



PTE Műszaki és Informatikai Kar

7624 Pécs, Boszorkány út 2.

Építőanyagok 1.

I. évf. építészmérnök és építőművész szakos hallgatók részére

A betontechnológia témakör előadásai

1. Kötőanyagok (mész és gipsz)	1.
2. Cementek (gyártás, szilárdulás, tulajdonság)	5.
3. A beton adalékanyagai (tulajdonság, szemmegoszlás)	11.
4. Frissbeton (konzisztencia, tulajdonság, telítettség)	16.
5. Betonok jelölése és minősítése (jellemző szilárdság)	22.
6. Betontervezés (tervezési feltételek, betonösszetétel)	28.
7. A beton készítése (előállítási technológiák)	34.
8. Beton-adalékszerek (plasztifikátorok, kötésszabályozók)	42.
9. A megszilárdult beton tulajdonságai	48.
10. Beton- és vasbeton szerkezetek korróziója	52.
11. A betonok minősítése és megfelelése	57.
12. Különleges betonok és betontechnológiák	61.

A szakipari anyagok témakör előadásai

1. Hő- és hangszigetelő anyagok	70.
2. Vízsigetelő anyagok	73.
3. Építési kerámiák és falazó anyagok	75.
4. Építő fák és faanyag védelem	80.
5. Fémek és betonacélok	85.
6. Építészeti üvegek és alkalmazásuk	92.
7. Műanyagok építőipari alkalmazása	96.

Vizsgakérdések az előadások témaköréből 98.

Az előadások anyagát összeállította: Prof. Dr. Orbán József
orbán.jozsef@mik.pte.hu

Kötőanyagok fogalma

Folyékony, vagy pépszerű állapotból

- kémiai és fizikai folyamatok hatására meghatározott idő alatt szilárdulnak
- megfelelő szilárdságot érnek el
- adalékanyagot összeragasztják

Kötőanyagok osztályozása

Levegőn szilárduló nem hidraulikus

- építési mész és gipsz

Gyengén hidraulikus kötőanyagok

- kohósalak és pernye (hidraulitok)

Hidraulikus kötőanyagok

- portland és aluminát cementek

Építési mész

Előállítás mészkből: $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{+Q} \text{CaO} + \text{CO}_2$

- forgódobos- és aknakemencében (kb. 1000 C)

Dolomitos mészkből (magnézium): $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 + \text{MgO}$

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \xrightarrow{+Q} \text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2$

kiegési °C: $\text{CaO} > \text{MgO}$ üveges fázis

Márga (agyagos mészkből): $\text{CaCO}_3; \text{SiO}_2; \text{Al}_2\text{O}_3; \text{Fe}_2\text{O}_3$

$\text{CaO} \times \text{SiO}_2$ és $\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$ is keletkezik
csökken a mész kiadóssága

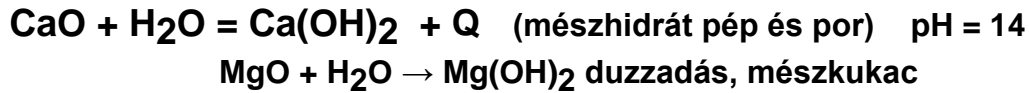
Mész égetése forgódobos kemencében



Darabos égetett építési mész: CaO

- Minőségi jellemzők:
- vegyi összetétel
 - portartalom
 - oltási idő
 - oltási maradék
 - mész-szaporaság

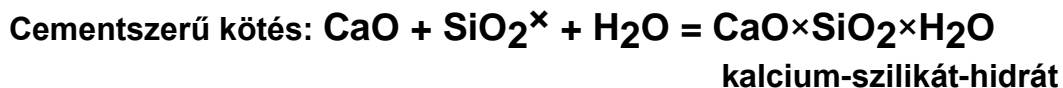
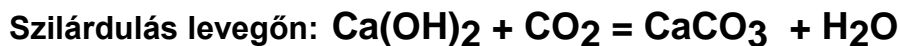
A mész oltása:



Építőiparban használt mészfajták:

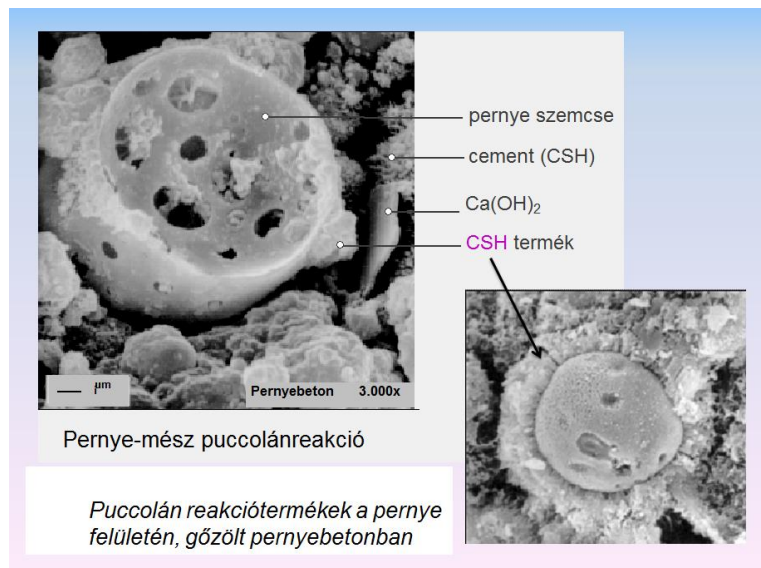
- építési mész: 28, 25, 20 liter pép/10kg
- építési dolomitos mész: 25, 20- as
- őrlött égetett építési mész
- mészhidrát por (32% víz)

Mész szilárdulása és kötése



A puccolánreakció feltételei:

- finom (őrölt) reakcióképes SiO_2^x
- magas C° és nyomás (autokláv)



A mész felhasználási területei:

- falazó- és vakoló habarcsok
- sejt betonok készítése (pórusbeton)
- talajszilárdítás, stabilizálás
- mészhomok téglák
- cementgyártás alapanyaga

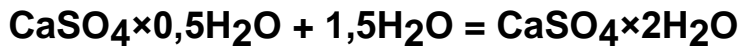
Építési gipsz

Előállítás gipszkőből: $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O} + \text{Q} > \text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$
forgókemence, autokláv (110 ÷ 180°C°)

Esztrich gipsz: $\text{CaSO}_4 + \text{CaSO}_4 \times \text{CaO} > 600\text{C}^\circ$
lassú szilárdulás, 30 N/mm²

REA gipsz

Gipsz szilárdulása és tulajdonságai



Tulajdonságai:

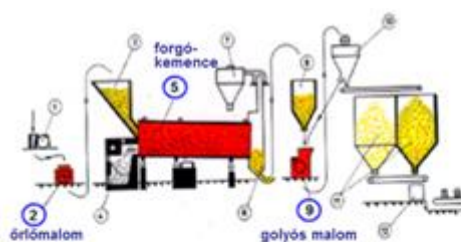
- + gyors kötés és szilárdulás, közepes szilárdság
- + alacsony testsűrűség, jó hőszigetelő képesség
- + tűzállóság
- magas vízfelvétel, oldódás, nem fagyálló
- acél korrózió

A gipsz minősítő tulajdonságai:

- őrlési finomság
- kötési idő kezdete és vége
- nyomószilárdság

Gipszek felhasználása:

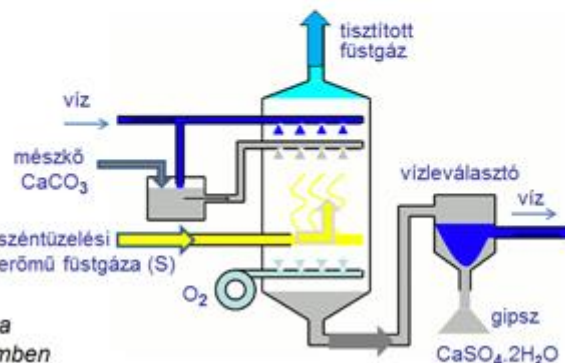
- gipszes habarcsok kötőanyaga
- díszítő elemek, múmárvány
- hő- és hangszigetelő anyagok
- válaszfalelem, álmennyezet



Építési gipsz előállítása forgókemencében



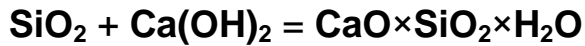
REA gipsz előállítása
füstgáz kéntelenítő üzemben



Erőműi pernyék

Gyengén hidraulikus kötőanyagok.

Cementszerű kötés és szilárdulás:

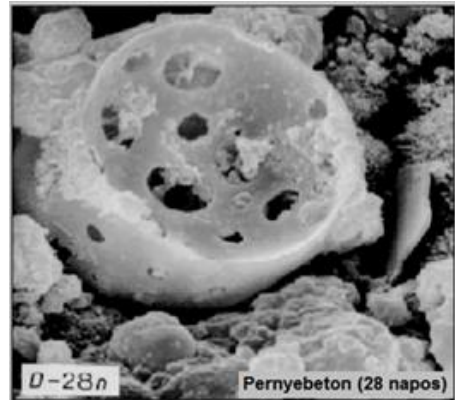


A puccolánreakció feltételei

- SiO_2
- autoklavozás

A pernyék építőipari alkalmazása:

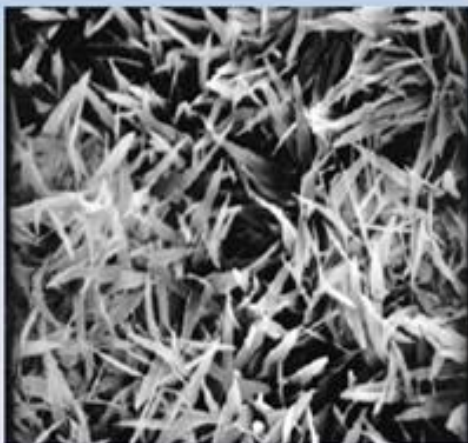
- hidraulikus cement-kiegészítők
- pernye gázbeton falazó-elemek
- beton adalék- és kötőanyag (C4, C6)
- pernye-mész kötőanyagú soványbeton
- pernyebeton a mélyépítésben



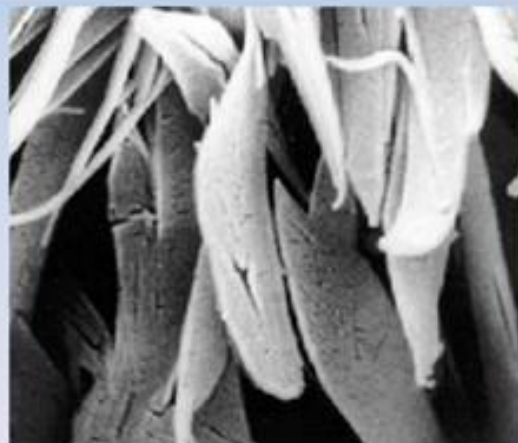
Pernye – mész reakció



Erőműi pernyék kémiai (oxidos) összetétele



Pernye - mész



Őrölt homok- mész

Puccolánreakció termékek

Cement, mint a beton kötőanyaga

Finomra őrölt hidraulikus kötőanyag, vízzel péppé keverve levegőn és víz alatt kőszerűen megszilárdul.

Cementek osztályozása:

1. Portland vagy szilikát cementek:

- 80% mészkő + 20% agyag
- zsugorodási hőmérsékleten égetik
- kohósalak és pernye hidraulit, mészkőörlemény
- hidratációkor stabil vegyületek keletkeznek

2. Aluminát cementek:

- mészkő + bauxit, ill. timföld nyersliszt
- bauxit cementben 40% CaO és 40% Al₂O₃
- gyors hidratáció, nagy kezdőszilárdság
- instabil vegyületek keletkeznek

3. Különleges cementek:

- különleges tulajdonságúak (gyorskötő)
- eltérő összetétel (fehércement, duzzadó)

A cementgyártás fázisai:

1. Nyersanyag termelés

- mészkő és agyag fejtése
- alapanyagok törése

2. Nyersanyag előkészítés

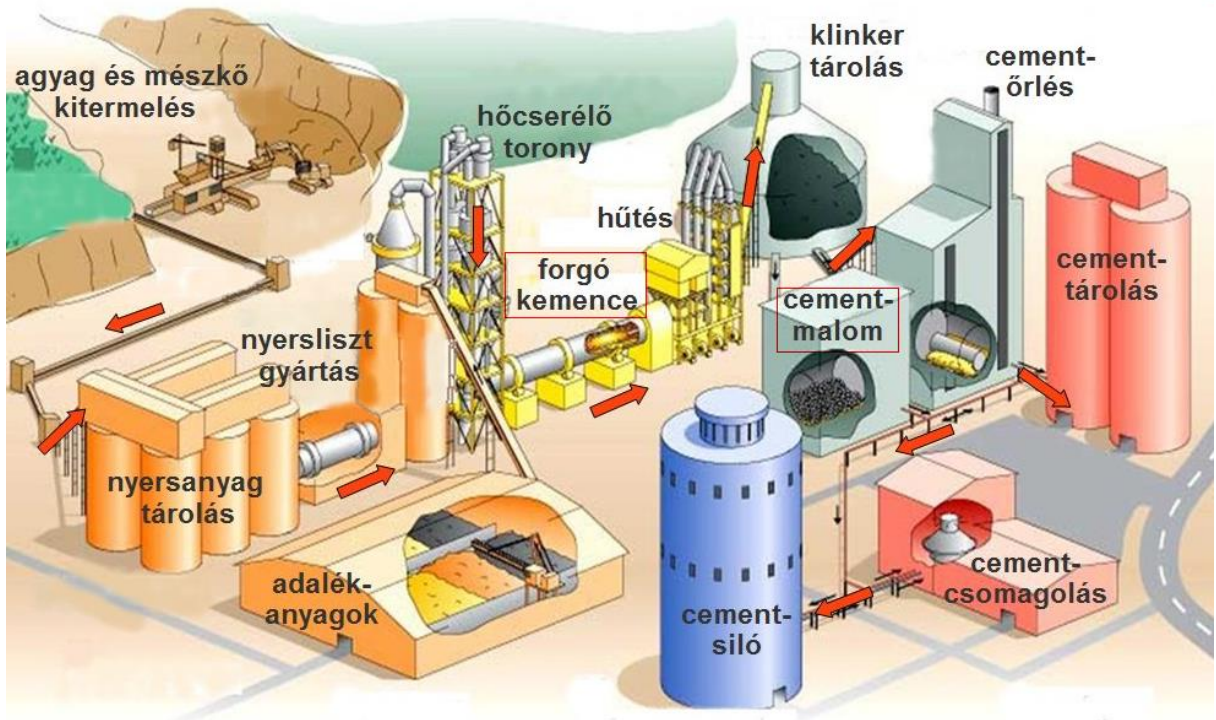
- száraz eljárás, lisztté őrlik
- nedves eljárás, iszappá őrlik
- homogenizálás, granulálás

3. Klinkerégetés

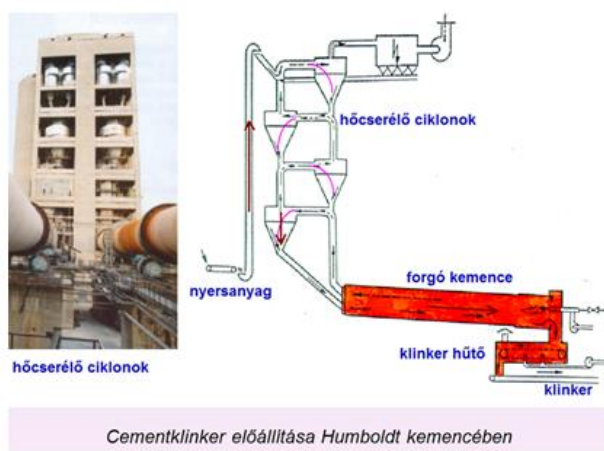
- szárítás, előmelegítés, kalcinálás
- zsugorítás (1450 ÷ 1550 °C) olvadékfázis
- hűtés (200 °C) klinker, üveges olvadék

4. Cement őrlése

- golyós- és csőmalom
- vertikális görgős malom
- klinker + 4% gipszkő + hidraulitok + mézpor
- fajlagos felület: 240 ÷ 400 m²/kg D = 5 ÷ 30µm



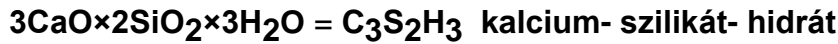
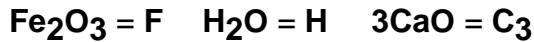
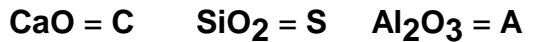
Cementgyártás technológiája



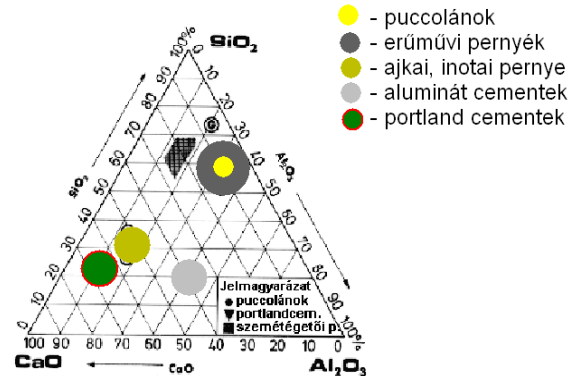
Cementgyártás berendezései és a gyár távlati képe

Kémiai és ásványi összetétel

Szilikátkémiai rövidítések:



Pc. klinker oxidos összetétele:

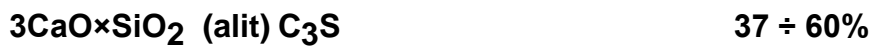


**Cementek és hidraulitok
a három összetevős rendszerben**

Portlandcement modulusai:

- AM aluminát modulus: $\text{AM} = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,6 \div 3,5 > 0,54$

Portlandcement klinkerásványai:



nagy kezdőszilárdság, hidratációs hő



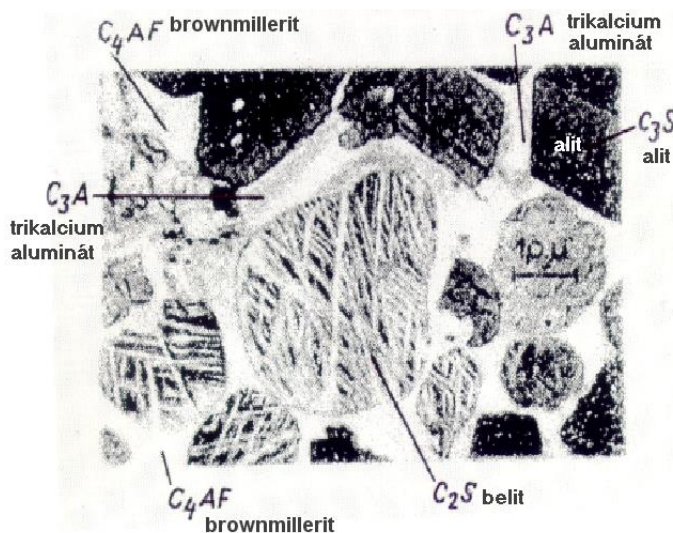
lassan szilárdul, kicsi hidratációs hő



növeli a zsugorodást és a duzzadást



kémiai ellenálló képességet növeli



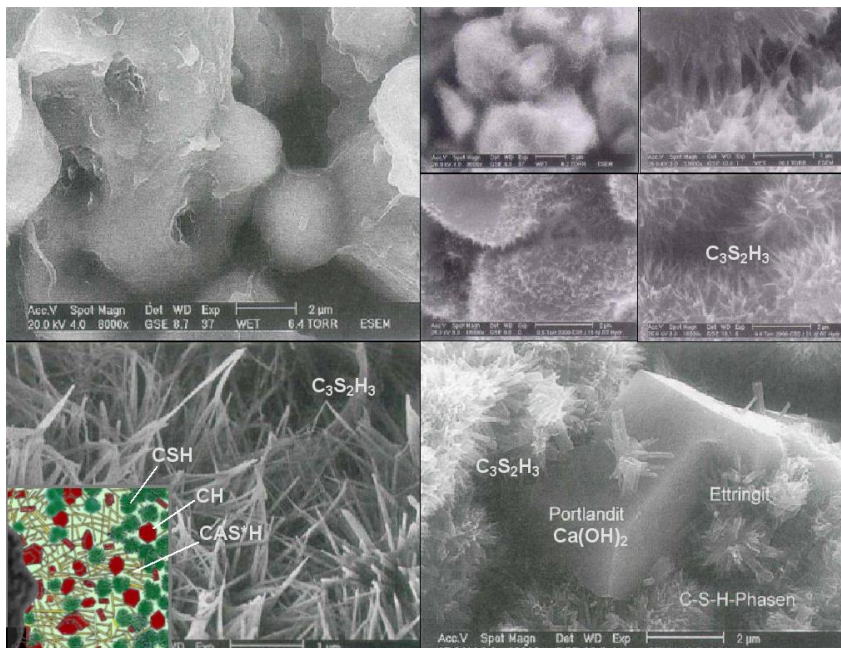
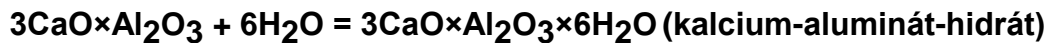
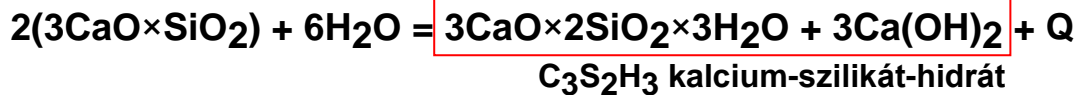
**Klinkerásványok
elhelyezkedése
a cementcsiszolat
mikroszkópos felvételén**

Cementek szilárdulása

A cement hidratációja:

- a cement kémiai reakciója vízzel
 - a klinkerásványokból hidrátok keletkeznek
 - a kémiai reakció termékei (kristályai) összekötik a cementszemcséket (kötőerő)
- hidratáció ..> kötés ..> szilárdulás (cementkő)

Klinkerásványok reakciója vízzel:



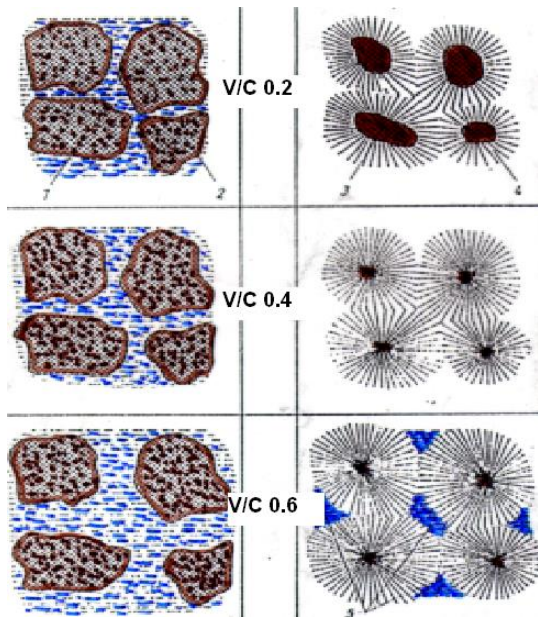
A cementhidratáció és szilárdulás folyamatai

A cementhidratáció fő jelenségei:

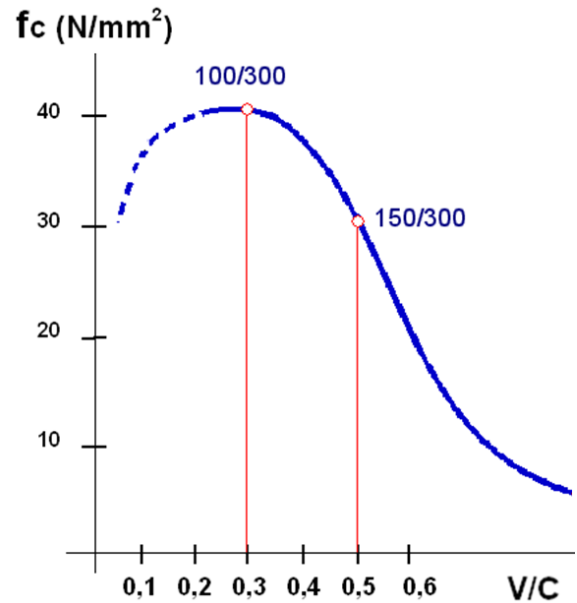
- kolloidiális oldat keletkezik
- cement felületén gélréteg jön létre
- gélrétegből kristályok válnak ki
- kristályok átfonódása, a kötés kezdete
- cementpép megdermed, kőszervé válik
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ szabadul fel, $\text{pH} > 12,6$
- CaCO_3 ; CSH; $\text{pH} < 11,2$ korrózió védelem!

A cementszilárdulás hatásai:

- csökken a kapilláris porozitás
- hidratációs hő keletkezik
- kötéslassítás, gyorsítás, utószilárdulás

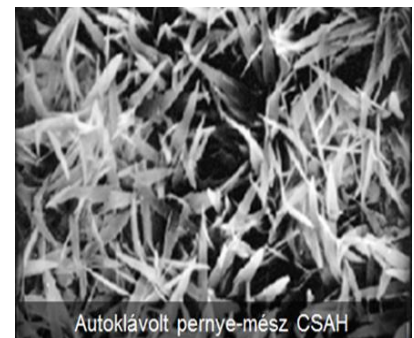
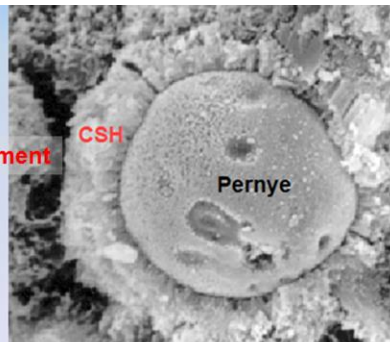
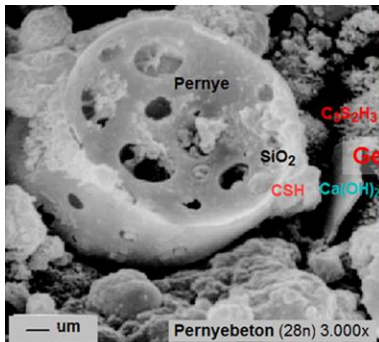


**Víz-cementtényező hatása
cement hidratációjára**

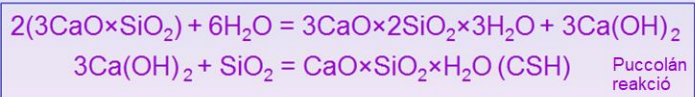


V/C hatása a beton nyomószilárdságára

Erőműi pernye részvétele a cement hidratációjában

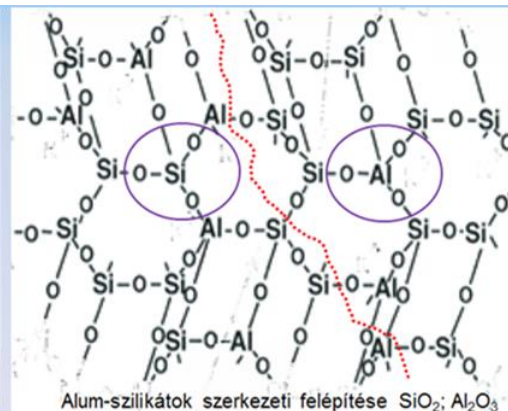
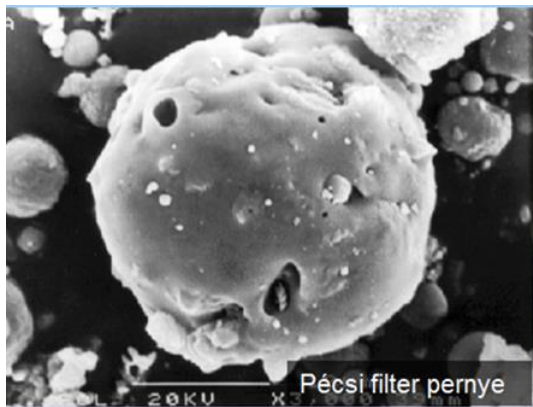


Pernyeadalékos cement hidratációs folyamatai



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

Őrölve és autoklávózva



Portlandcementek tulajdonságai

1. Őrlési finomság

- Blaine készülék, fajlagos felület: m^2/kg
- finomsággal növekszik: vízigény, zs %, Q sebessége, kezdeti szilárdulás

2. Kötési idő

- Vicat féle készülék (kezdeté és vége)
- betontechnológiai szempontok ($45p \div 12ó$)
- befolyásolják: $°C$ v/c m^2/kg vegyszer

3. Térfogat állandóság

- cementlepény (víz- és főző próba)
- zsugorodást növeli: magas m^2/kg ; v/c
- duzzadás: szabad MgO; CaO % gipsz %

4. Szilárdság

- hasáb próbatest: $4 \times 4 \times 16$ cm
- 1/3 cement/homok v/c=0,5 képlékeny
- 28 napos hajlító és nyomószilárdság

CEM II/A-V 32,5 $f_{ck} = 32,5$ N/mm²



Cementek fajtái és jelölései

Portlandcement	: CEM I 42,5N	CEM I 42,5R
Kohósalak p. cement	: CEM II/A-S 42,5N	CEM II/A-S 32,5R
Pernye portlandcement	: CEM II/A-V 42,5N	CEM II/A-V 32,5R
Kompozit p. cement	: CEM II/B-M(V-L) 32,5N	

CEM - Európai cement

I; II - cement fajta: I - portlandcement

II - kohósalak-, pernye-, mészkőliszt pc.

III - kohósalak cement

A; B - hidraulit mennyiség (> 5; >20%)

S; V - kohósalak és pernye (hidraulit)

M(V-L) - kompozit (pernye és mészkőpor)

42,5 - nyomószilárdság f_{ck} (N/mm²)

R - nagy kezdőszilárdság (Rapid)

N - normális szilárdulású

S* - szulfátálló (AM = 0,54)

Cementek megnevezései:

CEM I-S 52,5 R0 szulfátálló portlandcement (klinker C_3A tartalma = 0%)

CEM II/A-M(S-V-L) 32,5 R nagy kezdőszilárdságú, 32,5 szilárdsági oszt.

granulált kohósalakot (S), pernyét (V) és mészkövet (L) tartalmazó komp. pc.

CEM II/B-M (S-LL) 32,5 N kompozit-portlandcement kohósalak és mészkő

CEM III/A-S32,5 LH kis hőfejlesztésű kohósalak cement

CEM III/B-S32,5 R5 szulfátálló kohósalak cement, (C_3A tartalma $\leq 5\%$)

CEM III/B-S32,5 N-LH/SR kis hidr. hőfejl. és szulfátálló kohósalak cement

CEM III/A-S32,5 N-MSR mérsékelten szulfátálló, norm. kezdőszil. ks. cem.

Cementek alkalmazási területei:

Portlandcementek:

CEM I 52,5N és CEM I 42,5N

- C25 ÷ C50 vasbeton nagy kezdőszilárdság
- vízzáró, fagyálló, kopásálló, feszített vb.

Kohósalak portlandcement:

CEM II/A - S42,5N és CEM II/A-S 32,5R beton és vasbeton szerkezetek

- C25 ÷ C50; előregyártás, f 100, vízzáró

Pernye portlandcement:

CEM II/A - V42,5N és CEM II/A-V 32,5R beton és vasbeton szerkezetek

- C25 ÷ C50; előregyártás, f 150, transzport

Kompozit portlandcement:

CEM II/A - M(V-L) 42,5N beton és vasbeton szerkezetek

- vízzáró beton, víz alatti betonozás
- nyári melegben; tömegbeton; f 50

Kohósalak cement:

CEM III/B-S32,5N

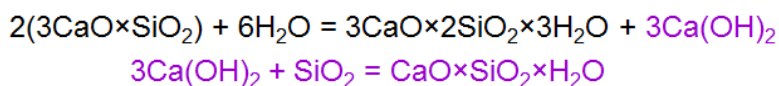
- mélyépítési műtárgyak, mérsékelten szulfátálló

Különleges cementek:

- tűzálló, timföld cementek
- duzzadó, aluminát cementek
- légpórusos cementek
- hidrofób cementek
- kis kötőhőjű cementek
- fehér és színes cementek

A cement kiegészítő (töltő) anyagai:

- erőműi pernyék (reakcióképes SiO_2 tartalom)
- kohósalak (granulált, őrölt)
- puccolánok (természetes trasz)
- szilikapor (mikroszilika, ferroszilicium gyártásakor)
- metakaolin (égetett és őrölt kaolin, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)



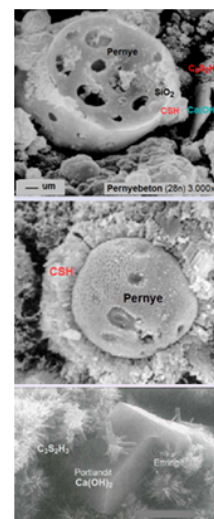
Alkalmazásukkal a cementet részben helyettesítik.

Figyelembe kell venni a „k” hatékonyságukat:

(puccolán aktivitás, mészkapacitás)

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

„k” hatékonysági tényező értékei: 0,4 erőműi pernyék
0,6 kohósalak őrlemény
0,4 természetes puccolánok
1,0 szilikapor
1,0 metakaolin



A beton adalékanyagai

Adalékanyagok

Különböző szemnagyságú anyagok halmaza

- természetes és mesterséges
- folyami kavics és zúzalék (mészkö, bazalt)
- könnyű betonok adalékanyagai
- hőszigetelő betonok adalékanyagai



Szemnagyság szerinti csoportosítás:

- agyag < 0,002 mm
- iszap 0,002 ÷ 0,02 mm
- por 0,02 ÷ 0,063 mm
- homokliszt 0,063 ÷ 0,125 mm
- finomhomok 0,125 ÷ 1 mm
- durva homok 1 ÷ 4 mm
- apró kavics 4 ÷ 8 mm
- durva kavics 8 ÷ 32 mm
- nagy szemű kavics > 32 mm

Az adalékanyag tulajdonságai:

- közetfizikai jellemzők (geológia)
- tisztaság (agyag-iszap tartalom %, Cl, S) f< 1%, 3%, 6%
- szilárdság (szétaprózódás)
- tömegjellemzők (testsűrűség, hézagterfogat.)
- szemalak és felület (zömök, lemezes, sima)
- víztartalmi jellemzők (n%, n_f%, v%, v₁₆ %)
- szemszerkezeti tulajdonságok

Adalékanyag ellátás

Adalékanyag (homokos-kavics):

- kitermelés és osztályozás
- szállítás, tárolás és kezelés



Adalékanyagok szemszerkezeti tulajdonságai

- szemmegoszlás (szemmegoszlási görbe)
- legnagyobb névleges szemnagyság d_{max}
- finomsági modulus (m)
- szemmegoszlási görbe lefutása

Szemmegoszlás meghatározása

Szitavizsgálat:

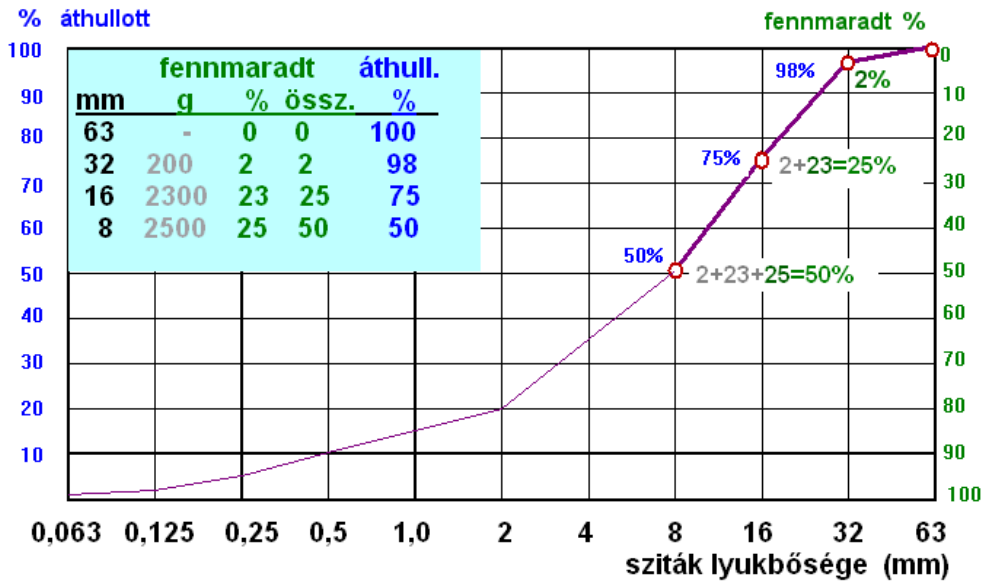
szitasorozat: 0,063 0,125 0,25 0,5 1 2 4 mm

rostasorozat: 8 16 32 63 125 mm

- adalékanyag kiszáritása (10.000g)
- rostálás
- rostákon és szitákon fennmaradt m%

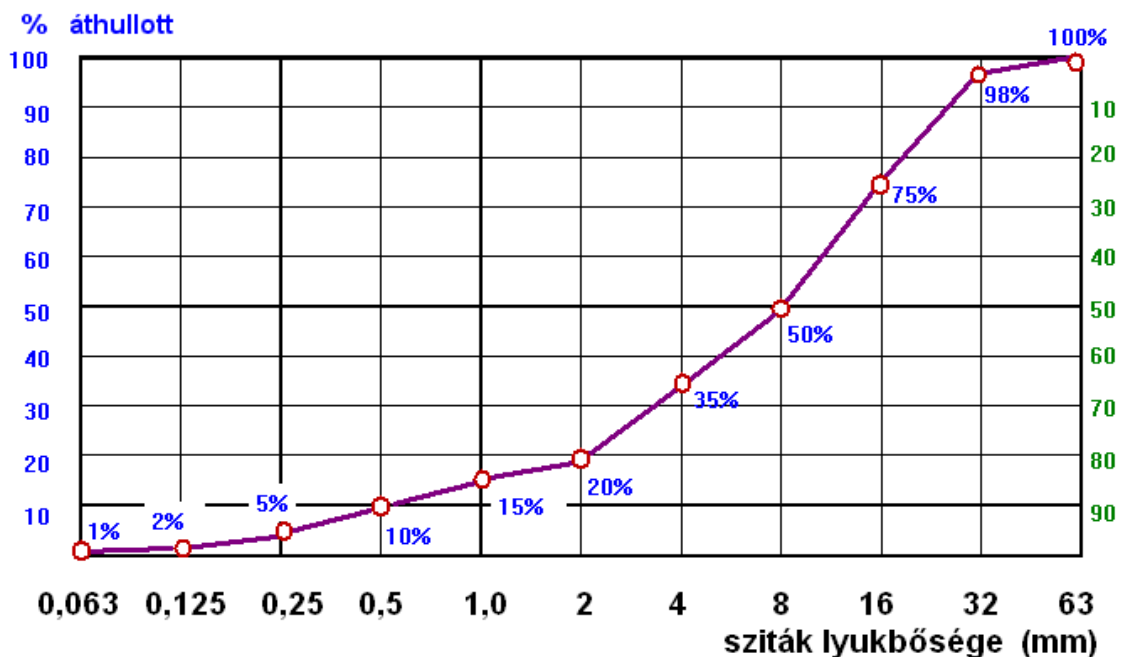
mm	fennm. áthull.		
	%	össz %	
63	0	0	100
32	2	2	98
16	23	25	75
8	25	50	50
4	15	65	35
2	15	80	20
1	5	85	15
0,5	5	90	10
0,25	5	95	5
0,125	3	98	2
0,063	1	99	1
0,00	1	100	0
-	100		

- számítás (áthullott tömeg m%)



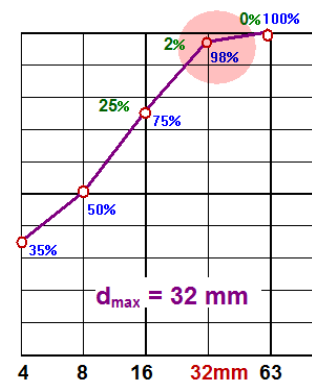
- szemmegoszlási görbe (megrajzolása)

- szemmegoszlás minősítése (jellemzése)



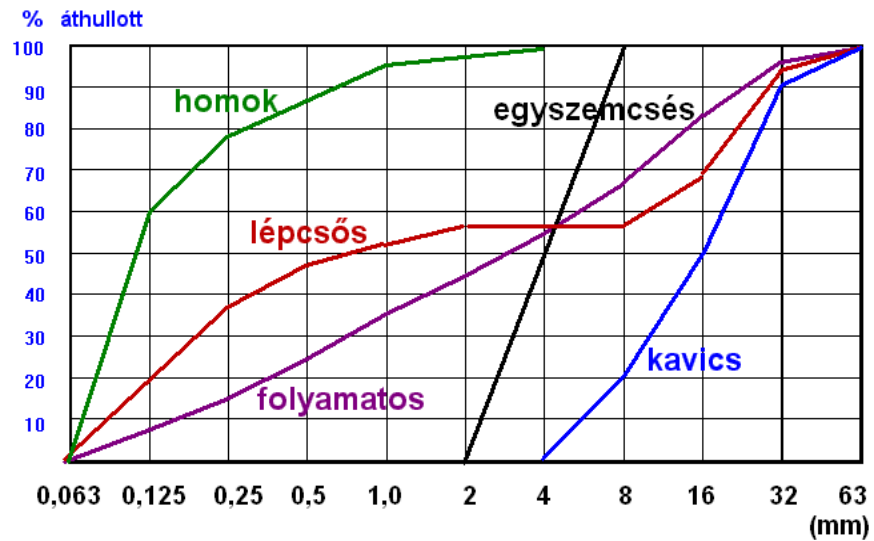
A szemmegoszlási görbék jellemzői:

1. Homok- és kavicsstartalom: 4 mm rosta m%
~ szemmegoszlási görbe
2. d_{max} . legnagyobb névleges szemnagyság:
 - rosta méret (fennmaradt m% < 5%)
 - a legkisebb szerkezeti méret 1/3, 1/4
 - a betonacél távolság között áthull. 90%
 - feszített vb. szerkezet: $d_{max} < 24$ mm



3. Szemmegoszlási görbe lefutása: (grafikon)

- folyamatos, lépcsős és egyszemcsés
- homok és kavics

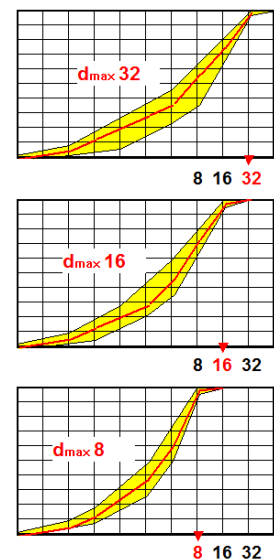
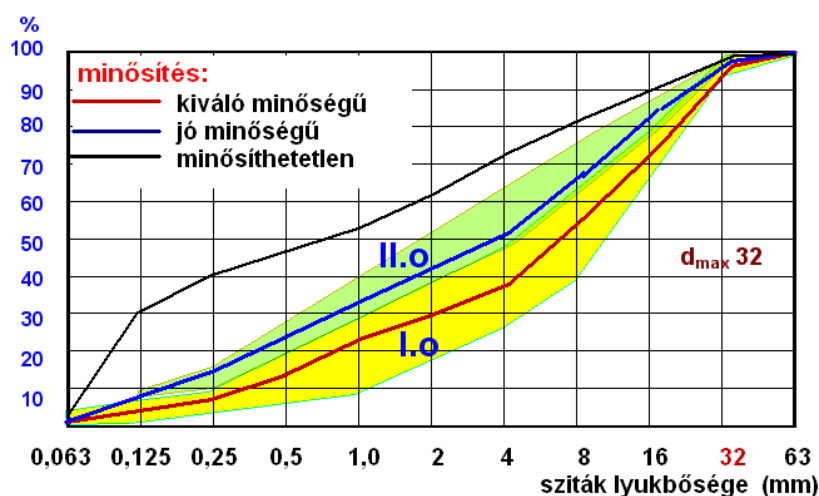


4. Betontechnológiai jellemzők:

- hézagterfogat ($225 \div 300 \text{ liter/m}^3$)
- fajlagos felület (vízigény)
- cementpép igény (telítettség)
- finomrész tartalom ($< 0,25 \text{ mm}$)
cement + agyagiszap + por + liszt + finomhomok $> 400 \text{ kg/m}^3$
- finomrész hiány

A szemmegoszlás minősítése

Minősítés határgörbék alapján: I. oszt. kiváló minőségű
 II. oszt. jó minőségű
 Minősíthetetlen



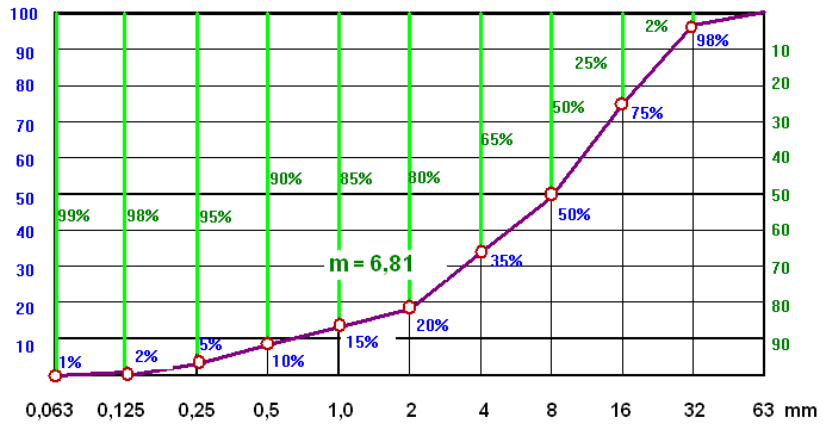
Határgörbék: d_{max} szerint

Minősítés finomsági modulus alapján:

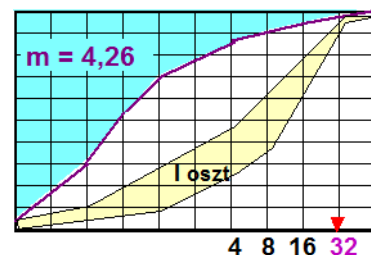
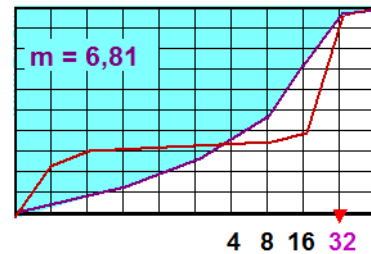
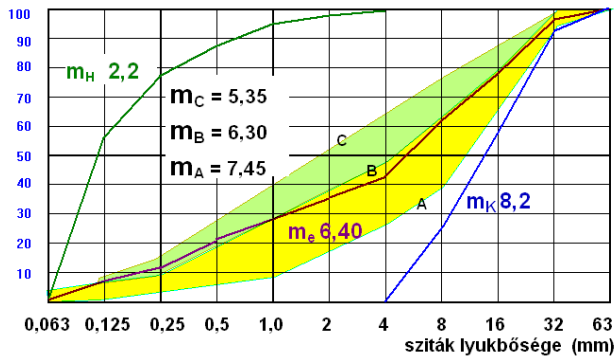
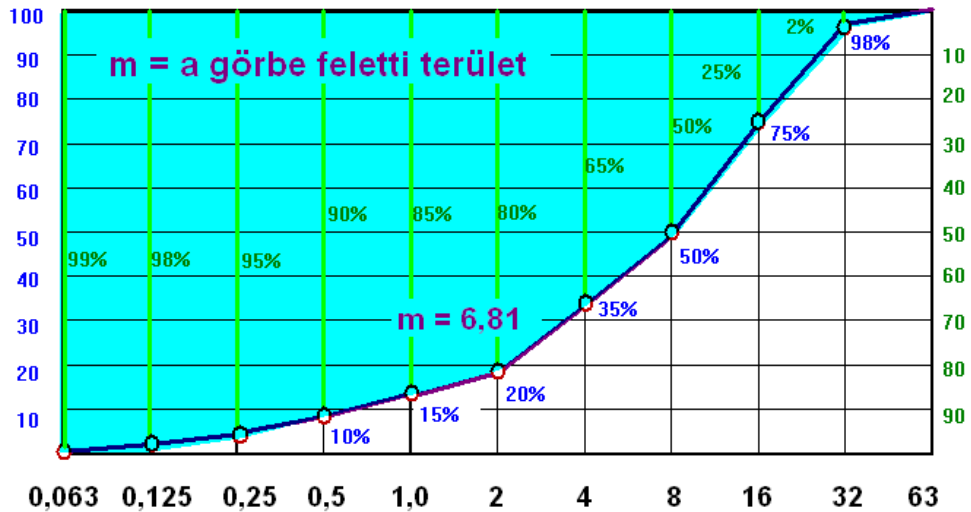
- a szitákon fennmaradt m% -ok összege/100
- finomsági modulus „m” értelmezése

A szitákon fennmaradt m%:

63 mm	0%
32	2
16	25
8	50
4	65
2	80
1	85
0,5	90
0,25	95
0,125	98
0,063	99
<hr/>	
	681%



finomsági modulus: $m = \text{fennmaradt m\%} / 100 = 681\% / 100 = 6,81$



- Szemmegoszlás jellemzése:
- d_{max}
 - m (f. modulus)
 - a görbe lefutása

Szemmegoszlás javítása

A szemmegoszlás javításának módszerei:

1. Méreten felüli szemcsék leválasztása
2. Hiányzó frakció pótlása
3. Homok, illetve kavics hozzákeverése
4. Homok és kavics frakcióra bontással, és megfelelő arányú keveréssel

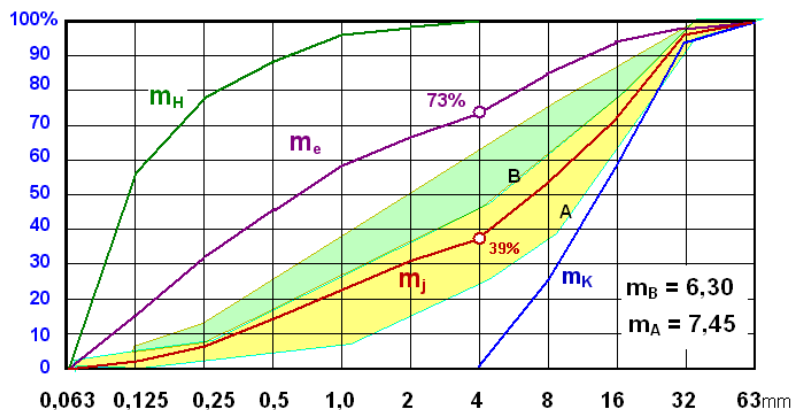
~ eredeti szemmegoszlás: m_e

~ szétválasztás: homok m_H és kavics m_K

~ javítandó szemmegoszlás (követelmény görbe): m_j

~ új keverési arányok kiszámítása: a_H , a_K

~ javított szemmegoszlás ellenőrzése



$$m_e = 4,2$$

$$m_H = 2,8$$

$$m_K = 8,4$$

$$m_j = 6,8$$

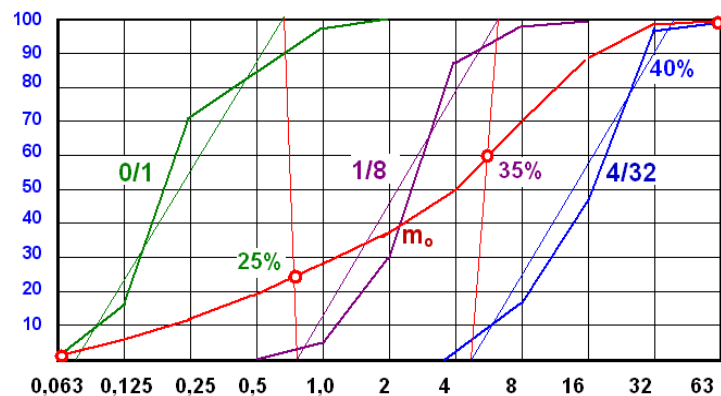
$$a_H + a_K = 1 \quad 100\%$$

$$a_H \cdot m_H + a_K \cdot m_K = m_j \times 1$$

$$a_H = \frac{m_K - m_j}{m_K - m_H} = 0,39 \quad a_H = 39\%$$

$$a_K = 61\%$$

Előírt szemmegoszlás előállítás több frakcióból



Egymást átfedő frakciók:

0/1 mm - finom homok frakció : 25%

1/8 mm - gyöngykavics frakció : 35%

4/32 mm - kavics frakció : 40%

m_o - követelmény görbe

Betonkeverék és frissbeton

Betonkeverék:

- megkevert nyers beton
- cementkötés még nem észlelhető
- zsaluzatba még nem dolgozták be

Frissbeton:

- betömörített kiindulási anyag
- tulajdonságai befolyásolják a megszilárdult beton tulajdonságait

A betonkeverék jellemzői:

- keverési arány
- víz-cement tényező
- bedolgozási tényező
- konzisztencia

Keverési arány

A betonalkotók tömegaránya,
a cement tömegéhez viszonyítva
cement : víz : adalék = 1 : 0,5 : 5

Víz-cement tényező

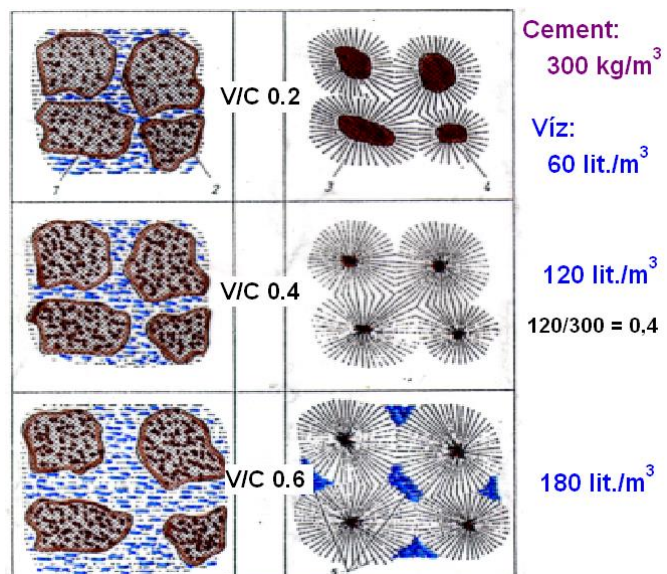
A víz és a cement tömegének aránya: $X = V/C$

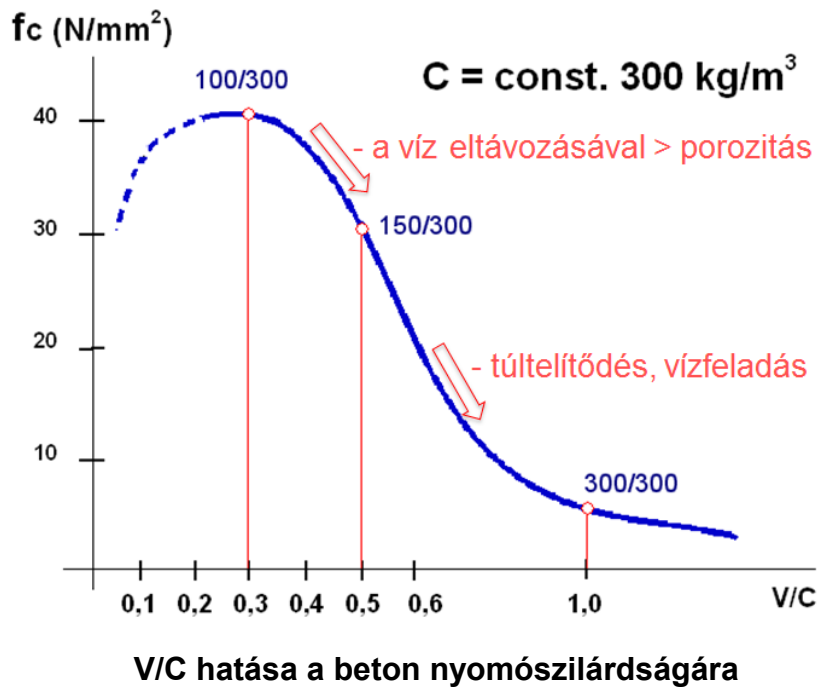
$$V = V_{kev.} + V_{ad.fel.} - V_{ad.1ó.} - V_{pár.} \text{ (lit./m}^3\text{)}$$

$V_{kev.}$ - betonkeveréshez használt víz
 $V_{ad.fel.}$ - nedvesség tartalom V_f m%
 $V_{ad.1ó.}$ - 1órás vízfelvétel m%
 $V_{pár.}$ - párolgási veszteség (lit./m³)
 C = cement tömege kg/m³

A víz-cement tényező hatása:

- ~ a cement hidratációjára
- ~ a beton szilárdságára
- ~ a beton zsugorodására





Bedolgozási tényező (β):

$$\beta = V_{\text{láda(adalék)}} / V_{\text{frissbeton}} \quad \beta > 1 \div 1,2$$

- Befolyásolják:
- adalékanyag hézagterfogata
 - konzisztencia (vízmennyiség)
 - bedolgozás mértéke (levegő tar)

$$C \text{ tömörítési mérték} = V_{\text{lazabeton}} / V_{\text{tömörbeton}}$$



Utólagos vízadagolás és átkeverés hatása a beton tulajdonságára



Frissbeton konzisztenciája

Konzisztencia: - a friss betonkeverék mozgékonyága
 - bedolgozási munkaigénye, folyékonyága
 - mérőeszkővel vizsgálva, számszerű adat

Konzisztenciák jelölései: AFN - alig földnedves
 FN - földnedves
 KK - kissé képlékeny
 K - képlékeny
 F - folyós
 Ö - önthető

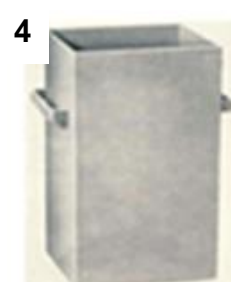


Konzisztencia osztályok

Roskadási osztályok: S1; S2; S3; S4; S5
Területi osztályok : F1; F2; F3; F4; F5; F6
VEBE osztályok : V0; V1; V2; V3; V4
Tömörítési osztályok: C0; C1; C2; C3

Konzisztenciamérő eszközök:

1. Abrams-féle roskadásmérő kúp (S)
2. Területést mérő ejtőasztal (F)
3. Vebe méter, vibrációs idő (V)
4. Walz-féle tömörítés mérő edény (C)



Konzisztencia	MSZ 4714 szerint	Konzisztencia osztályok MSZ 4798-1 szerint	
	Roskadás (mm)	Roskadási osztályok	Roskadási mérték, mm
	KK 20 - 40	S1	10 - 40
	K 41 - 100	S2	50 - 90
	F > 100	S3	100 - 150
		S4	160 - 210
		S5*	220 ≤
	Terület (cm)	Területi osztályok	Területi mérték, mm
	FN < 35	F1*	≤ 340
	KK 36 - 42	F2	350 - 410
	K 43 - 50	F3	420 - 480
	F > 50	F4	490 - 550
		F5	560 - 620
		F6*	630 ≤
	Átformálás (sec)	VEBE osztályok	VEBE-méteres átformálási idő, s
	FN 50 - 21	V0*	≥ 31
	KK 20 - 8	V1	30 - 21
	K 7 - 3	V2	20 - 11
		V3	10 - 6
		V4*	5 - 3
	Tömörödés	Tömörítési osztályok	Tömörítési mérték
	FN 0,70 - 0,75	C0*	≥ 1,46
	KK 0,76 - 0,85	C1	1,45 - 1,26
	K 0,86 - 0,92	C2	1,25 - 1,11
	F 0,93 - 0,97	C3	1,10 - 1,04

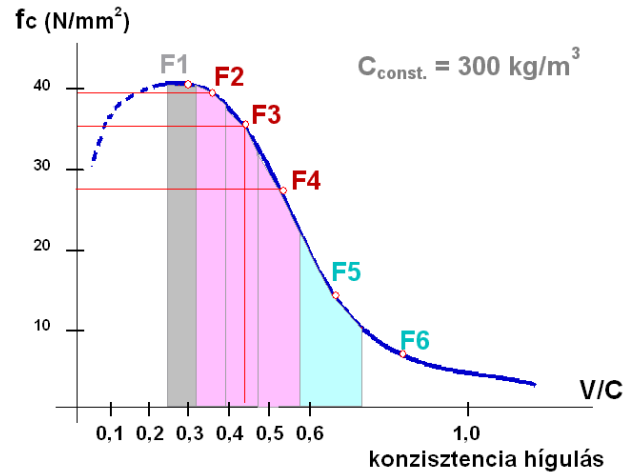
Konzisztencia mérőszámok összehasonlítása

Konzisztencia hatása:

- ~ a beton szilárdságára
- ~ a beton bedolgozhatóságára

Konzisztenciát meghatározzák:

- ~ a tömörítési módszer
- ~ vb. szerkezet mérete és alakja
- ~ a vasalás sűrűsége
- ~ zsaluzat



A bedolgozott frissbeton jellemzői

Készítési testsűrűség: $\rho_{t(friss)} > \rho_{t(légszárász)} > \rho_{t(szárász)}$

2380 kg/m³ 2320 kg/m³ 2290 kg/m³

Betonösszetétel: - tervezett és tényleges
- tömeg és térfogat szerinti

A beton tömeg szerinti összetétele: C : V : A = 1,0 : 0,5 : 5

A beton térfogat szerinti összetétele: $V_{v\acute{i}z} + V_{cem} + V_{ad} + V_{lev} = 1000 \text{ liter}$

Víztartalom (1 kg/lit)	: 183 kg	183 lit
Cementtartalom (3,1 kg/lit)	: 367 kg	118 lit
Adalékanyag (2,63 kg/lit)	: 1.830 kg	694 lit
Levegőtartalom (5-20 lit/m ³)	: -	5 lit
Összesen	: 2.380kg/m³	1.000 lit

A levegőtartalom függ:

- a konzisztenciától
- a bedolgozás mértékétől
- szerszerkezet hézagterfogatától (Vh)
- a cementpép telítettségétől



Zöldszilárdság: $0,2 \div 0,5 \text{ N/mm}^2$ (kohézió)

- S1 betonok azonnali kizsaluzása
- zsaluzat nélküli betonelem gyártás



Szétosztályozódás:

- adalékanyag leülepedése szállításkor
- szegregálódás zsaluzatba öntéskor
- cementlé felúszása vibráláskor

Térfogatvesztés (töppedés) zsugorodás (repedés)

A frissbeton telítettsége

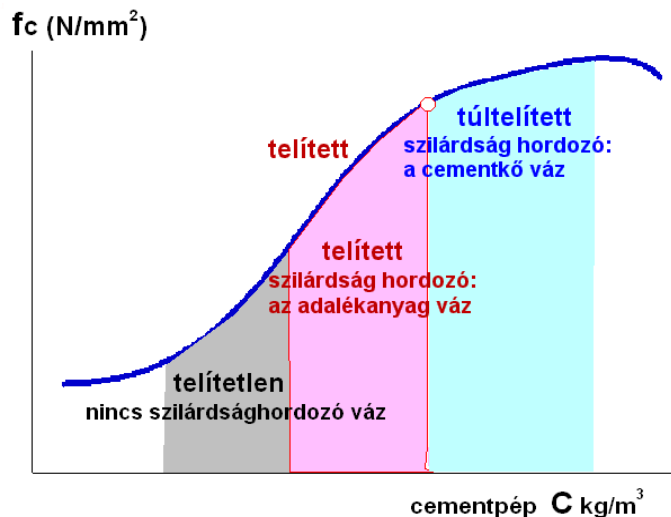
- Telítettség mértéke:
- telítetlen beton (telítettség < 100%)
 - telített beton (telítettség = 100%)
 - túltelített beton (telítettség > 100%)

A telített frissbetonban a cementpép:

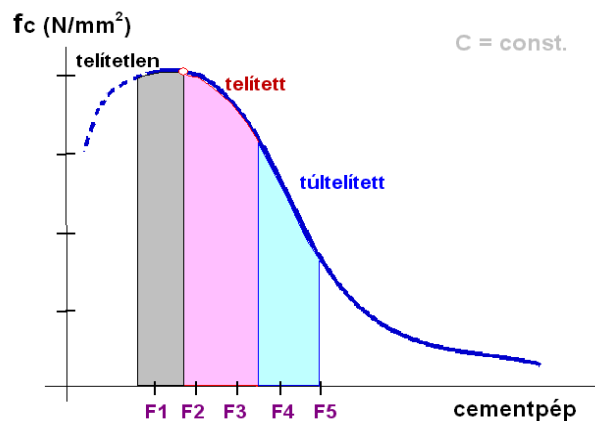
- az adalékanyag-váz hézagait éppen kitölti
- adalékanyag szemcsék felületét bevonja

Telítettség hatása:

~ a beton szilárdságára



~ a beton konzisztenciájára



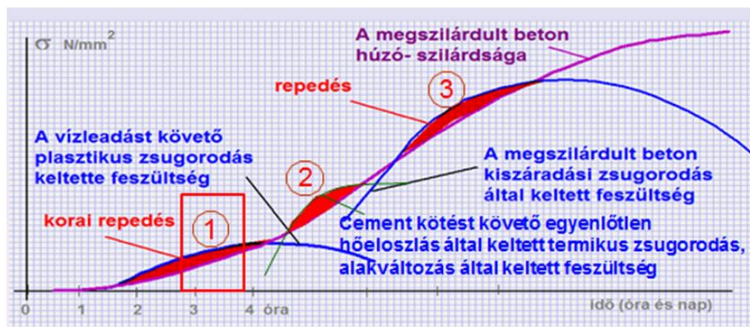
Az adalékanyag hézagterfogata: V_h

- megállapítása vizes adalékanyaggal
- szemszerkezettől függően: $220 \div 300 \text{ lit./m}^3$

Telítetlen beton: cementpép hiány (%)

Túltelített beton: cementpép többlet (%)

Frissbeton zsugorodása és repedése



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

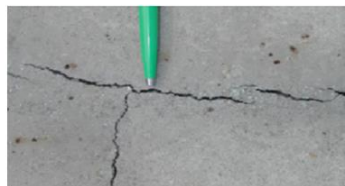
A beton kötése- és szilárdulása közötti zsugorodási jelenségek

A korai (plasztikus) zsugorodást kiváltó okok:

- túlzott vízadagolás (magas V/C)
- a gyors vízvesztést követő térfogatváltozás
- cementpép túltelítettség (magas C)
- túlzott idejű keverés (> 2 óra és átkeverés)

Védelem:

- utóvibrálás
- fólia takarás
- felületi bedörzsölés



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./m^3
- optimális cementmennyiség : kb. 300 kg/m^3

Betonok jelölése és minősítése

A beton nyomószilárdság-jelölésének értelmezése: pl. B280 → C25/30

- dimenzióváltozás (kp/cm², N/mm²)

- próbatestek mérete változott: 20 cm → 15 cm kocka és Ø henger

- átlagszilárdság helyett minősítő szilárdság, σ figyelembevétele

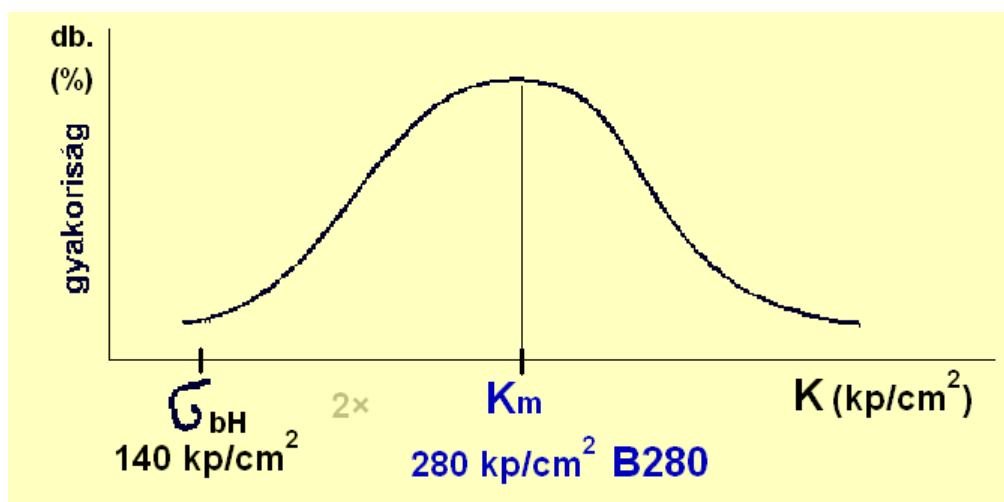


A próbatestek alakjának és méretének hatása a szilárdságra

A beton minősítésének változásai:

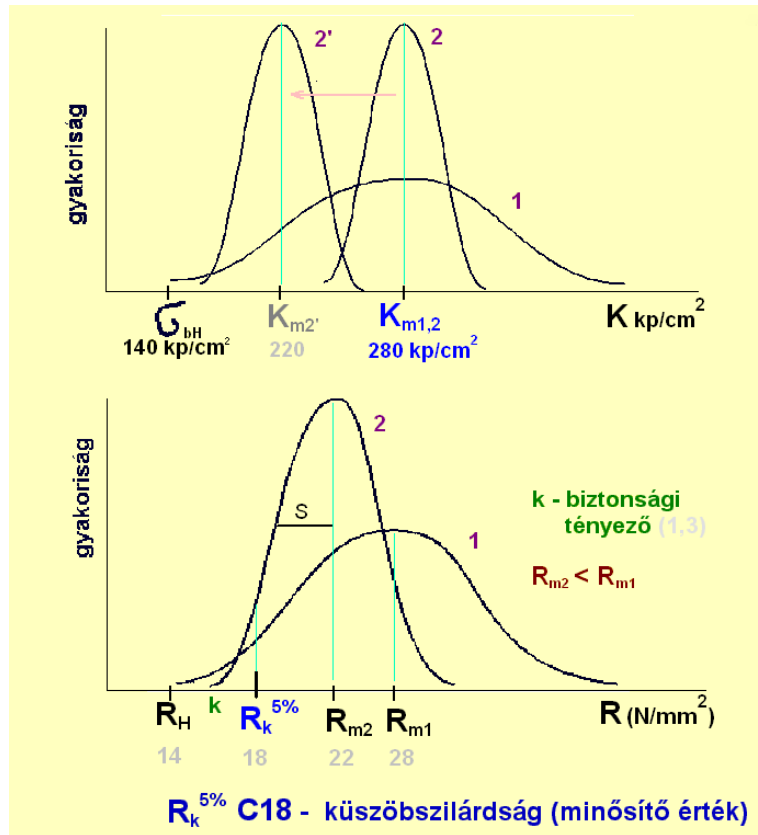
1. B280 átlag szilárdság alapján

K_m – átlagszilárdság, betonkockán mérve



2. C18 minősítő szilárdság alapján

$R_k^{5\%}$ - 5% küszöbszilárdság, hengeren meghatározva
S (szórás) figyelembevétele



3. C30/37 előirt, jellemző nyomószilárdság alapján

$f_{ck, cyl}$ (karakterisztikus érték, henger/kocka)

f_c - a beton nyomószilárdsága

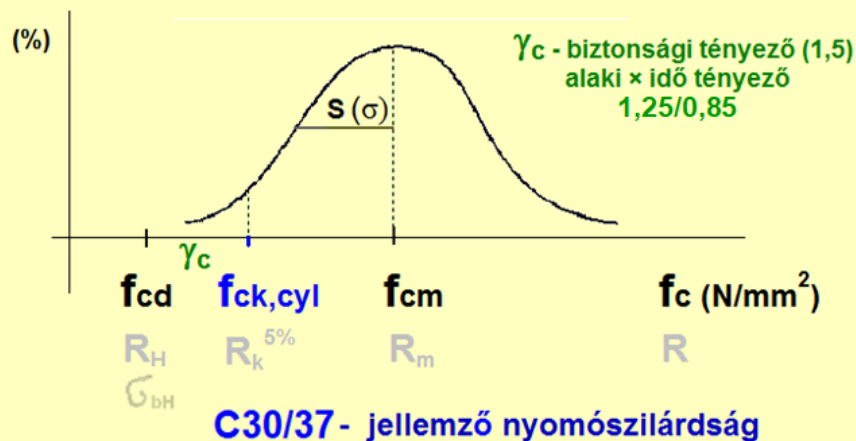
f_{cd} - tervezett nyomószilárdság (számítási érték)

$f_{ck, cyl}$ - a beton jellemző (előirt) nyomószilárdsága

5% - os alulmaradáshoz tartozó

karakterisztikus érték, hengeren vizsgálva

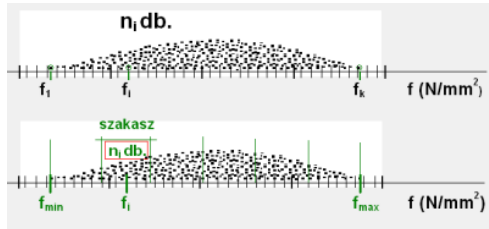
f_{cm} - a beton átlagos nyomószilárdsága



Sűrűség és eloszlás függvény

Gyakoriság vizsgálat:

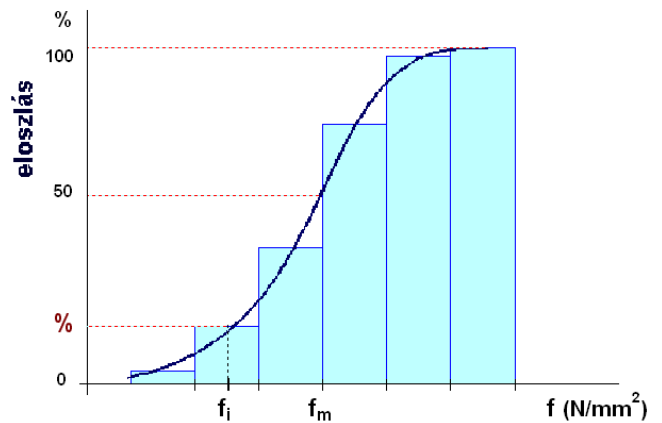
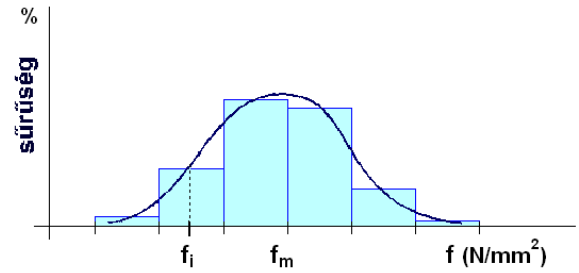
$R_1 \dots R_i \dots R_k$ R_i - szilárdság MPa
 $n_1 \dots n_i \dots n_k$ n_i - előfordulás (db)



Sűrűség függvény
(relatív gyakoriság)

$f_1 = n_1/N \dots f_i = n_i/N$
 N - vizsgálat száma összes db.

Sűrűség és eloszlás függvény



Jellemző nyomószilárdság, előírt érték

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

Jellemző nyomószilárdság:

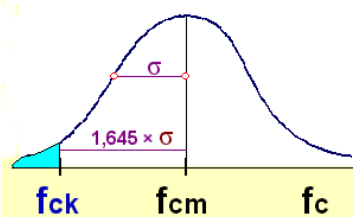
$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \times \sigma$$

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

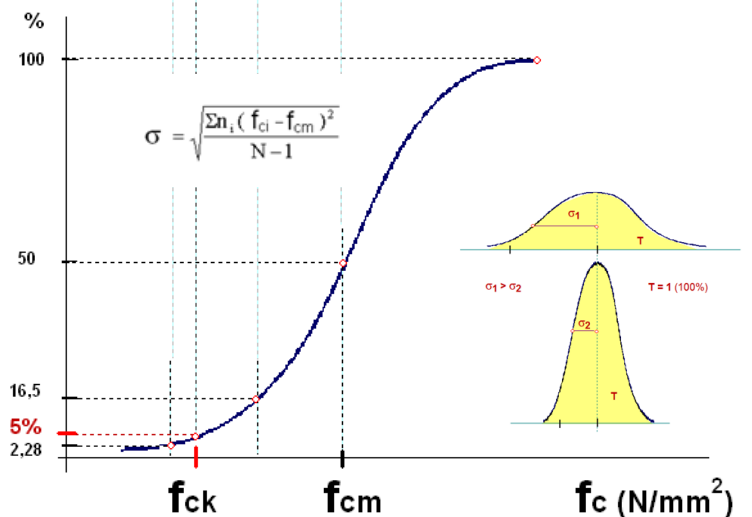
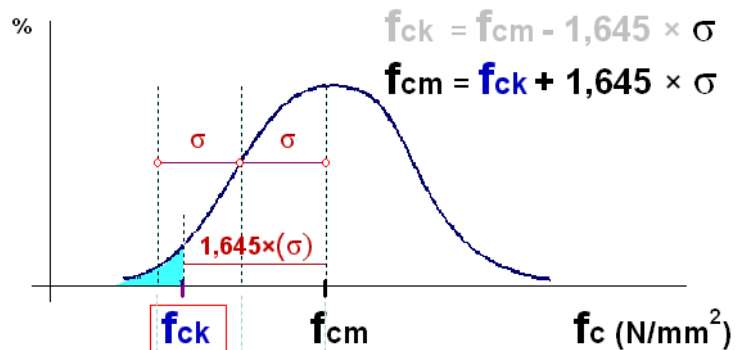
$f_{ck, cyl}$ - hengeren

$f_{ck, cub}$ - kockán

f_{cm} - átlagszilárdság



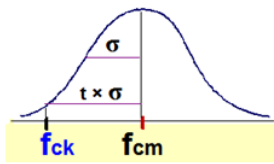
f_{ck} 5%-os alulmaradási valószínűséghez tartozó jellemző szilárdság karakterisztikus érték



A jellemző- és átlagszilárdság összefüggése

Átlagos nyomószilárdság meghatározása:

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



t - darabszám tényező

$$N \geq 40 \text{ db. } t = 1,645$$

$$N = 15 \quad t = 1,76$$

$$N = 10 \quad t = 1,81$$

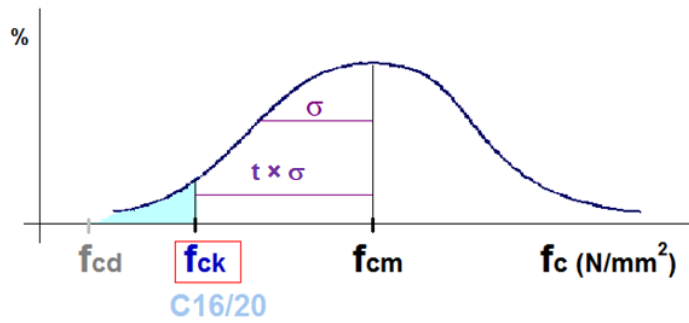
$$N = 3 \quad t = 2,92$$

σ - szórás érték:

$$2 \div 6 \text{ N/mm}^2$$

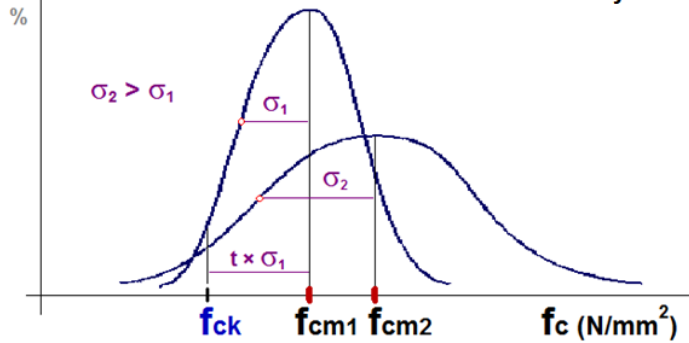
A beton szórás értékét befolyásolják:

- technológiai fegyelem
- azonos tulajdonságok
- egyenletes minőség



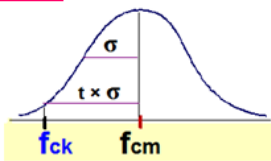
$$f_{cm} = f_{ck} + t \times \sigma$$

t- darabszám tényező



A jellemző nyomószilárdság alkalmazása

MSZ 4798 szerint:



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

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

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:

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

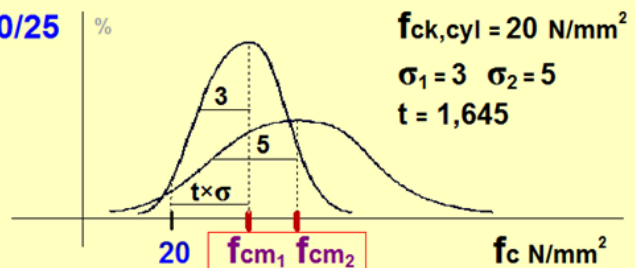
$$(\lambda_{\text{Taerwe}}: \lambda_n \geq 15 = 1,48)$$

Taerwe f. megfelelés esetén

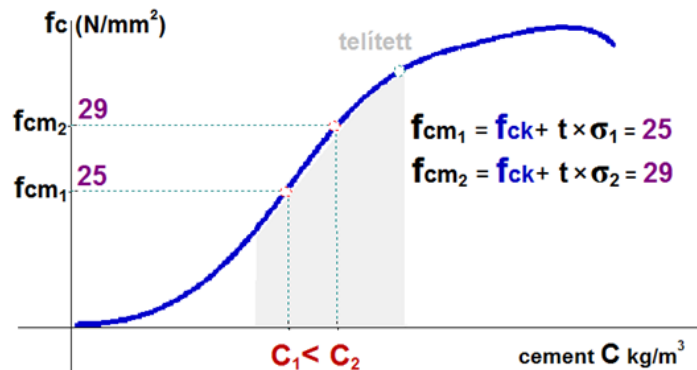
$$f_{cm} = f_{ck} + 4 \quad (\sigma = 3)$$

Mintaszám n	Student- tényező t_n	Taerwe- tényező λ_n
3	2,920	2,67
6	2,015	1,87
9	1,860	1,67
15	1,761	1,48
∞	1,645	

C20/25

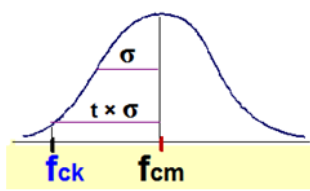


f_c (N/mm²)



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

MSZ 4798 szerint:



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

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

EuroCode 2 szerint:

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

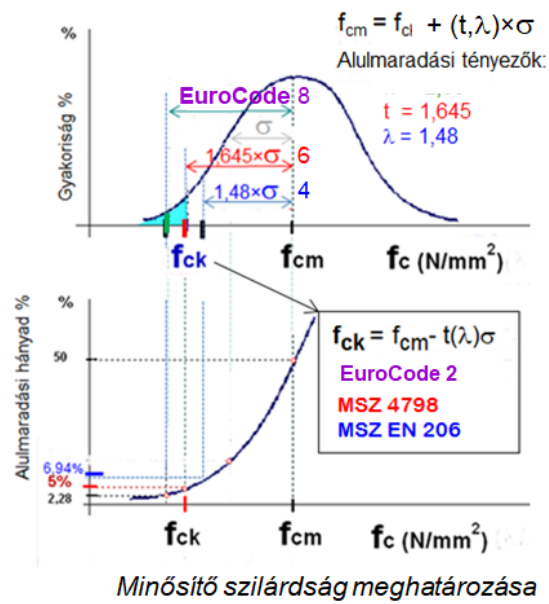
MSZ EN 206 szerint:

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

($\lambda_{Taerwe}: \lambda_n \geq 15 = 1,48$)
 Taerwe f. megfelelıség esetén
 $f_{ck} = f_{cm} - 4 \quad (\sigma = 3)$

Minısítı nyomószilárdság (f_{ck}) meghatározása

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



Minısítı szilárdság meghatározása

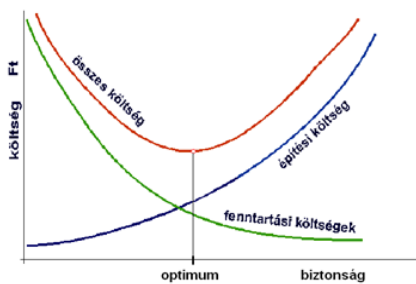
Az átadó-átvevı kockázata: 70-30% 50-50% 30-70%

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

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

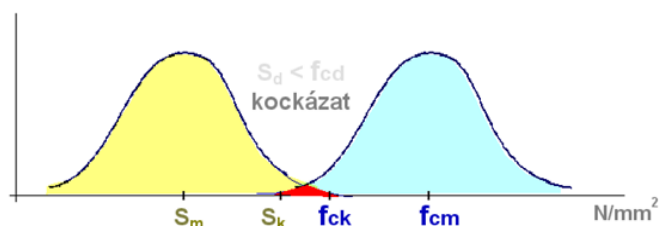
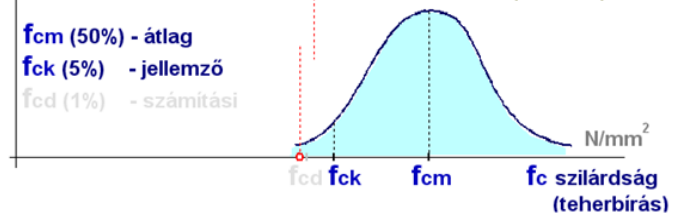
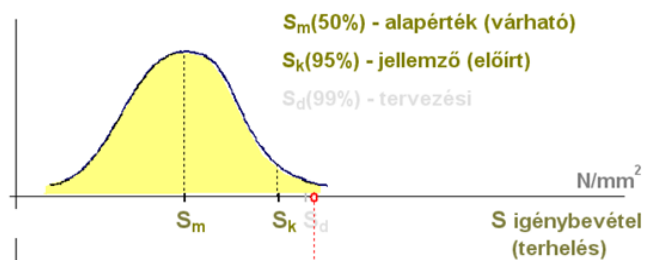
Vasbeton szerkezetek méretezési elve

Optimális biztonságon alapuló méretezési módszer



Szerkezetek biztonságának költségvonzata

Szerkezetek terhelése és teherbírása →



Betonok összetételének tervezése

A beton összetételének tervezése: (1m³)

A megoldásakor figyelembe kell venni:

- az előírt betonszilárdságot
- megfelelő tartósságot (környezeti hatások)
- az adalékanyag minőségét
- a betonkeverés és bedolgozás módját
- méreti- és szerkezeti adottságokat
- az acélbetétek korrózió védelmét
- a betonszilárdítás körülményeit
- a frissbeton telítettségét
- a munkahelyi adottságtól függő szórást

Betontervezési módszerek: - tervezés matematikai egyenletekkel
- táblázatos tervezési módszer
- grafikonos tervezési módszer

Tervezési feltételek meghatározása

1. A cementfajta kiválasztása

- a beton szilárdságának biztosítása
- szulfátállóság, fagyállóság, stb.
- speciális igények kielégítése

Cél: a beton telítettségének biztosítása

Telítettséget meghatározza:

az adalékanyag hézagterfogata, cementpép mennyisége

2. Adalékanyag kiválasztása

- cementtakarékos betonhoz: Mopt. I.oszt
- agyag-iszap $f < 3\%$

Cél: minél nagyobb d_{max} alkalmazása

d_{max} meghatározása:

legkisebb keresztmetszet 1/3,
vasalás között 90%-os áthullás

Cél: minimális cementfelhasználás C_{min} .

C_{min} . meghatározása:

adalékanyag osztálya, d_{max}
szerkezet védettsége, pH biztosítás
táblázati érték: $> 125 \text{ kg/m}^3$

3. Konzisztencia megválasztása

- vb. szerkezet alakja és vasalása
 - szállítás és a tömörítés módja
 - adalékszerek alkalmazása
- Cél: minél szárazabb (F1) alkalmazása

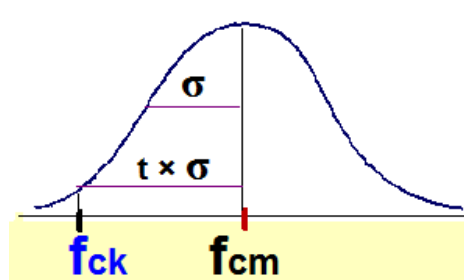
4. Átlagos nyomószilárdság meghatározása

- f_{ck} jellemző nyomószilárdság figyelembevétele
- munkahelyi szórás (σ) darabszám (t)

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

5. Ellenőrzés kitéti osztály szempontjából

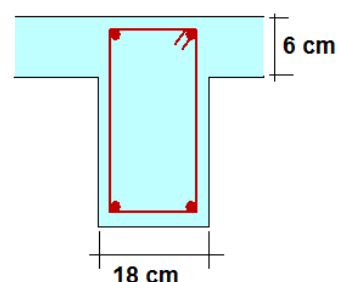
- X0 nincs korróziós kockázat
 - XC4 karbonátosodás korrózió
- $C_{min} > 300 \text{ kg/m}^3$



Kiindulási adatok meghatározása

Betontechnológiai adatok:

- betonozandó: vasbeton szerkezet
- jellemző nyomószilárdsági érték: C20/25
- konzisztencia: F3 képlékeny (helyszíni beton)
- $d_{max} = 16 \text{ mm}$ testsűrűség: 2630 kg/m^3
- nedvesség: $n_f = 2\%$ f. modulus: $m = 5,6$
- szórás: 4 N/mm^2
- $n = 10 \text{ db.}$ $t = 1,79$
- cement: CEM II/A - V32,5N
- a beton jelölése: C20/25 – 16 – F3 – XC4 (karbonátosodás)

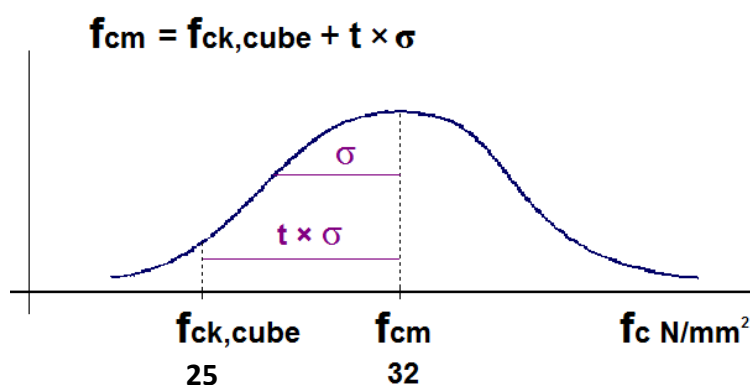


Átlagos nyomószilárdság meghatározása:

$$f_{ck, \text{cube}} = 25 \text{ N/mm}^2 \text{ (15 cm)}$$

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

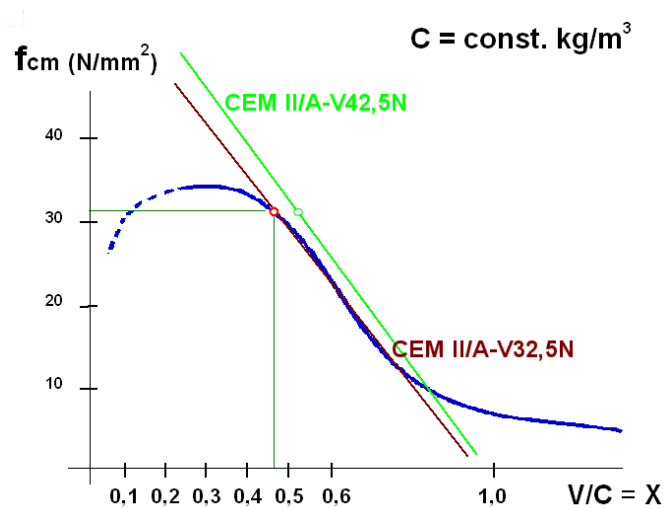
$$f_{cm} = 25 + 1,79 \times 4 = 32 \text{ N/mm}^2$$



Vízcement-tényező meghatározása

- ~ V/C és a szilárdság összefüggése
- ~ az összefüggés matematikai képlete
- ~ Bolomey-Palotás képlet

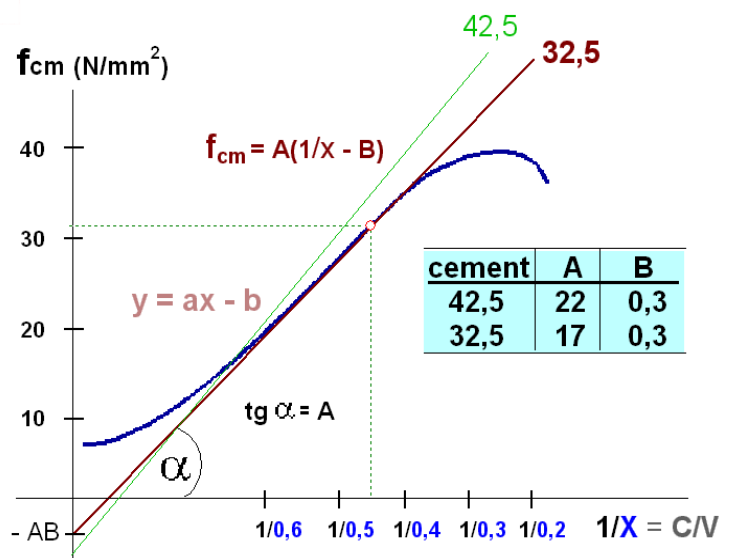
A beton szilárdságának változása a vízadagolás függvényében



A Bolomey-Palotás képlet:

$$f_{cm} = A(1/X - B)$$

a beton V/C és szilárdsága között összefüggés



VízceMENT-tényező:

$$f_{cm} = A(1/X - B)$$

$$32 = 17(C/V - 0,3) \quad C/V = 32:17 + 0,3 = 2,18$$

$$V/C = X = 0,46$$

Cement és vízmennyiség

F1 (földnedves) beton vízigénye:

$$V_{F1} = 0,1C + 23(11 - m)$$

$$X = 0,1 + 23(11 - m):C$$

Cement szükséglet földnedves betonhoz:

$$C_{F1} = 23(11 - m):(X - 0,1) = 23(11 - 5,6):(0,46 - 0,1) = 354 \text{ kg/m}^3$$

Vízszükséglet földnedves betonhoz:

$$X = V/C \quad V = C \times X$$

$$V_{F1} = 354 \times 0,46 = 163 \text{ kg/m}^3$$

Vízszükséglet képlékeny (F3) betonhoz:

$$V_{F3} = V_{F1} \times h \quad h - \text{hígítási tényező}$$

	<u>konziszt.</u>	<u>h</u>
F1		1,0
F2		1,15
F3		1,25

$$V_{F3} = 163 \times 1,25 = 204 \text{ liter/m}^3$$

Cementmennyiség: $C = 204 : 0,46 = 443 \text{ kg/m}^3$

Cementmennyiség ellenőrzése
XC4 kitéti osztály alapján:

<i>Kitéti osztály</i>	<i>Cementtartalom, kg/m³, legalább</i>	<i>Víz-cement tényező, legfeljebb</i>
X0	nincs korrózió	-
XC-1	260	0,65
XC-2	karbonátosodás 280	0,60
XC-3	280	0,55
XC-4	300	0,50

$$C = 443 \text{ kg/m}^3 > C_{\min} = 300 \text{ kg/m}^3$$

Adalékanyag és a beton összetétele

Az adalékanyag mennyisége:

$$1\text{m}^3 = 1000 \text{ lit.} = V_a + V_c + V_v + L$$

$$1\text{m}^3 \text{ friss beton levegőtartalma: } L = 5 \text{ liter}$$

<u>konziszt.</u>	<u>L lit.</u>
F1	10 ÷ 20
F2	5 ÷ 10
F3	0 ÷ 5

$$V_a = 1000 - 443/3,1 - 204 - 5 = 648 \text{ lit./m}^3$$

$$\text{Adalék tömege: } a = 648 \times 2,63 = 1704 \text{ kg/m}^3$$

Adalékanyag és a víz korrekciója:

$$a_{\text{jav}} = a + n_f \% / 100 \times a =$$

$$1704 + 2\% / 100 \times 1704 = 1738 \text{ kg/m}^3$$

$$a_{\text{jav}} - a = 34 \text{ lit. víz az adalék felületén}$$

$$V_{\text{jav}} = V - (a_{\text{jav}} - a) + V_p =$$

$$204 - 34 + 2,4 = 172 \text{ lit./m}^3$$

$$V_p = 0,1\%$$

A tervezett beton összetétele (1 m³): C = 443 kg

$$V = 172 \text{ liter}$$

$$a = 1.738 \text{ kg/m}^3$$

A friss beton testsűrűsége:

$$2.353 \text{ kg/m}^3$$

Egy keveréshez szükséges alkotók:

Betonkeverő: $V = 500 \text{ lit.}$ $\beta = 1,15$
 $V_{\text{kev}} = 0,435\text{m}^3$

Keverési utasítás: 1m^3 **1 keverés**

- cement : $443 \text{ kg} \times 0,435 = 193 \text{ kg}$ **200 kg**
 - adaléka.: $1738 \text{ kg} \times 0,435 = 756 \text{ kg}$ **785 kg**
 - víz : $172 \text{ lit} \times 0,435 = 75 \text{ lit}$ **78 lit**

Betonösszetétel tervezése táblázattal

Táblázatok sorozata d_{max} szerint.

Figyelembe vett változók: - a cement fajtája (márka)
 - d_{max} és az adalékanyag osztálya
 - a frissbeton konzisztenciája
 - a beton szilárdsági jele (osztály)

$d_{\text{max}} = 16 \text{ mm}$										
Cement	Beton	Alkotók	Adalékanyag szemmegoszlása							
			I. oszt.				II. oszt.			
			F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
32,5	C20	Cement	280	330	380	450	310	360	430	500
		Víz	135	155	185	215	150	180	210	245
		Adalék	1 950	1 950	1 830	1 690	1 870	1 860	1 720	1 570
	C16	Cement	250	280	330	400	270	310	380	450
		Víz	135	155	180	210	150	180	205	240
		Adalék	1 950	1 950	1 880	1 740	1 870	1 870	1 780	1 620
	C12	Cement	210	240	270	320	240	270	320	370
		Víz	135	155	180	210	150	180	200	235
		Adalék	1 950	1 950	1 930	1 810	1 870	1 870	1 840	1 700
42,5	C20	Cement	240	270	300	370	270	310	350	410
		Víz	135	155	180	210	150	180	200	240
		Adalék	1 950	1 950	1 910	1 770	1 870	1 870	1 810	1 660
	C16	Cement	210	230	260	320	230	265	300	340
		Víz	135	155	180	210	150	180	200	235
		Adalék	1 950	1 950	1 940	1 810	1 870	1 870	1 860	1 730
	C12	Cement	190	210	230	270	205	230	260	300
		Víz	135	155	180	210	150	180	200	235
		Adalék	1 950	1 950	1 950	1 860	1 870	1 870	1 870	1 760

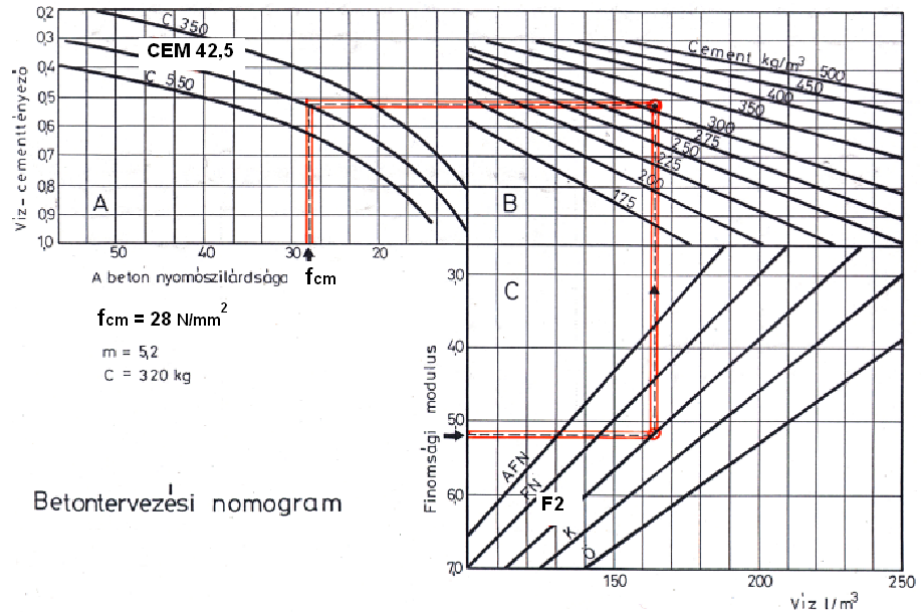
$d_{\text{max}} = 32 \text{ mm}$

32,5	C16	Cement	230	260	320	360	270	300	370	430
		Víz	120	140	170	190	140	165	195	225
		Adalék	2 000	2 000	1 920	1 830	1 950	1 950	1 810	1 680

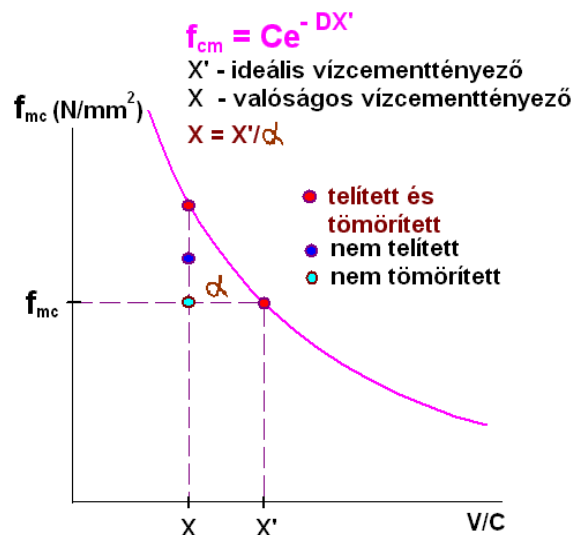
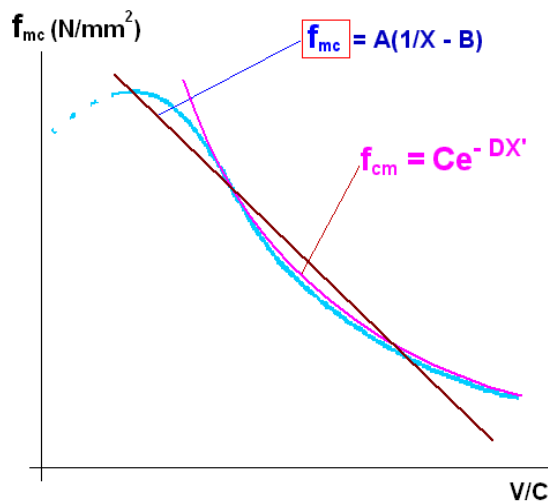
Cement-megtakarítási lehetőségek:

- 16 mm, II.o, F3, C32,5	$\sigma = 4$: 380kg	kg
- adalékanyag osztály (I.o)		: 330	- 50
- dmax növelés (32 mm)		: 370	- 10
- konzisztencia (F1)		: 270	- 110
- cementmárka növelés (42,5)		: 300	- 80
- szórás csökkentés ($\sigma = 2$)		: 320	- 60
- I.o, 32 mm, F1 együtt		: 230	- 150
- szórás növekedés ($\sigma = 6$)		: 430	+ 50

Betontervezés grafikonnal (nomogram):



Betontervezési nomogram



- A beton levegőtartalma:**
- hiányos tömörítettségéből
 - péphiány (telítetlenség) miatt
 - a víz elpárolgásából

- C és D** - kísérleti állandók (ld. A; B)
- α - a beton levegőtartalmától függő tényező

Ujhelyi-féle betontervezési módszer

A beton készítése

A betonekészítés munkamenete:

- alapanyagok fogadása és tárolása
- betonösszetevők mérése és adagolása
- a beton keverése
- a friss betonkeverék szállítása
- a beton bedolgozása és tömörítése
- a beton szilárdítása és utókezelése

Beton alapanyagainak fogadása és tárolása:

fogadás: önürítés, speciális markoló, vagonfordító, serleges elevátor

osztályozás : vibrációs és rezonancia rosta, dobrosta
hidrociklon (Rheax)

szállítás: szállítószalag, serleges elevátor, radiális kotróveder

tárolás : szabadtéri depóniák
silók és tartályok

Ömlesztett cement: - túlnyomásos cementszállító gk.

- csigaszállítók
- cement silók



Adalékanyag tárolása



Cementszállító gépkocsi



Adalékanyag tároló silók



Cement tárolása, adagolása és mérése

Betonösszetevők mérése és adagolása:

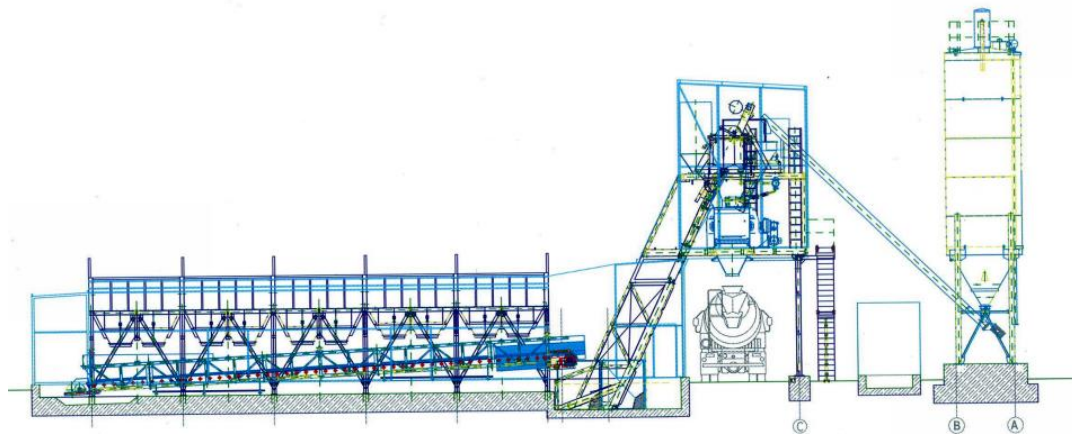
adalékanyag : térfogat és tömeg szerint
összegző és soros
automata fotocellás
pneumatikus szektorzárás

cement: forgócellás és csigás adagoló

víz: automata vízmérő óra (áramlásmérő)
billenő-edényes vízadagoló
radioizotópos mérőszonda
elektromos műszerekkel ellenőrizve



Szektorzárás adagoló



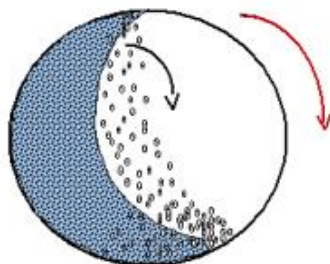
Adalékanyag és cement (tárolás, adagolás, mérés)

A beton keverése

A beton előállítás: szabadon ejtő- és kényszerkeverővel

Szabadon ejtő keverők:

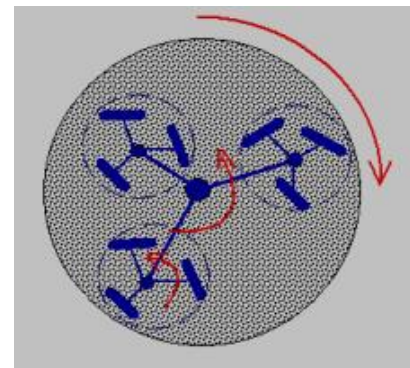
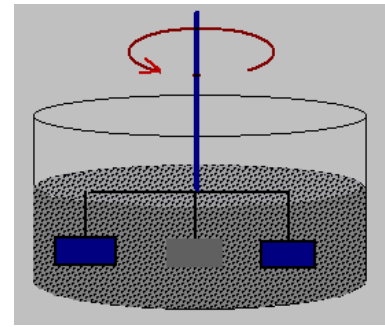
- keverés gravitációs úton
- F3 és F4 konzisztenciákhoz
- különböző d_{max} betonhoz
- adagolás sorrendje
- keverési idő



Szabadon ejtő betonkeverő

Kényszerkeverők:

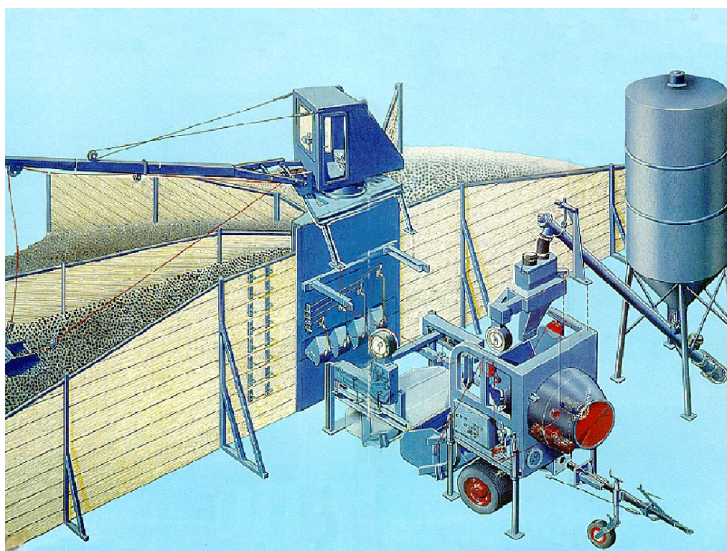
- intenzív keverés
- egyenletes betonkeverék
- F4, F3, F2, F1 konzisztenciákhoz
- adagolás sorrendje: A + C + V
- keverési idő: 1,5 ÷ 2 perc



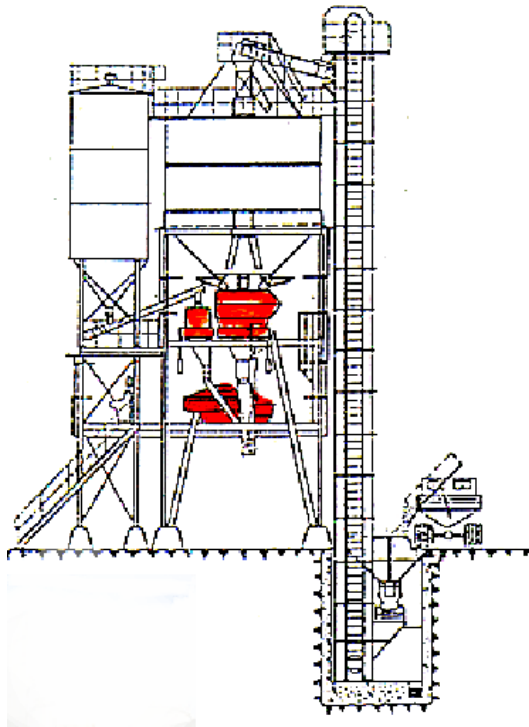
Forgódobos ellenáramú kényszerkeverőgép

Betonkeverő központok:

- betonkeverő telepek és betongyárak
- horizontális és vertikális elrendezés
- téliesített beton előállítás
- gazdasági előny: alapanyag előkészítés automatizálás egyenletes minőség káló csökkentés



Horizontális elrendezésű betongyár



Vertikális (torony) betongyár



A beton szállítása

Szállítás üzemben belül:

- konténer (targonca, kötött pálya)
- szivattyú (pneumatikus cső)

Szállítás építéshelyre (transzportbeton):

- zártplatós gépkocsi
- betonfogadó hidraulikus ürítő tartály
- keverő-szállító mixer gépkocsi



Gépkocsi belső szerkezete



Keverő-szállító mixer gépkocsi



Hidraulikus ürítő tartály

Építéshelyi szállítás (adagolás, bedolgozás):

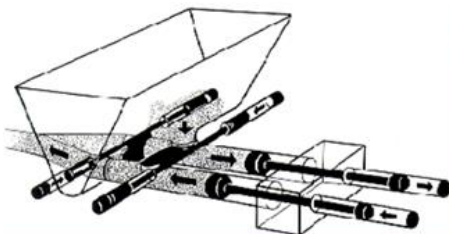
- daruzott önürítő konténer
- helyszíni betonátkeverő
- betonszivattyú autódaruval, mixer gk.
- dugattyús, pneumatikus betonszivattyú



Mixer gépkocsi szállítószalaggal



Daruzott önürítő konténer



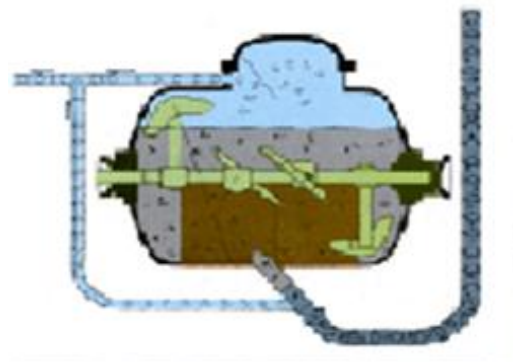
Mixer gépkocsi betonszivattyúval



Autóra szerelt betonszivattyú



Betonszivattyú alkalmazása



Mixokret betonszivattyú

A beton tömörítése

A vibrátorok működésének elve

- excentrikus tömeget forgatunk
- rezgés hatására a beton tömörödik

Követelmény a beton tömörítésekor:

- minimális hézag- és pórustartalom

A tömöríthetőséget befolyásolják:

- a beton konzisztenciája és telítettsége
- az adalékanyag alakja
- a szerkezet alakja, tömege, vasaltsága

Betontömörítési eljárások:

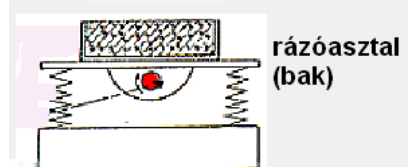
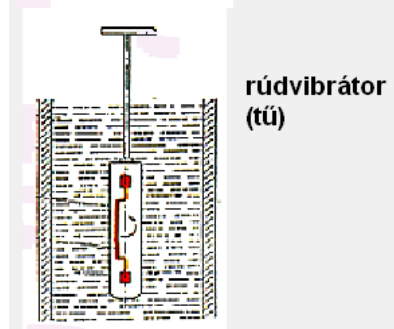
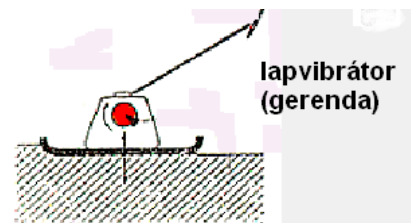
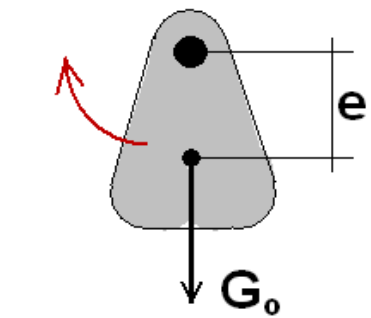
- csömöszölés és döngölés
- sajtolás és préselés
- hengerlés és centrifugálás
- vákuumozás
- vibrálás

Vibrációs betontömörítés:

- rezgésbe hozza a beton alkotóelemeit
- lecsökken a szemcsék közötti súrlódás
- viszkózus folyadékként viselkedik a beton
- adalékanyagból vázszerkezet jön létre

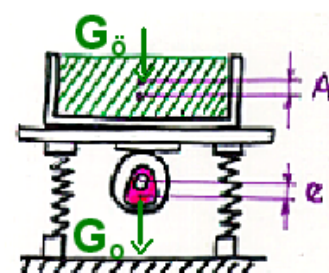
Vibrátorok típusai:(betontömörítő eszközök)

- merülő rúd vibrátor
- felületi lapvibrátor
- zsalurázó vibrátor
- rázóasztal, rázóbak



Rázóasztal működési elve: $G_0 \times e = G_0 \times A$

- n - rezgésszám: 2850÷6000 f/min
- A - amplitudó : 0,03÷0,1 mm
- G_0 - vibró tömeg (erő)
- G_0 - vibrált tömeg
- e - excentricitás



Betonszilárdítás

Frissbeton védelme:

- utókezelés
- fólia takarás és műanyag bevonat

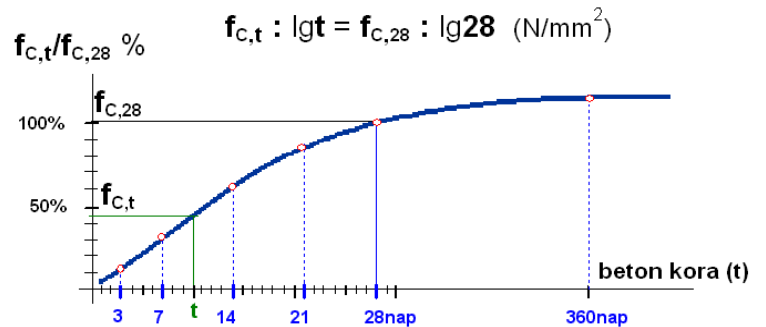
Beton szilárdulása:

- természetes (15÷20 °C)
- mesterséges

Természetesen szilárduló beton
28 napos szilárdsága: $f_{c,28}$

A lassú szilárdulás hátrányai:

- elhúzódo építkezési ütem
- lassú kiszaluzás- és sablonforduló



A beton szilárdulásának üteme

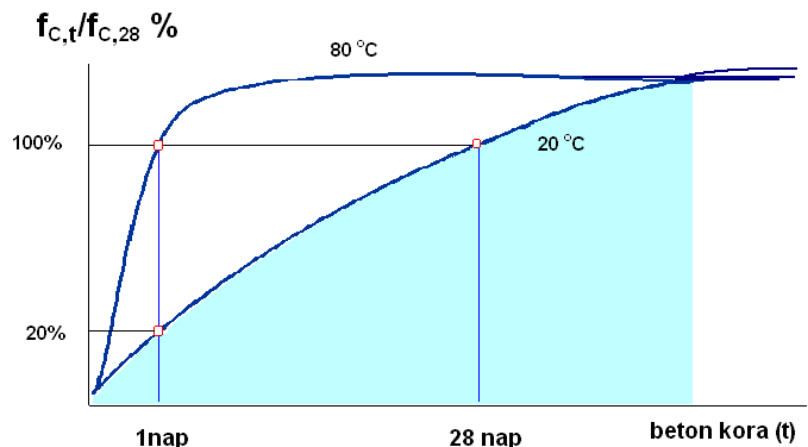
Betontechnológia szilárdságok:

- kiszaluzási szilárdság: $0,3 \div 0,5 \times f_{c,28}$
- feszített szerkezetek : $0,7 \times f_{c,28}$
- szállítás és szerelés : $0,8 \times f_{c,28}$

Betonszilárdítás gyorsításának módszerei

Hidegszilárdítások:

- cement mennyisége és minősége 42,5R
- V/C csökkentése, F1 alkalmazása
- vegyszeres betonszilárdítás
- adalékanyag és keverővíz előmelegítése



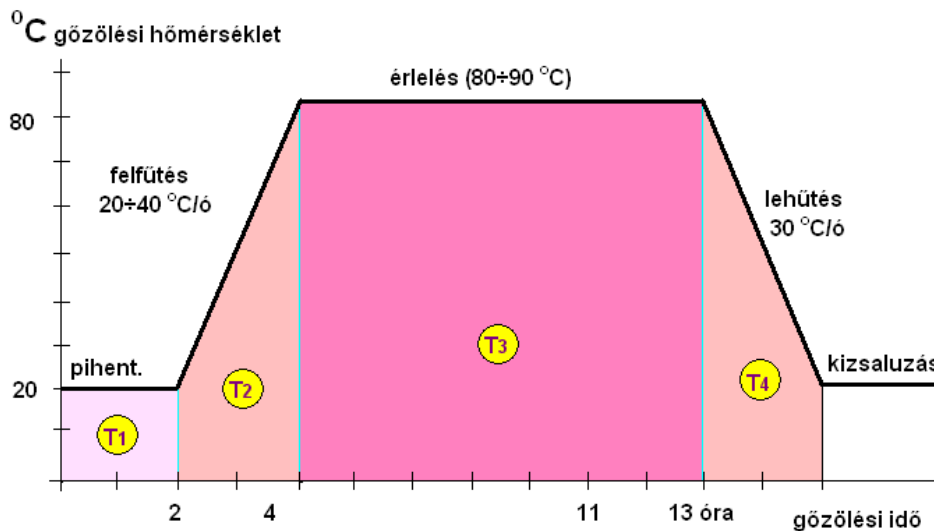
Hőszilárdítások:

- a beton melegítése (hősugárzók)
- gőzölés: gőzölő akna, búra, kamra, alagút, tálcás sablon, stb.
- autoklávozás (9atm. 185 °C)
- elektromos áram (fűtőkábelek)
- infravörös sugárzók

A betonszilárdulás üteme a °C függvényében

A beton gőzölése:

- gőzölés szakaszai: 1. pihentetés; 2. felfűtés; 3. érlelés; 4. lehűtés



Hőmérséklet x idő szükséglet :

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 600 \div 900 \text{ ó} \times \text{°C}$$

600 óxC: - CEM 42,5R és fehér cement; V/C = 0,3; F1 konzisztencia

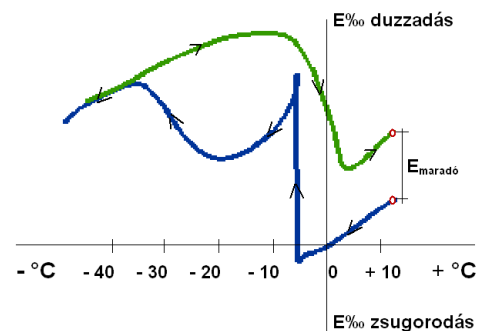
900 óxC: - CEM II/B-S32,5N; V/C > 0,6; F4 konzisztencia; könnyűbetonok

Fagy hatása a beton szilárdulására:

- csökken a cement hidratációja (- 5 °C a hidratáció 10%- os)
- lassul a cement kötése, megáll a beton szilárdulása
- a jég szétroncsolja a betonszerkezetet

Fagy hatása a friss betonra:

1. Kötés előtt fagy meg a beton ($t < 2\text{ó}$)
(minimális a károsodás)
2. Kötés közben fagy meg ($2 > t < 12\text{ó}$)
(maximális a károsodás)
3. Kötés után fagy meg ($t > 12\text{ó}$)
 $f_{cm} > 15 \text{ N/mm}^2$
minimális a károsodás)



Fagyás közbeni térfogatváltozás

A fagy hatásának csökkentése:- vegyi adalékszer (kötésgyorsító)

- kis V/C alkalmazása, F1 konzisztencia
- CEM 42,5R (rapid cement + Q)
- hőszigetelt zsaluzat (takarás)
- a szerkezet melegítése (fűtött zsaluzat)
- melegbeton készítés (termosz módszer)
- légpórus-képzés (ez csak szilárd állapotban!)

Betonadalékszerek

Betontechnológiai igények:

- bedolgozhatóság, szivattyúzhatóság
- nagy kezdőszilárdság
- fagyállóság, vízzáróság, stb.

Felhasználásuk célja:

- betonkeverék tulajdonságának javítása
- szilárdulási folyamatok befolyásolása
- a beton tulajdonságainak javítása

Adalékszerek:

- folyadék- és por formában
- adagolás: keverővízbe és poranyagként
- mennyiség: a cement tömegének 0,2÷3%-a

Adalékszerek főhatásuk alapján:

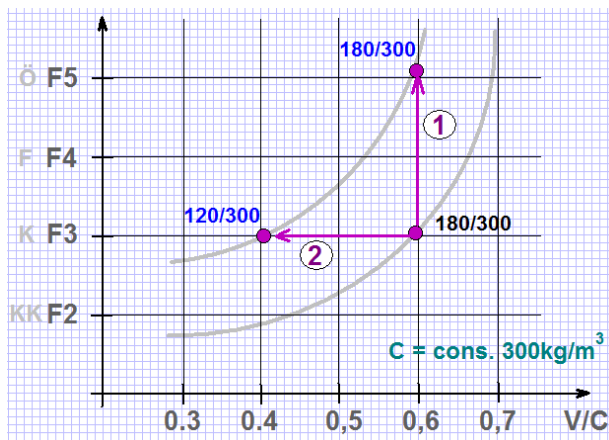
- konzisztencia javító anyagok
- légbuborék (pórus) képző adalékszerek
- kötés- és szilárdulás szabályozók
- vízzáróságot fokozó és tömítő anyagok
- felületkezelő adalékszerek



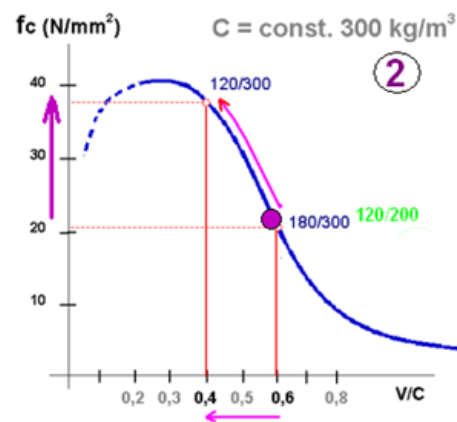
Konzisztencia javító adalékszerek

Plasztifikátorokkal elérhető hatások:

1. Hígul a friss betonkeverék konzisztenciája, javul a bedolgozhatóság.
2. Azonos konzisztenciánál csökken a vízigény, növekszik a betonszilárdság



Konzisztencia változása a V/C függvényében

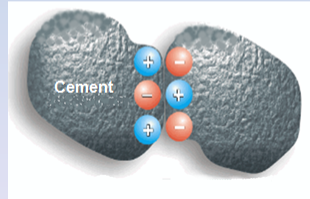


V/C hatása a beton nyomószilárdságára

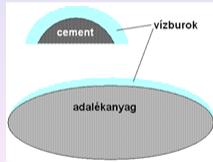
A plasztifikátorok alkalmazásával elérhető hatások

A betonok konzisztenciáját befolyásoló tényezők:

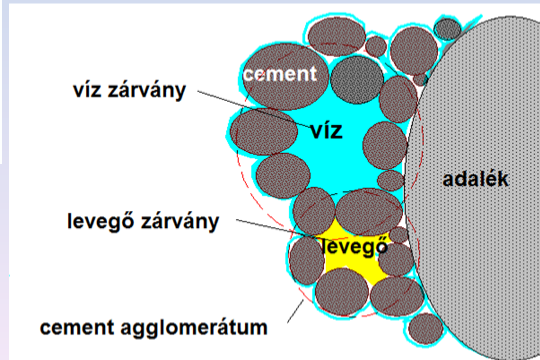
- cement szemcsék agglomerálódása (elektrosztatikus feltöltöttség)
- víz- és levegő zárványok kialakulása a friss betonban
- vastag vízréteg a cement szemcse felszínén (felületi feszültség)



Elektrosztatikus vonzerő a cement szemcsék között



Vastag vízburrok a cement felszínén



A friss betonkeverék struktúrája, cement agglomerátumok a betonban

A víz felületi feszültségének kialakulása:

kovalens kötés

dipólusos vízmolekula

A vízmolekula szerkezete

hidrogénkötés

$(H_2O)_2$

H_3O^+ - oxonium

OH^- - hidroxil

$(H_2O)_3$

$(H_2O)_5$

Vízmolekulák hidrogénkötése

levegő

víz

hidrogén kötés

dipólus k. hatás

kohéziós erő

A víz felületi feszültsége

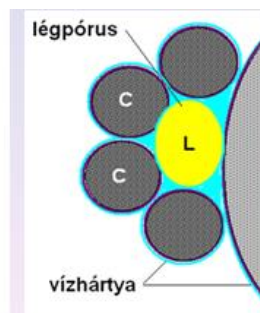
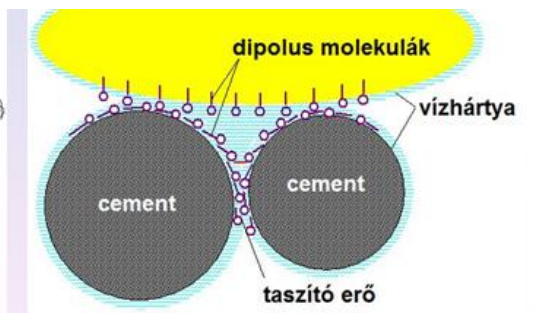
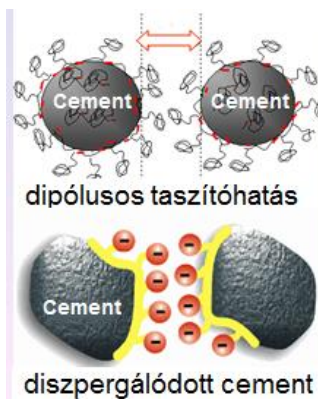
+ hidrofób

- hidrofil

dipólus molekulák szénhidrogének

levegő

víz



A folyósító adalékszerek hatásmechanizmusa

A plasztifikátorok működési hatásmechanizmusa:

1. Csökkentik a víz felületi feszültségét
 - csökken a vízburok vastagsága
 - megszűnnek a víz-levegő zárványok
2. Megszüntetik a cement agglomerátumokat
 - diszpergálódnak a cementszemcsék
 - növekszik a beton mobilitása
3. Mellékhatásként, légbuborékok képződnek
 - hosszabb lesz a cement kötésiideje

Plasztifikátorok alkalmazása: - betonszállítás szivattyúval
- betontömörítés (vibrálás) nélkül
- szilárdság növelés V/C csökkentéssel
- vízzáróság növelés tömörséggel

Plasztifikáló adalékszerek:

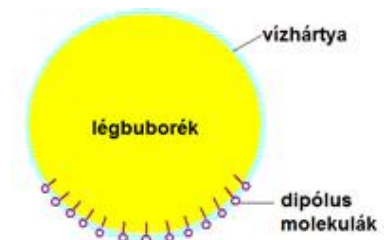
Képlékenyítők (P): Murexin DM; Stabiment MF
Folyósítók (F): Viskoment V; Sika ViscoCrete



Légbuborék (légpórus) képző adalékszerek

Légbuborék képzőkkel elérhető hatások:

- csökken a beton vízzel való telítődése
- nő a megszilárdult beton fagyállósága
- javul a frissbeton szivattyúzhatósága



Hatásmechanizmus:

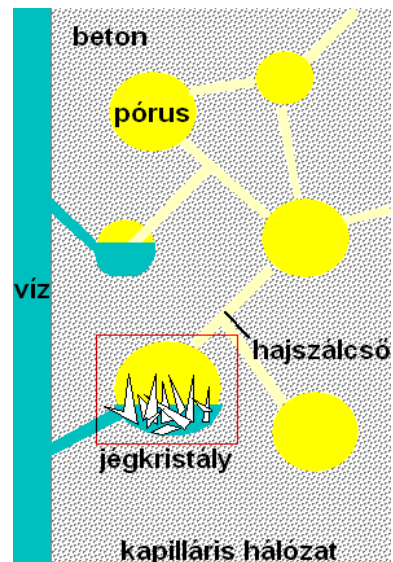
- A dipólusos (hidrofil, hidrofób) molekulák légbuborékokat képeznek a friss betonban
- légzárványok helyett egyenletesen eloszlott buborékok
 - a pórusok megszakítják a kapilláris hajsálcső hálózatot, gátolják a telítődést



Alkalmazási területek:

- fagyhatásnak kitett (pl. vízépítési) betonok
 - nem mixer gépkocsiban való szállítás
 - állékonyság növelés, gyors kizsaluzás
- + fagyállóság 3÷6 szorosára nő
- pórustartalom növekedésével csökken: R_m

Adalékszerek: Sika-Aer; Murexin Lp 10



Kötés- és szilárdulás szabályozók:

1. Szilárdulás-gyorsító adalékszerek:

- növelik a betonszilárdulási sebességét
 - a só típusúak fagyásgátló szerek is
- sók: CaCl_2 NaCl Na_2SO_4
lúgok: NaOH NaCO_3

Hatásmechanizmus:

- növelik a klinkerásványok oldhatóságát
- a felszabaduló Ca(OH)_2 -ot lekötik

Kedvezőtlen mellékhatásként növekszik:

- a cementkötés közbeni hidratációs hő
- az acélbetétek korróziós veszélye ($\text{pH} < 11$)
- a beton 'kivirágási' hajlama
- kismértékben csökkenhet a végszilárdság

Alkalmazási területek:

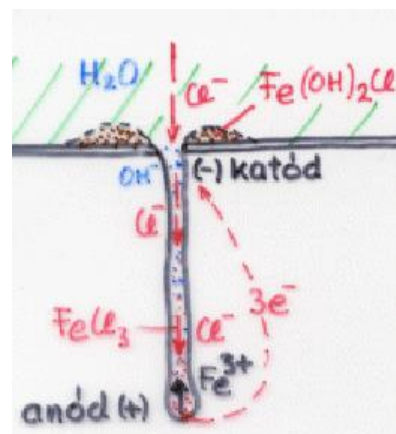
- beton és vb. elemek üzemi előregyártása
- helyszíni betonozás, télen

Alkalmazási feltételek (nem alkalmazható):

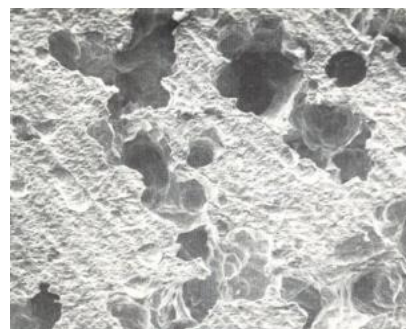
- fagypont alatti hőmérsékleten
- ha a cementkötés megkezdődik < 1 óra
- elektrokémiai korrózió veszélyekor
- feszített vb. szerkezetekhez!!!
- gőzöléses hőérleléskor

Adalékszerek:

- kötésgyorsítók: Barra Frost
- szilárdulás gyorsítók: MASTERFROST; Kalcidur; Forst Hilfe



Cl⁻ ion lyukkorróziója

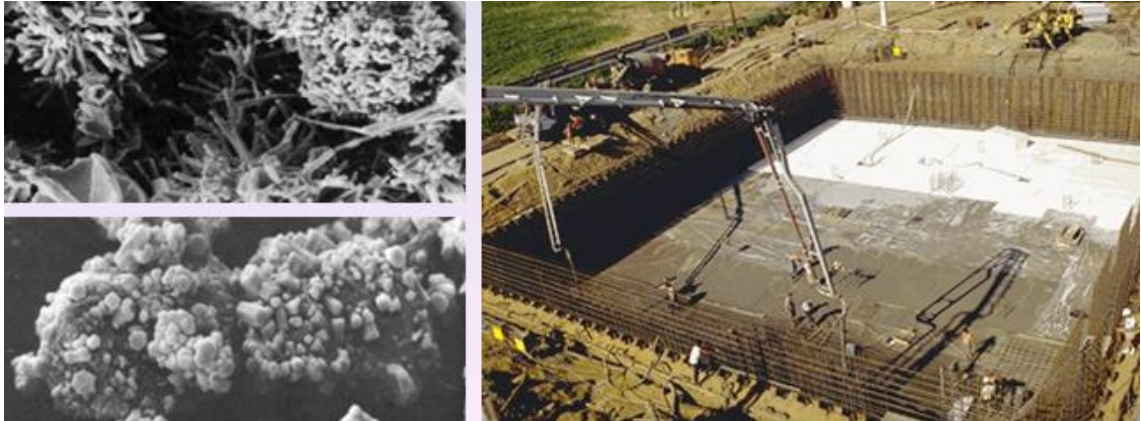


- 2. Kötéskésleltető adalékszerek:**
- adagolásukkal a beton kötése lelassul
 - a beton hosszabb időn át bedolgozható
 - kiküszöbölhető a munkahézag
 - nagytömegű betonozáskor nincs repedés

Hatásmechanizmus:

- késleltetik a C₃S (alit) hidratációját
- fékezik a hidratációs hő felszabadulását
- hatóanyaguk: cukorféleségek, keményítő származékok

Adalékszerek: Sika Retarder, Rugasol, Murexin VZ



Vízáróság fokozó- és tömítő anyagok

Tömítő adalékszerek:

- növelik a beton tömörségét
- növekszik a beton vízárósága

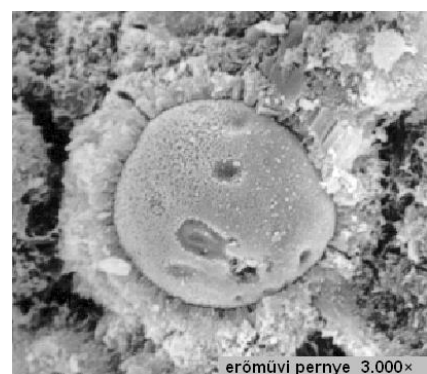
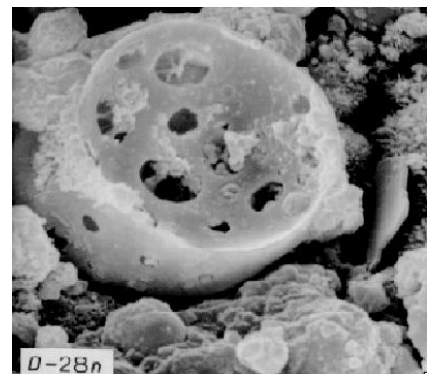
Hatásmechanizmus:

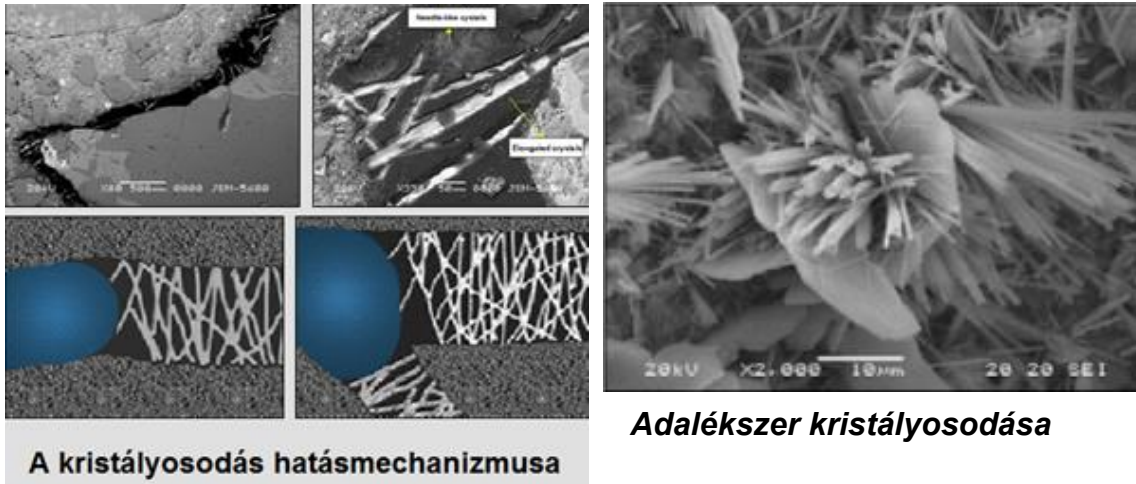
- csökkentik a keverővíz mennyiségét
- hidraulitok, Ca(OH)₂ -vel CSH-ot alkotnak

$$\text{SiO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 = \text{CaO} \times \text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$$
- vízfelvétellel duzzadnak, tömítenek
- műgyanta diszperziók

Adalékanyagok és adalékszerek:

- plasztifikálnak: Barra Normál, Sperrbarra 05
- CSH -ot alkotnak: Resolit, pernye, trassz
Resolit 131, KM 257
- duzzadva tömítenek: Bentonit
- kristályosodva tömítenek: PENETRON
XYPEX, EUROKALMATRON, Oxydtron
„Erős Beton” (proton és neutron folyamatok?)





- Alkalmazási területek:**
- vízzáró betonszerkezetek
 - vízszigetelő habarcscok
 - víztározó medencék

Felületkezelő szerek és anyagok

Formaleválasztók:

- elősegítik a zsaluzat és a beton elválását
- olajmentes, rozsdá gátló hatásúak

Felületi kötés-gátlók:

- meggátolják a cement szilárdulását zsaluzat eltávolítása után, látszóbeton.

Párazáró anyagok:

- műanyag diszperziók, vízzáró hárttyát képezve, zárják a betonfelület kapillárisait
- meggátolják a víz elpárolgását a betonból, utókezelés

Víztaszító anyagok:

- homlokzati falfelületek hidrofobizálása
- a vizet lepergetik, felszívódást gátolják
- a beton pórusait nem tömítik el, a falszerkezet légáteresztő marad

Tapadó-híd:

- erős kötést biztosít a régi betonfelület és az új betonréteg között



A megszilárdult beton tulajdonságai

Beton tömegével kapcsolatos tulajdonságok

A szilárd beton testsűrűsége:

$$\rho_t(\text{friss}) > \rho_t(\text{légszárász}) > \rho_t(\text{szárász})$$

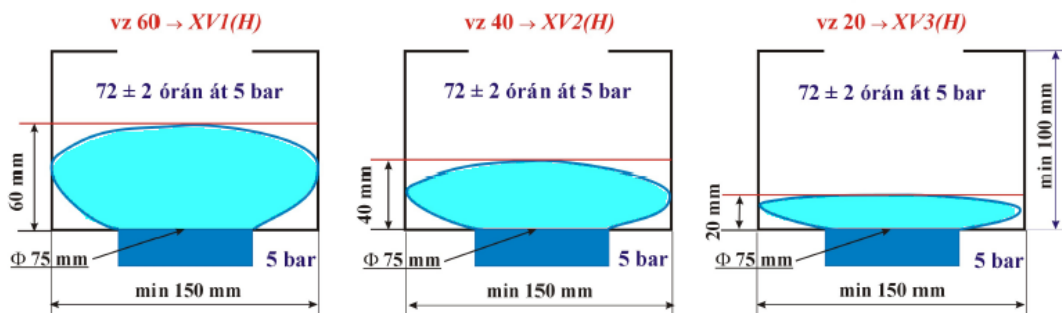
$$2380 \text{ kg/m}^3 \quad 2320 \text{ kg/m}^3 \quad 2290 \text{ kg/m}^3$$

C beton: 2001 ÷ 2500 kg/m³

A beton hidrotechnikai tulajdonságai

1. Vízzároság és vízáteresztés: d = 75mm; 5 bar víznyomás; 72 óra

A vízbehatolás mélysége: vz50 XV1H) esetén legfeljebb 50 mm
vz35 XV2H) esetén legfeljebb 35 mm;
vz20 XV3H) esetén legfeljebb 20 mm.



A vízbehatolás mélységének meghatározása

2. Fagyállóság:

Fagyállósági vizsgálat: MSZ 4719

Fagyasztási-olvasztási ciklus:

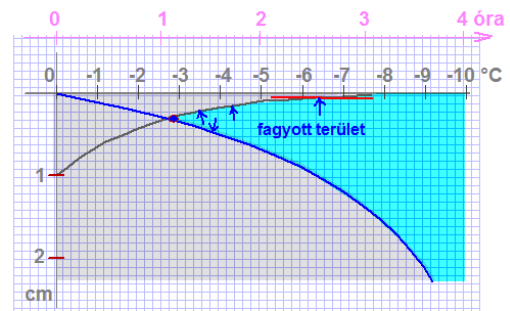
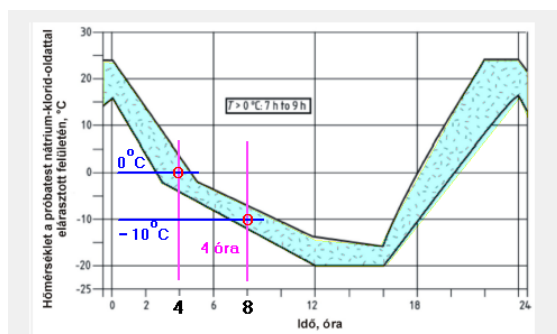
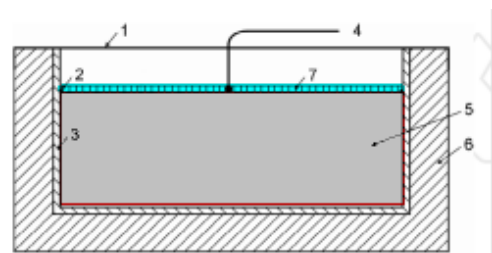
- ciklus: + 18°C víz, - 20°C
- jelölés (ciklus szám): f25; f50; f100; f150

Fagyállósági követelmények:

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

Fagy- és olvasztó só állóság: MSZ 4798

- 3%-os NaCl oldat a beton felületén
- 56 fagyasztási-olvasztási ciklus után a beton felületi lehámlását vizsgálja



A sózott beton fagyási mélysége

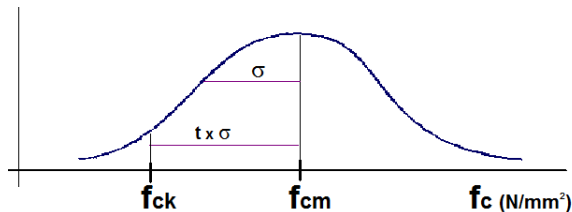
A beton szilárdsági tulajdonságai

A beton nyomószilárdsága:

Átlag és jellemző (előírt) szilárdság

$$f_{cm} = f_{ck} + t \times \sigma \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$f_{ck,cyl}$ és $f_{ck,cube}$



Értékét befolyásolják:

- a próbatest mérete és alakja
- kora (nap, év)
- nedvesség tartalma n%



Nyomószilárdsági osztályok MSZ 4798-1 szerint:

	$f_{ck,cyl} / f_{ck,cube}$		$f_{ck,cube}$
C8/10	8	10	11
C12/15	12	15	16
C16/20	16	20	22
C20/25	20	25	27
C25/30	25	30	33
C30/37	30	37	40
C35/45	35	45	49
C40/50	40	50	54
C45/55	45	55	60
C50/60	50	60	65

Nagyszilárdságú betonok:

C55/67	55	67	71
C60/75	60	75	79
C70/85	70	85	89
C80/95	80	95	100
C90/105	90	105	111
C100/115	100	115	121

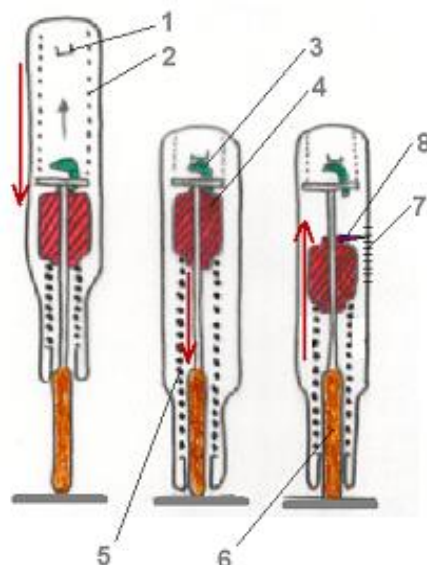
xx - végig víz alatt tárolva,
nedvesen törve (28 nap)

x - 7 napig víz alatt, majd
légszárazon tárolva és törve

Roncsolás-mentes meghatározási módszerek:

1. Schmidt-kalapács: (rugalmasság)

- a betonfelület keménysége alapján
- a rugalmas visszapattanást mérjük



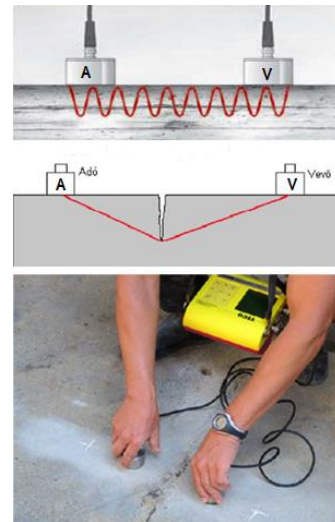
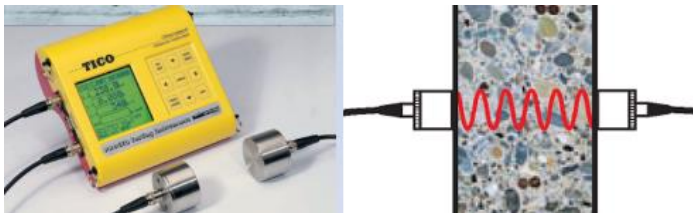
- nem közvetlenül mérjük a szilárdságot
- szilárdságot diagramból határozzuk meg
- vizsgálandó beton vtg. > 10cm
- ütésszám: 9 db/1dm²
- korrekció: ütésirány alapján

- 1 - ütöző csavar
- 2 - nyomó rugó
- 3 - kilincsmű
- 4 - kalapács
- 5 - ütőrugó
- 6 - ütőrúd
- 7 - skála
- 8 - skála mutató



2. Betonoszkóp: (homogenitás)

- ultrahang terjedési sebessége alapján



3. Mikro-roncsolásos módszerek:

- csonka kúp henger kiszakítása
- szögbelövés (HILTI puska)



4. Videó endoszkópos vizsgálat

A szerkezet rejtett részeinek és betonstruktúrájának vizsgálata



5. Geo radar: betonszerkezet rétegeinek és üregeinek kimutatása



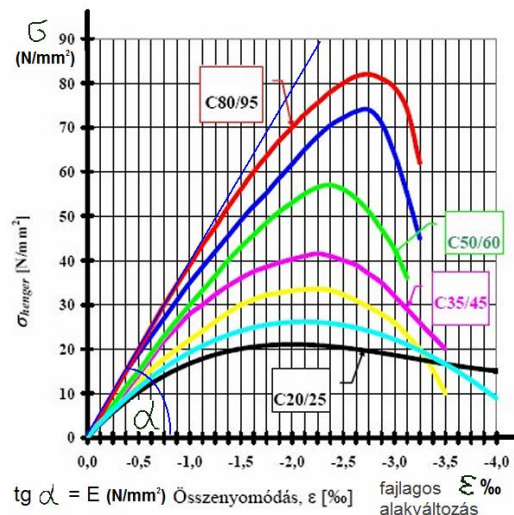
A beton alakváltozási jellemzői

A beton alakváltozását befolyásolják:

- a beton szilárdsága (f_{cm}) és kora (nap)
- a levegő relatív páratartalma %
- a beton nedvességtartalma n%
- a környezeti hőmérséklet $^{\circ}\text{C}$
- a beton cementpép tartalma (telítettség)
- a frissbeton víztartalma és V/C
- adalékanyag d_{max} és m (f. mod.)

Alakváltozások:

- rövid idejű alakváltozás (terhelésre)
- lassú alakváltozás (tartós terhelésre)
- rugalmassági modulus,
 E (N/mm^2) diagram
- zsugorodás
plasztikus és száradási zsugorodás
egyenlőtlen $^{\circ}\text{C}$ eloszlás
- hő okozta alakváltozás (dilatáció)
lineáris hőtágulási együttható

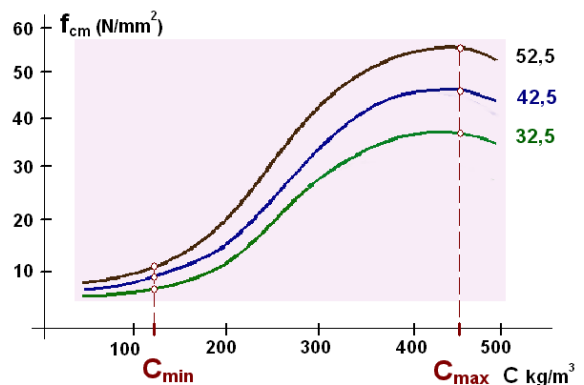
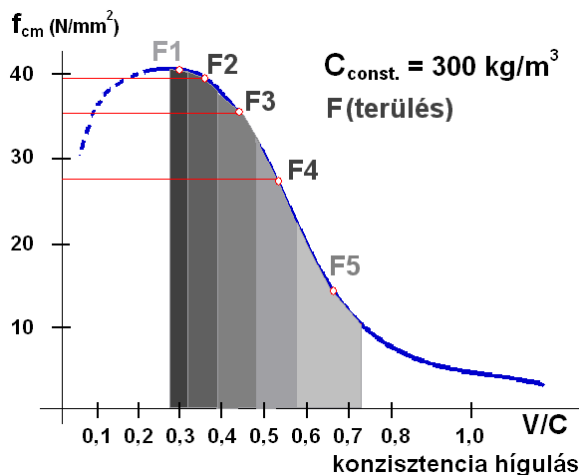


A beton rugalmassági modulusa

A beton tulajdonságát befolyásoló tényezők

1. Cementminőség és mennyiség hatása a beton szilárdságára:

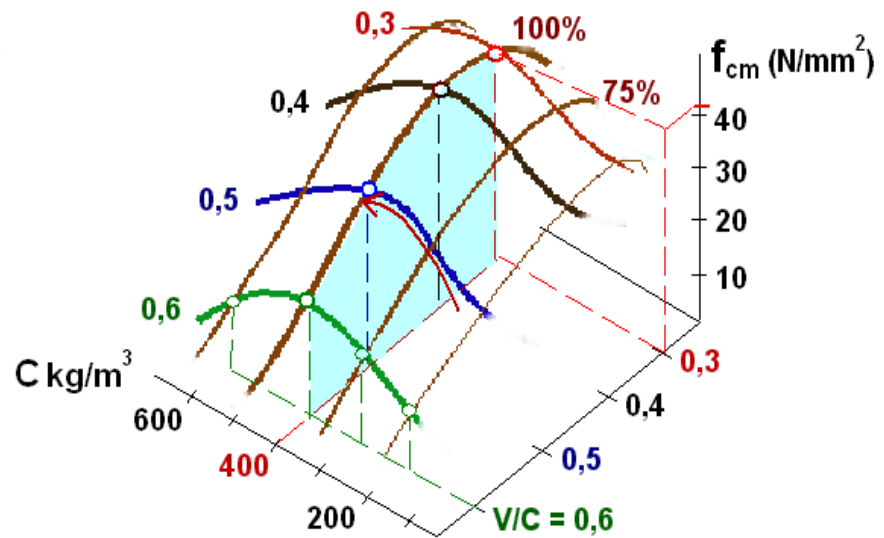
- cementtartalom
 C_{min} , C_{max}
- cementminőség



2. Vízmennyiség és konzisztencia hatása:

- V/C és konzisztencia
- V/C és szilárdság

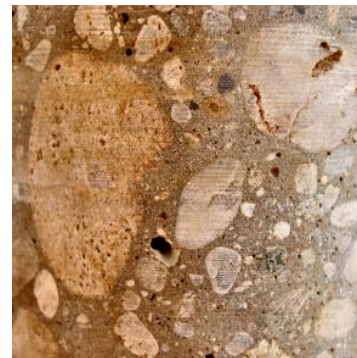
3. V/C és cementadagolás együttes hatása:



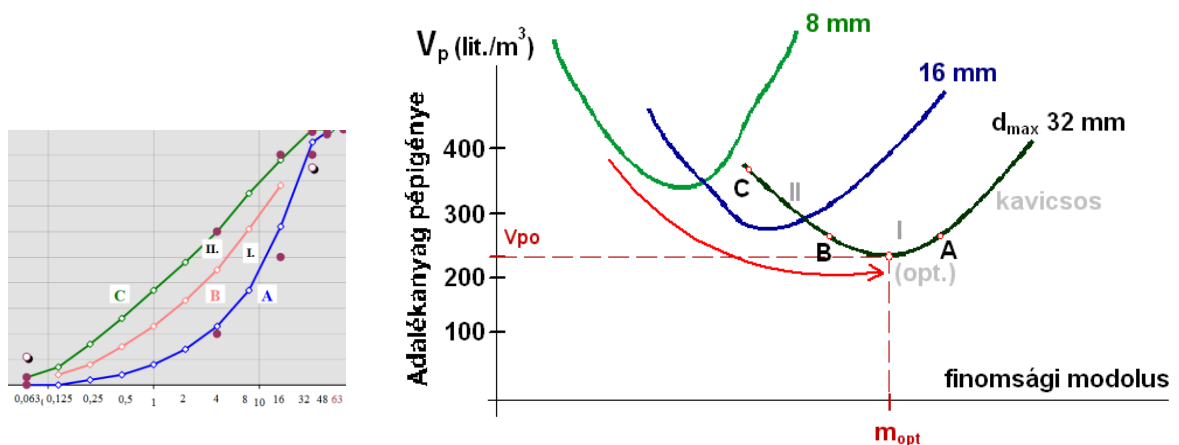
4. Adalékanyag minőségének hatása:

- szemmegoszlásra, m
- d_{max}
- alak
- agyag-iszap %,

Befolyásolják: bedolgozhatóságot
tömörséget, testsűrűséget
vízzáróságot
cementpép igényt



5. d_{max} hatása az adalékanyag cementpép igényére:



6. Betonkészítés hatása:

- betonkeverés, szórás (σ)
- betontömörítés
- szilárdulás
- utókezelés

Beton- és vasbetonszerkezetek korróziója

Betonkorrózió

Lágy víz okozta korrózió (kilúgozódás)

Lágy vizek: esővíz, hólé, kondenzvíz

Korróziós hatások:

- kioldják a Ca(OH)_2 -ot (nö a porozitás)
- csökken a pH -érték (acélkorrózió)
- $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ elbomlása (stabilitás vesztes)



Ca(OH)_2 kioldását befolyásolják:

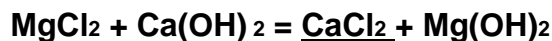
- a cement fajtája és mennyisége
- az adalékanyag aktív SiO_2^* tartalma
- a beton tömörsége és kora
- a víz keménysége és mozgása

Kioldásos korrózió (cserebomlás)

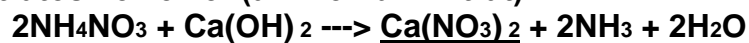
A betonra ható agresszív vegyületek: - agresszív ionok: Cl^- NO_3^-

- ipari szennyvizekben és talajvízben

Só hatása:



Nitrátos korrózió: (ammónium-nitrát)



kristályosodás, duzzadás

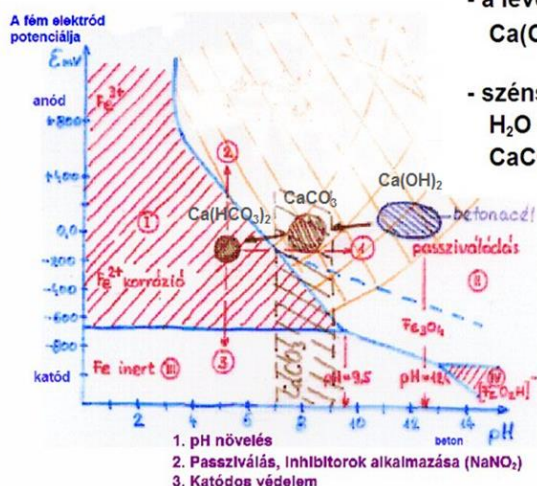
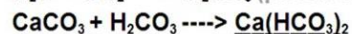
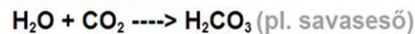
Savkorrózió: (sósav, kénsav, szénsav)

Savkorrózió:

- a levegő CO_2 hatása:



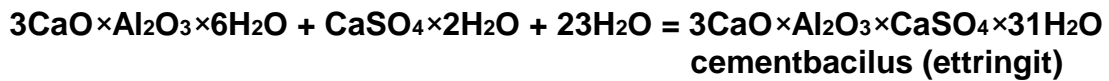
- szénsav hatása:



A vas Pourbaix (potenciál-pH) diagramja

Szulfátos korrózió (duzzadás)

Szulfátos talajvíz hatása:



Károsodás: térfogat növekedés

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

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

kohósalak vastartalma leköti az Al_2O_3 -t C_4AF ásványban



A beton korrózió elleni védelme

Beton összetételének helyes megválasztása

Agresszív hatásnak ellenálló felület képzése:

- torkretozás: lőtt betonréteg felhordása
- sav- és lúgálló műgyanta bevonatok
- vízüveg bevonat: $\text{Ca} \times \text{SiO}_3 \times \text{H}_2\text{O}$ képződik a felületen

Szigetelő bevonatok és rétegek: - betonimpregnáló- és javítóanyagok
- vízzáróság növelő bevonat

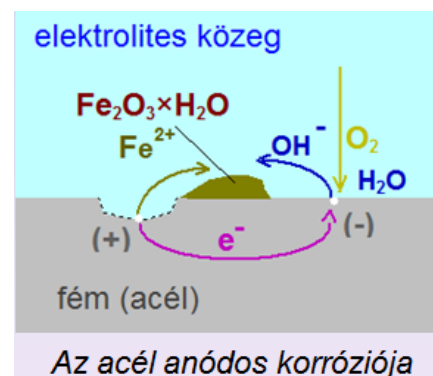
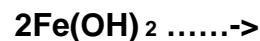
Vasbeton szerkezetek korróziója

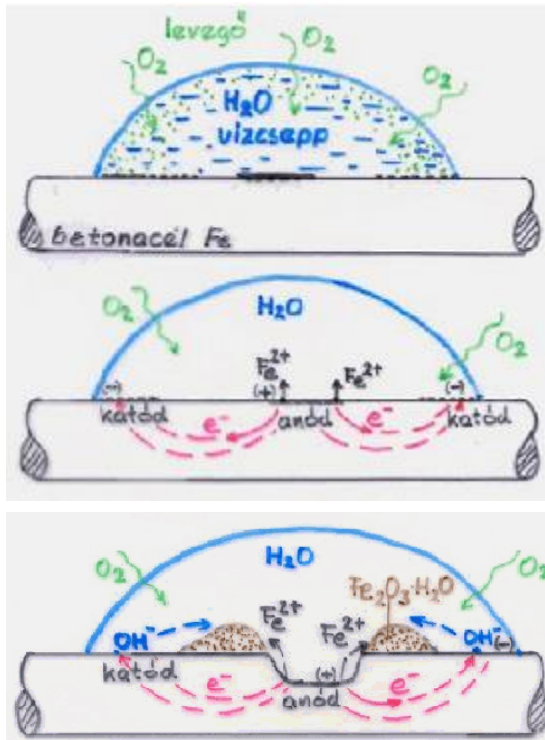
A betonacél korróziós jelenségei

Elektrokémiai korrózió:

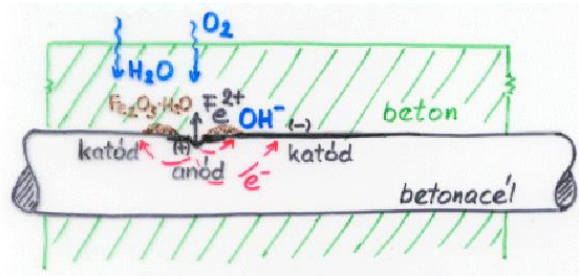
- oxigén, mint elektronegatív elem
- koncentrációs lokálem kialakulása

Korróziós folyamatok:





Az acél atmoszférikus korróziója



Vasbeton korrózió

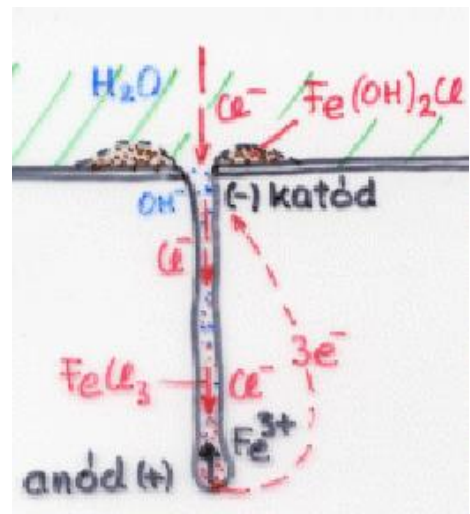
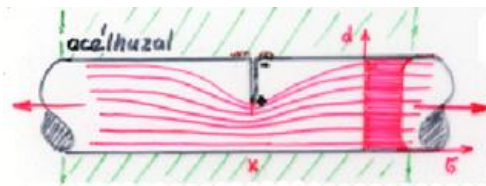
Kloridionok korróziós hatása

Lyukkorróziós reakció:



FeCl_3 -- disszociálódik--> $\text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^-$

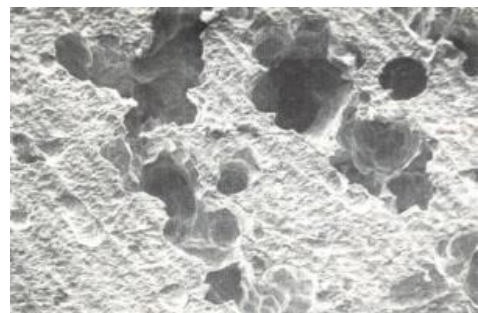
Feszültség (alatti) korrózió:



Kloridion lyukkorróziója

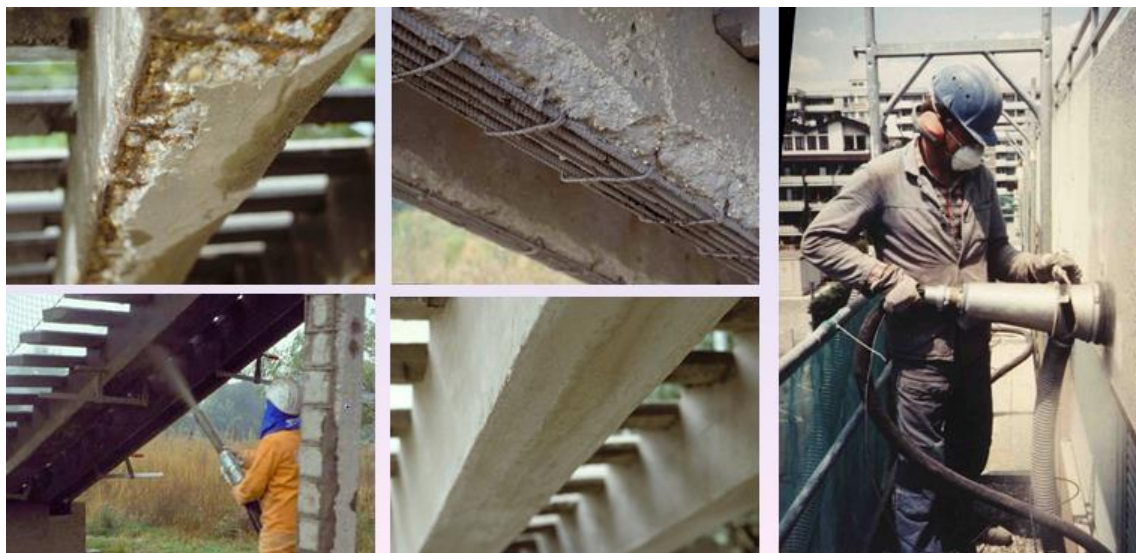


Feszítőhuzalok kloridos korróziója



Vasbeton szerkezetek rehabilitációja:

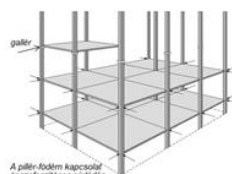
1. Károsodott betonfelület hántolása
2. Rozsdásodott vasalat tisztítása
3. Korrózióvédelem, rozsta-átalakítás
4. Tapadóhíd felhordása
5. Reprofillirozás, sérülések javítása
6. Védőbevonati rendszer készítése



A pécsi „Magasház” rehabilitációja (építés, megerősítés és bontás)

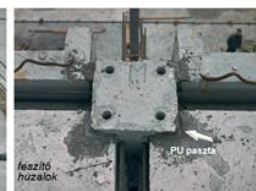
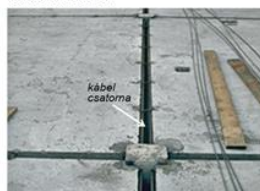


Az épület adatai: 82 m magas; 25 emelet; 18.500 m²; 252 db. lakás
Tartószerkezet: IMS földrengésálló utófeszített vasbeton vázszerkezeti rendszer.
Építés: 1974/76 Korrózió: 1983 Kikalkítás: 1989 Megerősítés: 2003 Bontás: 2016



A vázszerkezet szerelésekor

- CF iont tartalmazó habarcsot (PU pasztát) alkalmaztak.
- A kábelcsatornák betonanyagát nem tömörítették megfelelően.
- A feszítőkábelek átvezetéseit nem injektálták ki.



IMS utófeszített vasbeton vázszerkezeti rendszer



A pécsi 25 emeletes „Magasház” korróziós károsodása