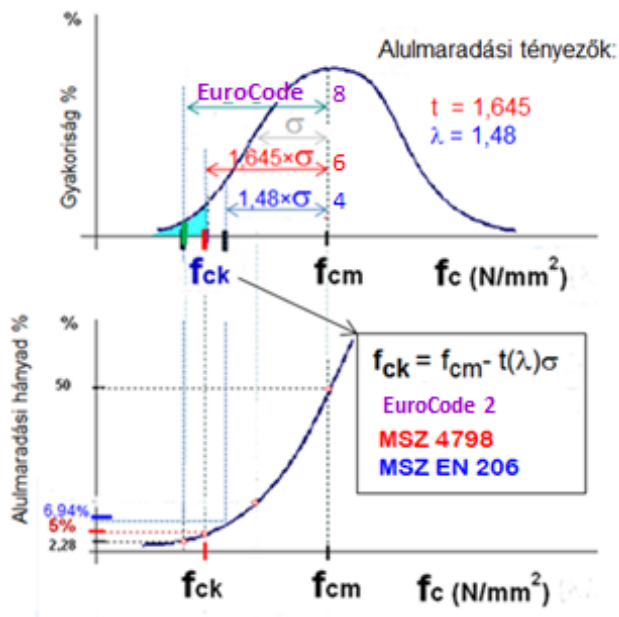
C20/25



A szórás (σ) hatása a beton szilárdságára (f_{cm}) és a beton cementszükségletére

Minősítő szilárdság (f_{ck}) meghatározása az f_{cm} értékből

$$f_{ck} = f_{cm} - (t, \lambda) \sigma$$



Az átadó-átvevő kockázata: 70-30% 50-50% 30-70%

Pl.: $f_{cm} = 35$ EuroC 2 $f_{ck} = 35 - 8 = 27 \rightarrow 20/25$
MSZ 4798 $f_{ck} = 35 - 6 = 29 \rightarrow 20/25$
EN 206 $f_{ck} = 35 - 4 = 31 \rightarrow 25/30$

A beton jelölése: C35/45 – AC₅₀(H)

