

# KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK II.



Balázs György

Anyagok, szerkezet, hibamegelőzés











KÜLÖNLEGES BETONOK  
ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK  
II.

II.

DR. BALÁZS GYÖRGY

Balázs György  
Közvetlen





# KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK

## II.

DR. BALÁZS GYÖRGY

okl. mérnök,

prof. emeritus,

a műszaki tudományok doktora

Széchenyi-díjas



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

Megjelent a Magyar Tudományos Akadémia  
Könyv- és Folyóirat-kiadó Bizottsága, Az Építés Fejlődéséért Alapítvány,  
a Közlekedésfejlesztési Koordinációs központ  
és a *fib* Magyar Tagozata támogatásával

Lektor  
DR. KAUSAY TIBOR PHD  
okl. mérnök  
okl. vasbeton-építési szakmérnök  
a BME tiszteletbeli egyetemi tanára  
a műszaki tudományok kandidátusa

ISBN 978 963 05 8673 3

Kiadja az Akadémiai Kiadó,  
az 1795-ben alapított  
Magyar Könyvkiadók és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja  
1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 19.  
[www.akademiaikiado.hu](http://www.akademiaikiado.hu)

Első magyar nyelvű kiadás: 2009

© Balázs György, 2009

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó Zrt. igazgatója

Szerkesztette: Gilicze Gábor

Felelős szerkesztő: Tárnok Irén

Termékmenedzser: Kerek Anna

Nyomdai előkészítés: Alinea Kft.

A nyomdai munkálatok: Akadémiai Nyomda Kft.

Felelős vezető: Ujvárosi Lajos

Budapest, 2009

Kiadványszám: TK080029

Megjelent 36,46 (A/5) ív terjedelemben

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános előadás,  
a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát,  
az egyes fejezeteket illetően is.

Printed in Hungary



# Tartalom

Előszó .....	13
Jelölések, cementekre vonatkozó táblázatok .....	15
A cement kémiai és ásványi alkotói, cementhidratáció .....	15
Feszültség, szilárdság .....	16
Alakváltozás .....	17
Geometriai és tömegjellemzők .....	18
A cementfajták megnevezése korábbi szabványok szerint .....	19
Az MSZ EN 197/1 európai szabvány szerinti cementfajták és összetételük .....	20
2008. októberben gyártott hazai cementek .....	21
8. Látszóbeton .....	23
8.1. A látszóbeton fogalma .....	23
8.2. A nyers betonfelületek és készítésük .....	24
8.2.1. A nyers betonfelületről általában .....	24
8.2.2. A látszóbeton betontechnológiája .....	25
8.2.2.1. A cement .....	25
8.2.2.2. Az adalékanyag .....	26
8.2.2.3. Adalékszerek .....	27
8.2.2.4. A vasszerelés hatása .....	28
8.2.2.5. A beton keverése és tömörítése .....	29
8.2.2.6. Nagy látszóbeton-felületek .....	32
8.2.2.7. A látszóbeton utókezelése .....	33

8.2.3. A zsaluzat .....	34
8.2.3.1. A gyalulatlan deszkzsaluzat .....	34
8.2.3.2. Gyalult fazsalu .....	37
8.2.3.4. Préselt faforgácslemez .....	37
8.2.3.5. Rétegelt falemez .....	38
8.2.3.6. Műanyag zsalu .....	39
8.2.3.7. Acéllemez-zsalu .....	41
8.2.3.8. A zsaluzat készítése .....	41
8.2.3.9. A zsaluzat kezelése .....	46
8.2.4. A látszóbeton hibáinak okai. A hibák megelőzése és javítása ...	47
8.2.4.1. A betonfelület foltosodása .....	47
8.2.4.2. Utólagos felületszennyeződések javítása .....	49
8.2.4.3. A színegyenletesség biztosítása .....	50
8.2.4.4. A hibás, illetve helytelenül kezelt zsalu okozta hibák ...	50
8.2.4.5. Hullámos betonfelület .....	52
8.2.4.6. Erős lerakódás a betonon a zsalu hibás előkezelése miatt	52
8.2.4.7. Tisztítatlan, behomokozott és meghajlott élek .....	53
8.2.4.8. Felületi foltosodás puhafazsalu alkalmazása miatt .....	53
8.2.4.9. Egyéb technológiai hibák .....	53
8.2.5. Szempontok a látszóbeton tervezéséhez .....	55
8.2.6. Színezékek, színezés .....	57
8.2.7. A látszóbeton szerepe és módszere a metróépítésben .....	58
8.2.8. A látszóbeton készítése nyugat-európai és hazai szabályozásának összefoglalása .....	59
8.3. Adalékanyag-mintás betonfelület .....	69
8.3.1. Előre gyártott elemek homloklappal felfelé .....	69
8.3.2. Vegyes szemű adalékanyaggal készített betonfelületek .....	70
8.3.3. Homloklappal a sablon alja felé készített előre gyártott vasbeton elemek .....	70
8.3.4. Helyszínen készített adalékanyag-mintás betonfelületek .....	71
8.3.5. Egyszemcsés adalékanyaggal készített betonfelület .....	72
8.3.6. Példák az adalékmentás betonfelületre .....	72
8.4. Kőszerűen megmunkált betonfelület .....	75
8.5. Üvegszerűen megolvasztott betonfelületek .....	76
9. A habarcsok és a betonok szilárdságának növelése nedves őrléssel .....	78
9.1. A kötőanyag nedves őrlésének módszere .....	78
9.1.1. A nedves őrlés célja .....	78
9.1.2. Szovjet eredmények .....	80
9.1.3. Francia tapasztalatok .....	81



9.2. A hazai cementek nedves őrlése .....	83
9.2.1. A kísérletekhez felhasznált anyagok .....	84
9.2.2. A próbatest készítésének módja .....	84
9.2.3. Az őrlendő keverék összetétele és konzisztenciája .....	86
9.2.4. Cement és víz keverékének és a habarcsnak az őrlése .....	86
9.2.5. A habarcs és a beton nedves őrlésének időtartama .....	88
9.2.6. A különböző minőségű cementekkel készített habarcsok szilárdságnövekedése .....	90
9.2.7. A betonok szilárdságnövelése őrléssel .....	92
9.2.8. A habarcs nedves őrlése és a nagy nyomású gőzölés együttes alkalmazása nagy szilárdságú betonok előállítására .....	97
9.2.9. A habarcs nedves őrlésének hatása egyéb tulajdonságokra .....	98
9.3. Összefoglalás .....	101
10. A beton kezdőszilárdságának a növelése kristálycsírákkal .....	102
10.1. Bevezetés .....	102
10.2. Duriez szilárdulásgyorsító eljárása .....	102
10.3. A szilárdulásgyorsítás folyamatáról .....	103
10.4. A kísérlet .....	105
10.5. A kísérleti eredményekből levonható következtetések .....	111
10.6. Összefoglalás .....	112
11. Lövellt beton .....	113
11.1. A lövellt beton fogalma és technológiája .....	113
11.2. A lövellt beton bányabiztosítási alkalmazhatóságának vizsgálata ...	117
11.2.1. A vágatbiztosítás méretezése .....	117
11.2.2. Lövelltbeton-bányabiztosítás reológiai vizsgálata .....	117
11.2.3. Összefoglalás .....	124
11.3. Lövelléssel készített vízzáró vakolat .....	125
11.3.1. Bevezetés .....	125
11.3.2. Vízzáróság-vizsgálatok .....	126
11.3.2.1. A kísérleti testek anyaga .....	126
11.3.2.2. A próbatestek gyártása .....	127
11.3.2.3. A vizsgálat módszere .....	128
11.3.2.4. A vizsgálati eredmények .....	128
11.3.3. A próbatestek összetétele .....	129
11.3.3.1. A vizsgálat .....	129
11.3.3.2. A vizsgálat értékelése .....	130
11.3.4. Szilárdsági vizsgálatok .....	131





13. A beton húzószilárdsága .....	226
13.1. Bevezetés .....	226
13.2. A cementfajta hatása a beton húzószilárdságára .....	226
13.3. A cement őrlési finomságának hatása a beton húzószilárdságára ....	234
13.4. A beton húzószilárdságának növelése a cement őrlési finomságának növelése és a gőzölés együttes alkalmazása révén ....	240
13.4.1. A kísérlet leírása .....	240
13.4.2. A gőzölés és az őrlésfinomság növelésének együttes hatása a kísérlet tükrében .....	242
13.5. Egyrétegű ipari betonpadozat optimális összetételének keresése ...	253
13.5.1. A kísérlet leírása .....	253
13.5.2. A kísérleti eredmények értékelése .....	257
13.6. A durva adalékanyag fajtájának hatása a beton húzószilárdságára ...	269
13.6.1. A kísérlet leírása .....	269
13.6.2. A kísérleti eredmények .....	271
13.7. A víz-cement tényező változásának a hatása a beton húzószilárdságára a beton kora függvényében .....	274
13.8. A cement őrlési finomságának és az adalékanyag szemmegoszlásának a hatása a bazaltbeton húzószilárdságára .....	276
13.9. Vízépítési betonkísérletek nagyszemű adalékanyaggal .....	280
13.9.1. A kísérlet leírása .....	280
13.9.2. Megállapítások a kísérlet alapján .....	290
13.10. Nagy szilárdságú kavicsbetonok húzószilárdsága .....	296
13.11. Bazalt adalékanyagú betonok húzószilárdsága .....	304
13.12. A homokfajta hatása a beton húzószilárdságára .....	310
13.13. A beton húzószilárdságának a vizsgálata a kis szilárdságú kőzetekkel .....	314
13.14. Kétrétegű betonok hajlító-húzó szilárdsága .....	319
13.15. A beton húzási alakváltozási jellemzői rövid idejű terhelésre ....	322
13.15.1. A $\sigma$ - $\epsilon$ diagram jellege .....	322
13.15.2. A beton szakadó nyúlása .....	324
13.15.3. A kezdeti húzási rugalmassági modulus .....	324
14. A beton zsugorodását és lassú alakváltozását befolyásoló tényezők.	
Kis zsugorodású és lassú alakváltozású beton .....	328
14.1. A befolyásoló tényezők figyelembevétele .....	328
14.1.1. A zsugorodást befolyásoló tényezők .....	328
14.1.2. A beton lassú alakváltozását befolyásoló tényezők .....	330
14.1.3. A zsugorodás és a kúszás időbeli lefolyása .....	335



14.2. A befolyásoló tényezők hatása kísérleteink szerint .....	335
14.2.1. Az adalékanyag fajtájának a hatása a beton zsugorodására és lassú alakváltozására .....	335
14.2.1.1. Bevezetés .....	335
14.2.1.2. A kísérlet leírása .....	336
14.2.1.3. A betonok zsugorodása .....	339
14.2.1.4. A beton lassú alakváltozása (kúszása) .....	341
14.2.2. A lemezvastagság hatása a beton zsugorodására .....	343
14.2.2.1. Bevezetés .....	343
14.2.2.2. A kísérlet .....	344
14.2.2.3. Az eredmények és értékelésük .....	344
14.2.3. A vasbeton zsugorodás okozta feszültségei .....	348
14.2.3.1. Bevezetés .....	348
14.2.3.2. A kísérlet .....	348
14.2.3.3. A kísérlet eredményei .....	351
14.2.3.4. Az eredmények értékelése .....	356
14.2.4. A kalcium-klorid hatása a cementpép és a beton zsugorodására .....	361
14.2.4.1. Irodalmi adatok .....	361
14.2.4.2. A kalcium-klorid hatása a cementpép zsugorodására és duzzadására .....	362
14.2.4.3. A kalcium-klorid hatása a természetesen szilárduló beton zsugorodására .....	365
14.2.4.4. A beton zsugorodásának időbeli alakulása. A zsugorodási függvény .....	368
14.2.4.5. A kalcium-klorid hatása a gőzölt beton zsugorodása .....	368
14.3. Betonelemek zsugorodásának és lassú alakváltozásának nagyértékű csökkentése .....	375
14.3.1. Bevezetés .....	375
14.3.2. Zsugorodásmentes betonelemek .....	376
14.3.2.1. Nagy nyomáson gőzölt (autoklávolt) betonelemek	376
14.3.2.2. Atmoszferikus nyomáson gőzölt betonelemek .....	379
14.3.2.3. A lassú alakváltozás nagyértékű csökkentése .....	379
14.3.2.4. Csökkentett víztartalmú beton szilárdsága .....	381
14.3.2.5. Különböző víz-cement tényezőjű, gőzölt és szárított betonelemek szilárdsága .....	381
14.3.2.6. A szárított betonelemek későbbi szilárdsága .....	382
14.5. A tartós terhelés hatása a beton törőszilárdságára és rugalmassági modulusára .....	384

15. Prepaktbeton, kolkrébeton .....	389
15.1. Fogalma .....	389
15.2. Prepaktbeton .....	389
15.3. A kolkrébeton .....	390
15.3.1. Fogalma .....	390
15.3.2. A kolkrébeton előnyei .....	391
15.3.3. Anyagai .....	391
15.3.4. Betontervezés .....	392
15.3.5. Munkahelyi vizsgálatok .....	393
15.3.6. A szilárd beton minőségének ellenőrzése .....	394
15.3.7. Alkalmazás .....	394
15.3.7.1. A beton összetétele .....	394
15.3.7.2. Keverési idő .....	394
15.3.7.3. A kolloid habarcs szállítása .....	395
15.3.7.4. Tömegbetonok víz felett .....	395
15.3.7.5. Tömegbetonok víz alatt .....	397
15.3.7.6. Kőszórások kibetonozása .....	397
16. Pörgetett beton .....	399
16.1. Fogalma .....	399
16.2. A pörgetett beton .....	399
Irodalom .....	402







# Előszó

2007-ben jelent meg *Különleges betonok és betontechnológiák I.* című könyvem. A második kötetet 2008 októberében fejeztem be. A könyvben a különleges betonok és betontechnológiák közül kilenc szerepel. Ezeket véletlen jelleggel választottam ki. A könyv négy fő fejezetből (látszóbeton, nagy nyomószilárdságú beton, a beton húzószilárdsága, a beton zsugorodása és lassú alakváltozása) és öt kisebb fejezetből áll. A könyvet elsősorban az Építőanyagok Tanszék, ezen belül is elsősorban az általam irányított kutatásokra alapoztam. Emellett az irodalmi adatokra is tekintettel voltam.

Köszönetet mondok mindazoknak, akik ezekben a kutatásokban közreműködtek (oktatók, kutatók, technikusok, laboránsok), akiknek a fegyelmezett munkája a kutatási eredményekhez nélkülözhetetlen volt.

Bár az I. kötetben ismertettem a jelöléseket, ezek közül az e könyvben szereplőket megismételtem.

A cementek ismertetésénél a kísérletezés időpontjában érvényes jelöléseket használtam. A könyv elején a cementek régi és új jelölését szintén megismételtem.

Dr. Révay Miklós – kérésemre – megadta a jelenleg gyártott cementfajtákat. Tájékoztattott, hogy honnan lehet fehér cementet beszerezni a látszóbeton-készítéshez. Ezt a táblázatot is ismertetem a könyvben. Segítségét köszönöm.

Megköszönöm dr. Ujhelyi Jánosnak, hogy megengedte a *Betonismeretek* című kitűnő könyvéből a zsugorodási és a kúszási tényező végértékét befolyásoló tényezők becslésére vonatkozó ábráit felhasználnom a 14. fejezetben. Segítségét köszönöm. Bárhonnan vettem át anyagot, erre hivatkoztam. Ez segítséget jelentett, köszönöm.

A könyv kéziratát Pásztory Ferencné gépelte tükörbe. Az adminisztrációs munkát Sánta Gyuláné titkárnő és Bakai Krisztina hivatalsegéd végezte. Segítségüket köszönöm.

A kéziratot dr. Kausay Tibor PhD, a műszaki tudomány kandidátusa, tiszteleti egyetemi tanár lektorálta. Lelkiismeretes munkájával, tanácsaival sok segítséget nyújtott, segítségét köszönöm.

Az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék vezetőjének, dr. Balázs L. Györgynek és a Tanszék dolgozóinak a könyv írásához nélkülözhetetlen nyugodt légkört köszönöm meg.

A kötet szép kiállítása az Akadémiai Kiadó érdeme. Megköszönöm Tárnok Irén szerkesztőnek, a Kiadó és a Nyomda munkatársainak fegyelmezett közreműködését.

Kérek mindenkit, hogy észrevételeiket – javaslataikkal együtt – hozzák tudomásomra. Segítségüket köszönöm.

*A szerző*



# Jelölések, cementekre vonatkozó táblázatok

Az itt nem található jelöléseket előfordulási helyükön adjuk meg

## A cement kémiai és ásványi alkotói, cementhidratáció

Jel	Mennyiség	Mértékegység
C = CaO	kalcium-oxid	m%
S = SiO <sub>2</sub>	szilícium-dioxid	m%
A = Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	alumínium-oxid	m%
F = Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	vas-oxid	m%
M = MgO	magnézium-oxid	m%
Cs = CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	gipszkő (amit általában gipsznek neveznek)	m%
H = H <sub>2</sub> O	víz	m%
C <sub>3</sub> S = 3CaO · SiO <sub>2</sub>	trikalcium-szilikát	m%
βC <sub>2</sub> S = 2CaO · SiO <sub>2</sub>	béta-dilakcium-szilikát	m%
C <sub>3</sub> A = 3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	trikalcium-aluminát	m%
C <sub>4</sub> AF = 4CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	tetrakalciumaluminát-ferrit	m%
CH = Ca(OH) <sub>2</sub>	magnézium-hidroxid	m%
CSH	kalcium-szilikát-hidrát	m%
E = C <sub>3</sub> A · 3Cs · H <sub>32</sub> , ill. C <sub>3</sub> AF · 3Cs · H <sub>32</sub>	trisulfo-aluminát-hidrát=ettringit	m%
MS, ill. FMS = C <sub>3</sub> A · Cs · H <sub>12</sub> , ill. C <sub>3</sub> AF · Cs · H <sub>12</sub>	monoszulfo-aluminát (ferrit)-hidrát=monoszulfát	m%
T = C <sub>3</sub> A · CaC <sub>12</sub> · H <sub>10</sub>	trikloro-aluminát-hidrát	m%
F = C <sub>3</sub> A · CaC <sub>12</sub> · H <sub>10</sub>	monokloro-aluminát-hidrát=Friedel-só	m%
P <sub>H</sub>	hidratáció mértéke a portlandit víztartalma alapján	%
CSH <sub>H</sub>	hidratáció mértéke a CSH szerkezeti víztartalma alapján	%
E	Jirku szerinti optimális gipsztartalom, amelyet egyensúlyinak nevezünk és SO <sub>3</sub> (m%) = 6,08 · 10 <sup>-5</sup> · C <sub>3</sub> A (m%/g) képletből számítottunk.	m%



## Feszültség, szilárdság

$F$	terhelőerő	kN, MN
$\sigma$	terhelőfeszültség	MPa
$\sigma_a$	feszültség az acélbetétben	MPa
$\sigma_b$	feszültség a betonban	MPa
$c$	kohézió	
$\theta$	súrlódási szög	fok
$\sigma_{crit}$	kritikus feszültség	
$\sigma_{ct}$	központos húzófeszültség	MPa
$f_{c, cube}$	a beton nyomószilárdsága 150 mm élhosszú kockán vizsgálva	MPa
$f_{ci, cube}$	a nyomószilárdság egyedi értéke 150 mm élhosszú kockán vizsgálva	MPa
$f_{cm, cube}$	a nyomószilárdság átlagértéke 150 mm élhosszú kockán vizsgálva	MPa
$f_{cm, cube, test}$	a nyomószilárdság tapasztalati átlagértéke 150 mm élhosszú kockán vizsgálva	MPa
$f_{ck, cube}$	a nyomószilárdság előírt jellemző értéke 150 mm élhosszú kockán vizsgálva	MPa
$f_{ck, cube, test}$	a nyomószilárdság tapasztalati jellemző értéke 150 mm élhosszú kockán vizsgálva	MPa
$f_{c, cyl}$	a beton nyomószilárdsága Ø150/300 mm-es hengeren vizsgálva	MPa
$f_{ci, cyl}$	a beton nyomószilárdság egyedi értéke Ø150/300 mm-es hengeren vizsgálva	MPa
$f_{cm, cyl}$	a nyomószilárdság előírt átlagértéke Ø150/300 mm-es hengeren vizsgálva	MPa
$f_{cm, cyl, test}$	a nyomószilárdság tapasztalati átlagértéke Ø150/300 mm-es hengeren vizsgálva	MPa
$f_{ck, cyl}$	a nyomószilárdság előírt jellemző Ø150/300 mm-es hengeren vizsgálva	MPa
$f_{ck, cyl, test}$	a nyomószilárdság tapasztalati átlagértéke Ø150/300 mm-es hengeren vizsgálva	MPa
$f_{ii}$	a beton hasító-húzószilárdságának az egyedi értéke (ha egy mintából 3 próbatest készült, annak átlaga egy vizsgálati eredménynek számít)	MPa
$f_{ik}$	a beton jellemző hasító-húzószilárdságának előírt jellemző értéke 150/150 mm méretű hengeren vizsgálva	MPa
$f_{im, test}$	a beton jellemző hasító-húzószilárdságának tapasztalati átlagértéke Ø150/150 mm-es hengeren vizsgálva	MPa
$f_{ci, fl}$	a beton egyedi hajlító-húzószilárdsága	MPa
$f_{c, pr}$	a beton hasábszilárdsága	MPa
$f_{ct}$	központos húzószilárdság	MPa
$f_{ct, fl}$	hajlító-húzószilárdság	MPa
$f_{ct, sp}$	hasító-húzószilárdság	MPa
$f_{\gamma, tap}$	nyíró-tapadási szilárdság	
$f_{c, b}$	testszilárdság	MPa
$f_{ck, cube}$	minimális szilárdság 150 mm élhosszú kockán	MPa
$f_{ct, sp}$	hasító-húzószilárdság kockán	MPa
$f_{ct, sp, o}$	hasító-húzószilárdság hengeren	MPa
$f_{\tau, t}$	húzó-tapadási szilárdság	MPa

## Alakváltozás

$\varepsilon$	fajlagos hosszváltozás	%o
$\varepsilon_x$	fajlagos hosszváltozás a terhelőerő irányában	%o
$\varepsilon_y$	fajlagos hosszváltozás a terhelőerő irányára merőlegesen	%o
$\mu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$	Poisson-tényező	1
$\varepsilon_t$	szakadó nyúlás	%o
$\varepsilon_c$	törési összenyomódás	%o
$\varepsilon_{c, sh}$	a cementkő, a beton zsugorodása	%o
$\varepsilon_{el}$	a beton rugalmas alakváltozása	%o
$\varepsilon_{c,l}(t)$	a beton lassú alakváltozása $t$ időpontban	%o
$\phi(t) = \frac{\varepsilon_{c,l}(t)}{\varepsilon_{el}}$	a beton kúszási tényezője $t$ időpontban	%o
$E_0$	kezdeti rugalmassági modulus	
$E_{0,t}$	kezdeti rugalmassági modulus központos húzásból	GPa
$E_{0,c}$	kezdeti rugalmassági modulus központos nyomásból	GPa
$E_\sigma$	terhelő feszültségtől függő rugalmassági modulus	GPa
$E_a$ , ill. $E_h$	az adalékanyag, ill. a habarcs rugalmassági modulusa	GPa
$E_{id} = \frac{E_0}{1 + \phi}$	a lassú alakváltozást figyelembe vevő, ún. ideális rugalmassági modulus	GPa
$\varepsilon_t$	a zsugorodás $t$ időpontban	%o
$\varepsilon_m$	a lassú maradó alakváltozás	%o



## Geometriai és tömegjellemzők

$l$	támaszköz	m, cm, mm
$d$	henger átmérője, szita, ill. rosta lyukbőssége	mm
$h$	henger hossza	mm
$m$	tömeg	kg/m <sup>3</sup>
$m_w, m_c, m_h$	a víz, a cement, ill. a homok tömege	kg/m <sup>3</sup>
$m\%$	az anyag tömegére vonatkoztatott eredmény	
$x = \frac{m_w}{m_c}$	víz-cement tényező	
$x_0$	redukált víz-cement tényező	
$\rho$	sűrűség	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_t$	testsűrűség	kg/m <sup>3</sup>
$V$	térfogat	ℓ, m <sup>3</sup>
$V\%$	az anyag térfogatára vonatkoztatott eredmény	
$V_c, V_w, V_h, V_p$ ill. $V_I$	a cement, a víz, a homok, pép-, ill. a levegő térfogata	ℓ, m <sup>3</sup>
$V_{p,0}$	péptelítettséghez tartozó pépmennyiség	ℓ, m <sup>3</sup>
$A_c$	Blaine szerinti fajlagos felület (alsó indexben a kötőanyag, pl. $A_c$ =cement fajlagos felülete)	cm <sup>2</sup> /g
$A_a$	Az acélbetét keresztmetszeti területe	mm <sup>2</sup>
$A_b$	A beton keresztmetszeti területe	mm <sup>2</sup>
$d_{max}$	legnagyobb névleges adalékszemszemcse-méret	mm
$m_A$	Az Abrams szerinti finomsági modulus, a szabványos szitason fennmaradt tömegszázalékban kifejezett összege osztva 100-zal	
$m_0$	optimális finomsági modulus, ill. a finomsági modulus, amelyhez a pépigény minimális	
$p = \left(1 - \frac{\rho_I}{\rho_c}\right)$	100 porozitás	V%
$\rho_{krit}$	extrapolált porozitás zérus szilárdság esetére	V%
$\mu$	vasszázalék	%



## A cementfajták megnevezése korábbi szabványok szerint

1974 előtti megnevezés	1974–1997 közötti megnevezés
700 pc	550 pc
600 pc	450 Rpc
600 pc	450 pc
S54 pc	S54 350 ppc
600 pc	450 ppc 10
500 pc	350 ppc 20
600 pc	450 kspc 20
500 pc	350 kspc 40
400 pc	250 kspc 60
500 pc	350 kspc 20

Az MSZ EN 197/1 európai szabvány szerinti cementfajták és összetételük

Jel	Cementfajta neve	Jelölés CEM	Fő alkotórészek <sup>1</sup>						Mellék- alkotó- részek <sup>2</sup>
			Klinker		Granulált kohósalak	Trasz	Savas pernye	Mészke	
			K	S					
I	Portlandcement	I	95-100	-	-	-	-	0-5	
	Kohósalak portlandcement	II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	0-5	
		II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	0-5	
	Traszportland-cement	II/A-P	80-94	-	6-20	-	-	0-5	
		II/B-P	65-79	-	21-35	-	-	0-5	
	Pernyeportland-cement	II/A-V	80-94	-	-	6-20	-	0-5	
		II/B-V	65-79	-	-	21-35	-	0-5	
	II	Mészke-portlandcement <sup>3</sup>	II/A-L	80-94	-	-	-	6-20	0-5
			II/B-L	65-79	-	-	-	21-35	0-5
		Kompozit portlandcement	II/A-M	80-94	-	-	←6-20→	-	0-5
II/B-M			65-79	-	-	←21-35→	-	0-5	
III	Kohósalakcement	III/A	35-64	36-65	-	-	-	0-5	
		III/B	20-34	66-80	-	-	-	0-5	
	Puccolán cement <sup>3</sup>	IV/A	65-89	-*	-	←711-35→	-	0-5	
IV	Kompozit-cement <sup>3</sup>	IV/B	45-64	-	-	←36-55→	-	0-5	
		V/A	40-64	18-30	-	←18-30→	-	0-5	
V	Kompozit-cement <sup>3</sup>	V/B	20-39	31-50	-	←31-50→	-	0-5	

<sup>1</sup> A táblázatban lévő értékek nem tartalmazzák a kalcium-szulfát és az adalékok mennyiségét

<sup>2</sup> A mellékalkotórészek lehetnek töltőanyagok vagy a főalkotórészekből egy vagy több.

<sup>3</sup> Az egymél több kiegészítő anyagot tartalmazó cementek.



2008. októberben gyártott hazai cementek (Dr. Révay Miklós CEMKUT Kft.)

Társaság	Gyár	Cementfajta	Jelölés	Megjegyzés
Duna-Dráva Cement Kft.	Beremend	Portlandcement	CEM I 52,5 N	-
		Portlandcement	CEM I 42,5 N	-
		Kompozit-portlandcement	CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N	Pernye, mészkő
		Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	Pernye, mészkő
	Vác	Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M (V-LL) 32,5 N	Pernye, mészkő
		Kohósalakcement	CEM III/A 32,5 N	Mérsékeltlen szulfátálló
		Kohósalakcement	CEM III/A 32,5 N-MS	Szulfátálló
		Kohósalakcement	CEM III/A 32,5 N-S	Salak, pernye
		Kompozitcement	CEM V/A (S-V) 32,5 N	
Holcim Hungária Rt.	Lábatlan	Portlandcement	CEM I 52,5 N	Trasz
		Portlandcement	CEM I 42,5 N	Trasz, pernye
		Puccolán-portlandcement	CEM III/A-P 42,5 N	Pernye, mészkő
		Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M (P-V) 32,5 R	Pernye, mészkő
		Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M (V-L) 32,5 R	Pernye, trasz
		Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M (V-L) 32,5 R	Salak, pernye, trasz
		Puccoláncement	CEM IV/B (V-P) 32,5 R	Szulfátálló („S-54 <sup>tr</sup> )
		Kompozitcement	CEM V/A (S-V-P) 32,5 R	Szulfátálló („S-54 <sup>tr</sup> )
		Portlandcement	CEM I 42,5 N-S	Szulfátálló
		Portlandcement	CEM I 32,5 R-S	Szulfátálló
Pernyeportlandcement	Lábatlan	Pernyeportlandcement	CEM II/A-V 32,5 R-S	Szulfátálló
		Pernyeportlandcement	CEM III/A-V 42,5 N	Szulfátálló
		Pernyeportlandcement	CEM II/B-V 32,5 R-S	Pernye, mészkő
		Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M(V-L) 32,5 N	Pernye, mészkő

Megjegyzés: Magyarországon a Rohožnikiben (Szlovákia) gyártott fehércementet a Holcim White Kft. hozza forgalomba





# 8. Látszóbeton

## 8.1. A látszóbeton fogalma

[*Armuth–Balázs–Ujhelyi (1967)*]

A látszóbeton (Sichtbeton) szűkebb értelemben olyan láthatónak maradó, sík vagy tagolt betonfelületet jelent, amely a zsaluzatnak hű tükörképe, utólagosan nem munkálják meg, és esztétikus megjelenésű.

Tágabb értelemben ide soroljuk mindazokat a betonfelületeket, amelyeket nem vakolnak be és nem burkolják. Ilyenek:

- adalékanyag-mintás betonfelület;
- utólag kőszerűen megmunkált betonfelület;
- hővel megolvasztott betonfelületek;
- színes betonfelület.

Már az évszázad elején felfedezték, hogy a beton a legalkalmasabb építőanyag abból a célból, hogy mind a statikus kezében a műszaki megoldás (statikailag megfelelő szerkezet kialakítása) eszköze, mind az építész kezében az esztétikai feladatok megoldásának, a felületképzésnek eszköze legyen. Míg azonban az ún. mérnöki létesítményeket (beton- és vasbeton hidak, silók, bunkerek, víztornyok, vízi erőművek stb.) szinte kezdettől fogva vakolatlan, és rendszerint utólag megmunkálatlan nyers betonfelülettel készítették, addig az építészetben (ipari és mezőgazdasági létesítmények, középületek, lakóépületek) a teherhordó betonszerkezetet rendszerint kőburkolattal, kerámiaburkolattal vagy vakolattal eltakarták. A látszóbetonnak az építészetben felületképző anyagként való alkalmazását már a múlt század elején megkezdték (1908-ban Frank Lloyd Wright építette a chicagói presbiteriánus templomot, 1912-ben Max Berg a breslauer évszázadcsarnokot, 1922-ben Auguste Robert Perres – a reinci Notre-Dame templomot) és azóta szerte a világon látszóbetonból épített tornyok, lakóépületek, középületek stb. ékes bizonyosságai annak, hogy vele nemcsak a műszaki és esztétikai követelményeket lehet maradék nélkül megoldani, hanem ezek a létesítmények egyidejűen a leggazdaságosabbak is. Ezért a nyugati országokban ma a tágabb értelemben vett látszóbeton a formás felületképzés leggyakrabban alkalmazott eszköze.

A jól megépített látszóbeton nem unalmas, nem egyhangú. Mint a zsalu tükörképe, a zsalu fajtájára, tagolására irányítja a figyelmet. A beton színe miatt is sokoldalú lehet, amit rendszerint a cement színével lehet döntően szabályozni.

A panelos lakásépítés új felületkialakítást kívánt. Ekkor született meg elsősorban az adalékmintás betonfelület, amelyet elég jól kidolgoztak. Jelentősége a házigyarak megszűnésével jelentősen lecsökkent.

A továbbiakban elsősorban azokra a különbségekre szeretnék rámutatni, amelyek a szokványos, illetve a látszóbeton készítése között fennállnak.

## 8.2. A nyers betonfelületek és készítésük

### 8.2.1. A nyers betonfelületről általában

A szűkebb értelemben vett látszóbeton a felület kialakítása szerint az alábbi csoportokra bontható:

- teljesen sík nyers betonfelület;
- zsaluzat megfelelő kialakítása által tagolt nyers betonfelület;
- díszítési, ornamentikai céllal készített, tagolt nyers betonfelület.

A látszóbeton különleges beton, amellyel szemben követelmény a felület szín-egyenletessége, vagy pórusmentessége, illetve mindkettő együtt. Ezeknek az igényeknek a teljesítése a szabványosnál lényegesen speciálisabb előírásokat követel meg.

A) Az építmény szerkezetének és felületének tervezése során a sima betonfelület technikai egységeinek építészeti helyes megválasztása.

B) A helyes betonösszetétel és bedolgozás:

- cement megválasztása;
- megfelelő betonösszetétel;
- megfelelő konzisztencia;
- a vasalás helyzetének megfelelő biztosítása;
- szakszerű tömörítés;
- gondos utókezelés;
- a betonfelület védelme a későbbi munkák során.

C) A zsaluzat megfelelő megválasztása:

- a zsaluzat anyagának megfelelő megválasztása;
- tökéletes, kellően merev zsaluzat;
- a zsaluzat felületének helyes előkészítése;
- megfelelő tömítőanyag az illesztési hézagokban;
- célszerű zsaluzószer.



## 8.2.2. A látszóbeton betontechnológiája

### 8.2.2.1. A cement

A látszóbeton nemcsak a szövete és tagolása révén – mint a zsalu tükörképe – kelt bizonyos esztétikai benyomást, hanem színével is, amit elsősorban a kötőanyag, a cement határoz meg.

A *fehér cementtel* készített látszóbetont különleges kialakítási módnak tekinthetjük. Erre is érvényesek a betontechnológia általános szabályai, nevezetesen a megfelelő betonösszetétel, nagyfokú tömörség, gondos utókezelés. Minthogy az építészeti elképzelés és az ízlés különböző, nehéz választ adni arra, hogy fehér vagy szürke cementet alkalmazzunk. A fehér cement drágább a szürke cementnél és korlátozott mennyiségben áll rendelkezésre. A hazai fehér cement (75 Albedo-fokos fehérségű volt) a gyártott fehér cementek között a legfehérebb. Sajnos a zsugorodása viszont nagyobb. Kísérleteztünk 75, 65 és 54 Albedo-fok fehérségű cementekkel. A betonszínben nem volt lényeges különbség. Ez a színkülönbség is kezdetben nagyobb volt, míg később, valószínűen a felületi karbonátosodás miatt csökkent. Hazánkban a Selypi Cementgyár gyártott fehér cementet [Balázs (1994)]

A cementfajta megválasztását az határozza meg, hogy a megkívánt szilárdság mellett *azonos betonszín*t is létre tudjunk hozni. Laboratóriumi kísérleteink szerint nem sikerült teljesen azonos betonszín elérni, ha azonos márkájú, de különböző időben szállított cementet használtunk fel. Az eltérő betonszínnek azonban nemcsak az az oka, hogy a cementet különböző időpontban gyártják, sőt nem is ez a fő oka. A vizsgált felületek cementtől függő színegyenletlenségeinek az alábbi okait látjuk:

a) A *cement nyersanyagának az összetételében, a gyártás (égetés, őrlés) körülményeiben* tiszta portlandcement esetén hosszabb időközökben még egyazon gyár esetén is lehet eltérés, az azonban lényeges színváltozást nem okoz. A heterogén cementek esetén azonban a cement minőségi feltételeiben nem szerepel a szín, ezért a hidraulikus kiegészítő anyagok mennyiségét is a klinker minőségétől függően változtatják. Már ez is színváltozást okoz. Ennél azonban lényegesen nagyobb színváltozást okoz, ha a hidraulikus kiegészítő anyag minősége (trasz, pernye, kohósalak, égetett márga) is változhat.

b) Ismeretes, hogy a portlandcementtel készített beton színe kezdetben sötétebb szürke, később azonban mind világosabbá válik. Ennek kisebb oka a betonfelület kiszáradása, nagyobb oka a felületi betonrétegben lévő, a hidratáció során felszabaduló kalcium-hidroxid karbonátosodása. Ez a karbonátosodott felület színét lényegesen befolyásolja. A nem egyenletes karbonátosodás okai:

– A betonfelület nem egyenletesen tömör. Márpedig mind a karbonátosodás sebessége, mind mélysége attól függ, hogy a levegő széndioxid tartalma milyen gyorsan éri el a hidratáció során felszabadult meszet.



– A szokványos tiszta portlandcementek klinkerásványainak, melyeknek a tri-kalcium-szilikát tartalma 50% felett van, nagy része már az első napokban hidratál, melynek eredményeként sok mész szabadul fel. A természetes karbonátosodás ennél lényegesen lassúbb folyamat. Csapadékvíz hatására a tömörebb betonrészből kevesebb, a kevésbé tömörből több mész oldódhat ki, emiatt nem lehet egyenletes a karbonátosodás.

Ha a felület közelébe cementdúsabb habarcs, habarcsdúsabb beton kerül, akkor több mész szabadul fel, mint az adalékanyag-dúsabb felületeken, a karbonátosodás is más lesz.

c) A cement hidratációja során felszabaduló *kalcium-hidroxid diffúzió* révén a felület felé vándorol. Kémiai analízissel kimutattuk azt, hogy a legtöbb kioldható mész a felület közvetlen közelében található, míg a legkevesebb kb. 1 cm-re lévő betonrétegben.

d) A mész okozta felületi egyenetlenséget a cementhez adagolt hidraulikus pótlékkal csak csökkenteni lehet, de megszüntetni nem. A csökkentésre is csak a trasz alkalmas [Balázs–Borosné–Mayer (1972)].

Míndezen alapján szabályként fogadhatjuk el, hogy a látszóbeton készítéséhez

– elsősorban tiszta (CEM I. jelű) portlandcementet használjunk;

– az építményhez lehetőleg egyszerre rendeljük le az összes cementet, vagy ha ez nem lehetséges, akkor egy gyár által gyártott egyfajta cementet használjunk.

#### 8.2.2.2. Az adalékanyag

Az adalékanyag legnagyobb szemmagyságát a szokványos betontechnológiában a szerkezeti elem méretei és a vasalás sűrűsége határozzák meg. Ezeknek a látszóbetonnál is ugyanolyan szerepük van. Ha azonban szép sima látszóbeton-felületet akarunk készíteni, akkor a vasalás és zsaluzat közötti betonfedést úgy kell megválasztani, hogy az összefüggjön az *adalékanyag legnagyobb szemmagyságával*, kb. a legnagyobb névleges szemmagyság másfélszerese legyen. 50 mm-es legnagyobb szemmagyság esetén 8 cm-ig, 30 mm-es legnagyobb szemmagyság esetén 4–5 cm-re megnövelt betonfedés kívánatos.

Az adalékanyag szemmegoszlása legyen a B határgörbéhez közel (vö. I. kötet 2.32a ábra).

Teychenné és Herbert (1963) szerint a lépcsős szemmegoszlás kedvező a betonfelület minősége szempontjából, s ez esetben csökkenthető a finomrészek mennyisége is. Ugyancsak az ő kísérleteik szerint a lépcsős szemmegoszlás kedvező zúzott adalékanyagok alkalmazása esetén is. Mészkezelés alkalmazása esetén csak lépcsős szemmegoszlással készített beton adott kifogástalan felületet.

Az adalékanyag feleljen meg a tisztasági követelményeknek (agyag-izsaptartalma legyen 3V%-nál kisebb, szerves szennyeződést ne tartalmazzon, a homok-

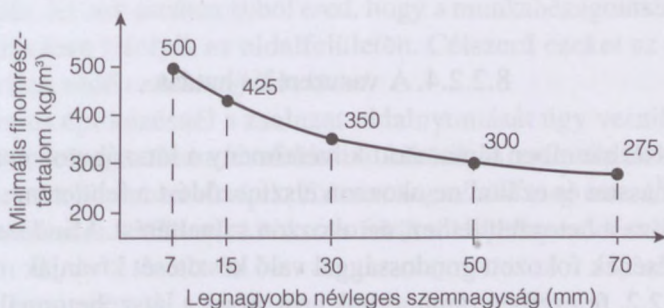


egyenérték legyen legalább 80, adalékanyag-alkáli reakcióra hajlamos anyagot ne tartalmazzon) és a szilárdsági és az időállósági követelményeknek. A beton szín-egyenletességének a követelménye miatt fontos az adalékanyag színegyenletessége, amit szemrevételezéssel ellenőrizhetünk.

Kísérleteink szerint a zúzott adalékanyag kedvezőtlenebb a gömbölyű szemű természetes adalékanyagoknál, de a cementtartalom növelésével a különbség ki-egyenlíthető. Kerüljük a hosszúkás és lemezes szemeket.

Ha tömör betont akarunk elérni, akkor a 0,2 mm-nél finomabb anyagrészek mennyiségét szigorúan tartani kell. Korszerű adalékanyag-osztályozás esetén a 0,2 mm-nél finomabb homokrészt sok esetben teljes egészében kimossák. Ebben az esetben kvarcliszttel, a trasz, illetve kohósalak-őrleménnyel kell pótolni. A finom részek mennyiségébe be lehet számítani a cementet is. Walz (1960) szerint a kívánatos finom részek mennyiségét (cement +0,2 mm-nél kisebb adalékanyag mennyisége) az adalékanyag legnagyobb szemnagysága függvényében a 8.1. ábra tartalmazza.

Meg kell jegyeznünk, hogy állandó betonösszetételt csak akkor érünk el, ha a betonozás ideje alatt a szemmegoszlási görbét minden részében tartani tudjuk és az adalékanyag származási helye (minősége) is azonos [Bonnome, C. (1961)].



8.1. ábra. A tömör beton előállításához szükséges finom adalékanyagrészek (0,25 mm-nél kisebb homok + cement) m<sup>3</sup>-ként megkívánt mennyisége Walz (1960) szerint

### 8.2.2.3. Adalékszerek

A látszóbeton készítésére – szükség szerint – az alábbi adalékszereket (vö. 2.4. fejezet) használják:

- Képlékenyítőket és folyósítókat a bedolgozhatóság megkönnyítésére és a víz-cement tényező csökkentésére.
- Kötéskésleltetőket a bedolgozhatóság tartamának a növelésére, a munkahézagok számának csökkentésére.
- Légpórusképzőket a fagynak és jégtelenítő sózásnak kitett betonok tartósságának növelésére.



E szerek hatása különböző betonoknál nagyon különböző lehet, mivel függ a cementfajtától, az adalékanyag szemmegoszlásától, a beton keverési arányától és az időjárási viszonyoktól. Ezért felhasználás előtt ismerni kell az alkalmazott adalékszerek fő mellékhatásait. Különösen arra kell ügyelni, hogy a beton szövetét és színét ne változtassák meg. Ha azonban megváltoztatják a beton színét, akkor az egész látszóbeton-felület – azonos adagolással – készítésekor alkalmazni kell az adalékszert.

Mivel a betonfelület zsugorodási repedéseit el kell kerülni, úgy kell megválasztani a betonösszetételt, hogy ne keletkezessen olyan púpfelesleg, amely nem fér el az adalékszemek pórusaiban. A beton 3.3.4. fejezet szerint számított péptelítettségét kb.  $50 \text{ kg/m}^3$ -rel lépjük túl. Ha az illesztéseknél és a betonfelületen egyenletes pépeloszlást akarunk elérni, akkor a beton víztartó képessége olyan legyen, hogy tömörítés közben ne gyűljön össze víz se a zsalunál, se a felső felületen.

Ebből következik, hogy a legelőnyösebben a gyengén képlékeny konzisztenciájú betont lehet bedolgozni. Ennél célszerűen kihasználhatjuk a konzisztenciajavítók által a beton megnövelt víztartó képességét. A megnövelt bedolgozhatóság ellenére nem lesz kivézés.

Csak olyan adalékszereket szabad használni, amelyeknek van alkalmassági bizonyítványa. Ha még nem használták valamelyik adalékszert, akkor célszerű előkísérletet végezni.

#### 8.2.2.4. A vasszerelés hatása

A vasszereléssel szemben támasztott követelmény a látszóbeton esetén, hogy az ne rozsdásodhasson és ezáltal ne okozzon elszíneződést a felületen, továbbá, hogy túl közel kerülve a betonfelülethez, ne okozzon színeltérést. Mindezek a látszóbeton vasszerelésének fokozott gondossággal való készítését kívánják meg.

Már a 8.2.2.2. fejezetben rámutattunk arra, hogy a látszóbetonnál *olyan betonfedést* kell alkalmazni, amely tömör, vízzáró és megakadályozza az acélbetét korrodálását. A betonfedés megkívánt mértékét az MSZ 479-1 szabvány előírja. Ezt természetesen itt is be kell tartani. Ezen túlmenően a betonfedés az adalékanyag legnagyobb szemmagyságának legalább kétszerese legyen. Ezért írtuk azt, hogy a szerkezeti méretek csökkentése végett látszóbetonnál rendszerint 16, illetve 8 mm-re csökkentik a legnagyobb szemmagyságot. Ma már majdnem minden környezeti osztályban megköveteljük a 35–40 mm-es fedést. Ha az így megkívánt betonfedés nem biztosítható, akkor a betonfelület utólagos, kőfaragó szerszámokkal való megmunkálása semmiképp nem engedhető meg.

Biztosítani kell, hogy a *vasszerelés a betonozás és tömörítés tartama alatt mozdatlan legyen*. Ez többféleképpen megoldható. Keskeny oszlopoknál az oszlop mind a négy oldalán célszerű elhelyezni a zsaluzat és a vasszerelés közé távolságtartókat, melyeket betonozás közben felhúznak. Így a betonfedés kielégítő és lehetséges jó látszóbeton.



Künzel (1962) szerint *távolságtartónak* igen alkalmasak a zsaluzattal pontszerűen érintkező műanyag testecskek. A prizma vagy tárcsa alakúak, akár műanyagból, akár betonból, nem annyira alkalmasak, mint a pontszerűen támaszkodók, mert a felületre kirajzolódhatnak.

Távolságtartóként jól alkalmazhatók szabályos alakú üvegezett anyagtárcsák, üvegtárcsák, műanyagtárcsák, amelyektől azt kívánjuk meg, hogy a betonfelületen látszódnak. Ezeket határozott terv szerint pontosan kell elhelyezni, valamint a zsaluzatnak szorítani, hogy körvonalai ne legyenek elmosódottak. Célszerű, ha helyzetük színükkel is kihangsúlyozódik.

Ha a betonnak csak az egyik felülete készül látszóbetonból, akkor a vasszerelést a másik oldalon elhelyezett (nem látszóbeton) zsaluzathoz lehet kimerévíteni.

Egy nagy német cég úgy biztosított kétoldali látszóbeton-felületet [*Schmidt-Morsbach* (1964)], hogy a vasszerelést bizonyos távolságonként keresztirányban elhelyezett feszítőhuzalhoz merevítették. Az olajozott huzalt előzőleg műanyaghüvelybe húzták be. A betonozás befejezése után a huzalt a burkolatával együtt kihúzták. Az így keletkező Ø6 mm-es lyukak eltűnnek a betonfelületen, mivel alig nagyobbak, mint a levegő okozta nyitott pórusok.

A beruházó és kivitelező között általában vita tárgyát képezi a rozsdásodás miatti elfoltosodás. Ez sok esetben abból ered, hogy a munkahézagoknál a kiálló acélbetétek rozsdás leve lefolyik az oldalfelületen. Célszerű ezeket az acélbetéteket rozsdásodás ellen védő *cementtejjel bekenni*.

A szokványos építkezésnél a zsaluzat oldalnyomását úgy veszik fel, hogy az átellenes zsaluzatot egymáshoz feszítődróttal kikötik. A zsalutáblák leszedése után ezeket a drótokat a betonban elcsípi. Ez *nem engedhető meg látszóbetonnál*, mert ezek biztos forrásai az acélkorrózió okozta felületi elszennyeződésnek.

#### 8.2.2.5. A beton keverése és tömörítése

A látszóbetont kényszerkeverőben kell megkeverni.

A jó látszóbeton készítésének egyik igen fontos része a beton tömörítése. Ha a tömörítést nem szakszerűen végezzük, akkor a beton rétegenként kavicsfészkes lesz, lényeges eltérés lesz a betonfelület szövetében, a betonfelület légpórusokkal lesz tele, a sarkok, élek nem lesznek szabályosak.

Hosszú ideje az a nézet uralkodik, hogy tömör betont csak gyengén képlékeny konzisztenciával lehet elérni, hasonlóan azt gondolták, hogy a belső vibrálással nem lehet látszóbetont készíteni, mivel vibrálás közben a beton szétkeveredik.

A szakszerű tömörítésre nem lehet egységes szempontokat megadni, mivel a készítendő beton-, illetve vasbeton elemek is már a következő, más-más tömörítést igénylő részekre csoportosíthatók:

- karcsú építőelemek (oszlop, pillér);



- lapos, kis magasságú építőelemek (héjak, tető- és födémelemek);
- szekrény keresztmetszetű tartók (híd, egyéb);
- előre gyártott és feszített betonelemek;
- nagyobb tömegű betonépítmények (hídfő, támfal).

Ha mindehhez hozzászámítjuk, hogy a tömörítés hatékonyságát a zsaluzat, a vasszerelés, a vibrátor fajtája, amplitúdója és frekvenciája is befolyásolja, akkor könnyen belátható, hogy nem szabad a tömörítőmunkát előkísérletek nélkül megkezdeni. A kísérletek feladata rendszerint az adott vibrátorhoz és zsaluzathoz, vasszereléshez a megfelelő betonkonzisztencia, vibrálási időtartam, zsalutávolság megválasztása.

A továbbiakban néhány szempontot szeretnénk csupán adni.

A legtöbb munkahelyen az első számú problémát mindig a karcsú, kb. 30–40 cm keresztmetszetű oszlopok jelentik. Itt kell leginkább számolni az adalékanyag szétkeveredésére, mivel a vibrátor rezgőmozgást előidéző hatását a zsaluzat és vasszerelés is továbbítja. Különösen a csomópontokban keletkezik könnyen fészkes beton. Az adalékanyag legnagyobb szemmagyságát célszerű csökkenteni, a 16 mm-esnél nagyobb részt elhagyni. Az oszlop aljába először 30–40 cm vastag, 8 mm legnagyobb szemmagyságú finomszemű betont kívánatos behelyezni, amely az utána következő durvább szemű betont párnaként felfogja. Azután következik a betöltött 40–60 cm vastag képlékeny betonréteg tömörítése, illetve a bezárt levegő eltávolítása egy szurkálóvasnak a zsalutól 10–20 cm-re többször le-felmozgatása által. Majd a zsalut kézi kalapáccsal megütögetjük, így egységes, viszonylag levegőmentes látszóbeton-felületet kaphatunk. A beton tömöríthető belső vibrátorral is. Megfelelő a kis átmérőjű, kis amplitúdójú, nagy frekvenciájú (kb. 7000–20000 ford./perc) tűvibrátor. Azért, hogy a zsaluzatot meg ne sértsük, a vibrátort gumi-fejjel kell ellátni. A vibrátort nem szabad a zsaluzathoz túl közel bevezetni (célszerű 10–20 cm), mivel különösen kevés, finom 0–0,24 mm anyag esetén a beton a vizet hamar feladja. A vibrátor nyelvét célszerű az előzőleg tömörített rétegbe 10–20 cm-re bevezetni, ezzel biztosítható a két réteg jó csatlakozása. Szakszerűnek akkor mondjuk a tűvibrátoros tömörítést, ha a vibrátor nyelvét gyorsan dugjuk a betonba, és lassan húzzuk ki. A karcsú oszlopoknál különösen fontos az, hogy a vibrált beton zsaluzata ellenállóbb legyen, mintha csak kézi eszközökkel tömöríténénk. Mivel a zsalu a vibrálás hatására mozgásba jön, különösen kell ügyelni a zsalucsatlakozások gondos tömítettségére.

*Lapos, vékony, kis magasságú építőelemek* (pl. héjak) tömörítése során nehéz az alsó felületet szép látszóbetonként kialakítani. Rendszerint alsó vibrátort alkalmaznak, kiegészítő felületi (lap-) vibrálással. Ugyanis, ha a lemezrész nem vízszintes, kevésbé képlékeny konzisztenciájú betont kell készíteni.

Nagyobb gondot okoz a *szekrény keresztmetszetű tartók* betonjának a tömörítése, mivel elsősorban ott alkalmazzuk, ahol a szerkezeti magasságot minimálisra



akarjuk csökkenteni. Ez rendszerint sűrű vasalást és nagyobb szilárdságú betont jelent, amit csak kisebb víz-cement tényezővel és konzisztenciajavító adalékszerekkel érünk el.

A nagy tömegű betonok tömörítése nem okoz nehézséget. A víz-cement tényező itt általában kisebb. A munkahézagok kirajzolódását kötéskeleltető szerek alkalmazásával többnyire el lehet kerülni. A már megkötött betonba való csatlakozás az új betonnal rendszerint hibahelyet jelent. Ezt el lehet kerülni azáltal, ha a megkötött betonról a cementbőrt eltávolítjuk, a felületet megtisztítjuk és megnedvesítjük. Először egy legalább 5 cm vastag finomabb szemcsét ( $d_{max}=8$  mm) töltünk be, ezt gondosan tömörítjük még zsaluvibrátorral is. Utána a látszóbetonnal szokványosan tovább betonozhatunk.

Az előre gyártott beton- és vasbeton elemeknél minden esetben merev acél-, műanyag- vagy betonzsaluzatot készítünk. Ha a beton a zsaluzattal együtt mozgatható, akkor még földnedves betont is erőteljes alsó (rázóasztal) és felső vibrálással jól be lehet tömöríteni.

A látszóbeton tömörítésére vonatkozó tapasztalatokat tehát az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Ha a beton konzisztenciája megfelelő (nem földnedves), a levegő hőmérséklete nem nagy ( $<20^{\circ}\text{C}$ -nál), nem fúj erős szél és kötéskeleltető szert is alkalmazunk, akkor a keverés és bedolgozás között 3–5 óra, a hőmérséklet csökkenésével még több idő is eltelhet anélkül, hogy ez a látszóbeton-felület rovására menne.
- A zsaluzat közé a betont lehetőleg kis magasságból kell önteni és egy irányban haladva, hogy a szétosztályozódást elkerüljük. A rétegvastagság 25–60 cm lehet [Teychenné–Herbert (1963); Kreijger (1963)]. A zsaluzatba öntéskor a beton ne csússzék a zsaluzaton, mert a zsaluolajjal keveredve foltosodást okozhat.
- Nagy tömegű betonok betonozásakor vigyázni kell arra, hogy ne keletkezzenek olyan betontömegek, amelyek a zsaluzat deformációját okozhatják. A zsalunyomásokra vonatkozó mérések azt mutatják, hogy a gyors bedolgozáskor a betonnyomások a számítottnál lényegesen nagyobbra, hosszú bedolgozáskor lényegesen kisebbre adódnak.
- A beton tömörítésére általában a nagyobb frekvenciájú (7000–20000 ford/perc) vibrátorokat ajánlják. Ezekkel a tömör, egyenletes szövetű beton készítése, a levegő kihajtása a betonból, a zsalusérülések elkerülése jobban megoldható, mint a kis rezgésszámúakkal [Künzel (1962); Schmidt-Morsbach (1964); Teychenné–Herbert (1963); Kreijger (1963), stb.].
- A különböző szerzők egyetértenek abban, hogy az optimális vibrálási idő a zsaluzat, vasszerelés, betonkonzisztencia függvénye, amit előkísérlettel lehet jól megállapítani. A felületi tászkásodás elkerülése érdekében a gondos



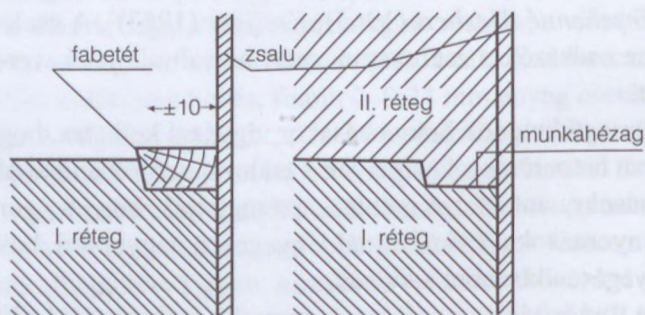
belső tömörítés mellett a zsaluzatot gumikalapáccsal kell ütögetni és a függőlegesen gyártott elemek felső, befejező részének a tömörítését külön elvégezni.

– Korábbi nézet az volt, hogy a kötéskezdet utáni utóvibrálás nem kívánatos. Az ilyen utóvibrálás különösen akkor javítja meg a betonminőséget, ha a beton a vizet feladja. Az utóvibrálással a zsugorodási, ülepedési (a vízszintes vasszerelés alatt különösen durvább adalékanyag esetén könnyen képződik üreg) repedéseket el lehet kerülni [(Künzel (1962))].

#### 8.2.2.6. Nagy látszóbeton-felületek

Minél nagyobbak a falfelületek méretei, annál nehezebb egyöntetű látszóbeton-felületet létrehozni, mivel mind a betonkeveréknek, mind a bedolgozásnak azonosnak kell lennie. Egy réteget teljes szélességben egyszerre kell betonozni.

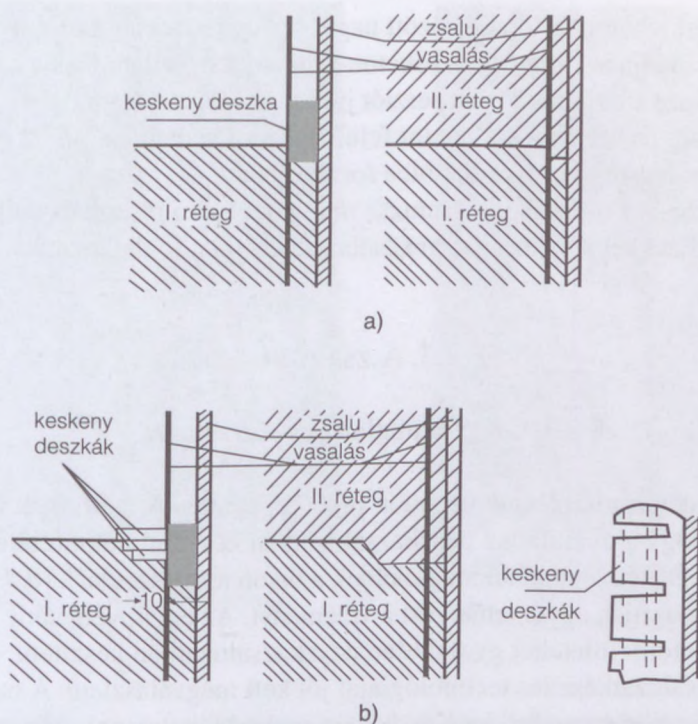
A vízszintes munkahézagok elkerülhetők akkor, ha folyamatosan betonozunk. Ha azonban a munkahézag elkerülhetetlen, akkor célszerű a látszóbeton-felületen egy teljesen egyenes munkahézagot kialakítani. E célból – vasalatlan beton esetén – egy legalább 10 cm élhosszúságú négyzet vagy négyszög keresztmetszetű gyalult fabetétet kell a zsaluzathoz erősíteni abban a magasságban, ahogy a munkahézagot ki akarjuk képezni (8.2. ábra). Ha a felső réteg betonozása nagyon elnyúlik, akkor fennáll az a veszély, hogy a fabetét helyén lévő vékony betonréteg más színű lesz, mint a betonfal többi része.



8.2. ábra. Munkahézagok kialakítása vasalatlan látszóbeton esetén (Künzel, 1962)

Vasalt látszóbeton esetén a munkahézag vízszintes vonalát biztosító fabetétet a függőleges acélbetétsor és a zsalulemez közé kell elhelyezni (8.3. ábra). A 8.3a ábra szerinti keskeny lemez nem célszerű, mivel helyét, amely a betonfedés méreteinek felel meg, csak habarccsal lehet kitölteni a kis mérete miatt. Ezért célszerűbb szélesebb zsaludeszkák elhelyezése a 8.3b ábra szerint.





8.3. ábra. Munkahézagok kialakításának egy módja vasbeton esetén (Künzel, 1962)

### 8.2.2.7. A látszóbeton utókezelése

A látszóbeton utókezelésén is elsősorban a friss beton szokványos nedves utókezelését, mechanikai hatások, időjárás hatások (csapó eső, fagy) elleni védelmét értjük. Ezen túlmenően a pizok és elszíneződés elleni konzerválását is.

Célszerű a betont olyan sokáig zsaluzatban hagyni, ameddig csak lehet. Ugyanígy a beton felső felületét nedves zsákokkal, gyékénnyel, műanyag fóliával stb. való letakarás útján könnyű nedvesen tartani. A függőleges falak, oszlopok *nedves utókezelése* már nehezebb.

A vízhatlan, zárt zsalu megőrzi a beton nedvességtartalmát és így nem igényel különleges kezelést, az elszíneződések keletkezését megakadályozza [Trüb (1961)].

Ha nem tartható a beton hosszú ideig a zsaluzatban, vagy nem vízhatlan a zsaluzat, akkor nem tanácsos a függőleges betonfelületet közvetlenül vízzel locsolni, ha a nem kívánatos kivirágzásokat, színegyenetlenségeket el akarjuk kerülni. Ugyanis a felületet érő víz különböző mértékben oldja ki a meszet a felületről. Az utókezelés egyik módja lehet az, hogy közvetlenül a kiszaluzott felület elé vízhatlan műanyag vagy más lemezt helyezünk el, amely meggátolja a beton gyors ki-



száradását, mert a beton és lemez között nagyobb légnedvesség-tartalmat eredményez. A másik módja az, hogy a látszóbeton-felületre közvetlenül a kizsaluzás után feszültségoldó szert tartalmazó diszperziót juttatnak [Künzel (1962)].

A friss betont tartalmazó zsaluzatot felül célszerű védeni az esővíz behatolása ellen, ugyanis a lecsurgó esővíz sok hiba forrása lehet.

Az utókezeléshez tartozik a kizsaluzás után jelentkező pizok és szépséghibák eltüntetése is. Ezekkel részletesebben későbbi fejezetben foglalkozunk.

## 8.2.3. A zsaluzat

### 8.2.3.1. A gyalulatlan deszkazsaluzat

A zsaluzat eredeti fűrészeléssel megadott tükörképét adja. A mérnökök véleménye általában az, hogy a gyalulatlan deszkazsaluzatban készített betonfelületek, megmutatva a fa erezetét, legjobban megfelelnek a beton természetének (8.4. ábra).

Mások nem osztják egyöntetűen ezt a véleményt. Az egyik vélemény szerint lehet nagy sík betonfelületeket gyalulatlan deszkazsaluzatban készíteni, de a zsalu anyagát és a zsaluzatkészítés technológiáját jól kell megválasztani. A másik nézet szerint csak megtört betonfelület készítésére szabad alkalmazni, míg a harmadik nézet szerint egyáltalán nem alkalmas látszóbeton készítésére.

Zsaluanyagként általában az *erdei- és lucfenyő* jön számításba. A deszka lehetőleg göcsmentes legyen, de semmi esetre se tartalmazzon kieső göcsöt. A kieső göcsöt ki kell verni és a lyukat olyan fadugóval kell kitölteni, amelynek a kora és száliránya a deszkáéval megegyezik. A luc- és jegenyefenyő közül a jegenyefenyő szabályosabb szövetű és göcsmentesebb. A jó növésű fa vágásiránya szerint nincs ugyan lényeges különbség, de a sugárirányúan vágott fa általában szabályosabb.

Ha a fa tömörsége, gyantatartalma eltérő, akkor a zsaluzat eltérő mennyiségű zsaluolajat vesz fel és ez felületi színeltéréshez vezet. Különböző vágatú fákból eltérő nedvességviszonyok miatt nem lehet egyenletes betonfelület készítésére alkalmas zsalut készíteni, mert ez kötési foltosodást okoz. Künzel (1962) szerint ez idővel eltűnik. Ennek meggátlására a zsalu felületét kezeléssel kellene ellátni, ami viszont növeli a táskásodási hajlamot [Kinneer (1963)]. A zsalura az olajat egyenletesen kell felhordani. Mivel a deszka a göcs helyén és a gyantásodás helyén kevesebb olajat vesz fel, ezek a helyek a kizsaluzás után foltokként jelentkeznek.

Milyen legyen a *rostok iránya*? Példával szemléltetjük. Felfelé szélesedő pillérek és nagy felületű hídfők célszerűen függőleges deszkákkal vagy táblákkal zsaluzandók. A két zsaluירányt (8.5. ábra) célszerű elválasztani egymástól. Hídpálya-lemez alsó felületének egyhangúságát csökkenti a sakktableszerűen eltérő irányú zsaluzás (8.6. ábra).

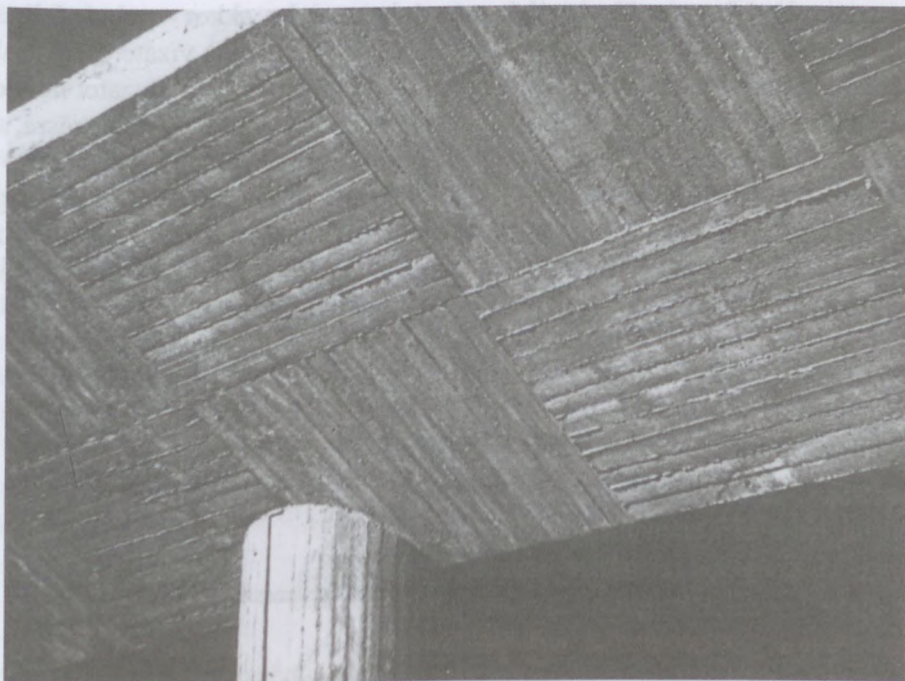




**8.4. ábra.** Zsaluzás fűrészelt deszkával.  
A betonfelület a zsaluzat hű tükörképe  
(Künzel, 1962)



**8.5. ábra.** Felfelé szélesedő pillér zsaluzása  
gyalulatlan deszkával.  
(Armut-Balázs-Ujhelyi, 1967)



**8.6. ábra.** Hídpályalemez alsó felületének kialakítása a zsaluzat sakkáblaszerű elhelyezésével  
(Künzel, 1965)

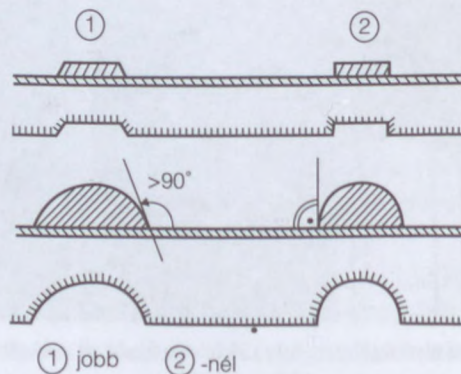


A fa közismerten erősen duzzad. Az erdei fenyő duzzadóképesége	
húr irányában	kb. 7%
sugár irányában	kb. 4% és
tengely irányában	kb. 1%.

A zsaluzat a hőmérséklet és nedvességtartalom változásának a hatására zsugorodik, illetve duzzad. Ha emiatt a deszkák közötti hézagok nem zárnak, akkor a cementtej ott kicsurog. Ha a zsalu között nem hagynak hézagot, akkor az a betonozás közben megduzzad és vetemedik. Ezért a *deszkák között a fa nedvességtartalmának és duzzadóképeségének megfelelő helyet kell hagyni* és a fát a betonozás megkezdése előtt vízzel locsolva telíteni. Gondoskodni kell arról, hogy a zsaluzat közé így befolyt víz onnan egy alsó nyíláson át kifolyhasson, mert különben bennrekedve megváltoztatja az alsó betonréteg konzisztenciáját. Eme elővigyázatlanság ellenére sem tudjuk megakadályozni, hogy a cementtej vagy pép a hézagokon – a gyengén képlékeny beton bedolgozása közben – ki ne folyjék és betonkitüremlést ne okozzon. Ezeket a kitüremléseket (betonorr), mivel nem egyformák a beton egész felületén, célszerű közvetlenül a kizsaluzás után eltávolítani, mivel később a beton szilárdabb lesz.

A faanyag felületi kezelésének mértékét, illetve szükségességét az is befolyásolja, hogy a betont a keverés után mennyi idővel dolgozzuk be és milyen a konzisztenciája. Ha közvetlenül a keverés után dolgozzuk be, akkor – puhafa felhasználása esetén – a vízzáró zsaluzatot nem szabad nedvesíteni, a vízáteresztő zsaluzatnál mindegy, hogy nedvesítjük-e vagy sem, míg a keményfa zsaluzatot mindenképpen nedvesíteni kell. Ha viszont a keverés után 3–4 óra áll rendelkezésre, akkor a száraz faanyag előnyösebb [Krejger (1963)].

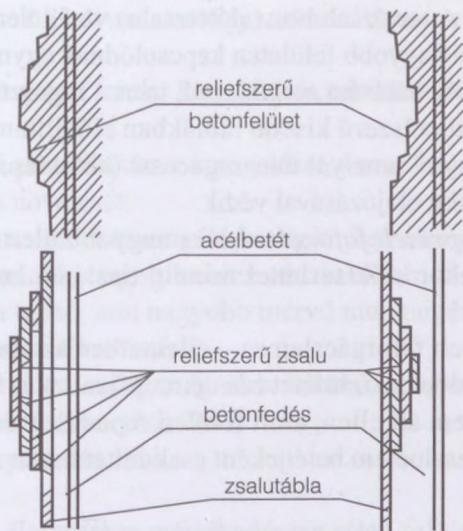
Ha ki kell hangsúlyozni valamilyen irányt, akkor kör, trapéz (8.7. ábra), négy- szög vagy háromszög alakú léceket kell a zsalu belső oldalára szegezni. Ezek célszerűen lefedhetik a zsaluk közötti illeszkedési hézagokat. Arra vigyázni kell, hogy az így elkészített lécezet ne hozzon létre vízgyűjtő helyeket.



8.7. ábra. A betonfelület egyhangúságának megtörése különböző alakú lécek segítségével (Armuth–Balázs–Ujhelyi, 1967)



A deszkaszaluzatot a 8.8. ábra szerint kialakítva, az elkészített betonfelület nagy távolságból domborműszerűen (reliefszerűen) hat, ha jól tervezzük meg a deszkák kiosztását.



8.8. ábra. Reliefszerű deszkaszaluzat (Armuth–Balázs–Ujhelyi, 1967)

#### 8.2.3.2. Gyalult fazsalu

Ha a fűrészelt fa (szőrös deszka) erezetét nem akarjuk megmutatni és teljesen sima, vagy utólag (a kiszaluzás után közvetlenül) keféléssel vagy homokfúvással megmunkált felületet akarunk létrehozni, akkor gyalult fazsalut alkalmazhatunk. A látszóbeton zsaluzatának kezdettől fogva alkalmazott készítési módja volt. A deszkákat csappal és horonnyal egymáshoz kapcsolják. Betonozás előtt az illeszkedési hézagokat gondosan tömíteni kell, ezáltal a beton kitüremkedését el lehet kerülni. Az előrelátható szegfejeket is süllyesztve készítjük és a fejek által okozott hézagokat szintén kitöltjük kittel.

A gyalult fazsalu kevésbé gazdaságos, mint más, hasonló felületet nyújtó zsaluzat, mivel drágább, az élettartama a kiszaluzásnál bekövetkező gyakori sérülések miatt kisebb.

#### 8.2.3.4. Préselt faforgácslemez

Az egyszerű préselt keményfalemez nagy nedvességérzékenysége (nedvesség hatására érdes és szálás lesz) miatt az építészeti látszóbeton készítésekor általában csak egyszer, a mérnöki látszóbeton készítésekor kétszer, háromszor használható fel. Foltmentes látszóbetont nem lehet vele elérni. Az egyszeri alkalmazáshoz álta-

lában 2,5 mm-t, többszöri felhasználáshoz 4 mm-es lemezt alkalmaznak. Ez tartószerkezetként nem alakítható ki, csak előtétzsaluként. A megtámasztó szerkezet-hez vékony drótszegekkel vagy speciális kapcsokkal úgy kell hozzáerősíteni, hogy ne görbülhessen meg. A tartózsaluhoz (alátétzsalu) vízálló enyvezéssel is kapcsolható. Ebben az esetben nagyobb felületen kapcsolódnak egymáshoz. Azonban kedvezőtlen, ha a nedvesség hatására megduzzad, mert a ragasztás elválhat. A nedveségérzékenysége miatt célszerű kisebb táblákban előállítani és a lemezek között kb. 2 mm hézagot hagyni, amelyet üvegragaccsal (ablaktapasz) töltenek ki. A betonnedvességtől a felület olajozásával védik.

Az *olajban edzett préselt faforgácslemez* nagyobb élettartamú. Az építészeti látszóbeton készítésekor előkészítéssel mindig tisztázni kell, hogy nem okoz-e elfoltosodást.

Gyantakötésű préselt faforgácslemez – ellentétben az olajedzett keményfaszalualal – kielégítő látszóbeton-felületet hoz létre. Mivel ez is keményfarostból van, extrém időjárásnak nem áll ellen, amit felületi repedések és hullámosodás jelez. Emiatt előre gyártott zsaluelem betétjeként csak feltételesen alkalmas.

#### 8.2.3.5. Rétegelt falemez

Készülhet kevesebb vagy több rétegből. A furnértáblák vastagsága 4–5 mm, lényegesen drágább, mint a préselt faforgácslemez, de hosszabb az élettartama is, mivel a kizsaluzáskor könnyen elválik a betontól, és ritkán sérül meg. Általában nem kell tisztítani sem. Vékony furnérlemezek a betonnedvesség hatására hullámosodhatnak. Ez elkerülhető azáltal, hogy a beton felőli felületét műgyantalakkal vonják be és így a betontól víz nem éri.

A furnérból könnyen készíthető íves felület is, de mindig el kell látni hátszaluzattal, amely a betonnyomásokat felveszi. A zsalutáblák közötti hézagokat kittel tömhetjük ki, akkor teljesen sík felületet kapunk. Ha a zsalutáblákat nem pontosan illesztjük össze, akkor a zsalutáblák közötti hézag helye a felületen meglátszik, aminek tervszerű elhelyezésével jó esztétikai hatás érhető el.

A furnér fedőlemezének minden esetben jó kopásálló keményfából kell készülnie. Természetesen akkor kapjuk a legtartósabb furnért, ha valamennyi rétege keményfából készül.

A rétegelt lemezzsalu két módon használható fel:

- előtétzsaluként (3–10 mm vastag) és
- teherhordó zsaluként (12–24 mm vastag).

Az utóbbi 3–11 rétegből készülhet. A páratlan számú réteg használata azért szükséges, hogy a lemez szimmetrikus felépítésű legyen. Mindig arra kell törekedni, hogy minél nagyobb toldás nélküli lemezeket készíthessünk.



A lemez felületét tekintve megkülönböztetünk:

- természetes, kezeletlen rétegelt lemezzsalut,
- műgyanta bevonatú rétegelt lemezzsalut.

A lemez felületének a bevonása műgyantával, illetve műanyaggal lehetővé teszi a következőket:

- a) Sima és lehetőleg zárt felület kialakítását, ami által sima és tömör betont érhetünk el.
- b) A lemez kopási ellenállásának a növelését, s ezzel a lemez élettartamának és gazdaságosságának a növelését.
- c) A fa védelmét mechanikai rongáló hatások ellen és a vízfelvétel ellen.
- d) Műgyanta bevonatú rétegelt lemezzsalut esetén fennáll a veszély, hogy a zsalufelülethez beton tapad, ami nagyobb mérvű munkaigényt tesz szükségessé és rontja a betonfelület esztétikai hatását.

A műgyanta-, illetve műanyagrétegnek a felhordása a betonra végbevihető:

- felspriccelés, illetve bemerítés által;
- hőhatás alatti bepréselés által;
- fóliaként.

E kezelt lemezek élettartama mértékadóan a réteg felületi keménysége mellett attól függ, hogy a tartó anyagának (alátétzsalu, tartószerkezet, kapcsolatok) rugalmasságát tudja-e követni. Ha ezt nem tudjuk biztosítani, akkor a gyantaréteg megreped, és már nem lehet szép betonfelületet készíteni.

Műanyag bevonatú rétegelt lemezzsalu akkor gazdaságosabb az acélzsalunál, ha a zsaluforduló (előre gyártásban a gyártandó elemek száma) kicsi. Ez különösen vonatkozik a kb. 12–18 mm vastag, kétoldalt műgyantával bevont, önhordó, vékony keményfa furnérból ragasztással készült lemezekre.

### 8.2.3.6. Műanyag zsalu

Napjainkig nem terjedtek el eléggé. Ennek oka a különböző anyagok viszonylag nagyobb ára mellett kedvezőtlenebb fizikai tulajdonságuk. Ugyanis a műanyag fóliák, illetve -lemezek hőtágulási együtthatója nagyobb, mint a műanyag bevonatú furnéré.

A 0,04–0,8 mm vastag termoplasztikus műanyag fóliák gyorsan elhelyezhetők és egyszerűen kiszaluzhatók, de nehéz gyűrődésmentesen felerősíteni a zsaluzatra, ami pedig a látszóbetonnál alapvető feltétel. Hátránya még, hogy csak egyszer használható.

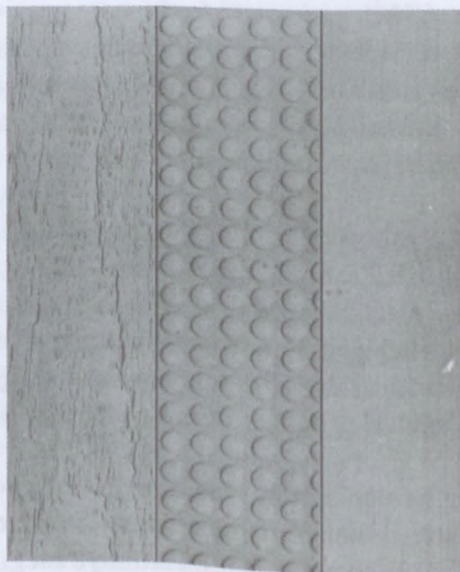
Az előre gyártás során egyes esetekben sikerrel alkalmazták a melamin-fenol alapú merev műanyag lemezeket (Formica, Getalit, Ultrapas Perstorp, Resopal stb.). A felület keménysége és ellenálló képessége minden vonatkozásban kielégítő. Nagy előállítási költségét ellensúlyozza sokszori felhasználhatósága. Azonban

nehézséget jelent az 1,0–1,5 mm vastag merevlemez felerősítése a tartószerkezetre. Munkahelyen a hőmérsékletre és nedvességre érzékeny ragasztó nemigen jöhet számításba. Jól megfelel az olyan tartólemez, amelynek mindkét oldalára üzemszerűen műanyag lemezt préselnek. Továbbá az üvegszál erősítésű műgyantákból (poliészter) készített zsaluzat.

A műanyag zsaluzat nagy előnye [Hanson, J. A.–Schideler, J. J. (1961); Hanson (1960)], hogy vele tetszés szerinti merész domborművi felületeket lehet kialakítani. Az így készített betonfelületek mértani alakzatai 100–200 m-ről is tisztán láthatók. A műanyag zsaluval elő lehet állítani fényes betonfelületet. A felületi mintás műanyag lemezeket az USA-ban általában vákuumformázással készítik. Az USA-ban szívesen alkalmazták a kőszerű textúrát nyújtó műanyag zsalut. A sablon megszerkesztése során arra kell vigyázni, hogy a zsalut könnyen le lehessen bontani a betonról.

A műanyag zsalu legyen tiszta, száraz. A felületet nem kell kezelni, mert akkor nem lesz fényes a betonfelület. A zsaluzat mellől vibrálással kell eltávolítani a légbuborékot, de a túvibrálást kerülni kell. Fényes felületet akkor kapunk, ha a beton kb. 48 órán át közvetlenül érintkezik a nem vízszívó műanyaggal. Ha nem akarunk fényes felületet, akkor ennél előbb el kell távolítani a zsalut.

Háromféle zsaluzattal készített betonfelületet szemléltet a 8.9. ábra.



8.9. ábra. Háromféle zsaluzattal készített betonfelület. Ezek (balról jobbra): Gyalulatlan deszkzsalu, műanyag zsalu, gyalult deszkzsalu (Künzel, 1965)



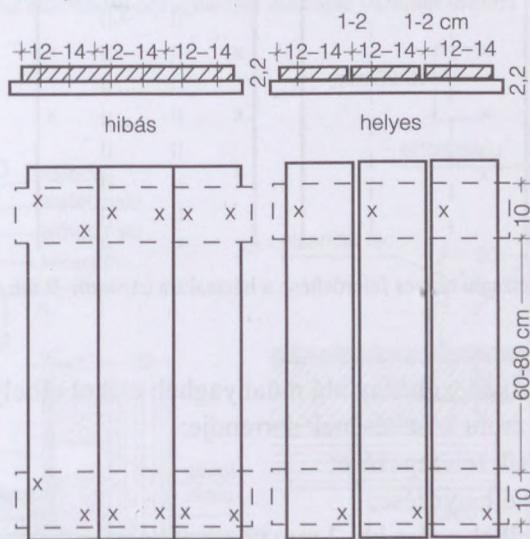
### 8.2.3.7. Acéllemez-zsalu

Minden esetben csak előtétzsaluként jöhet számításba. A gondosan kezelt acéllemez-zsalu 200–300-szor is felhasználható. Az összes zsaluanyag között a legtartósabb. Ezzel szemben néha jelentős a légpórusképződés a beton felületén.

### 8.2.3.8. A zsaluzat készítése

Ebben a fejezetben nem foglalkozunk részletesen a zsaluzatkialakítás összes lehetséges eseteivel, hiszen a zsaluzat szerkesztése igen sok vonatkozásában meg egyezik a szokványos betontechnológiában már megismert módszerekkel. Itt csak néhány speciális szempontt emelek ki, elősegítve a hibamentes látszóbeton készítését.

Ahhoz, hogy a zsaluzat hullámosodását csökkentsük (ha teljesen elkerülni nem is tudjuk), a zsaludeszkákat úgy kell kialakítani, hogy *feszültségmentesen alakváltozhassanak* (8.10. ábra).

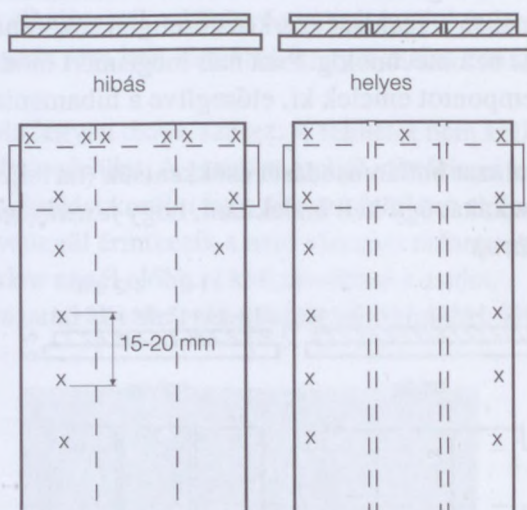


8.10. ábra. Zsaludeszkák helyes felerősítése az alátétdeszkára (Armuth–Balázs–Ujhelyi, 1967)

A 4 mm vastag (nem önhordó) rétegelt előtétlemezt 15–20 mm-enként kell a peremtől kb. 1 cm-re odaszegezni vagy más módon odakapcsolni. Ne kiszáritott állapotban szegezzük fel (ha vízfelvételre számítani kell), mert ez esetben a boltozódást még így sem kerülhetjük el.

Az illeszkedési hézagok kiképzése során, különösen a sokszor felhasznált elemeknél nagy gondosság szükséges. A 8.11. ábra szerinti esetben az előtétzsalu felerősítésének a menete a következő:

- az egyik előtétlemez laza felszegezése;
- képlékeny kitt elhelyezése az illeszkedési hézagban;
- a lemez merev felszegezése és
- az ellenlemez tömör illesztése 1–2 mm illeszkedési hézaggal, melyet kittel töltöttünk ki;
- a kész fuga behúzása spatulyával.



8.11. ábra. Előtétzsalu helyes felerősítése a hátszalura (Armuth–Balázs–Ujhelyi, 1967)

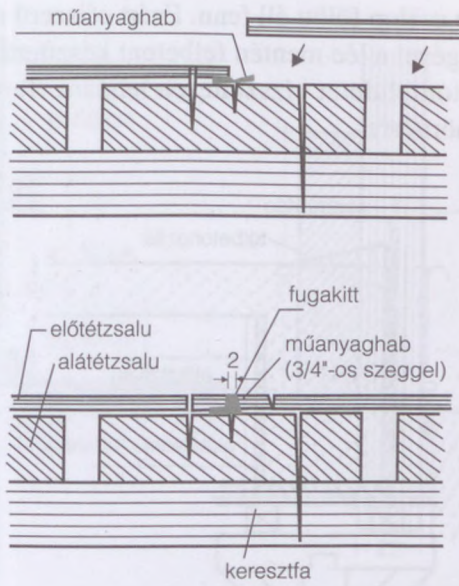
Célszerű az illeszkedési hézag alá műanyaghab csíkot elhelyezni (8.12. ábra). Ebben az esetben a zsalu készítésének sorrendje:

- műanyaghab csík felszegezése;
- az egyik lemez elhelyezése;
- az ellenlemez elhelyezése kb. 2 mm hézagot hagyva;
- a nyitott hézag kitöltése rugalmas gipsszel vagy más rugalmas anyaggal.

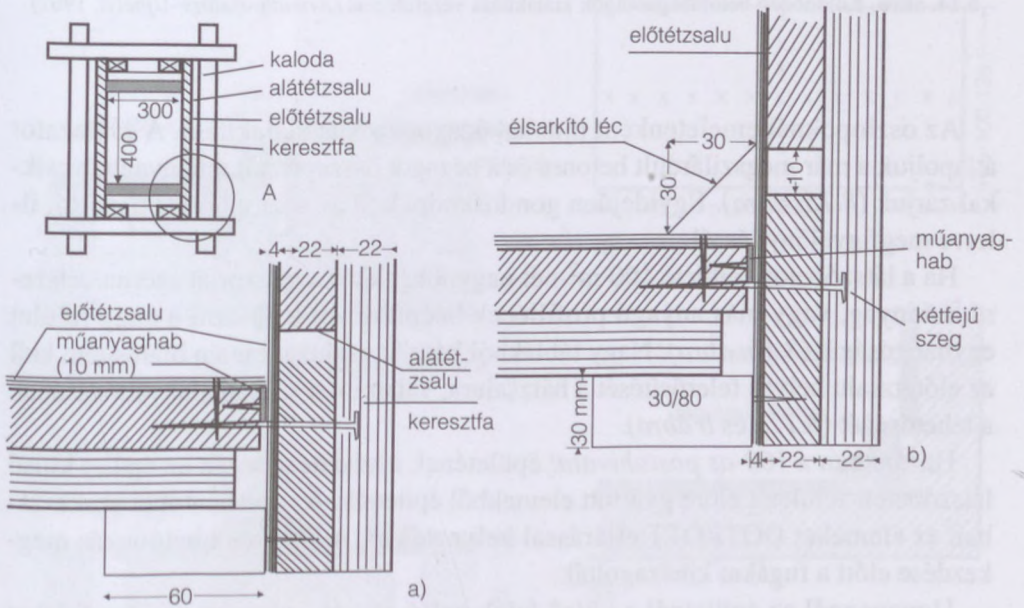
Mindig gondot okoz az oszlopszsalu kifogástalan elkészítése. A jó látszóbetonhoz szakszerűen kell megoldani az illeszkedési és szerkezeti hézagokat, azokat megfelelően tömíteni kell. A hézagok tömítését célszerűen műanyaghabbal lehet ellátni, amit a kétféjű szeg segítségével lehetőleg jól össze kell préselni (8.13. ábra). A könnyen megsérülő éleket célszerű háromszögű lécek behelyezésével lesarkítani (8.13. ábra). A zsalu többi részét végeredményben a szokásos módon képezzük ki.

A látszóbeton-egységek tiszta vonalvezetése céljából, különösen különböző betonmagasságok kialakításakor, vigyázni kell a beton utólagos ülepedésének a ve-



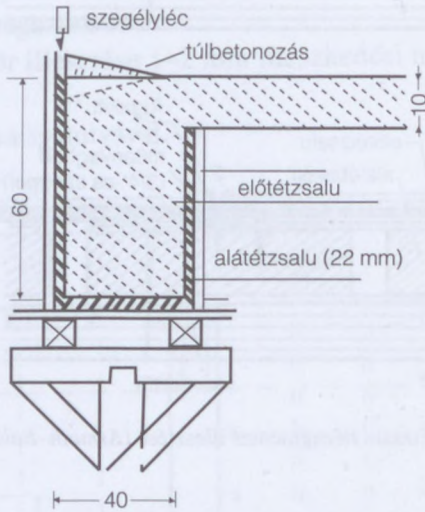


8.12. ábra. Az előtétzsalu hézagmentes illesztése (Armuth–Balázs–Ujhelyi, 1967)



8.13. ábra. Jól záró oszlopszalu kialakítása (Armuth–Balázs–Ujhelyi, 1967)

szélyére. Ez különösen oszlop fölött áll fenn. Ezért célszerű az első tömörítés után egy szegélyléc segítségével a lécc mentén felbetont készíteni (8.14. ábra) és újból tömöríteni, majd a betonfelületet vízszintesen lehúzni. Természetesen vigyázni kell a kifogástalan tömörítésre.



8.14. ábra. Különböző betonmagasságok kialakítása vezetőléccel (Armuth–Balázs–Ujhelyi, 1967)

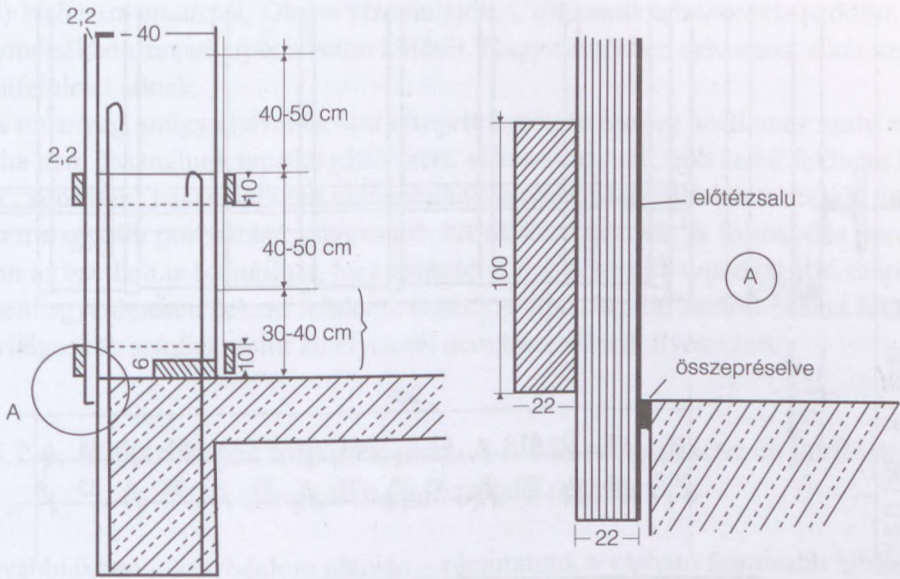
Az oszlopoknál emeletenként munkahézagot szokás kialakítani. A zsaluzatot átlapoljuk a már megszilárdult betonra és a hézagot összepréselt műanyaghab csíkkal zárjuk (8.15. ábra). Egyidejűen gondoskodni kell az oszloplábnál tisztító-, illetve megfigyelőnyílásról.

Ha a látszóbeton felülete  $100 \text{ m}^2$ -nél nagyobb, akkor a gyakorlat szerint célszerű műanyag, vagy más anyagú profillécek beépítésével megtörni a nagy felület egyhangúságát (8.16. ábra). Nagy táblákból készült zsaluzat esetén biztosítani kell az előtétzsalu helyes felerősítését a hátszalura, valamint a szabad alakváltozásának a lehetőségét (8.17a és b ábra).

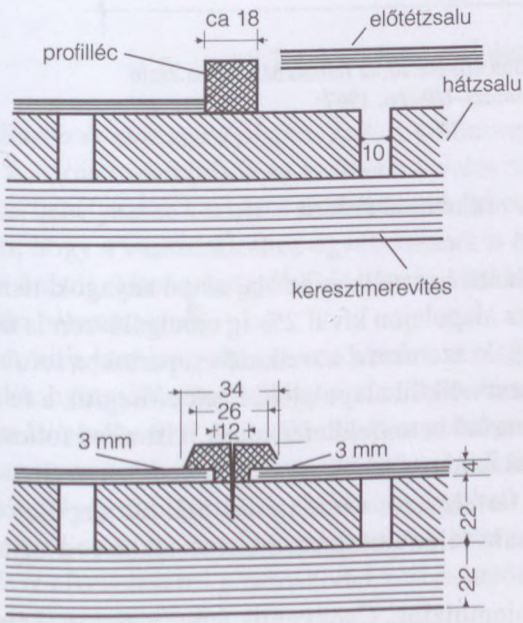
Hazánkban a 100-as postahivatal épületének a készítése során az épület külső látszóbeton-felületét előre gyártott elemekből építették. Az építés utóbbi szakaszában az elemeket DOTROTT eljárással helyezték el. A helyszíni betonozás megkezdése előtt a fugákat kihézagolták.

Ugyanennél az épületnél a külső falak belső részét, valamint a válaszfalakat helyszíni látszóbetonból készítették, melyhez a 8.18. ábrán feltüntetett, szobafal nagyságú táblás zsalut használták. A zsalulemez, amely nemcsak előtétzsalu, 15 mm vastag F VII gyantával háromszor felületkezelt rétegezt lemez. Az illesztés mindig válaszfalanknál volt.

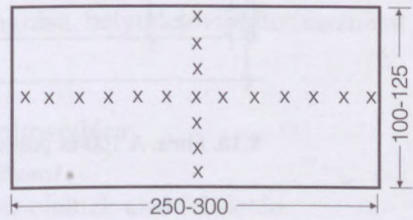




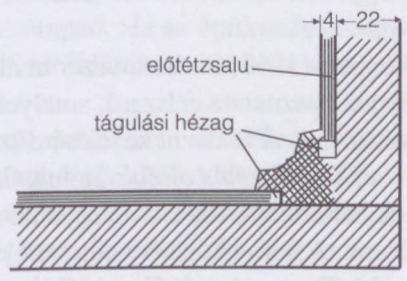
8.15. ábra. Oszlopcsatlakozások kialakítása (Armuth-Balázs-Ujhelyi, 1967)



8.16. ábra. Nagy felületek osztását célzó profilécsek (Armuth-Balázs-Ujhelyi, 1967)

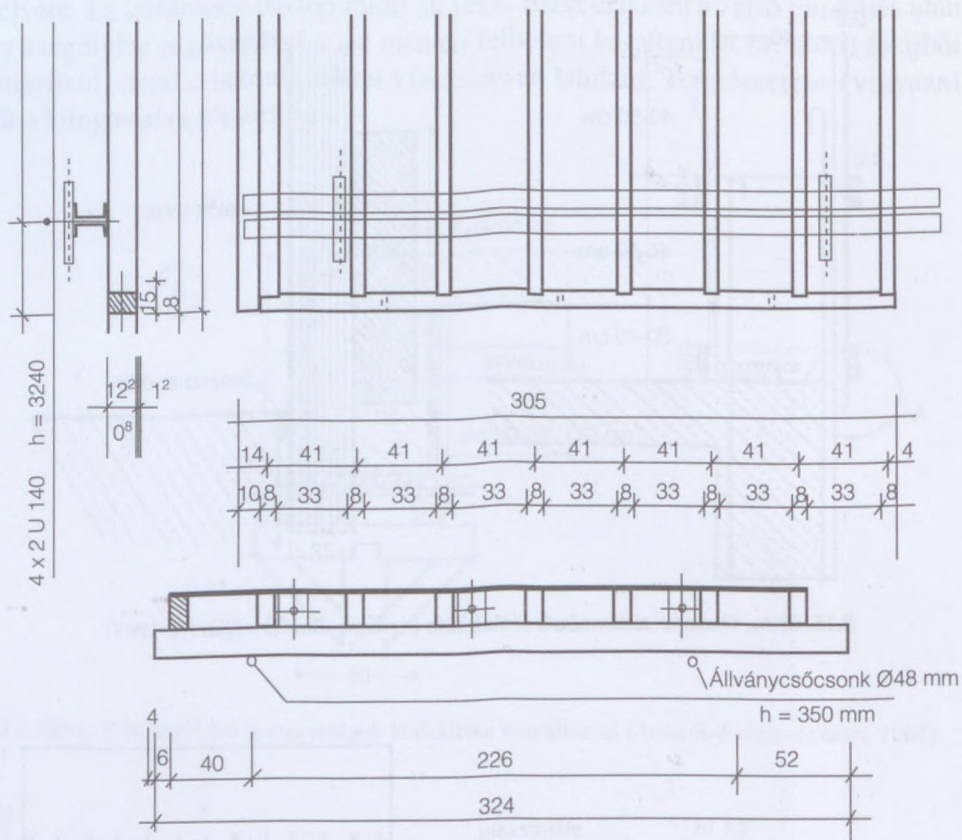


a)



b)

8.17. ábra. Saroklécek elhelyezése nagy táblák esetén a) előtétzsalu mérete és felerősítésének módja; b) sarokléc elhelyezése (Armuth-Balázs-Ujhelyi, 1967)



8.18. ábra. A 100-as postaépület építése során felhasznált táblás zsalu  
(Armuth-Balázs-Ujhelyi, 1967)

### 8.2.3.9. A zsaluzat kezelése

Kinnear (1963) kísérletei szerint általános használatra az olaj alapú anyagok, tiszta olajok használata célszerű, amelyek az alapolajon kívül 2%-ig emulgálószer is tartalmaznak. A zsaluzat kezelésére szolgáló szereket a következő csoportokba sorolta:

a) *Természetes olajok.* Emulgálószer nélküli alapolajok. Ezek elősegítik a felületi buborékképződést, de egyenletes színű betonfelületet adnak, kismérvű foltosodással. A beton kötésére nincsenek hatással.

b) *Tiszta olajok.* Emulgálószer tartalmazó, vízadagolás nélküli alapolajok. Egyenletes színű betont adnak. A zsalu túlzott olajozása kismértékben zavarja a beton hidratációját.

c) *Olajbázisú emulziók.* Vizes olajemulziók. Csökkentik a buborékképződést, és egyenletes színű betonfelületet eredményeznek, kis foltosodással. A beton kötésére nincs hatásuk.



d) *Vizbázisú emulziók.* Olajos vízemulziók. Csökkentik a buborékképződést, de nagymértékben zavarhatják a beton kötését. Nagymértékben szivacsos, sötét színű betonfelületet adnak.

A műanyag, műgyantával bevont rétegeelt lemez és esetleg acéllemez zsalu esetén, ha nem használunk tapadásgátló szert, akkor sima, sötétebb színű felületet kapunk. Többszöri használat után előfordulnak zsaluhoz tapadt felületi részek, amelyek nagyobb porozitású világosabb foltok keletkeznek. A foltosodás persze abban az esetben is fennállhat, ha a zsalufelületet bekenjük tapadásgátló szerrel. (A nem egyenletesen bekent felületek miatt.) A tapadásgátló szerrel bekent felületek világosabb színűek, mint amelyeknél nem használtunk ilyen szert.

#### 8.2.4. A látszóbeton hibáinak okai. A hibák megelőzése és javítása [Armuth–Balázs–Ujhelyi (1967)]

A továbbiakban – az irodalom alapján – rámutatunk a várható fontosabb hibákra, és a hiba megelőzésére, javításának lehetőségére.

Már itt megjegyezzük, hogy munkahelyi viszonyok között nem lehet olyan betonfelületet elérni, hogy annak minden négyzetcentimétere, vagy négyzetmétere egységes színű legyen. Bizonyos eltérések azonban (gyenge kivitel, rosszul összeállított zsaluzatok, zsaluzószer egyenetlen alkalmazása, helytelen vibrátorhasználat stb.) elkerülhetők.

##### 8.2.4.1. A betonfelület foltosodása

a) *Barna és más színű piszkos foltok,* különösen az elemek alsó felületén.

A barna rozsdafoltok az acélbetét leveles rozsdájától származnak, amely a zsaluzat behelyezése közben a zsalura kerül és a zsaluhoz tapad. Különösen télen gyakori, hogy a vasszereléshez egyéb szemét is hozzátapad. Ha az építkezés lassabban halad, akkor a levegőből is barnásszürke piszok rakódhat a zsalura, amelyet aztán bebetonoznak.

A hiba javítása nehéz és rendszerint nem sikerül, mivel ez nem felületi elszíneződés, hanem a betont néhány mm mélyen szennyezi. A rozsdát – különösen télen – nem lehet elkerülni. A leváló részeket azonban mindenféleképpen el kell távolítani és az ilyen acélbetétet alárendelt helyen kell beépíteni. Gondoskodni kell az acélbetét helyes tárolásáról. A zsaluzatot úgy kell kezelni, hogy a piszok, szemét bele ne ragadjon és a betonozás megkezdése előtt vízszaggárral lemosható legyen. A tisztítóvíz elvezetéséről gondoskodni kell és arról is, hogy az más látszó betonfelületeket ne szennyezzen.

b) *Barna csíkok a függőleges felületen*

Oka az, hogy a rozsdás víz a felületen lefolyva azt szennyezi.

A hiba felületi elszíneződést jelent, ezért javítható. Eltüntethető dörzspapírral.



A hiba megelőzhető azáltal, hogy egy-egy réteg betonozása után a munkahézagba benyúló acélvégeket cementtejjel bekenjük, és az meggátolja a rozsdásodást. Ha a foltosodás attól származik, hogy a felülethez kapcsolva rozsdás támaszokat alkalmaznak, akkor azokat felhasználás előtt szokványosan festeni kell.

c) *Mész kivirágzás*

Amint a 8.2.2.1. fejezetben rámutattam, a mészkivirágzás a cement hidratációjának a következménye. Különösen csapadékos időben, diffúzió révén a felület felé vándorol a szilárdulás során felszabaduló mészhidrát. Ez a levegő szén-dioxid tartalmával viszonylag hosszabb élettartamú tejszerű, nehezen oldódó, szénsavas meszet képez.

A hiba javítható. Ha a betonfelület száraz, akkor az a legtöbb esetben kézi vagy gépi keféléssel eltávolítható. A kivirágzás megszüntetésének másik módja a betonfelület lemosása híg (1:5, illetve 1:10) sósavoldattal. A sósav megtámadja a cementet is. Ennek megakadályozására a felületet kezelés előtt és után gondosan bő vízzel le kell mosni. A savazást minden esetben szakember ellenőrzésével kell végezni, hogy a betonfelület romlását elkerüljük.

A hiba csökkenthető szakszerűen, jó minőségben, tömören készített beton által. Ha a beton tömör, kevés a kapilláris, akkor a mész nem tud a felületre diffundálni. Minthogy a kivirágzás a felületi vízzel is összefügg, ezért meg kell akadályozni, hogy a betonfelületen a víz megálljon vagy a felsőbb részek nedvesítése során a víz a már elkészített felületekre folyjék. A kivirágzásmentesség feltétele a felület egységes, gyors kiszáradása.

d) *Kék-zöld foltok*

Jól záró zsalu esetén az oxigénhiány okozza. Különösen kohósalakcement alkalmazásakor lehet észlelni.

Javítani nem szükséges, mivel kizsaluzás után néhány héttel eltűnik.

e) *Kékesszürke foltok*

Annak tulajdonítható, hogy az intenzív tömörítés következtében a nedvesség telített 0–0,2 mm-es finom részek felgyülemlenek a zsalu mellett.

Eltüntetni csak a felület kezelésével lehetséges. Az élénk színhatás az első év elteltével csökken.

Megelőzhető rendszerint azáltal, hogy a merülővibrátor nyelvét csak tömörítésre és nem a felgyülemlett beton elterítésére használjuk, illetve pumpált beton esetén a csőtorkolatot szabályszerűen helyezzük el.

f) *Árnyékfolt-képződés*

A túlzásba vitt vibrálás okozza. A nagy víz-cement tényező elősegíti. Azonban csak akkor számítjuk hibaként, ha az optikailag elviselhető mérték fölött jelentkezik és a betonfelület egyszínűségét megzavarja.

Javítani nem lehet. Csak a felület befestése által tüntethető el.

Megelőzhető mértéktartó víz-cement tényező és célszerűen megválasztott tömörítés által.



### 8.2.4.2. Utólagos felületszennyeződések javítása

Gyakran nem tudjuk megelőzni a betonfelület utólagos szennyeződését. Néhány ilyen eset javítási lehetőségét soroljuk fel [Künzel (1962)].

Ha a gyermekek a sima betonfelületet *ceruzával, golyóstollal, zsírkrétával befestették*, akkor ez 8%-os oxálsavval, a tintaceruzafolt 10%-os foszforsavval eltávolítható. Ceruza- és zsírkrétafolt tisztításához a triklóretilént is ajánlják.

Vörös, vízzeloldhatatlan vasoxid tartalmú *rozsdafolt* nátrium-nitrát és víz 1:6 arányú keverésével előállított oldattal kezelhető. A felületre finom nátrium-hiposzulfit kristályokat szórnak és bedörzsölik. Néha az is szükséges, hogy a foltot, felületi kötést elősegítő porból készült pasztával fedjük le. Svájci tapasztalatok szerint ezt az eljárást egyszer vagy kétszer alkalmazva a folt teljesen eltüntethető. A kezelés után bő vízzel le kell mosni.

Mivel az *olajfoltok* a felületbe gyorsan beivódnak, azok eltávolításával sietni kell. Ha még nem ivódott az olaj a felületbe, azt először is fel kell itatni mész- vagy cementörleménnyel. A foltot magát 1 tömegrész nátrium-foszfát, 1 tömegrész nátrium-porborát és 3 tömegrész adszorbens por keverékéből előállított pasztával távolíthatjuk el, amelyet erős szappanoldattal felhordható konzisztenciájúra kell előállítani. A teljes eltávolításig többször meg kell ismételni.

Az *ásványolaj* szintén gyorsan beivódik a betonba. A foltot a fent leírt porral kenjük be. A kiszáradt olajfoltot drótkefével távolíthatjuk el, amelyhez erős szappanoldat mellett nátrium-foszfátoldatot is használhatunk. Az itt felhordható, adszorbens szárítópaszta benzolból és adszorpciósszorból álló keverék. Utókezelése az olajfoltéval egyezik. Megjegyezzük, hogy az olyan felületi elszíneződést, amely a zsalu egyenlőtlen (és fölös) olajozása, valamint a puhafazsalu egyenlőtlen (és fölös) olajozása, valamint a puhafazsalu egyenlőtlen olajfelvétele miatt áll elő, ezzel a módszerrel nem lehet javítani.

A *zsírfoltot* rendszerint már koncentrált szappanoldattal el lehet távolítani. A hátramaradó elszíneződés a fent leírt benzolpasztával megszüntethető. Arra vigyázni kell, hogy adszorbeáló por nélküli tiszta oldószer ne kerüljön a betonfelületre, mert ilyen esetben a feloldott zsír mélyen behatol a beton pórusaiba.

*Bitumen, kátrány, bitumen-, illetve aszfaltemulzió* nagy viszkozitása miatt nem mélyen hatol be a betonba. Ezért viszonylag könnyen eltávolítható. Ezzel szemben az oldószerrel hígított aszfalt mélyebben benyomul a betonba és onnan azután alig távolítható el. A felületre tapadó merevebb aszfalt mechanikus úton (spachtlival) eltüntethető.

Fa-, kátrány- és koromfoltok, amelyek barnás elszíneződést okoznak, rendszerint valamilyen tisztítószerrel és vízzel eltávolíthatók. Az utókezeléshez valamilyen fehérítőszert mint például nátrium-hipoklorit-oldatot használhatunk.

Fontos valamennyi tisztítószer használata során, hogy a szer maradékait gondos vizes lemosással eltávolítsuk. Mivel e szerek lúgosak, nem szabad azokat sa-



vazott felületre felhordani. A vegyi tisztítószerek rendszerint mérgezők, ezért a balesetvédelemről (gumikesztyű, védőszemüveg, jó szellőzés) gondoskodni kell.

A svájci cementgyárak műszaki kutatótársasága és tanácsadó szerve *adszorpciós anyagként* a finomra őrölt anyagokat, kaolint, bentonitot, krétalisztet, talkumport és esetleg a hidraulikus meszet ajánlja.

Ha a szennyeződések eltávolítása a fenti kémiai szerekekkel nem lehetséges, mert a szennyeződés valamivel mélyebbre ható és nem egészen felületi, akkor más eszközökhöz kell folyamodni (kefélés, homokfúvás). Azonban ez nem lehet mély, mert akkor meg a betonfedés csökken le.

#### 8.2.4.3. A színegyenetlenség biztosítása

A tapasztalat és a kutatások azt mutatják, hogy a beton alkotóanyagainak és a gyártástechnológiának a váltakozása befolyásolja a színegyenetlenséget. A színegyenetlenség érdekében a következő intézkedéseket kell tenni:

a) Nem változó abszorpciójú zsaluzat alkalmazása, vagyis acél, műanyag, vízhatlanított fa vagy furnérlemez, vízhatlanított (olajozott) kartonpapír vagy mérsékelt abszorpciójú közönséges kartonpapír.

b) Egy helyről származó adalékanyag alkalmazása. A cement egy azonos gyárból és lehetőleg egyazon gyártásból származzék.

c) A beton víztartalmát gondosan kell ellenőrizni.

d) Zsaluzószerként olajbázisú zsaluzóolaj-emulziót kell tapadásgátló anyagként felhasználni, azt vékony rétegben és egyenletesen kell felhordani.

e) Ügyelni kell a betonérlelés egyenetlenségére és a kezdeti kiszáradásra.

f) A zsaluzat merev legyen és vízzáró, rugalmas szigetelőszalagot alkalmazunk a rétegek vonalán és az egymás utáni betonozások között.

#### 8.2.4.4. A hibás, illetve helytelenül kezelt zsalu okozta hibák

##### a) *Sérült zsalu*

A zsalu megsérülhet betonozás közben (a vibrálás alatt a vibrátor rongálhatja a zsaluzatot), a be- és kiszaluzás, tárolás tartama alatt. Az erőszakos belső vibrálás különösen az előtétzsalukat sérti meg könnyen. Ha ezek elmozdulnak, betonorr keletkezik. A megsérült zsalut nem szabad újra felhasználni.

A sérült zsalu javítása műgyantával, mindaddig nem vezetett egyértelmű eredményre. A sérült zsaluval készített beton lecsiszolással javítható.

A merülővibrátor okozta sérülés elkerülhető azáltal, hogy a vibrátorfejre keménygumi feltétet teszünk.



#### b) *Betonszemölcsök*

A hibás zsaluhelyeken, szeghelyeken keletkező betonkidudorodás.

Javítható utólagos lecsiszolással, amely fáradságos utómunkát jelent.

Megelőzhető hibátlan, sima zsaluval.

#### c) *Betonorr*

Az illesztő és a nem, vagy hiányosan tömített szerkezeti hézagokba benyomuló beton a hézagnak megfelelő kidudorodást, orrot hagy hátra, amely zavaró lehet.

Az, hogy kell-e javítani, az esztétikai hatástól függ. Az eltüntetésének egyetlen útja a betonorr lecsiszolása.

Megelőzhető az összes hézag gondos takarása révén. Az így jelentkező többletköltség megtérül azáltal, hogy nem marad a betonfelületen olyan nyom, amely zavarná az optikai hatást.

#### d) *Csatlakozásnál fellépő hibák*

A *vízszintes munkahézagoknál* figyelni kell arra, hogy a különböző vastagságú beton különbözőképpen ülepedik (például az oszlopnál). Ha a betont nem egy vízszintes él mentén hagyjuk abba, akkor nem nyerünk szép betonfelületeket.

Ez hanyagság okozta hiba, amit a kész látszóbetonon javítani nem lehet. Ha a következő réteg betonozása előtt a régi betonfelületet érdesítik, nedvesítik, a hiba csökken.

Megelőzhető azáltal, hogy a betont egy sík mentén gondosan lehúzzák, s ha kell, utántömöritik.

A csatlakozó zsaluk elcsúszása egymáshoz képest, *függőleges hézagokhoz* vezet.

Legjobb megoldás a megelőzés, ami a zsalutáblák gondos csatlakoztatásával és az illesztésekbe helyezett műgyantahabbal érhető el.

#### e) *Élsérülés*

A kizsaluzáskor vagy később fellépő mechanikai sérülésből eredő hiba. Gyakori, különösen, ha nedvszívó zsaluzatot használunk. Ugyanis az éleknél kétszer annyi vízelzívás lép fel.

Ezt a hibát látszóbetonnál nem lehet javítani. Ezért a megelőzésre kell súlyt helyezni. Elkerülésének egyetlen biztos útja, ha a zsaluzatba élvédő léceket helyezünk akkor is, ha ez szükségtelen bér- és anyagköltség látszatát kelti.

#### f) *Csavarodott zsalu*

Oka az, hogy a zsalutábla nem kellően merev és a betonozás helyén sincs megfelelően kimerevítve. Ezáltal nem lehet biztosítani, hogy a vasszerelés mindenütt egyforma betonfedést kapjon.

A hiba utólag nem javítható.

Megelőzhető a merev zsalu készítése és térbeli rögzítése révén.

#### 8.2.4.5. Hullámos betonfelület

Oka a hullámos zsalu, illetve előtétzsalu. Akkor következik be, ha nem veszik figyelembe a zsalu anyagától és nedvességtartalmának mértékétől függően a zsalu alakváltozását. Az előre gyártott zsaluval – különösen, ha méretei nagyok – a hullámosodás is vele jár. Ezt nem lehet azáltal megakadályozni, hogy az előtétzsalut a peremei mentén a közbenső helyeken is mereven összekapcsoljuk az alátétzsaluval. A hullámosodást elősegíti a szakszerűtlenül készített alátétzsalu is (nagyon száraz fa sűrűn egymás mellett, az egyes deszkák szegezése a deszka mindkét peremén stb.).

A zsalu hullámosodását kiválthatja az időjárás és bedolgozás következtében fellépő nedvességekülönbség. Ha az előtétzsalu felületét nem vonjuk be víztaszító réteggel, akkor a vízfelvétel kb. egyenlő mértékű a lemez felületén és az élein. Réteggel bevont lemez esetén az éleknél következik be a vízfelvétel 80–90%-a. Természetesen változik az arány a sérült zsalu használata esetén. Nemcsak a vízfelvétel mértéke, de sebessége is függ a zsalu anyagától.

A hullámos betonfelületet már nem lehet javítani.

#### 8.2.4.6. Erős lerakódás a betonon a zsalu hibás előkezelése miatt

Előfordulnak a látszóbeton felületén barna, illetve szürkésbarna foltok. Ha ezek nem acélrozsdától származnak, akkor oka az előtétzsalura fölös mennyiségben felhordott olaj vagy paszta.

Az előtétzsalu előkezelését olyan vékony rétegben kell elvégezni, ahogyan csak lehet. A kezelés gyakoriságára és a felhasznált anyagmennyiségre vonatkozóan nem lehet egységes receptet adni, mert az függ az előtétzsalu anyagától és állapotától. A tapasztalat [*Schmidt-Morschbach* (1964)] szerint 1 kg viasz, illetve 1 l folyadék – a felület tisztasága szerint – 60–100 m<sup>2</sup>-re elegendő. Olyan vékonyan kell felhordani, hogy teljesen kiszáradhasson. Ilyen kezeléssel

- nő a zsalu élettartama;
- csökken a tapadás és a felületi lerakódás lehetősége;
- ha az előtétzsalu természetesen száradt ki, akkor ilyen kezeléssel a vízfelvétele nem valószínű és a mérettartása biztosított.

Ha fölös mennyiségű anyaggal kezelik a felületet, akkor a fenti hibalehetőség fennállhat. Ezért vízben oldható zsaluzóolajat nem szabad alkalmazni.



#### 8.2.4.7. Tisztítatlan, behomokozott és meghajlott élek

E gyakori hiba oka a nem eléggé konstruktív zsalukialakítás. Ez az esztétikai hatást nagyon rontja.

A hibák utólagos javítása kielégítő módon nem lehetséges.

A hiba megelőzéséhez a következők szükségesek:

a) A szerkezeti hézagokat műszakilag helyesen kell kialakítani és azokat még akkor is gondosan szigetelni (elzárni) kell, ha például az éleket háromélű lécelemekek segítségével sarkítják le.

b) Kellően merev zsalut kell alkalmazni.

c) A víz-cement tényező ne lépje túl a 0,45–0,50 értéket, illetve a betonkonzisztencia ne legyen nagyon képlékeny.

d) A zsalu menti tömörítést olyan tapasztalt szakemberekkel kell végeztetni, akik megérik a zsalu túlterhelését. Ez a túlterhelés könnyebben bekövetkezik a sima zsaluzat alkalmazásakor, amelynek a súrlódási tényezője nagyon kicsi.

#### 8.2.4.8. Felületi foltosodás puhafazsalu alkalmazása miatt

Arra vezethető vissza, hogy a puhafazsalu felületéhez különbözőképpen tapad a zsaluzószer és különbözőképpen veszi fel azt. A felület összbenyomását rontják a sötétebb-világosabb foltok.

Javítani nem lehet. Ha ez a hiba az építmény összhatásában eltűnik, akkor a javítása nem is merül fel.

#### 8.2.4.9. Egyéb technológiai hibák

##### a) A felület fészkesedése

Különösen a sűrűn vasalt oszlopok hajlamosak a fészkesedésre. Akkor lép fel a fészkeképződés, ha a betonban nincs annyi finom rész, amely a durva adalékszemcsék hézagait kitölthetné. Ez előállhat hibás betonösszetétel miatt, de amiatt is, hogy az oszlopba szabálytalanul töltjük be a betont, az osztályozódik, és ha a betont nem tömörítjük kellően.

A hibát mindenképpen javítani kell, mert a szabadon maradó acélbetétek rozsdásodva tönkremennek és mind szilárdságtani, mind esztétikai szempontból hibaforrást jelentenek. A fészkek helyét nem lehet teljesen eltüntetni. Ha a sötétebb javító cementhabarcsfoltok betontól való színeltérését csökkenteni akarjuk, akkor célszerű fehér cementet és a jobb tapadás miatt javított habarcsot alkalmazni.

A fészkesedés megelőzhető azáltal, hogy betartjuk a látszóbetonnál szükséges betonfedést, szükség esetén csökkentjük az adalékanyag legnagyobb szemnagysá-



gát, péptelített betont készítünk, kis átmérőjű, nagy rezgésszámú vibrátort használunk. Erősen tagozott betonelemeknél hasznos a szurkálás és a zsalu kopogtatása kívülről, illetve zsaluvibrátor alkalmazása.

Ha a gyalulatlan fazsalut nem nedvesítjük, akkor elszívja a vizet a betonból, a zsalutáblák rossz hézagzárása a munkahézag látszatát kelti.

#### b) Oszlopláb fészkesedése

Oka az, hogy helytelen betonbeöntés esetében az adalékanyag osztályozódik a durvább szemcsék eségyorsulása miatt.

Ugyanúgy javítható, mint azt az előző fejezetben ismertettük.

Megelőzni úgy lehet, hogy az első betonrétegeket a legdurvább adalékfrakció kizárásával készítjük (pl.  $d_{max}=32$  mm esetén a 16–32 mm-es részt hagyjuk el).

#### c) Elhomokosodott felületek

Oka lehet a nagy víz-cement tényező és egyidejűen tömítetlen zsalufugák, illetve intenzív tömörítés éppen a tömítetlen zsalu miatt. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a fenyőfazsaluhoz a másik zsalutáblát csatlakoztatjuk, a hézagot műanyaghabbal zárjuk le. Ha ezt nem préseljük teljesen össze, akkor elszívja a vizet a betontól és a szélessége kirajzolódik.

Ez csak kis szépséghiba, amely alig tűnik fel, s így nem szükséges kijavítani.

Megelőzhető azzal, hogy a habanyagot összepréseljük.

#### d) Tökéletlen habarcskötés

A látszóbetonoknál ez az eset akkor fordul elő, amidőn a hibás felületet utólagos habarcsfelhordással javítjuk. Oka, hogy a zsalura felhordott olaj, viasz a betonra tapad és az utólag felhordott habarcs jó tapadását gátolja. *Albrecht, W.* és *Steinbach, W.* (1962) kísérletei szerint a habarcs tapadása jobban függ a habarcs minőségétől, húzószilárdságától és érdességétől.

A javítás során alkalmazható felületi előkezelés zsiroidószerszerrel. Ezt azonban bő vízzel el kell távolítani. A megtisztított felületet – a tapadás növelése érdekében – szokás cementtejjel előkezeln.

#### e) Zsugorodási és hőmérsékleti repedések

A zsugorodási repedések a betonfelületen megjelenő hajszálrepedések. Oka a betonfelület gyors kiszáradása, aminek következtében a felület gyorsabban zsugorodik, mint a beton belseje, és a gátolt zsugorodás okozta felületi feszültségek meghaladják a beton húzószilárdságát. Elősegíti a nagy víz-cement tényező, nagy kezdőszilárdságú (különösen a fehér p.c.) portlandcement és a 0–0,2 mm-es részek nagy mennyisége.

Hasonlóan – nagy tömegű betonokban – repedés keletkezhet a hidratációhő okozta egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás miatt (5. fejezet).

Javítása nem lehetséges, de nem is szükséges, mivel a látszóbeton-felületek összhatását alig befolyásolja.

A zsugorodási repedések felléptének a veszélye csökkenthető kis víz-cement tényezővel és gondos nedves utókezeléssel.



A kéregrepedések csökkentésének, megelőzésének a módját az 5.5. fejezetben ismertettük.

#### f) Légpórus képződése a felületen

A betonban lévő légpórusok különböző okból jöhetnek létre [Adam (1963)].

A vízszintes tengelyű betonkeverő gépek, amelyek bizonyos magasságból ejtik a betont, a legtöbb pórust tartalmazó betont hozzák létre.

A szállítás folyamán, ha az anyag szétosztályozódik, nő a beton pórustartalma.

A beton beöntésekor maga előtt hajtja a levegőt és különösen annál könnyebben szorul a levegő a sarkokba, minél kevésbé nedvesíti a beton a zsaluzatot.

Szerepet játszik a zsaluzat szerkezete, merevsége, felületének állapota, helyzete (előredőlés, ferdeség stb.).

Megelőzés céljából hasznos intézkedések:

- Ha lehet, függőleges tengelyű keverőt használjunk a vízszintes tengelyűvel szemben.
- A keverőgépbe öntsük előbb a durva adalékanyagot, a homok és víz egy részét és csak később a kötőanyagot a maradék homokkal, majd a kiegészítő vizet.
- Óvatosan használjunk bizonyos kiegészítő anyagokat, adalékszereket, első sorban képlékenyítőket, légbuborékképzőket.
- A beton szállítása és elhelyezése folyamán nem tanácsos magasból önteni a betont még a tartály, illetve zsaluzat aljára sem.
- Célszerű nehéz zsaluzást használni. A 3–4 mm vastag lapok a betonnal együtt rezegnek és a légpórusok nem válnak le róluk könnyen, csak ott, ahol merev gerendára vannak erősítve.
- Olyan zsaluzást kell alkalmazni, amely finom szemcsésű és megakadályozza a légpórusok fennakadását. A zsaluzatot merevíteni kell a betonozás előtt. Egyesek javasolják a légpórusok elszívását nedvszívó zsalun keresztül.
- A habarcsdúsabb keverék mindig kevesebb hibaforrást jelent, mint a habarcszegény.
- A beton tömörítése közben célszerű a zsalut a vibrálással egyidejűen kívülről gumikalapáccsal kopogtatni, vagy a zsaluzat felületét vékony acéllemez, illetve polietilénlemez borítással ellátni (az elem 30 cm magas felső részén), amit a beton tömörítésekor enyhe vibrálás közben kihúznak. Jó hatású a vákuumozás.

### 8.2.5. Szempontok a látszóbeton tervezéséhez

Jó látszóbeton csak az építész, a statikus, a betontechnológus és a kivitelező, és mivel költségkihatásai is vannak, a beruházó együttes jó munkájának az eredményeként várható.

A tervezés során tehát figyelembe kell venni, hogy mi várható a kivitelezőtől. Mivel pedig a látszóbeton szépsége lényegesen függ a technikai feltételektől



(betonfedés, vasalás távolsága, helyes betonösszetétel és bedolgozás, zsaluzási rendszer, és zsaluhézagok stb.), a tervezés és kivitelezés között állandó összhangnak kell lenni.

A látszóbeton építészeti kialakítási formája igen sokféle lehet, befolyásolhatja a felület nagysága, struktúrája és a falazat, illetve építmény tagolása. A modern vasbetonépítés formaelemei túlnyomórészt a gerenda és az oszlop. Ezzel szemben a mélyépítésben (pl. hídépítés, támfalépítés) lehetnek szerkezetileg kialakított nagy felületek. Mindkét esetben a jó építészeti benyomás kialakításának előfeltétele az éles élkiképzés és az egyenes vonalúság. Mindezeket pedig a zsaluzattal lehet elsősorban befolyásolni. A zsaluzat költsége a legtöbb szerkezet költségének több mint 30%-át kiteszi, s mivel a látszóbeton egyébként is drágább a közönséges betonnál, indokolt a tervezési módszerek tökéletesítése, ami szükségessé teszi a zsalura ható betonnyomások alaposabb ismeretét. Gazdaságos zsaluzatot úgy tudunk készíteni, ha a tervezés során törekedünk a zsaluzat minél többszöri felhasználhatóságára.

Nagy látszóbeton-felületek egyhangúságát beton és ablakfelületek sakktáblaszerű változtatásával, tagolt zsaluzat alkalmazása által, a sima betonfelületbe domborműszerű elemek beiktatása által, vagy legegyszerűbben hálószerűen elhelyezett fugalécek által lehet megtörni. A fény- és árnyékhatások érvényesülése révén az ilyen felületen a felületi foltosodás és a felületi pórusok is jobban beolvadnak a felületbe.

A munkahézagok csúnya csatlakozásának elkerülésére a látszóbeton létesítményeket úgy célszerű megtervezni, hogy ezek a hézagok egybeessenek a homlokzat tagolásával. Ezt a lényeges elvet először A. Perrett, a látszóbeton nagy úttörője alkalmazta [Bonnome (1961)].

Az egységes színű beton tervezése során figyelembe kell venni, hogy míg közelről mindig foltosnak (eltérő színűnek) látszik a felület, addig ugyanaz a felület 20–30 m-ről már esetleg egységesnek látszik. Hasonlóan a nagy, szeszélyesen színfoltos betonfelület nem tetszetős, de ugyanaz a betonfelület, ha azt különböző színárnyalatú, de önmagukban egyszínű lapokból állítjuk össze, már tetszetős lehet.

Ahol elsősorban egyenletes színt kell elérni, és a légpórusok elkerülése csak másodrendű szempont, oda célszerűen vízzáró zsaluzatot kell tervezni (pl. műanyag, acél, olajjal vagy műgyantával itatott furnér). Ahol elsősorban a pórushelyek elkerülése a cél, és kisebb színeltérések megengedhetők, oda nedvszívó zsaluzatbélés (elsősorban rétegelt kartonlemez egyszeri használata) javasolható.

A kezeletlen rétegelt lemez és a faanyagból készült zsaluzat nedvszívóképessége a felületen nagymértékben változik. Ezért, ha egyenletes színt akarunk ezekkel elérni, akkor ezeket használat előtt impregnálni kell, ami azt jelenti, hogy zsaluolajjal többször be kell kenni.

A betonozás során kialakuló nagy belső nyomások elősegítik a beton felületén bezárt pórusok kiűzését. Ezért a betonozás üteme a lehető leggyorsabb legyen, amely mellett még kellő határfokú tömörítés érhető el.



Nedvszívó zsaluzatok használata esetén mind a beton víz-cement tényezőjét, mind a betonozás ütemét úgy kell megválasztani, hogy az egyes rétegek között, valamint az egyes rétegeken belül színelkülönbség ne legyen. Ugyanis a színelkülönbségek okai elsősorban a betonozás során kialakuló nyomásingadozások.

### 8.2.6. Színezékek, színezés

Legegyszerűbb és esztétikusnak tekinthető a színezés nélküli, szürke látszóbeton. Azonban az egymás melletti épületek egyhangúságának elkerülése miatt számításba vehető a színezett beton.

A festékekkel szemben támasztott követelmények:

- Legyenek lúg-, mész- és fényállóak, időállóak.
- A cement kötését ne befolyásolják.
- Legyenek térfogatállandók.
- Határozott legyen a színezőerejük.
- A cementtel jól összekeverhetők legyenek.
- Ne okozzanak szilárdságcsökkenést.
- Legalább cementfinomságúak legyenek.
- Ne tartalmazzanak töltőanyagot (pl. gipsz, kőliszt). Legelőnyösebbek a nagy színezőerejű viszonylag drágább, de kis mennyiségben adagolható fémoxidok, például
  - króm-oxidhidrátzöld;
  - vas-oxidvörös;
  - vas-oxidsárga;
  - vas-oxidfekete.

A festékeket – felhasználás előtt – fénytől, nedvességtől védeni kell. Esetleges csomókat – felhasználás előtt – 900-as (0,2 mm lyukbőségű) szitán való átszitálással el kell távolítani.

A cementtel – felhasználás előtt – gondosan össze kell keverni. Erre legjobb a golyósmalom.

Ha élénk színhatást akarunk elérni, akkor fehér cementet használunk. Ez jobban zsugorodik a többi cementnél, ezért gondosan utókezelni kell.

Bizonyos színárnyalat-különbséget lehetővé tesz a cementek megfelelő megválasztása. Legsötétebb a szulfátálló cement, az erőművi pernye sötétít, a fehér cement keverése szürke cementtel – arányoktól függően – világosít. A cementek okozta kezdeti különbség azonban később csökken a hidratáció során keletkező mészhidrát karbonátosodása miatt.

## 8.2.7. A látszóbeton szerepe és módszere a metróépítésben

E könyv kézírata – jó közelítéssel – készen volt arra, hogy a kiadónak átadjam, amikor a Magyar Betonszövetség – 2008. június 6-án – megrendezte *A beton látvány* című szakmai konferenciát. Az előadásokat kiadványban is közzétették.

A kiadvány előszavában *Lengyel Csaba*, a Magyar Betonszövetség elnöke szerint a konferenciával arra vállalkoztak, hogy a szakma hazai képviselőinek bemutassák Magyarország egyik legnagyobb építkezésének, a 4-es metró építésének nehézségeit, megoldásait. A konferencián külföldi előadók is voltak.

A konferencián elhangzottak nem mondanak ellent a könyvben ismertetett anyagnak. Az előadások címét a továbbiakban ismertetem.

### I. METRÓÉPÍTÉS BUDAPESTEN – ELŐKÉSZÍTÉS

1. *Németh M. Tibor* főmérnök, DBR: *Megbízói és tervezési igények.*
2. *Kemenczei Imre* termékmenedzser, Magyar Doka Zsalutechnika Kft.: *Zsalurendszerek kiválasztásának szempontjai látszóbeton-felületekhez.*
3. *Lachmann Botond* főmérnök MEVA Zsalurendszerek Zrt.: *A beton a héj lenyomata?*
4. *Viszló Dezső*, műszaki vezető, PERI Kft.: *Látszóbeton zsalus szemmel.*

### II. ÉPÜLŐ METRÓÁLLOMÁSOK ÉS ALAGÚT KIVITELEZÉSE

1. *Julius, Hirscher* általános fő-építésvezető, BAMCO Kft.: *Épülő metróállomások és alagút kivitelezése.*

### III. LÁTSZÓBETON SZABÁLYOZÁSA ÉS A KÖVETELMÉNYEK

1. *Dr. Thomas Sieber*, kutatási és alkalmazástechnikai igazgató, MC-Bauchemie GmbH és *Pethő Csaba*, értékesítési vezető, MC-Bauchemie Kft.: *A látszóbeton-készítés nyugat-európai és hazai szabályozásának összefoglalása.*
2. *Varga Péter István*, okl. építészmérnök, Palatium Stúdió Kft.: *Látszóbeton-építéssel a 4-es metró állomásaiban.*

### IV. LÁTSZÓBETON-KÉSZÍTÉS PROJEKT BEMUTATÁSA

1. *Friedrich Gyula* projektvezető SWO, *Várnagy Ferenc* építésvezető TEGABAU Kft. és *Kaszóné Szőnyi Éva* laboratóriumvezető, Danubiusbeton Kft.: *Látszóbeton készítése, szállítása, átvétele és helyszíni kivitelezése a Bocskai úti megálló építése során.*
2. *Illinger András* fő-építésvezető, Strabag MML Kft. és *Sulyok Tamás* laboratóriumvezető, Strabag FRB labor: *A látszóbeton készítése, szállítása, átvétele és helyszíni kivitelezése a Móricz Zsigmond körtér megálló építése során.*



## 8.2.8. A látszóbeton készítése nyugat-európai és hazai szabályozásának összefoglalása

[Sieber T.–Pethő Cs. (2008)]

Nincs látszóbetongyártással és -kivitelezéssel foglalkozó hazai szabvány. A Magyar Építőanyagipari Szövetség látszóbetonokkal foglalkozó Műszaki Előírása (MÉÁSZ ME 04.19:1995 15. fejezet) kevésbé ismert a szakmában és fejlesztésre érett.

A szakma által igényelt szabályozási folyamat egyik lényeges eleme lehet a Nyugat-Európában használatos irányelvek és szabványok megismerése és azok hazai viszonyokra való adaptálása.

Jelenleg az alábbi német és osztrák szabványokat és irányelveket használják.

Látszóbeton-felületek készítésekor az alábbi szabványokra és irányelvekre hivatkozhatnak mind a kiírás, mind a tervezés, illetve a kivitelezés során:

- MSZ 4798-1: Beton;
- DIN 18202: Toleranzen im Hochbau (Bauwerke) – Tűrések a magasépítésben (épületek/építmények);
- Ö-NORM B2211: Beton- und Stahlbetonarbeiten – Beton- és vasbetonkészítés;
- Richtlinie Ö-VBB: Geschalte Betonflächen – zsaluzott befonfelületek (Látszóbeton);
- DBV: Merkblatt Sichtbeton – Látszóbeton műszaki Adatlap (adatlap);
- DIN 18217: Betonflächen und Schalungshaut – Betonfelületek és zsaluhéjak;
- Zement-Merkblatt H8: Sichtbeton – Gestaltung von Betonoberflächen – Látszóbeton – Betonfelületek kialakításáról.

A Német Beton és Építéstechnikai Szövetség 2004 augusztusi kiadású *Látszóbeton műszaki adatlap* (Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V Merkblatt Sichtbeton Fassung August 2004) – jól értelmezhető táblázatokba rendezett objektív osztályba sorolást ad a látszóbeton-tervezés, -kivitelezés és minőség-ellenőrzés területére:

- Látszóbeton-osztályok és a velük szemben támasztott követelmények (8.1. táblázat),
- Zsaluzott látszóbeton-felületekkel szemben támasztott követelmények (8.2. táblázat),
- Zsaluhéj-besorolás (8.3. táblázat),
- Pórustartalom szerinti besorolás (8.4. táblázat),
- Kivitelezés a textúra és a zsaluhéj-illesztések függvényében (8.5. táblázat),
- Kivitelezés a pórusszerkezet függvényében (8.6. táblázat)
- Kivitelezés a színeltérési besorolások függvényében (8.7. táblázat),
- Kivitelezés a simasági besorolások függvényében (8.8. táblázat),
- Kivitelezés a munka- és zsaluhéj-hézagok besorolásának függvényében (8.9. táblázat),
- Kivitelezés a próbafelületek és a zsaluhéj-besorolás függvényében (8.10. táblázat).

8.1. táblázat. Látszóbeton-osztályok és a velük szemben támasztott követelmények

Oszlop	1											11
	Példa	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Kategória	
Látszóbeton-osztály		A szaluzott látszóbeton-fejletekkel <sup>2,3</sup> szemben támasztott követelmények										
		textúra	pórus-szerkezet <sup>4</sup>	szín-eltérés <sup>5</sup>	simaság	munka-és szaluhéj-hézagok	Próba-fejlet	szaluhéj-besorolás				
			s	ns	s	ns						
1	Csekély követelmények	T1	P1	FT1	FT1	E1	AF1	szabadon választható	SHK1		alacsony	
	Csekély formai követelményeknek megfelelően hivatott betonfejleteket, pl. pincefalak vagy túlnyomórészi ipari hasznosítási területek											
2	normál követelmények	T2	P2	P1	FT2	FT2	AF2	ajánlott	SHK2		közepes	
	Normál formai követelményeknek megfelelően hivatott betonfejletek, pl. lépcsőházak, támfalak											



Oszlop	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Látszóbeton-osztály	Példa	A zsazott látszóbeton-felületekkel <sup>2,3</sup> szemben támasztott követelmények									
		textúra	pórus-szerkezet <sup>4</sup>	szín-eltérés <sup>5</sup>	simaság	munka-és zsazuhéj-hézagok	próba-felület	További követelmények			
			s	ns	s	ns					
3	Igényes formai követelményeknek megfelelő hivatott betonfelületek, pl. homlokzatok	T2	P3	P2	FT2	FT2	E2	AF3	erősen ajánlott	SHK2	magas
4	Különléges követelmények	T3	P4	P3	FT3	FT3	E3	AF4	kötelező	SHK3	közepes

#### Jelmagyarázat

<sup>1</sup> A látszóbetonnal szemben támasztott követelmények teljesítését illetően a jelen útmutatóban foglaltak az irányadók.

<sup>2</sup> Egy-egy látszóbeton-osztály felületének formai hatását alapvetően csak az összkép alapján lehet megítélni, nem pedig abszolútnak deklarált egyedi ismérvek alapján. A jelen útmutató szerint szerződésben rögzített egyedi ismérvek hiánya azért nem járható hiánypótlási kötelezettséggel, ha az érintett épületrész vagy épületrészkezet pozitív formai összehatása nem szenved csorbát.

<sup>3</sup> Ezen követelmények/tulajdonságok részletesebb leírása megtalálható a 8.2. sz. táblázatban.

<sup>4</sup> Ld. 8.4. sz. táblázat, jelmagyarázat: s = nedvszívó, ill. ns = nem nedvszívó zsazuhéj.

<sup>5</sup> Az összehatás létező vagy nem létező színeltérések esetén rendszerint csak hosszabb (akár több hetes) állási idő elteltével ítélhető meg. A színeltérések megállapítása 7. szakaszban megjelölt szokásos távolságból értendő.

<sup>6</sup> Adott esetben több próbafelület elkészítésére is szükség lehet.

<sup>7</sup> L. 8.3. sz. táblázat.

8.2. táblázat. Zsaluzott látszóbeton-felületekkel szemben támasztott követelmények

	1	2
Kritérium	Jelölés	Követelmény/tulajdonság <sup>2</sup>
1 Textúra, zsaluzóelemek illesztése	T1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– messzemenőig zárt cementenyv-, ill. habarcsfelület</li> <li>– a zsaluzóelemek illesztésénél kb 20 mm szélességben és kb. 10 mm mélységben juthat ki cementenyv/finomhabarcs</li> <li>– zsaluzóelem keretlenyomata megengedett</li> </ul>
	T2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zárt, messzemenőig egységes betonfelület</li> <li>– a zsaluzóelemek illesztésénél kb. 10 mm szélességben és kb. 5 mm mélységben juthat ki cementenyv/finomhabarcs</li> <li>– az elemek illesztésénél kb. 5 mm eltolódás megengedett</li> <li>– zsaluzóelem keretlenyomata megengedett</li> </ul>
	T3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– sima, zárt és messzemenőig egységes betonfelület</li> <li>– a zsaluzóelemek illeszkedésénél kb. 3 mm szélességben juthat ki cementenyv/finomhabarcs</li> <li>– finom, műszakilag elkerülhetetlen sorja kb. 3 mm magasságig megengedett</li> <li>– a további követelményeket (pl. zsaluillesztésekre, keretlenyomatra vonatkozóan) részletesen meg kell határozni</li> </ul>
2 Pórustartalom	P1–P4	8.4. sz., táblázat
3 Színeltérés	FT1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– világos/sötét elszíneződések megengedettek</li> <li>– rozsdá- és pizsokfoltok nem megengedettek</li> </ul>
	FT2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– egyenletes, nagy felületű világos/sötét elszíneződés megengedettek</li> <li>– különböző fajtájú, ill. különböző módon előkezelt zsaluhéjak, továbbá különböző fajtájú és eredetű alapanyagok nem megengedettek</li> </ul>
	FT3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– különböző fajtájú és eredetű alapanyagok, ill. különböző fajtájú vagy különböző módon előkezelt zsaluhéjak miatti, továbbá nem megfelelő beton-utókezelés miatti nagy felületű elszíneződések nem megengedettek</li> <li>– csekély mértékű világos/sötét elszíneződések (pl. enyhe felhőképződés, árnyalatnyi színeltérések) megengedettek</li> <li>– rozsdá- és pizsokfoltok, jól kivehető terítési réteg-nyomok, ill. az A melléklet 8.3. sz. táblázatban foglaltak be nem tartásából eredő elszíneződések nem megengedettek</li> <li>– követelmény a speciális, célnak megfelelő leválasztószer megválasztása</li> </ul> <p><b>Megjegyzés:</b> A színeltéréseket és elszíneződéseket a legnagyobb kivitelezői gondosság és az A melléklet A 4. sz. táblázatban foglaltak betartása mellett sem lehet teljességgel kizárni</p>



	1	2
Kritérium	Jelölés	Követelmény/tulajdonság <sup>2</sup>
4 Simaság <sup>1</sup>	E1	– simasági követelmények a DIN 18202, 3. sz. táblázat, 5. sor (7) szerint
	E2	– simasági követelmények a DIN 18202, 3. sz. táblázat, 6. sor (7) szerint
	E3	– simasági követelmények a DIN 18202, 3. sz. táblázat, 6. sor (7) szerint – A szigorúbb simasági követelmények külön megállapodásban rögzítendők. A szükséges átfordításokat és intézkedéseket részletesen meg kell határozni. <b>Megjegyzés:</b> A fentieknél szigorúbb, pl. DIN 18202, 3. sz. táblázat, 7. sor szerinti simasági követelmények teljesítése műszakilag nem garantálható.
5 Munka- és zsaluhézhézagok	AF1	– felületek eltolódása két betonozási szakasz között kb. 10 mm-ig megengedett
	AF2	– felületek eltolódása két betonozási szakasz között kb. 10 mm-ig megengedett – az előző betonozási szakaszból kijutó finomhabarcsot idejében el kell távolítani – trapéz alakú lécc vagy hasonló eszköz használata ajánlott
	AF3	– felületek eltolódása két betonozási szakasz között kb. 5 mm-ig megengedett – az előző betonozási szakaszból kijutó finomhabarcsot idejében el kell távolítani – trapéz alakú lécc vagy hasonló eszköz használata ajánlott
	AF4	– követelmény a tervezés és a részletes kivitelezés – felületek eltolódása két betonozási szakasz között kb. 5 mm-ig megengedett – az előző betonozási szakaszból kijutó finomhabarcsot idejében el kell távolítani – a további követelményeket (pl. munka- és zsaluhézhézagokra vonatkozóan) részletesen meg kell határozni

<sup>1</sup> A simasági követelmények megmunkált vagy strukturált felületekre nem vonatkoznak.

<sup>2</sup> Az 5.1.2. és a 7. szakasz figyelembevételével

<sup>3</sup> A munkahézagok láthatóak maradnak

8.3. táblázat. Zsaluhéj-besorolás

Sor	Oszlop	1	2	3
		Zsaluhéj-besorolás		
	Kritérium	SHK1	SHK2	SHK3 <sup>2</sup>
1	furatok	műanyag dugókkal zárandó megengedett	javitási helyenként <sup>1</sup> megengedett	nem megengedett
2	szeg- és csavarlyukak	megengedett	lepattogzás nélkül megengedett	javitási helyként <sup>1</sup> a megbízóval egyeztetve megengedett
3	A zsaluhéj betonvibrátor által okozott sérülései	megengedett	nem megengedett <sup>3</sup>	nem megengedett
4	karcolások	megengedett	javitási helyként <sup>1</sup> megengedett	javitási helyként <sup>1</sup> a megbízóval egyeztetve megengedett
5	betonmaradványok	megengedett	nem megengedett	nem megengedett
6	cementfátyol	megengedett	megengedett	a megbízóval egyeztetve megengedett
7	a zsaluhéj felduzzadása szegezett, ill. csavarozott részekben (rippling)	megengedett	nem megengedett <sup>3</sup>	nem megengedett
8	javitási helyek <sup>1</sup>	megengedett	megengedett	a megbízóval egyeztetve megengedett

<sup>1</sup> A zsaluhéj felmerülő javitási munkálatokat szakszerű módon, szakemberek bevonásával kell elvégezni, ill. minden használat előtt ellenőrizni kell azok rendeltetészerű állapotát

<sup>2</sup> A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy ebben az esetben kizárható a zsaluhéj többszöri felhasználása.

<sup>3</sup> A megbízóval egyeztetve adott esetben megengedett.



8.4. táblázat. Pórustartalom szerinti besorolás

Sor	Oszlop	1	2	3	4
1	Pórustartalom-besorolás	P1	P2	P3	P4
2	Maximális pórustartalom <sup>1</sup> mm <sup>2</sup> -ben	kb. 3000	kb. 2250	kb. 1500	kb. 750 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>  $d$  átmérőjű felülete mm<sup>2</sup>-ben, ahol  $2 \text{ mm} < d < 15 \text{ mm}$ , a mintafelület (500 mm × 500 mm)

<sup>2</sup> 750 mm<sup>2</sup> a mintafelület (500 mm × 500 mm) 30%-ának felel meg.

8.5. táblázat. Kivitelezés a textúra és a zsaluhéj-illesztések függvényében

Követelmény/ tulajdonság	Textúra-besorolás		
	T1	T2	T3
Textúra	DIN 1045 (2) esetén szokásos eljárás	Ugyanaz, mint a T1-nél, plusz; – azonos fajtájú, azonos módon előkezelt zsaluhéj biztosítása – a zsaluzat tisztaságának és a leválasztószer vékony, egyenletes felhordásának biztosítása – a beton-összetétel, ill. a beton-alapanyagok váltogatásának kizárása – megállapodás a zsaluhéj- illesztések szigeteléséről – gondoskodás a zsaluzat szakszerű tárolásáról – lehetőleg azonos korú zsaluhéj-lapok használata – a próbafelület ajánlott	Ugyanaz, mint a T2-nél, plusz: – a zsaluillesztésekkel és a keretlenyomattal kapcsolatos követelmények részletes rögzítése – zsaluzat részletes tervezése (szigetelés, illesztések, talppont) – zsaluzat védelme az időjárási viszontagságoktól tárolásnál – alacsony gyártási tűréshatárral rendelkező zsalurendszer kiválasztása (esetleges korlátozások figyelembevétele) – megállapodás vágott szélek védőbevonattal való ellátásáról/szigeteléséről – munkahézagok kialakításával kapcsolatos elvárások meghatározása – talppont: zsaluzat felállítása nem nedvszívó habanyagcsíkra vagy a zsaluzat szigetelése a fal lábuzatánál – legalább 2 próbafelület betervezése

8.6. táblázat. Kivonatos formában: Kivitelezés a pórusszerkezet függvényében

Követelmény/ tulajdonság	Intézkedések pórusszerkezeti osztályok szerint			
	P1	P2	P3	P4
Pórusszerkezet	DIN 1045 (2) esetén szokásos eljárás	Ugyanaz, mint P1-nél, plusz; – a betonfajta, a leválasztószer és a zsaluhéj összehangolása, – azonos fajtájú, azonos módon előkezelt zsaluhéj biztosítása, – a zsaluzat tisztaságának és a leválasztószer vékony, egyenletes felhordásának biztosítása, – próbafelület ajánlott.	Ugyanaz, mint P2-nél, plusz; – fokozott elővigyázatosság betonozáskor alámetszett zsaluzatok, stb. környékén, – a betonösszetétel, ill. a betonalapanyagok váltogatásának kizárása, – legalább 2 próbafelület betervezése.	Ugyanaz, mint P3-nál, plusz; – alámetszett zsaluzatok, fedőzsaluzatok mellőzése, – legalább 3 próbafelület betervezése



8.7. táblázat. Kivonatos formában: Kivitelezés a színeltérési besorolások függvényében

Követelmény/ tulajdonság	Színeltérési-besorolás		
	FT1	FT2	FT3
Színeltérés	<p>DIN 1045 (2) esetén szokásos eljárás</p>	<p>Ugyanaz, mint a FT1-nél, plusz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- a betonfajta, a leválasztószer és a zsaluhéj összehangolása,</li> <li>- azonos fajtájú, azonos módon előkezelt zsaluhéj biztosítása,</li> <li>- a zsaluzat tisztaságának és a leválasztószer vékony, egyenletes felhordásának biztosítása,</li> <li>- keverési idő töltetenként legalább 60 mp,</li> <li>- adott esetben több próbafelület betervezése.</li> </ul>	<p>Ugyanaz, mint a FT2-nél, plusz;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- az épületrész geometriáját és a vasalás vonalvezetését úgy kell tervezni, hogy az egyszerű, gyors betonozást tegyen lehetővé. A tervező feladata egymástól egyenlő távolságra levő betöltési és vibrációs célú nyílások betervezése.</li> <li>- A vasalást, a betöltési és vibrációs célú nyílásokat úgy kell tervezni, hogy messzemenőig elkerülhető legyen a vibrátor érintkezése a zsaluzattal és a vasalattal.</li> <li>- A zsaluillesztéseket, átkötéseket és felfekvési felületeket szigetelni kell cementenyv kijutása ellen. A szigetelés típusának meghatározása a tervező feladata.</li> <li>- Legalább 30 mm-nyi betonborítást kell betervezni.</li> <li>- Minőségbiztosítási terv készítése, amely tartalmazza az anyaggal, a kivitelezéssel és az ellenőrzéssel kapcsolatos részleteket.</li> <li>- Több próbafelület betervezése.</li> <li>- A víz-cement tényező <math>\pm 0,02</math> pontosságú betartása, ill. az <math>a_{10}</math> alapkonzisztencia <math>\pm 20</math> mm pontosságú betartása.</li> <li>- Az épületrész betakarása mint utókezelési módszer, az időjárási viszonyoktól való védelem céljából</li> </ul>

8.8. táblázat. Kivonatos formában: Kivitelezés a simasági besorolások függvényében

Követelmény/ tulajdonság	Simasági besorolás		
	E1	E2	E3
A látszóbeton felületek simasága	<ul style="list-style-type: none"> <li>– megállapodás DIN 18202, 3. sz. tábl., 5. sor szerinti simasági követelményekről,</li> <li>– követelmény a zsaluzat bemérése,</li> <li>– egyéb szabványok szerinti tűréshatárok figyelembevétele,</li> <li>– gondoskodás megfelelően merev vasalási szerkezetről, elegendő számú távtartó betervezése,</li> <li>– beépített részek eltolódás elleni biztosítása.</li> </ul>	<p>Ugyanaz, mint a E1-nél, plusz;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– megállapodás DIN 18202, 3. sz. tábl., 6. sor szerinti simasági követelményekről,</li> <li>– követelmény a zsaluhéj gondos tárolása,</li> <li>– adott esetben a zsaluzat korlátozott számú használatának figyelembevétele,</li> <li>– követelmény a zsaluzat gondos megtisztítása,</li> <li>– az alkalmazásra kerülő zsaluzórendszer gyártási tűréshatárának figyelembevétele.</li> </ul>	<p>Ugyanaz, mint a E2-nél, plusz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– adott esetben szerződéses megállapodás a DIN 18202, 3. sz. tábl., 6. sorban foglaltakon túlmutató simasági követelményekről,</li> <li>– követelmény a zsaluzat geodéziai bemérése,</li> <li>– a zsaluhéj mérési tűréshatárainak és felületi simaságának ellenőrzése, rögzítésének helyszíni felülvizsgálata,</li> <li>– szerződéses megállapodás próbafelületek készítéséről.</li> </ul>

8.9. táblázat. Kivonatos formában: Kivitelezés a munka- és a zsaluhéj-hézagok besorolásának függvényében

Követelmény/ tulajdonság	Munka- és zsaluhéj-hézagok besorolása			
	AF1	AF2	AF3	AF4
Munka- és zsaluhéj-hézagok	DIN 1045 (2) esetén szokásos eljárás	Ugyanaz, mint AF1-nél, plusz: – a megelőző betonozási fázisból kijutott finomhabarcs eltávolítása	Ugyanaz, mint AF2-nél, plusz: – alacsony gyártási tűréshatárokkal rendelkező zsaluzórendszer kiválasztása, – legalább 2 próbafelület betervezése.	Ugyanaz, mint AF3-nál, plusz: – a tervező köteles minden művelet részletesen meghatározni, – a tervező köteles meghatározni a próbafelület számát



**8.10. táblázat.** Kivonatos formában: Kivitelezés próbafelületek és a zsaluhéj-besorolás függvényében

Követelmény/ tulajdonság	Látszóbeton-osztály			
	SB1	SB2	SB3	SB4
Próbafelület	Általában nem követelmény	a próbafelületek készítése szabadon választható	a próbafelületek készítése ajánlott	a próbafelületek készítése kötelező
A zsaluhéj tulajdonságai	8.1., 8.2. és 8.3. táblázatok szerint			

## 8.3. Adalékanyag-mintás betonfelület

[Armuth–Balázs–Ujhelyi (1967)]

Azt a betonfelületet nevezzük adalékanyag-mintásnak, amelyen a betonfelületen a durva adalékanyag-szemcsék jól láthatók. Készítésének több módja ismeretes.

### 8.3.1. Előre gyártott elemek homloklappal felfelé

Legegyszerűbben kivitelezhető módja *adalékanyag-szórás* a homlokszati betonra. A készítés menete:

A gyengén képlékeny – képlékeny konzisztenciájú betonra, miután a felületet lesimították, 10–20 cm magasból rászórják a látni kívánt, lehetőleg zömök szemű durva adalékanyag-szemcséket úgy, hogy mindegyik szemcse érintkezze a betonnal. A szemcsék kiszórása egyenletes legyen.

A leszórt anyagot a betonágyzatba be kell tömöríteni. Ehhez legelőnyösebbnek tartják a képzendő felület szélességének megfelelő szélességű, acélcsőből készített, a teniszpályahengerhez hasonló szerszámot. A felületet a hengerrel néhányszor végigsimítjuk. Henger hiányában léccel ütögetve dolgozzuk be a szemcséket.

Az eljárás egyszerű, de a be nem ágyazódott szemcsék könnyen kiperegnek. Amelyik gyengén kötött, azt a beton szilárdulása után legjobb seprűvel eltávolítani. Javít a szemcsék megkötésén, ha a szemcséket például lapvibrátorral tömörítik.

### 8.3.2. Vegyes szemű adalékanyaggal készített betonfelületek

Kevésbé igényes felületeket készíthetünk így. Ekkor lehet az adalékanyag I. vagy II. osztályú, a víz-cement tényező kb. 0,5, a konzisztencia gyengén képlékeny.

Az igényesebb vegyes szemű betonfelület elérhető a következő összetétellel [Ujhelyi (1966)]:

1 tömegrész portlandcement  
6,6 tömegrész adalékanyag  
0,5 tömegrész víz  
(A cementtartalom kb. 300 kg/m<sup>3</sup>)

Az adalékanyag szemmegoszlása:

10 m%	0–0,2 mm folyami homok
30 m%	0,2–1 mm folyami homok
10 m%	4–8 mm folyami kavics
10 m%	8–16 mm folyami kavics
40 m%	16–32 mm folyami kavics

Ha a szerkezetnek nem a teljes vastagsága készült vegyes szemű adalékanyaggal készített betonból, hanem csak a homlokzati kéreg, akkor ennek a vastagsága legalább  $1,5 \cdot d_{max}$  legyen.

A felületképzés befejező része, amelynek meghatározó szerepe van az esztétikus megjelenés kialakításában, a durva adalékanyag-szemcséket ágyazó habarcsréteg eltávolítása annyira, hogy azok láthatók legyenek. Ehhez műanyag szivacsot vagy puha kefét használunk. Utána enyhe vízszugárral (15–20°C) leöblítjük a látványos felületet.

### 8.3.3. Homloklappal a sablon alja felé készített előre gyártott vasbeton elemek

*Ennek változatai a következők:*

a) A sablon aljára kb. 5 mm vastag, 1 mm-nél nagyobb szemcséket tartalmazó homokot terítünk, erre rászórjuk a látni kívánt adalékanyag-szemcséket úgy, hogy sűrűn egymás mellett helyezkedjenek el. Erre óvatosan ráterítjük a hátbetont, majd azt tömörítjük.

A beton gőzöléses szilárdítása és az elemek lehűlése után a homokot az adalékanyag-szemcsék közül eltávolítjuk.

Előnye a megoldásnak az, hogy a homok a szemcsék közül egyszerűen eltávolítható. Hátránya, hogy a látható szemcsék elhelyezkedése nem annyira egyenletes, mint homloklappal felfelé készített felületeknél.



b) A kavicszemcséket nem homokágyba, hanem habarcságyba szórjuk. A habarcsréteg minimális vastagsága  $1,5 \cdot d_{max}$ . A kavicszemcséket annyira be kell nyomkodni a habarcságyba, hogy a zsaluzatot elérjék. Gyakori e módszernél a habarcságy színezése vagy fehér cementtel készítése.

c) A kavicszemcséket közvetlenül a zsaluzatra terítjük. A kavicsok közét előbb sűrű cementhabarccsal töltjük ki, majd óvatosan elterítjük a hátbetont. Célszerű a cementhabarcsba kötéskésleltetőt adagolni.

d) A sablon aljára egyszemcsés betont terítünk, kb. 40–45 V% habarcsstartalommal, kb. 24 mm legnagyobb szemnagysággal. Erre dolgozzák rá a hátbetont.

Az ágyazóhabarcs könnyű eltávolíthatósága érdekében vagy az ágyazóhabarcsba keverünk kötéskésleltető adalékszert, vagy a zsalut kenjük be kötésgátlóval.

Homloklappal lefelé gyártott, előre gyártott elemekből két módszerrel távolítjuk el a habarcskérget:

a) A zsalu felületét kötésgátlóval kenjük be. A kötésgátlás egyik módja a következő kenőanyag felhordása: egy térfogatrész melaszhoz 3 térfogatrész vizet keverünk. Majd homokot és iszapolt krétát keverünk össze 1:1 tömegarányban. Ehhez annyi melaszoldatot keverünk, hogy sűrűn folyós legyen. Végül e keveréket felhordjuk a zsaluzatra.

Az is egyszerű módszer, hogy dextrinporhoz annyi vizet keverünk, hogy tejföl sűrűségű legyen, majd ezt hordjuk fel a zsaluzatra.

b) A kötést a habarcsba kevert kötésllassítóval késleltetjük. E célra alkalmasak az ismert kötéskésleltetők (kb. 0,5–1,0% Retardol, kb. 1‰ citromsav, kb. 3‰ dextrin stb. a cement tömegére vonatkoztatva). Ezeket a keverővízbe adagoljuk.

### 8.3.4. Helyszínen készített adalékanyag-mintás betonfelületek

Az előre gyártott elemeknél ismertettek bizonyos megfontolással itt is használhatók.

Érdekes és kipróbált módszer az ún. „Naturbetong” eljárás néven ismeretes eljárás.

A módszer menete:

A 15 mm-nél nagyobb szemcsékből álló durva adalékanyagot betömörítik a zsaluzatba.

A második fázisban a kavicságyba lebocsátott – oldalirányban a zsaluzathoz rögzített – csöveken keresztül abba habarcsot sajtolnak és közben a csöveket felfelé fokozatosan kihúzzák.

Végül az oldalzsaluzatot a habarcs erőteljes megszilárdulás előtt leszedik és a felületi habarcsréteget homokfúvással eltávolítják. Erre megfelelő időpont – a környezeti hőmérséklettől függően – 8–30 óra között van.

Ezzel a módszerrel egyenletes kavicsdús betonfelület érhető el.

A betonkészítés módszere a prepekt-eljáráshoz hasonlít.

### 8.3.5. Egyszemcsés adalékanyaggal készített betonfelület

Abban különbözik az előző fejezetben ismertetettől, hogy a látható szemcseméret nem vegyes, hanem egyszemcsés.

*A készítés menete:*

Elkészítik a betont.

Rábetonozzuk a betonkerget, benne az egyszemcsés adalékanyaggal. A réteg-vastagság a  $d_{max}$  1,5–2-szerese legyen. Az adalékanyag-szemcsék legyenek zömök alakúak. A legnagyobb szemnagyság megállapítása során figyelembe kell venni, hogyha nagy a  $d_{max}$ , akkor nő az eltávolítandó réteg vastagsága. Ezért  $d_{max}$ -nak a 16 mm-t ajánlják. A réteg 30–40 V%-át tegye ki a habarcs, amelynek javasolt összetétele:

1 rész      0–1 mm-es homok,

1 rész      cement (C42,5 szilárdsági jelű),

0,4–0,45 víz-cement tényező.

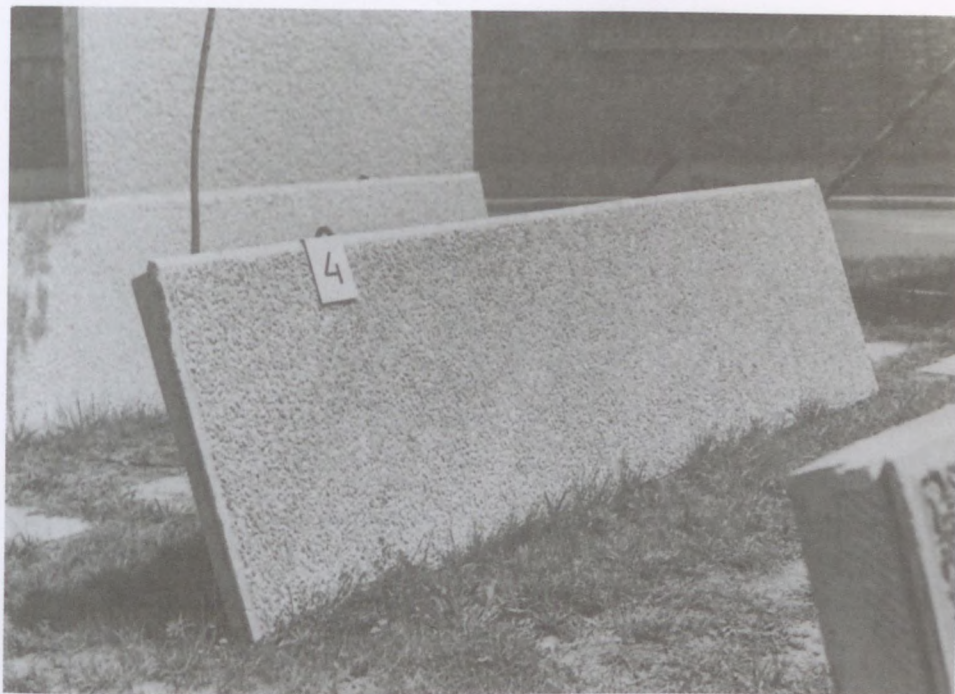
A pontos összetételt célszerű előkísérlettel meghatározni. A készítendő mintalapok élhossza  $d_{max}$  20–30-szorosa legyen. Azt az összetételt tekintjük megfelelőnek, amelyben – a felületi habarcsréteg eltávolítása után – a kavicszemcsék a lehető legsűrűbben helyezkednek el, és a habarcs a kavicsokat egyenletesen beraasztja a betonba.

A habarcs felületét drótkéfével, gyenge vízszugárral ki lehet mosni. A drótkéfé gépesíteni is lehet. Közben a panelt kissé meg kell dönteni.

### 8.3.6. Példák az adalékmintás betonfelületre

1969-ben kiállítást rendeztek *panelhomlokzatok és mozaiklap burkolatok esztétikus kialakítása címmel*. Ezen részt vett minden olyan vállalat, amelyik adalékmintás betonfelülettel készített panelokat. Ebből mutatjuk be a 8.1–8.5. fényképet. Valamennyit homloklappal lefelé gyártották, a szemcséket ágyazó habarcsba terítve.





**8.1. fénykép.** Mosott felület, rakacai szürke márvány zúzalékos, fehér cementtel készített habarcsba szórt szemek [Kiállítás (1969)].



**8.2. fénykép.** Mosott felület, kantavári fekete mészkőzúzalék, 3% fekete oxidfestékkel és normál portlandcementtel készített habarcsba szórt adalékszemek [Kiállítás (1969)].



8.3. fénykép. Kimosott felületű természetes kavicsos panel. 20–35 mm Ø dunai természetes kavics, fehér cementhabarcsban.



8.4. fénykép. Mosott felület, 7–10 mm átmérőjű dunai kavicszemcsék, normál portlandcement habarcsba szórt szemek [Kiállítás (1969)].





**8.5. fénykép.** Mosott betonfelület. Parapet és szemöldök leányvári mészkőzúzalékkal, ablakmező zalahalápi bazalttal, a szemcséket normál portlandcement-habarcdba terítették [Kiállítás (1969)].

## 8.4. Kőszerűen megmunkált betonfelület

Az építőiparban ismert a műkő, amely speciális összetételű, kőszerűen megmunkált beton. Ha ilyen megmunkálás előfordul, akkor a következő szempontokat kell szem előtt tartani.

- A betonfedés ne legyen kisebb, mint  $d_{max}$  és a megmunkálás mélységének az összege.
- A durva vésős megmunkálást nem célszerű a szerkezeti elemek éléig kivinni, mert fennáll a sarkok megrepedésének és letöredezésének a veszélye.
- A beton durva adalékanyaga ne legyen kvarckavics, mert az ütésre könnyen törik.

A kőszerű megmunkálás módjai: szemcsézés, rovátkolás, finoman, középfinoman vagy durván spiccelés, satírozás stb.

Lehetséges a betonfelületek szobrászati megmunkálása is. A betont a szobrász és az építész tervei alapján alakítják ki. Szobrászati megmunkálás esetén olyan betonkeverék kell, amelyik sem ülepedéses szétosztályozódásra, sem fészkesedésre nem hajlamos. Ezt a követelményt gyengén képlékeny konzisztenciájú, legalább

400 kg/m<sup>3</sup> finom részt (cement + 0,25 mm-nél kisebb homok) tartalmazó betonnal lehet elérni. A durva szemcsék azonos ásványi eredetűek és azonos megmunkálhatóságúak legyenek,  $d_{max}$  ne haladja meg a 12–16 mm-t.

## 8.5. Üvegszerűen megolvasztott betonfelületek

[Ujcz (1966)]

Ujcz (1966) szerint a betonfelületen 3 féleképpen lehet üvegszerűen megolvasztott réteget kialakítani:

- Vulkáni tufából vagy egyéb vulkáni kőzetzúzalékból készített beton felületét hőenergiával kezeljük.
- A szerkezeti betonra – az elemgyártással egyidejűen – kb. 1,5 cm vastag réteget hordunk fel vulkáni tufából, kőzetzúzalékból, és szilárdulás, száradás után hőkezeljük.
- Különböző anyagú és felületű panelok homlokzati felületére olvadásig hevített réteget hordunk fel, amely vulkáni tufából, kőzúzalékból, műanyagporból álló, cementfinomságú örlemény.

Az első ÉTI szabadalom szerint a felületképzéshez valamennyi vulkáni kőzet alkalmas. A cementek általában alkalmasak a felületképzésre.

A szín alakulását az anyagokban lévő szennyeződések, elkülöníthetetlen mellékegyrészek befolyásolják. Ezek semlegesítésével, módosításával befolyásolható a szín. Színváltozást eredményez a hőkezelés során az oxidáló, a redukáló vagy semleges láng használata is.

Az adalékanyag szemnagysága 2–16 mm között legyen. A kísérletek szerint az 500 kg/m<sup>3</sup> 42,5 szilárdsági jelű cement kielégíti a szilárdsági, fagy- és időállósági követelményeket.

Az első és a második típusú felületképzésnél akkor kell hőkezelní, amikor a felületréteg megszilárdult és légszáraz lett. A hőkezelés megvalósítható

- kis vagy nagy teljesítményű melegítőfejjel, amely acetilén–oxigén gázzal üzemeltethető, valamint
- elektromos ívfénnyel.

Acetilén–oxigén gáz használatakor a hőkezelést 3,5 atm. nyomású oxigénnel és kb. 0,5 atm. nyomású acetiléngázzal kell végezni. A hőkezelendő felület a láng magjától kb. 1 mm távol legyen. 1 óra alatt kb. 1 m<sup>2</sup> felület hőkezelhető. A melegítőfej kezelése megegyezik a szabványos hegesztőpisztoly kezelésével.

Elektromos ívfény használata során szükséges speciális melegítőfej egy mozgatható keretre van felszerelve. Minden irányban mozgatható, így az elektromos ívek távolsága a betontól pontosan szabályozható. A melegítőfej egy pár szénrúdjának üzemeltetéséhez (240V, 16A) 3.84 kW energia szükséges. Az iparszerű munkát legalább 6 pár szénrúddal működtetett melegítőfej biztosítja gazdaságosan.



Az üvegszerűen megolvasztott felület mintázatát meg kell tervezni. A megfolyatás egyenletes, mindenütt üvegfényű legyen. A felület megfolytatásakor a betonban 1 cm mélyen max. 220°C, 2 cm mélyen +140°C hőmérséklet keletkezhet.

Hibaforrások:

- A nedves betonban hőkezelés hatására kipattogzás, foltosodás keletkezhet, ezért kell légszáraz beton.
- Az oxigén és az acetiléngáz nem megfelelő adagolásakor a felület kormos lesz és ez egyenlőtlen elszíneződést okozhat.
- A hirtelen nagyon erős felmelegedés vagy hosszú ideig tartó hőkezelés felhólyagosodást okozhat, amit utánmelegítéssel meg lehet szüntetni.

Ahol a beton vízzel telítődhet és így megfagyhat, ott fagyálló kőzet őrleményeit szabad használni.

# 9. A habarcatok és a betonok szilárdságának növelése nedves őrléssel

[Balázs–Kilián (1954)]

## 9.1. A kötőanyag nedves őrlésének módszere

### 9.1.1. A nedves őrlés célja

A nedves őrlés módszere abban áll, hogy cementet, salakot vagy más kötőanyagot vízzel és esetleg valamilyen adalékanyaggal törőmalomban megdolgozunk. A törőmalom lehet kollerjárat, golyós-malom stb. A törőmalomban a kötőanyag tovább aprítódik és dörzsölődik. *Az aprítás és dörzsölés következtében a kötőanyagok a vízzel kölcsönhatásra lépnek* – állapítja meg Szivercev (1951).

A nedves őrlésnél lefolyó vegyi folyamatokkal foglalkozva Jung (1951) azt írta: „nagyfokú finom nedves őrlés (diszpergálás) esetén még a kristályos kvasav (kvarc) is hidratokat képez, amelyek mésszel (vagy más lúgokkal) vegyi folyamatba képesek lépni ... Golyósmalmokban finom nedves őrléssel jól fel lehet használni a legkülönbözőbb helyi nyersanyagokat, kohó- kazánsalakokat, a porszerű pernyét és más törmelékeket, például a téglá- és cserépipar törmelékét, egyszóval az összes lehetséges természetes, vagy mesterséges »kvasav-timföld« tartalmú anyagokat.” Ha bevezetnénk a gyenge kötőképességű salakok nedves őrléssel való szabványos vizsgálatát, megállapíthatnánk az egyes salakok vagy természetes nyersanyagok hidraulikus aktivitását. Ilyenformán kötőanyagként felhasználható lenne több, nálunk is bőségesen rendelkezésünkre álló anyag, amelynek a kötőképessége nedves őrlés nélkül igen gyenge.

A nedves őrlésnek az a célja, hogy a szilárd kötőanyag szemcsék fajlagos felületét 3–5 ezer  $\text{cm}^2/\text{g}$ -ra növeljük. Száraz őrléssel az anyag összes szemcséjének ilyen finomra való őrlését lassítja az, hogy a malmon keresztülhaladó áramlás elkerülhetetlenül durvább szemcséjű anyagot visz be és így a finom őrlés végső szakaszain az anyag nehezen őrlődik [Jung (1951)]. A nedves őrlés sokkal hatásosabb: őrlésnél az 1 tonna száraz anyagra eső fajlagos energiafogyasztás csökken, és a fajlagos felületet a száraz őrléssel elérhető finomságúnál tovább lehet növelni. A portlandcementpor nagy fajlagos felülete esetén pedig a hidratációs folyamatok gyorsan és intenzíven folynak le.

A nedves őrlés közben állandóan újabb nyersanyagfelületek nedvesednek át, ezek az ütés, dörzsölés, a hidrodinamikai hatások miatt leválnak, és így a víz mindig mélyebbre hatol a kötőanyagban. „Ezért érthető – írta Jung (1951) –, hogyha a szemcsézett kohósalakot vizes közegben nedvesen őrljük, a fajlagos felület elérheti a 15–20 ezer  $\text{cm}^2/\text{g}$  finomságot is.”

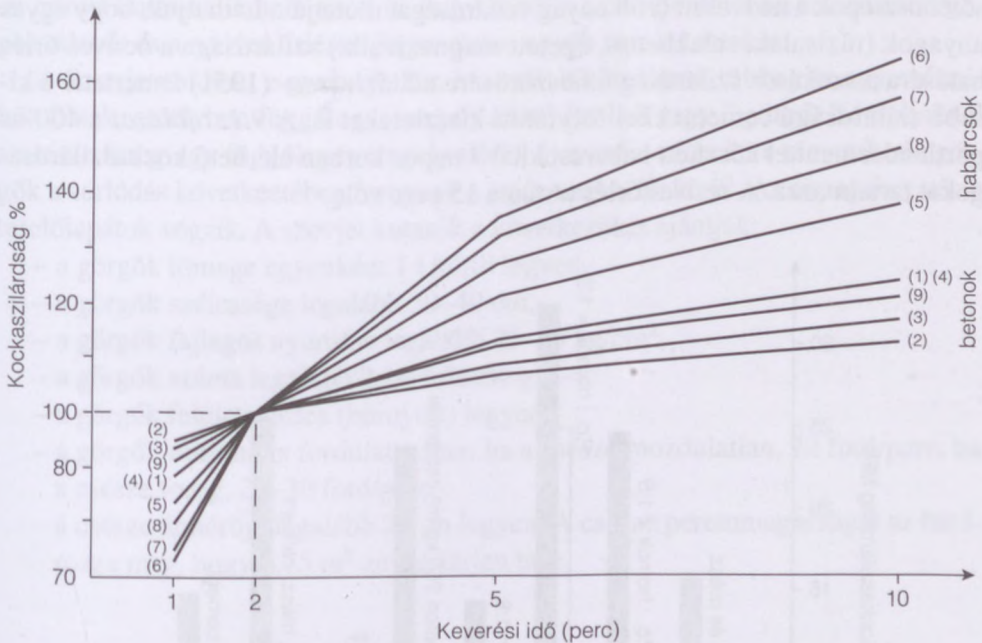


Mindezekből láthatjuk, hogy a cement és más kötőanyagok (főleg salakok) nedves őrlése olyan technológia, amellyel a kötőanyagok finomőrlését és aktivitását fokozni lehet.

#### Az üzem megszervezése

A cementek és más kötőanyagok nedves őrlésével már régen foglalkoznak. A módszer behatóbb tanulmányozása a Szovjetunióban indult meg 1931-ben. Széleskörűen alkalmazták a második világháború alatt az urali, szibériai és közép ázsiai építkezéseken. Belgiumban *Trief* alkalmazta sikerrel ezt az eljárást a kohosalakcement előállítására. A *Trief*-eljárást a franciák is alkalmazták.

*Abrams* kiterjedt kísérleteket végzett a betonkeverők optimális keverési idejének meghatározására. Megállapította, hogy a nedves keverés idejének növelésével a habarcsok és betonok szilárdsága nő. A keverési idő és a százalékos szilárdság közötti összefüggést a 9.1. ábrán láthatjuk.



Jele	Összetétel (cement : homok)	Konzisztencia	$d_{max}$ (mm)
1.	1:4	földnedves	32
2.	1:4	önthető	32
3.	1:2	gyengén	32
4.	1:6	képlékeny	32
5.	1:15	földnedves	32

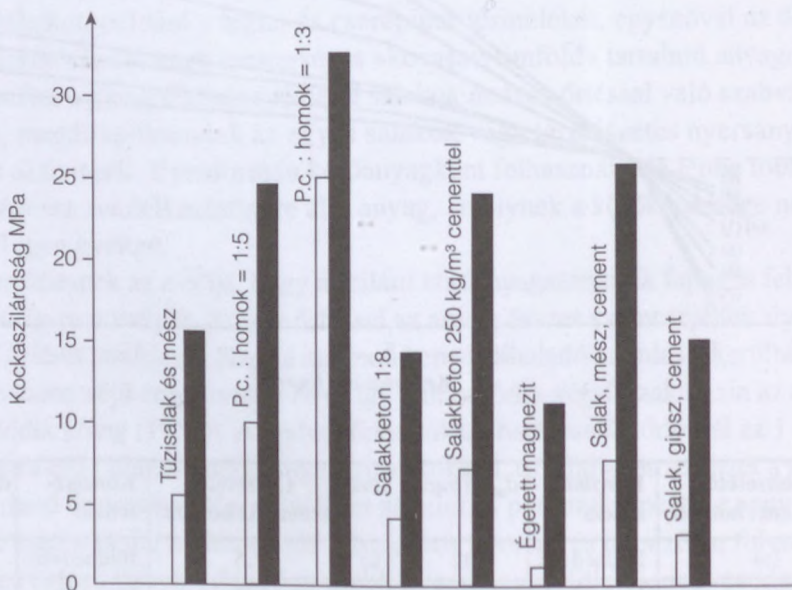
Jele	Összetétel (cement : homok)	Konzisztencia	$d_{max}$ (mm)
6.	1:5	földnedves	1,2
7.	1:5	földnedves	2,4
8.	1:5	földnedves	4,7
9.	1:5	földnedves	51

9.1. ábra. A szilárdságnövekedés a keverési idő függvényében.  
100% a 2 perccig kevert beton szilárdsága

A szilárdság a huzamosabb keverés hatására megnőtt, amelynek nemcsak a jobb keveredés az oka, hanem az is, hogy már a közönséges betonkeverőben is lejátszódik egy kismértékű nedves keverés. A huzamosabb keverés annál hatásosabbra adódott, minél nagyobb mennyiségű adalékanyaggal keverték a cementet, minél homokosabb volt az adalékanyag és minél közelebb volt a konzisztencia a földnedves állapothoz.

### 9.1.2. Szovjet eredmények

A legnagyobb eredményeket a Szovjetunió kutatói érték el. Nemcsak számszerű eredményekről van szó, hanem arról, hogy igen széleskörű kutatást végeztek a különböző kötőanyagok ilyen felhasználására. A 9.2. ábrán látható több kötőanyag szilárdsági eredménye [Szivercev (1951)]. A fehér oszlopok a szokásos kevert, a sötét oszlopok a nedvesen őrlött anyag szilárdságát mutatják. Láthatjuk, hogy egyes anyagok (tűzsalak, salakbeton, égetett magnezit stb.) szilárdsága a nedves őrlés hatására a szokásos szilárdság többszörösére nő. Szivercev (1951) ismertette a kisebb szilárdságú cementekkel folytatott kísérleteket is. A 9.1. táblázat a 400-as portlandcementtel készített habarcsokkal 7 napos korban elérhető kockaszilárdságokat tartalmazza. A nedves őrlés tartama 15 perc volt.



9.2. ábra. A kötőanyag nyomószilárdságának a növekedése nedves őrlés hatására



9.1. táblázat. Habarctestek szilárdsága 7 napos korban, 400 as pc.

Cement: homok	Kockaszilárdság, MPa		Százalékos növekedés, %
	Szokásosan kevert	Nedvesen őrlött	
1:10	2,8	8,4	200
1:7,8	2,4	11,3	370
1:6	3,6	19,2	435
1:5	9,2	23,0	150

A kísérletek szerint a habarcs kockaszilárdságát négy-öttszörösére is növelni lehet. Az ilyen adatok felkeltik az érdeklődést a kis szilárdságú cementek nedves őrlése iránt. *Szivercev* azonban nemcsak az eredmények ismertetésével segítette az ez irányú kutatást, hanem azzal is, hogy közölte a Szovjetunióban alkalmazott gépek adatait és a nedves őrléssel kapcsolatos egyéb tapasztalatokat.

A Szovjetunióban a gyakorlatban használt törőmalmok többnyire egy csészéből állnak, amelyben függőleges tengely körül fut 1–2 vagy 3 görgő. Némelyiknél a csésze forog egy függőleges tengely körül, és a csésze fenekére támaszkodó görgők a súrlódás következtében forognak a saját tengelyük körül. Az anyag forgatását terelőlapátok végzik. A szovjet kutatók a következőket ajánlják:

- a görgők tömege egyenként 1 t körül legyen,
- a görgők szélessége legalább 30–40 cm,
- a görgők fajlagos nyomása legalább 25–30 kg/cm<sup>2</sup>,
- a görgők száma legalább 2, de lehetőleg 3–4,
- a görgők felülete érdes (hornyolt) legyen,
- a görgők minimális fordulatszáma: ha a csésze mozdulatlan, 22 ford/perc, ha a csésze forog, 25–30 ford/perc,
- a csésze átmérője legalább 2,5 m legyen. A csésze peremmagasságát az határozza meg, hogy 0,75 m<sup>3</sup> anyag férjen bele.

### 9.1.3. Francia tapasztalatok

A nedves őrlést alkalmazták a franciák a Bort les Orguesi gát építésénél. *Mary* beszámolójában ismerteti a nedves őrléssel előállított kohósalakcement tulajdonságait és a technológiai eljárást. Nem közömbösek az előállítási költségek sem: a gyári cement ára 6100 francia frank, a nedvesen őrlött kohósalakcementé 3200 francia frank volt.

Az elvi álláspont szerint a kohósalak nem alkalmas kötőanyag. Ahhoz, hogy kössön, meszet kell hozzáadni, amelyet rendszerint mesterséges cement alakjában



adnak hozzá. Ezenkívül a szilárdulás gyorsítása céljából a cementgyárak gipszet is adagolnak. Mivel a gipsz adagolása a betonkeverőben kellemetlenséget okozhat – ugyanis a megfelelő homogenizálás nincs biztosítva –, a Trief-gyári tapasztalatok alapján, nátrium-kloridot használtak. A francia gátépítésnél alkalmazott kötőanyag összetétele:

kohósalak	68,5%
gyári cement	30,0%
NaCl	1,5%

Felmerül a kérdés, hogy a nedvesen őrölt kohósalakot milyen arányban kell tiszta portlandcementtel keverni, hogy megfelelő szilárdságot érjünk el. A francia kísérleti eredményekből az látható, hogy 10% portlandcement alkalmazása esetén a szilárdsági értékek igen kicsik és nagy a szórás. 10 és 30% között is nagy a szórás. A nagy szórás egyik oka bizonyára a nedves kohósalak és a cement rossz keveredése. 30% cementarány felett a szilárdság megközelíti a tiszta portlandcementtel készült testek szilárdságát. Ezek az eredmények egy adott cementre vonatkoznak. Mészdúsabb és timföldben szegényebb cementnél a legkedvezőbb cementarány feltehetően kisebb, 20% körüli.

A kísérletek ezek szerint azt is igazolják, hogy a kohósalakcementekkel készített habarcsok szilárdságának szórása nem nagyobb, sőt kisebb, mint a gyári cementekkel készítetteké.

A kohósalakcement minőségét tehát igen jónak és állandónak találták. A laboratóriumi kísérletekkel 2 hónapon keresztül minden salakszállítmányból készítettek habarcsstesteket. Minden kohósalakot 1 órán át őröltek nedvesen. A habarcsstestek szilárdságai sem szórtak olyan nagymértékben, hogy ez a felhasználást veszélyeztetné.

Sajnos a készített habarcs összetételéről és szilárdságáról részletes adat nincs. A kötőanyag arányát  $200 \text{ kg/m}^3$ -re tervezték. Az előállított habarcs – valószínűleg a nagy finomságú kötőanyag miatt – jól bedolgozható, zsíros tapintású. A tervezett kötőanyag-adagolás mellett a habarcsok kockaszilárdsága 6 hónapos korban  $25 \text{ N/mm}^2$  felett volt és 1 éves korban meghaladta a  $30 \text{ MPa}$ -t.

A kohósalakot az építkezéshez 3 nagy acélgyárból kapták. Thomas-salakat használtak. A granulált kohósalakot billenő vagonokban szállították és minden különösebb elővigyázat nélkül tárolták az építkezés melletti pályaudvaron. Innen egy 60 t/óra teljesítőképességű kötélpálya vitte a salakot a betongyár tetejére.

A kohósalak egy önműködő mérő-adagolón át jutott a golyósmalmokba. A hozzáadagolt 30% vizet ugyanakkor vezették be. A vízadagolást vízórák szabályozták. 3 golyósmalommal dolgoztak. A golyósmalmok 10 t/óra teljesítőképességűek voltak. A malom hossza 10 m, átmérője 1,80 m volt. Az őrőberendezést 3 db, egyenként 500 lóerős motor hajtotta.



Az őrlőgépek elhagyása után a pép a keverőkádba jutott (3 db kád, egyenként 95 m<sup>3</sup>-es). Itt állandóan keverték, azután a szivattyúk felszívták és a betongyár önműködő adagolóiba vitték, majd a pép ezen át a 3 db, egyenként 5000 literes betonkeverő gépbe került. A jó keveredést úgy érték el, hogy előbb a kohósalakpép került a keverőbe, azután a cement, utána a homok és végül a nagyobb szemű adalékanyag.

Ebben a betongyárban megoldották a távoli munkahelyek ellátását is. A néhány kilométerre lévő munkahelyet teherautókon szállított kohósalakpéppel látták el. A munkahelyen 24 órára szükséges pépmennyiség befogadására alkalmas kádat készítettek. 10 tonnás, 5 m<sup>3</sup>-es tartállyal ellátott kocsikat szerkesztettek a szállítás céljára. A szállítás közben a pép zárt áramlásos keverését egy szivattyú biztosította. A szivattyút 15 lóerős benzinmotor hajtotta. Ez a szállítási mód bevált. Naponta 100–150 tonna kohósalakpépet szállítottak.

#### *Egy-két adat ismertetése*

A gátépítésnél a legjobb havi teljesítmény 50 000 m<sup>3</sup>, a legnagyobb napi teljesítmény 3200 m<sup>3</sup> beton volt. Az építkezéshez 245 000 t kötőanyagot használtak fel. A kötőanyag nedves őrléssel feleannyiba került, mintha száraz őrléssel készült volna. Az őrlés csak nagy építkezéseknél vagy betongyárakban gazdaságos, mert a berendezés költsége kis építkezésen nem térül meg.

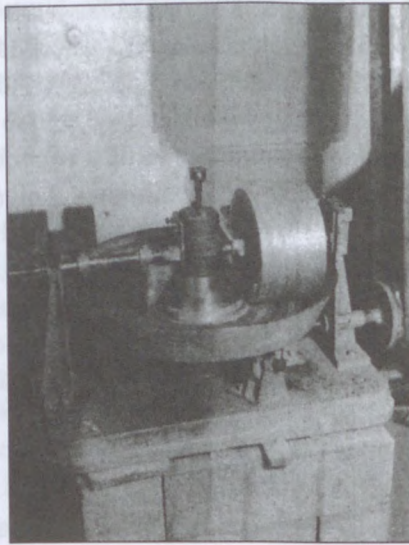
## 9.2. A hazai cementek nedves őrlése

*A cementek nedves őrlése lehetőséget ad arra, hogy a szilárdulás folyamatát gyorsítsuk, ezenkívül nagyobb szilárdságú betont kapjunk, vagy pedig a kívánt szilárdságot kisebb cementadagolással érjük el. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a nedves őrlés annál hatásosabb, minél kisebb a cement márkája. Ez azzal magyarázható, hogy a gyengébb minőségű cementek nagy mennyiségű hidraulitot, főleg kohósalakot tartalmaznak, és ezek a hidraulitok igen jól aktivizálódnak a nedves őrlés hatására.*

A kísérleteinket többek között azért kezdtük a kohósalakok nedves őrlése helyett a cementek nedves őrlésével, mert akkor úgy gondoltuk, hogy a meglévő cementjeink kötőerejének jobb kihasználása és fokozása általánosabb törekvés, mint egy új kohósalakcement előállításának a kérdése.

A másik ok az volt, hogy a Beton és Vasbetonépítési Laboratórium őrlőberendezése kis kapacitású, nemigen volt alkalmas hosszú ideig tartó őrlésre és nagyon finom szemszerkezet előállítására.

A kísérleteknél használt őrlőberendezés egy laboratóriumi trasz-keverő kollerjárat (9.1. fénykép) volt. Az őrlés közben a csésze forgott a függőleges tengely körül. A csésze fenekére támaszkodott egy 30 cm átmérőjű öntöttvas henger, amely a saját tengelye körül forgott a csészealjjal való súrlódás következtében. A henger



9.1. fénykép. A kutatáshoz használt kollerjárat

szélessége 17 cm, tömege 100 kg volt. A gépet egy motor hajtotta. A csésze forgási sebessége 30 ford/perc. (Ezt a fordulatszámot külföldi tapasztalatok alapján vettük fel.)

### 9.2.1. A kísérletekhez felhasznált anyagok

A cementeket a 9.2. táblázat, az adalékanyagokat a 9.3. táblázat tartalmazza.

Ezek az adalékanyagok dunai homokos kavics osztályozásából származtak.

### 9.2.2. A próbatest készítésének módja

Az őrlőgépben a cement + víz, vagy a cement + homok + víz keveréket őrltük. Beton esetén az őrlt anyagot utólag kevertük a nagyobb szemű adalékanyaghoz (kavics), és ekkor adagoltuk a vízszükséglet egy részét is. A habarcsot és betont kézi erővel dolgoztuk be.

A próbakockák mérete habarcs esetén 7,07 cm, betonoknál 15 cm volt. Természetes szilárdulás esetén 7 napos korig 100% relatív nedvességtartalmú klímakamrában tároltuk.

A kísérletet két részre osztottuk. Az első szakaszban a jól őrlhető keverék elérése, valamint az őrlési idő és a szilárdság közötti összefüggések megismerése volt a cél. Ide sorolható még a különböző cementekkel elérhető szilárdságnöveke-



dés kimutatása is. Ezeket habarcsokon vizsgáltuk. A kísérletek második szakaszában betonokkal foglalkoztunk.

A kísérleteink során több mint 1200 próbatestet készítettünk.

9.2. táblázat. A kísérlethez használt cementek

	Jele	Szitamaradék	
		4900-as szitán	900-as szitán
Tatabányai 600-as portlandcement	T 600	5,5	0,5
Alit cement	A	5,0	0,2
Tatabányai 500-as trasz p.c.	T 500	4,0	0,5
S 54-es 500-as portlandcement	S 54	5,2	0,2
Beremendi 500-as	B 500	9,0	0,5
Bélapátfalvi 500-as kohósalak p.c.	Bél 500	1,8	0,2
Lábatlani 500-as portlandcement	L 500	6,7	0,2
Lábatlani 400-as trasz p.c.	L 400	7,2	0,8
Selypi 400-as trasz p.c.	S 400	6,3	1,0
Hejőcsabai 300-as kohósalak p.c.	H 300	1,5	0,5

9.3. táblázat. Az adalékanyagok szemmegoszlása

Az adalékanyag jele:	Szemmegosztás	
	Szeménagság (mm)	Tömegszázalék
I.	0-1	42
	1-2,5	28
	2,5-5	30
II.	0-5	58
	5-15	42
III.	0-2,5	34
	2,5-5	14
	5-15	26
	15-30	26
IV.	0-2,5	100
V.	0-1,0	100

### 9.2.3. Az őrlendő keverék összetétele és konzisztenciája

A kérdés az, hogy cement és víz keverékét lehet-e hatásosan őrlni, vagy pedig adalékanyag (homok) is kell? Erre a kérdésre egyértelmű választ nem lehet adni, mert az őrlés eredményei nemcsak a keveréktől és a konzisztenciától függenek, hanem az őrlőberendezéstől is.

A mi őrlőberendezésünkkel szerzett és a továbbiakban ismertetett tapasztalatok általában kisméretű kollerjáratokra vonatkoznak.

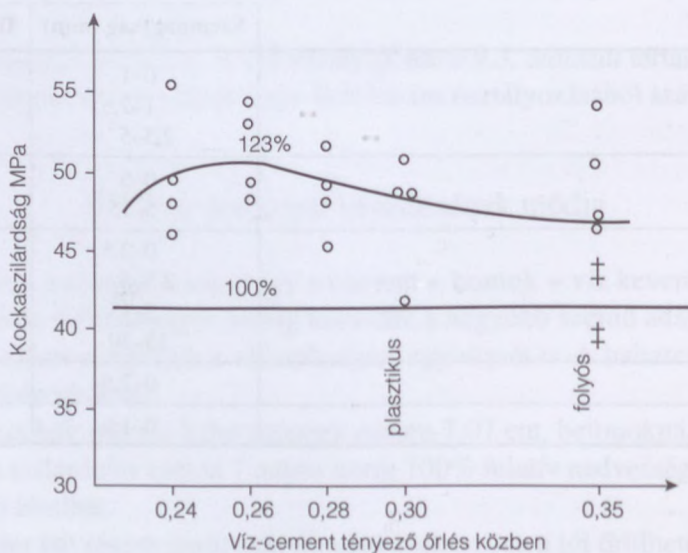
### 9.2.4. Cement és víz keverékének és a habarcsnak az őrlése

Tatabányai 500-as cementtel végeztük a kísérletet. A cementpéptestek 7 napos eredményeit a 9.3. ábra mutatja. A pép víz-cement tényezője 0,35 volt. Őrlés közben a víz-cement tényezőt változtattuk és őrlés után adtuk hozzá a 0,35-os víz-cement tényezőnek megfelelő, még hiányzó vízmennyiséget.

Amint a 9.3 ábra mutatja, az őrlés csak kismértékű szilárdságnövekedést eredményezett. Leghatásosabb volt az őrlés 0,26 víz-cement tényezőnél.

A tapasztalat az, hogy a cementpépek azért nem aktivizálódtak kellőképpen a nedves őrlés hatására, mert 0,26-nál nagyobb víz-cement tényező esetén 1–2 perces őrlés után a keverék csúszós lett, kikerülte az őrlőhengert, vagyis a kötőanyag szemcséi nem darabolódtak tovább.

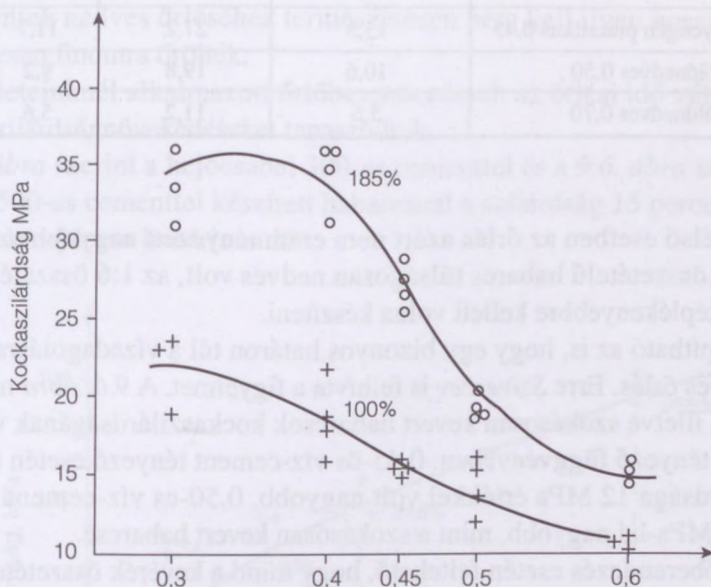
Ezt más cementmárkákval (pl. hejőcsabai 300-as) végzett kísérletek is igazolták.



9.3. ábra. A nedves őrlés szilárdságnövelő hatása a víz-cement tényező függvényében. Adatok: x = 0,35 : törés 7 napos korban; + hagyományosan kevert; o nedvesen őrlt



Cement, homok és víz keverékének (habarcs) őrlése nagymértékű szilárdságnövekedést eredményezett (9.4. ábra). A konzisztenciára vonatkozó tapasztalat nálunk az volt, hogy legjobban őrlhető a földnedves és gyengén képlékeny konzisztencia határán lévő habarcsok.



9.4. ábra. A nedves őrlés szilárdságnövelő hatása a víz-cement tényező függvényében (habarcs nedves őrlése). Adatok: cement: Bél. 500; adalékanyag jele: IV; cement: homok=1:3; őrlési idő: 4 perc; kor (nap): 7.

jel  $\begin{cases} \text{örölt: } \circ \\ \text{nem őrlött: } + \end{cases}$

A végleges víz-cement tényező minden próbatestnél 0,60 volt. A víz-cement tényező nedves őrlés közben 0,25; 0,30; 0,40; 0,50 volt és a hiányzó vízmennyiséget keverés közben adtuk a keverékhez. A szokásosan kevert habarcsból készített próbatestek átlagszilárdságát 100%-nak véve, a nedves őrléssel elérhető legnagyobb szilárdságnövekedés 55% volt. Ezt a szilárdságnövekedést gyengén képlékeny habarcs őrlésével értük el. Az őrlési idő 10 perc volt.

Az optimális konzisztencia a habarcs összetételétől (cement, homok) is nagymértékben függ. Cementdúsabb habarcsok esetén a földnedves keverék őrlése volt eredményesebb, míg kevesebb cementet tartalmazó habarcsoknál a gyengén képlékeny keverék adott nagyobb kockaszilárdságot. A 9.4. táblázatban négy különböző összetételű habarcs átlagos kockaszilárdságait tüntettük fel. A kötőanyag bél-apátfalvi 500-as cement, az adalékanyag IV. jelű volt. A nedves őrlés tartama 4 perc volt. A testeket 7 napos korban vizsgáltuk.

9.4. táblázat. A betonok szilárdságnövekedése a beton nedves őrlésének hatására

Cement: homok	Víz-cement tényező	Kockaszilárdság, MPa		Szilárdságnövekedés	
		szokásosan kevert	nedvesen őrlött	MPa	%
1:2	Plasztikus 0,40	23,2	30,2	7,0	30
1:3	Gyengén plasztikus 0,45	15,5	27,2	11,7	75
1:4	Földnedves 0,50	10,6	19,8	9,2	78
1:6	Földnedves 0,70	5,6	11,2	5,6	100

A két szélső esetben az őrlés azért nem eredményezett nagyobb szilárdságot, mert az 1:2 összetételű habarcs túlságosan nedves volt, az 1:6 összetételű habarcsot pedig képlékenyebbre kellett volna készíteni.

Megállapítható az is, hogy egy bizonyos határon túl a vízadagolásra igen érzékeny a nedves őrlés. Erre Szivercev is felhívta a figyelmet. A 9.6. ábra mutatja nedvesen őrlött, illetve szokásosan kevert habarcsok kockaszilárdságának változását a víz-cement tényező függvényében. 0,45-ös víz-cement tényező esetén az őrlött habarcs szilárdsága 12 MPa értékkel volt nagyobb, 0,50-es víz-cement tényezőnél már csak 5 MPa-lal nagyobb, mint a szokásosan kevert habarcsé.

Más őrlőberendezés esetén feltehető, hogy mind a keverék összetételét, mind a konzisztenciáját bizonyos mértékig meg kell változtatni ahhoz, hogy optimális szilárdsági értékeket nyerjünk.

Éppen ezért az optimális keverék összetételének és konzisztenciájának kérdését adott esetben előzetes helyszíni vizsgálatok alapján kellett eldönteni.

Amennyiben az őrlőberendezés kisméretű kollerjázat, gyakorlatban a következő módon lehet meghatározni a legjobb keverék összetételét és konzisztenciáját:

a) A kötőanyaghoz nedves őrlés előtt annyi homokot adjunk, hogy a pép ne legyen csúszós, ragacsos. (A legkisebb cement:homok arány=1:2). A kohósalak tisztán, vagyis homok nélkül is jól őrlődött.

b) Az őrlendő keverék konzisztenciája olyan legyen, hogy a hengerek alól kikerülő anyagot a keverőlapátok jól szétteríthessék (tehát ne legyen darabos, összeálló), másrészt ne legyen a pép olyan híg, hogy kikerülje az őrlőhengert, vagy nehezen menjen a henger alá.

### 9.2.5. A habarcs és a beton nedves őrlésének időtartama

Az őrlés időtartama – éppen úgy, mint az előbbi tényezők – összefügg az őrlőberendezéssel. Mivel az őrlés célja az anyag aktivizálása, fajlagos felületének a növelése, az őrlés annál hatásosabb, minél tovább tart.

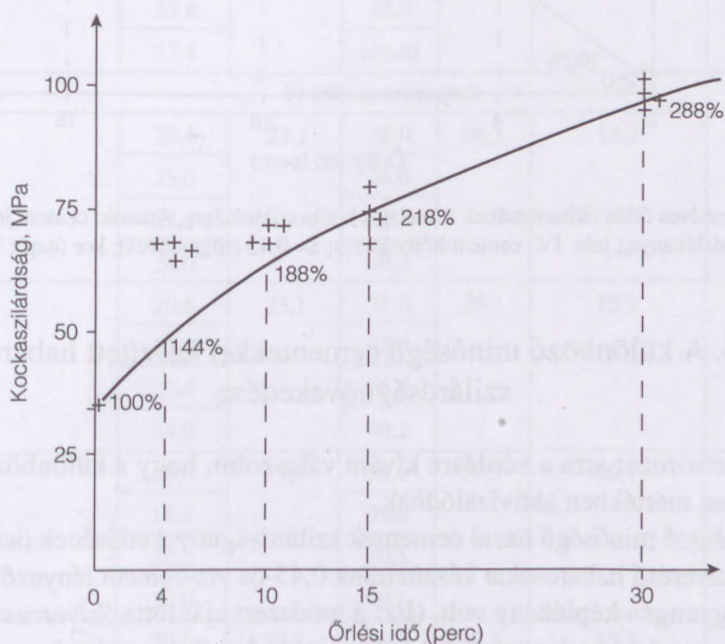


Korszerű őrlőberendezés alkalmazásával rövidebb idő alatt el lehet érni a kívánt finomságot. Jung (1951) laboratóriumi malomban 2 óra alatt ért el ugyanolyan finomságot, mint folyamatos üzemi görgősmalomban 30 perc alatt. (Az őrlendő anyag darabos kohósalak volt. Az őrlésfinomság: 4900-as (0,09 mm lyukbőségű) szitán 4–5% szitamaradék.)

A cementek nedves őrléséhez természetesen nem kell ilyen hosszú idő, mert már előzetesen finomra őrlték.

A kísérleteinknél alkalmazott őrlőberendezéssel, az őrlési idő változtatásával az alábbi szilárdságnövekedéseket tapasztaltuk.

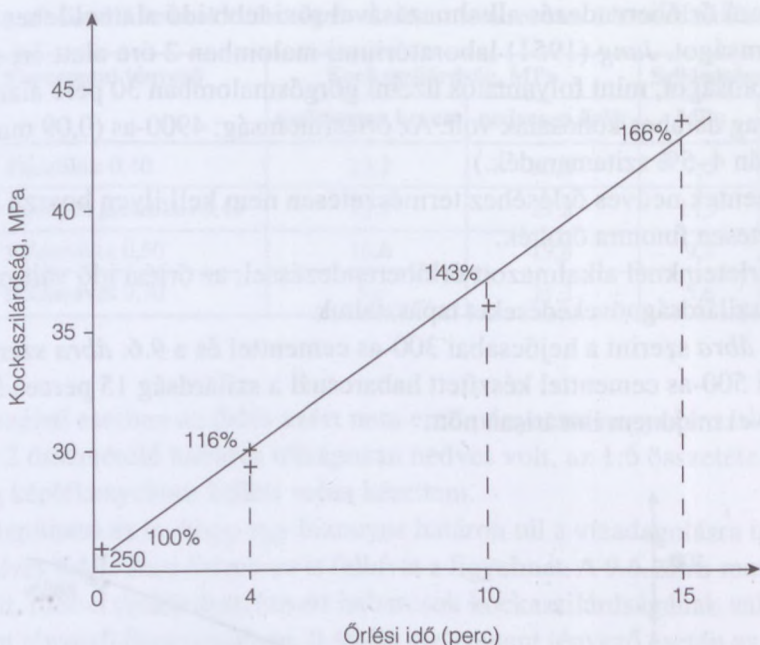
A 9.5. ábra szerint a hejőcsabai 300-as cementtel és a 9.6. ábra szerint a bél-apátfalvai 500-as cementtel készített habarcsnál a szilárdság 15 perces őrlésig az őrlési idővel majdnem lineárisan nőtt.



9.5. ábra. A nedves őrlés időtartamának a hatása a kockaszilárdságra. Adatok: cement jele: H. 300; adalékanyag jele: V; cement:homok = 1:3;  $x = 0,45$ ; kor (nap): 7

Szárazabb keverék őrlése esetén (pl. a szabványos cementvizsgáltnál 9.1. ábra) a szilárdság kezdetben gyorsabban nőtt, de 10 perces őrlés után szilárdságnövekedést már alig tapasztaltunk.

A hosszú ideig tartó nedves őrlés hatásos ugyan, de nem gazdaságos. A betonkeverők habarccsal, illetve őrlt péppel való folyamatos ellátása hosszú őrlési idő esetén nehezen biztosítható. Ezért úgy érdemes megszervezni az üzemet, hogy a nedves őrlés tartama rövid, lehetőleg 5–6 perc legyen.



**9.6. ábra.** A nedves őrlés időtartamának a hatása a kockaszilárdságra. Adatok: cement jele: Bél. 500; adalékanyag jele: IV.; cement:homok=1:3;  $x = 0,45$  (földnedves); kor (nap): 7

### 9.2.6. A különböző minőségű cementekkel készített habarcsok szilárdságnövekedése

Ez a kísérletsorozat arra a kérdésre kívánt válaszolni, hogy a különböző cementfajták milyen mértékben aktivizálódnak.

A különböző minőségű hazai cementek szilárdságnövekedésének összehasonlítására 1:3 keverésű habarcsokat készítettünk 0,45-ös víz-cement tényezővel. A konzisztencia gyengén képlékeny volt. (Ezt a módszert ajánlotta *Szivercev* is.) A szókasosan kevert és a nedvesen őrlött habarcsrostesteket 7 napos korban vizsgáltuk. Az eredmények a 9.5. táblázatban láthatók.

A homok jele: IV. A nedves őrlés tartama 10 perc.

Az 500-as cementek közül kiemelkedett a beremendi. A szilárdsága 103%-kal nőtt. Ennek elsősorban az az oka, hogy – amint a cementek szitavizsgálata mutatta – ez volt a legdurvább őrlésű 500-as cement. Feltehető, hogy a nedves őrlés hatására a beremendi 500-as cementnek nőtt meg legjobban a fajlagos felülete.

Az eredmények igazolják azt a korábbi megállapítást, hogy a nedves őrlés annál hatásosabb, minél kisebb márkájú a cement.



9.5. táblázat. A beton nedves őrlésének hatása a különböző cementekkel készített betonok szilárdságára

a) 600-as cementek						
A cement jele	Kockaszilárdság, MPa				Átlagos szilárdság-növekedés	
	Szokásosan kevert		Nedvesen őrlött		MPa	%
T600	28,1	28,4	40,6	40,0	11,6	40
	28,6		(36,5)			
	28,6		40,0			
	(28,0)		40,0			
Alit	32,8	33,8	47,5	40,0	13,8	41
	(31,2)		47,4			
	33,4		48,0			
	35,4		(45,0)			
b) 600-as cementek						
Bél 500	20,6	23,1	38,0	38,3	15,2	65
	25,0		38,0			
	22,6		36,8			
	24,0		40,2			
Bél 500	20,6	23,1	38,0	38,3	15,2	65
	25,0		38,0			
	22,6		36,8			
	24,0		40,2			
B 500	19,0	19,4	38,0	39,5	20,1	103
	18,5		39,0			
	20,2		40,5			
	20,0		40,4			
Bél 500	20,6	23,1	38,0	38,3	15,2	65
	25,0		38,0			
	22,6		36,8			
	24,0		40,2			
T 500	23,2	24,1	42,2	42,2	18,1	75
	26,6		40,1			
	22,3		42,8			
	24,2		43,6			

b) 500-as cementek						
A cement jele	Kockaszilárdság, MPa				Átlagos szilárdság-növekedés	
	Szokásosan kevert		Nedvesen őrlött		MPa	%
L 500	20,4	20,4	30,0	31,6	11,2	55
	(18,9)		31,8			
	20,5		31,0			
	20,3		32,2			
S 54	25,2	25,2	(36,7)	37,8	12,6	50
	(24,1)		37,2			
	25,4		37,3			
	25,2		38,8			
c) 300-as és 400-as cementek						
H 300	12,9	13,9	28,0	27,9	14,0	101
	13,8		28,0			
	14,0		27,5			
	14,6		28,0			
S 400	13,3	15,5	33,6	34,1	18,6	120
	14,4		34,2			
	16,2		34,7			
	18,2		34,7			
L 400	15,4	16,1	31,1	32,6	16,5	102
	14,9		31,5			
	16,5		33,8			
	17,5		34,1			

10 percig tartó nedves őrléssel 1:3 keverési arányú cementhabarcsoknál 7 napos korban az alábbi átlagos szilárdságnövekedést tapasztaltuk:

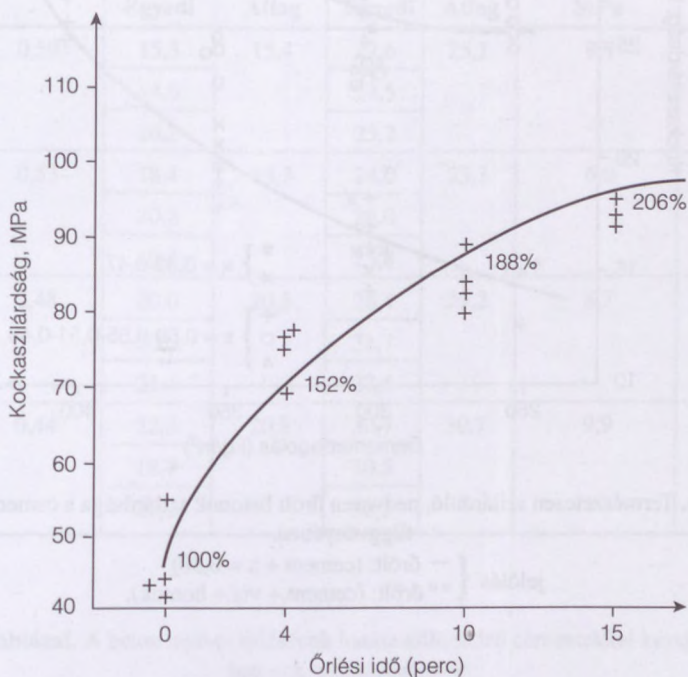
600-as cementeknél	kb.	40%
500-as cementeknél	kb.	50–75%
400–300-as cementeknél	kb.	100–120%

### 9.2.7. A betonok szilárdságnövelése őrléssel

A habarcsok alkalmasabbak a nedves őrlés módszerének megismerésére, mint a betonok. Egyöntetűbb szilárdsági eredményeket adnak és kevesebb zavaró tényező lép fel kísérlet közben, mint a betonoknál. Mindezek mellett azonban a gyakorlatot elsősorban a betonok szilárdságnövelésének lehetősége érdekli.



A betonok nedves őrlését úgy végeztük, hogy a habarcsot őrlöttük (2,5 mm alatti adalékanyagot adtunk a cementhez) és utólag összekevertük az őrlött pépet a nagyobb szemű adalékanyaggal. A 9.7., 9.8. ábra és a 9.6. táblázat különböző cementadagolású szokásosan kevert és nedvesen őrlött betonok szilárdsági eredményeit tartalmazza. A 9.7. ábra az 1 napos korában 8 óráig 80°C-on gőzölt beton szilárdsági értékeit mutatja. Az ugyanilyen módon készített, de laboratóriumi hő-

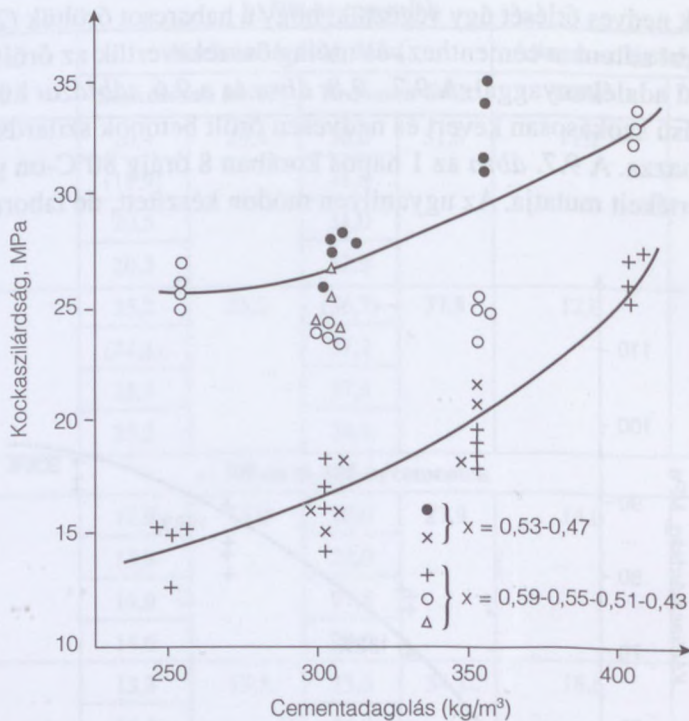


**9.7. ábra.** Gőzölt, nedvesen őrlött betonok szilárdsága a cementtartalom függvényében. Adatok: Tatai 500-as cement; MNOSZ.523. szerinti szabvány cementvizsgálat; törés 7 napos korban;  $x = 0,29$

mérsékleten szilárdult betonok 28 napos szilárdságai a 9.8. ábrán láthatók. Ezeknél a kísérleteknél az őrlés csak 4 percig tartott. A 9.6 táblázat nagyobb finomsági modulusú adalékanyaggal készített betonok szilárdságait tartalmazza. A nedves őrlés 10 percig tartott.

A 9.7. táblázatban feltüntetett lábatlani 400-as cementtel készített beton képlekenyebb volt, mint a másik két, 500-as cementet tartalmazó beton. Ezt is figyelembe véve feltehető, hogy 400-as cementtel – a habarcsot nedvesen őrlve – ugyanolyan körülmények között elérhető az a betonszilárdság, amit a szokásosan kevert betonnál csak 500-as cementtel tudunk elérni.

A nedves őrléssel elért átlagos szilárdságnövekedés az 500-as cementtel készített betonoknál 50–60%-os, lábatlani 400-as cement alkalmazása esetén pedig



9.8. ábra. Természetesen szilárduló, nedvesen őrlött betonok szilárdsága a cementtartalom függvényében.

jelölés { — őrlött: (cement + x = 0,30)  
 { ° ° őrlött: (cement + víz + homok).

100–120%-os volt. A szilárdságnövekedés tehát hasonló – a korábban közölt – habarcsokkal elért növekedéshez.

A nedves habarcs és a beton őrlése elsősorban a szilárdulást gyorsítja meg. Felmerül az a kérdés, hogy hosszabb idő után is megmarad-e ez a szilárdságtöbblet? A 9.9. ábrán látható a szokásosan kevert és a 4 percig nedvesen őrlött beton szilárdulási görbéje 90 napos korig. Kezdetben a százalékos szilárdságnövekedés nagyobb mértékű (pl. 3 napos korban 67%), de még 90 napos korban is tapasztalható volt 19%-os növekedés.

Ebből és a későbbi kísérletekből arra lehet következtetni, hogy a habarcs és a beton nedves őrlése elsősorban jelentősen meggyorsítja a szilárdulást, ezenkívül szilárdságnövekedést is eredményezhet, amely hosszabb idő múlva is tapasztalható.



9.6. táblázat. A betonok szilárdságnövekedése a beton nedves őrlésének hatására

Adatok: A cement jele: B 500; adalékanyag jele:  
III;  $d_{\max} = 30$  mm Vizsgálat 7 napos korban

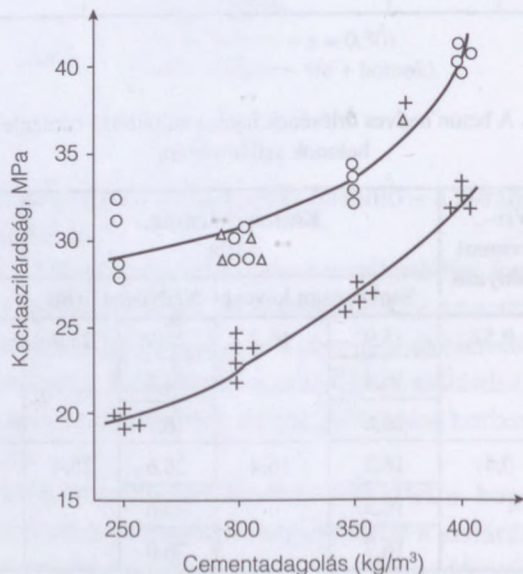
A cement- adagolás, kg/m <sup>3</sup>	Víz- cement tényező	Kockaszilárdság, MPa				Átlagos szilárdságnövekedés	
		Szokásosan kevert		Nedvesen őrlött		MPa	%
		Egyedi	Átlag	Egyedi	Átlag		
250	0,59	15,3	15,4	27,6	25,1	9,7	63
		14,6		24,5			
		16,2		23,2			
300	0,53	18,4	19,3	24,0	25,3	6,0	31
		20,2		26,0			
		19,4		25,8			
350	0,48	20,0	20,5	28,4	29,2	8,7	44
		20,0		31,7			
		21,4		27,5			
400	0,44	22,4	20,8	30,7	30,7	9,9	47
		18,7		30,5			
		21,7		30,7			

9.7. táblázat. A beton nedves őrlésének hatása különböző cementekkel készített betonok szilárdságára

Cement- minőség	A cement- adagolás, kg/m <sup>3</sup>	Víz- cement tényező	Kockaszilárdság, MPa				Átlagos szilárdságnövekedés	
			Szokásosan kevert		Nedvesen őrlött		MPa	%
B 500-as	300	0,52	15,9	16,3	26,9	25,9	9,6	59
			16,4		24,2			
			16,6		26,7			
	350	0,47	16,2	16,4	26,6	26,4	10,0	61
			16,3		26,6			
			16,7		26,0			

9.7. táblázat folytatása

Cement-minőség	A cement-adagolás, kg/m <sup>3</sup>	Víz-cement tényező	Kockszilárdság, MPa				Átlagos szilárdságnövekedés	
			Szokásosan kevert		Nedvesen őrlött		MPa	%
T. 500-as	300	0,53	18,7	18,7	26,0	28,3	9,6	51
			18,6		30,0			
			18,7		28,9			
	350	0,50	22,4	21,7	32,1	33,4		
			20,9		32,8			
			21,7		35,3			
L. 500-as	300	0,64	7,8	7,7	12,4	14,6	6,9	90
			7,8		17,0			
			7,6		14,3			
	350	0,60	7,8	7,4	17,7	17,2		
			7,5		16,1			
			7,0		17,7			



9.9. ábra. A nedves őrlés hatása a kockszilárdságra a kor függvényében. Adatok: Cement: Bél. 500;  $d_{max}$  (mm):15; adalékanyag jele: II.; cement: homok=1:3; őrlési idő: 4 perc; kor (nap): 28.

$$X = \frac{\text{víz}}{\text{cement}} = 0,59 - 0,55 - 0,51 - 0,43$$

jelölés  $\begin{cases} \circ & \text{örletlen: +} \\ \Delta & \text{őrölt: (cement + x = 0,30)} \\ + & \text{őrölt: (cement + víz + homok).} \end{cases}$



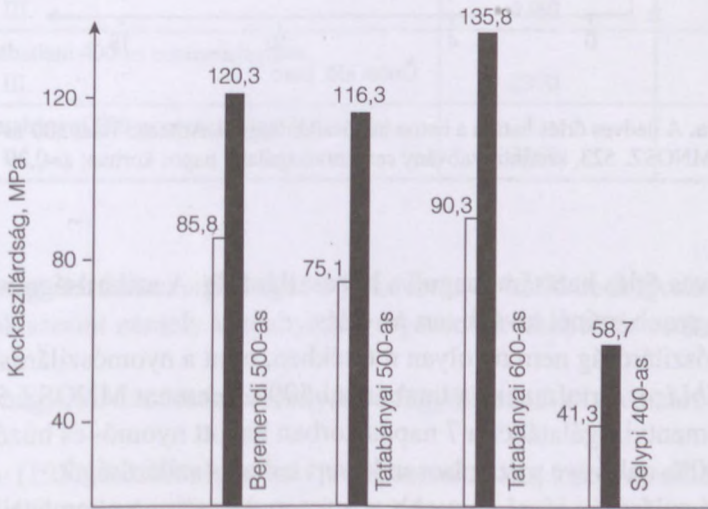
### 9.2.8. A habarcs nedves őrlése és a nagy nyomású gőzölés együttes alkalmazása nagy szilárdságú betonok előállítására

A nedves őrlés elősegíti a kötőanyagok jobb kihasználását és így lehetőség van arra, hogy más eljárásokkal egybekapcsolva nagy szilárdságú betont állítsunk elő.

A nedves őrlés következtében mélyebbre hatol a hidrolízis, ami a végső szilárdság növekedését is magával hozhatja. Nagy nyomású gőzöléssel (autoklávolt) a természetes tárolással elérhető szilárdságnál nagyobb szilárdságot érhetünk el. A szilárdságtöbblet döntő oka az, hogy a gőzölés során a cementből felszabaduló mészsav a kovással kémiai reakcióra lép. A nedves őrlés jobban feltárja a cementet, a mélyebb hidrolízis során megnő a szabad mészsav mennyisége is. Valószínűleg ezek miatt a végső szilárdság még nagyobb lesz. Bizonyítják ezt a 9.10. ábrán feltüntetett kísérleti eredmények. A világos oszlopok a szokásosan kevert, a sötét oszlopok a nedvesen őrlött habarcsból készített betonok szilárdságát jelzik.

Ezt a kísérletet beremendi 500-as, tatabányai 500-as, tatabányai 600-as és selypi 400-as cementtel végeztük. Az őrlőgépben az 1:0,5:2,5 cement:finom homok:szabványhomok keverékét őrlöttük 15 percig. Az összehasonlító próbatestek anyaga és a gőzölés módja ugyanolyan volt, mint az őrlött keveréké. A gőzölést 5 órás felfűtéssel és 9 atmoszférán, 8 órás gőzöléssel végezték. Ennél a kísérletnél az a tapasztalat, hogy *nagy nyomású gőzölés esetén nedves őrléssel a szilárdságot további 40–55%-kal meg lehet növelni.*

A nedves őrlés és nagy nyomású gőzölés együttes alkalmazásával tehát igen nagy szilárdságú betont lehet előállítani.

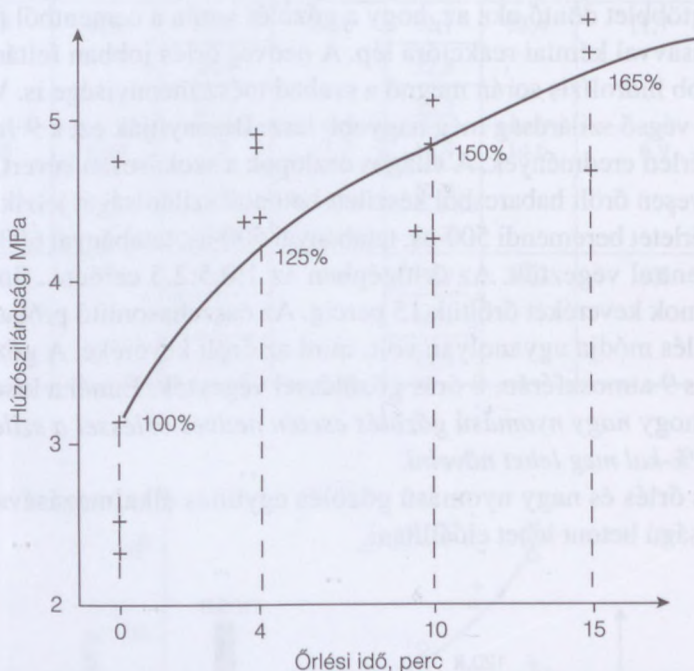


9.10. ábra. A nedves őrlés hatása nagy nyomáson gőzölt habarcs szilárdságára. Adatok: nagy nyomáson gőzölt habarcs; cement:finom homok = 1:0,5:2,5

## 9.2.9. A habarcs nedves őrlésének hatása egyéb tulajdonságokra

### a) A húzószilárdság

A húzószilárdság növekedését az őrlési idő függvényében a 9.11. ábrán tüntetjük fel. A függőleges ordinátára felírt húzószilárdsági értékek a tatabányai 500-as cementből készített MNOSZ 523 szerinti szabvány cementvizsgálat piskóta alakú próbatesteinek a húzószilárdságát jelentik. Az adatokból megállapítható:



9.11. ábra. A nedves őrlés hatása a beton húzószilárdságára. Adatok: Tatai 500-as cement; MNOSZ. 523. szerinti szabvány cementvizsgálat 7 napos korban;  $\alpha=0,29$

$\alpha$ ) A nedves őrlés hatására megnő a húzószilárdság. A szilárdságnövekedés annál nagyobb, minél tovább tart az őrlés.

$\beta$ ) A húzószilárdság nem nő olyan mértékben, mint a nyomószilárdság.

A 9.8. táblázat tartalmazza a tatabányai 500-as cement MNOSZ 523 szerinti szabvány cementvizsgálatából a 7 napos korban kapott nyomó- és húzószilárdsági értékeket 100%-nak véve a szokásosan kevert habarcs szilárdságát.

$\gamma$ ) A húzószilárdság jóval nagyobb szórást mutat, mint a nyomószilárdság. Ez azonban a szokásosan kevert betonokra is jellemző.



**9.8. táblázat.** A beton nedves őrlésének hatása a T 500-as cementtel készített szabványos próbatestek húzó- és nyomószilárdságára

A nedves őrlés tartama (perc)	A nyomószilárdság	A húzószilárdság
	Százalékos értékei	
0	100	100
4	152	125
10	188	150
15	206	165

*b) A beton tömörsége*

A francia kísérletek szerint a nedvesen őrlött kohósalakcement-keverék mozgékonyabb, könnyebben bedolgozható és nagyobb a tömörsége. Az itteni kísérleteknél is általában nagyobbra adódott a nedvesen őrlött betonok testsűrűsége, mint a hagyományos betonoké (lásd a 9.9. táblázat).

**9.9. táblázat.** A beton nedves őrlésének hatása a beton testsűrűségére

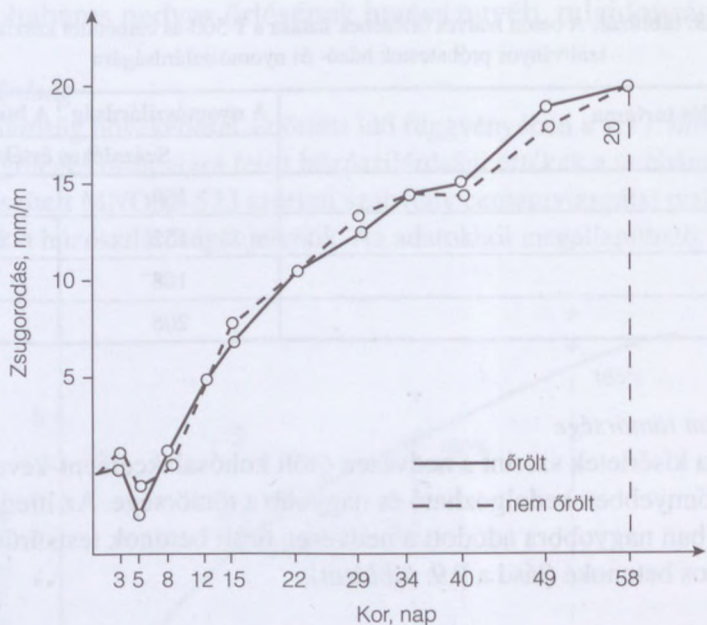
A beton adatai	Átlagos testsűrűség	
	Szokásosan kevert	Nedvesen őrlött
350 kg/m <sup>3</sup> Beremendi 500-as cementadagolás, adalékanyag III.	2400	2450
350 kg/m <sup>3</sup> Bélapátfalvai 500-as cementadagolás, adalékanyag III.	2380	2440
350 kg/m <sup>3</sup> Lábatlani 400-as cementadagolás, adalékanyag III.	2390	2430
350 kg/m <sup>3</sup> Tatabányai 600-as cementadagolás, adalékanyag IV.	2260	2330

A tömörség eléréséhez szükséges a jó keverés és kellő bedolgozás. A szovjet tapasztalatok szerint némely kötőanyagok ragacsosak lesznek és ezeket nehezebb bedolgozni.

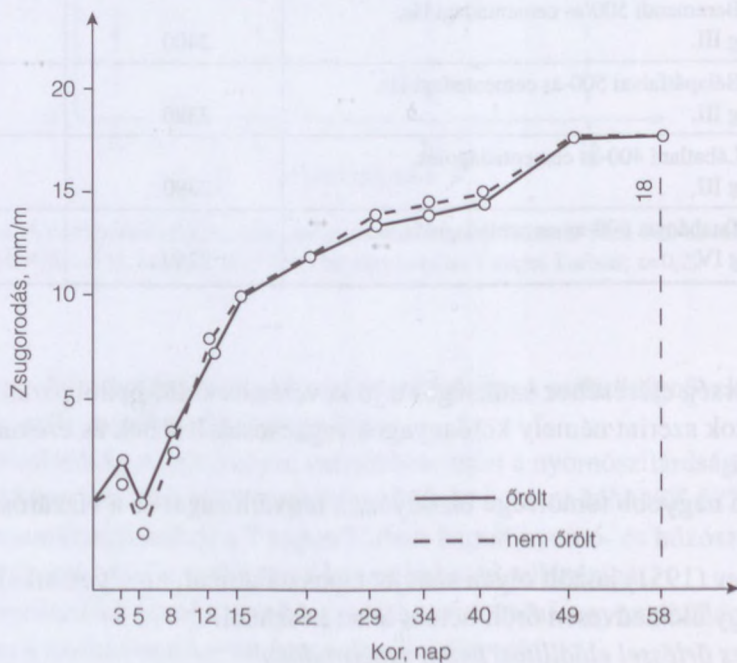
A beton nagyobb tömörsége bizonyára a fagyállóságát és a vízzáróságát is növeli.

Szivercev (1951) közölt olyan szovjet tapasztalatokat, amelyek alkalmazásával teljesen fagyálló nedvesen őrlött betont lehet készíteni.

*A nedves őrléssel előállított beton zsugorodása*



**9.12. ábra.** A nedves őrlés hatása a beton zsugorodására. Adatok: Látaláni 400-as cement; cementadagolás  $350 \text{ kg/m}^3$ ; adalékanyag jele: III.;  $x = \text{víz:cement} = 0,51$ ; relatív nedvesség: 70%; őrlési idő: 10 perc



**9.13. ábra.** A nedves őrlés hatása a beton zsugorodására. Adatok: Tatai 500-as cement; cementadagolás  $350 \text{ kg/m}^3$ ; adalékanyag jele: III.;  $x = \text{víz:cement} = 0,48$ ; relatív nedvesség: 70%; őrlési idő: 10 perc



A zsugorodásra vonatkozó hazai adatokat a 9.12. és 9.13. ábrán láthatjuk. A 10 percgig nedvesen őrlőlt habarcsból készűlt betonok zsugorodása alig tőrt el a szokásosan kevert betonokétől. Ezek a vizsgálatok még nem teljesek.

Tudjuk, hogy a száraz őrlés egy bizonyos finomságon túl igen nehezen valósítható meg és igen sokáig tart. Az anyagok nedvesen gyorsabban őrlődnek és apróbbra őrlhetőek, mint szárazon.

As eljárás nem is annyira cementgyártási feladat, mint amennyire első hallásra gondolnánk. A kohósalakcement nedves őrléssel való előállítása lehet a kivitelezés feladat is, mint ahogy a nedves őrlés technológiájával is mindenütt sokkal inkább foglalkoztak a kivitelezők, mint a cementgyártók. A cementgyártók visszariadnak attól a feladattól, amit a habarcs szállítása és kezelése jelent. A kivitelezők koncentrált nagy építkezéseken (főleg vízi erőművek építésénél), vagy egy betongyárban könnyen megoldhatják a kohósalak nedves őrlését és az így előállított kötőanyagból a beton készítését is. Éppen ezért érdemes a feladatot elsősorban a kivitelezők elé tárni.

### 9.3. Összefoglalás

A következőkben összefoglaljuk a kötőanyagok, habarcsok és betonok nedves őrlésének legfontosabb hatásait:

1. Jelentőkényen meggyorsíthatjuk a szilárdulás folyamatát, amivel a kiállványozás idejét nagymértékben lecsökkenthetjük. Ennek különösen a téli betonozásoknál és előgyártásnál volna nagy jelentősége.

2. Megnövelhetjük betonjaink végső szilárdságát. Ezáltal lehetőség nyílik arra, hogy kisebb cementadagolással vagy rosszabb szemszerkezetű adalékanyaggal a kívánt betonszilárdságot elérjük.

3. A nedves őrléssel aktivizálhatnánk olyan anyagokat, amelyeket eddig kötőanyagként nem tudtunk felhasználni.

4. Ezzel az eljárással kisebb szilárdságú 300-as és 400-as cementeket felhasználhatnánk beton készítésére és koncentrált építkezéseinken, vagy betongyárakban olcsó, jó minőségű, vízzáró kohósalakcementet állíthatnánk elő.

5. Nedves őrlés és más eljárások együttes alkalmazásával igen nagy szilárdságú beton állítható elő.

# 10. A beton kezdőszilárdságának a növelése kristálycsírákkal

[Balázs–Kelemen–Kilián (1958)]

## 10.1. Bevezetés

Az eljárást először a franciák dolgozták ki: *Duriez* és *Lesy* részletes vizsgálatot mutattak be (1956) különféle cementekkel kapcsolatban.

Célunk eme kísérleti eredmények átültetése volt a magyar cementekre, az eljárás hazai alkalmazásának lehetővé tételére. Kísérleteink folyamán természetesen nem meríthettük ki az eljárás által felvetett összes lehetőséget, miután ezek száma végtelen sok. Így például még számos további cementfajtát kellene vizsgálni. Továbbá a hagyományos szilárdulásgyorsító eljárásokkal való kombináció lehetőségét is az eddiginél lényegesen több kísérlettel kellene tisztázni.

A magunk elé tűzött feladatot – az eljárás főbb vonalainak kidolgozása néhány jelentősebb magyar cementfajtára és a hazai alkalmazhatóság bizonyítását –, úgy gondoltuk, sikerült megoldanunk.

## 10.2. Duriez szilárdulásgyorsító eljárása

Az eljárás abból áll, hogy habarcsok, betonok szilárdulásának gyorsítása céljából a cementhez (esetleg a cementgyárban) kb. a cement tömegére vonatkoztatott 2% ún. *kristályosodási gócot* keverünk. *A kristályosodási góc nem más, mint ugyanazon vagy egyéb fajta cement meghatározott körülmények között és idő alatt hidratált cementfinomságú őrlménye.*

A kristályosodási gócok (kristálycsírák) tehát a cementtől nemcsak hogy nem idegen anyagból készülnek, hanem azok maguk is cementek hidratációs termékei. Ezzel az eljárással a betonok, habarcsok szilárdságát 2 és 7 napos korban 10–30%-kal lehet növelni.

Egyes cementeknél a különféle cement alapanyagú, különböző körülmények között hidratált (pl. szobalevegőn, gőzöléssel, 7 vagy 28 nap alatt stb.) kristályosodási góccal más-más hatások érhetők el. Az elért hatás függ:

- a kristályosodási gócok alapanyagától (cement fajtája),
- a kristályosodási gócok hidratációjának a körülményeitől,
- és a kristályosodási gócok mennyiségétől.



Minden cementfajtára kísérleti úton megtalálható az a kristályosodási góctípus, amely a legkedvezőbb szilárdulási tulajdonságokat kölcsönzi az illető cementnek.

Az eljárás együttesen alkalmazható a kalcium-kloridos szilárdulásgyorsítással, amikor is a két hatás eredményeként egyenként is bekövetkező kezdőszilárdság-növekedés összeadódik.

### 10.3. A szilárdulásgyorsítás folyamatáról

A kristálycsírás eljárás célszerűen alkalmazható a kalcium-kloridos szilárdulásgyorsítással kombinálva, ezért röviden a két szilárdulásgyorsítási folyamat lényegét ismertetjük.

Kis kalcium-klorid adagolás hatására a kötési idő lényegesen nem változik, a cement szilárdulása azonban meggyorsul, míg nagyobb kalcium-klorid adagolás esetén a kötés lényeges gyorsulása mellett a szilárdulás lassúbbodik, a végső szilárdság pedig kisebb lesz. Erre vonatkozó adatokat az 10.1. táblázat és a [Balázs-Kilián (1957)] tartalmaz.

10.1. táblázat. A kalcium-klorid adagolás hatása a szilárdságra

CaCl <sub>2</sub> adagolás, %	Szilárdság						
	1	2	3	7	14	28	90
napos korban a CaCl <sub>2</sub> adagolás nélküli próbatetek szilárdságának %-ában							
1.	150	140	136	120	117	108	100
2.	200	140	166	133	121	112	104
3.	250	200	188	142	125	115	118

A CaCl<sub>2</sub> szilárdulásgyorsítását eleinte azzal magyarázták, hogy a CaCl<sub>2</sub> fokozza a mész oldhatóságát és így a telített oldat képződésének sebességét. Ez a magyarázat azonban a kísérletek tükrében nem bizonyult elégségesnek [Kind-Lavrinovics-Litvinova (1955)], mert a mész oldhatóságának növekedése kis adagolások esetén csak alig észlelhető.

Nagyobb valószínűségű az a feltevés, hogy a Cl<sub>2</sub> hatására klórkalcium-aluminát-képződés indul meg, amely mikrokristályokat képez, ezek pedig a szilárdulást gyorsítják a diffúzió elősegítésével.

A kísérleteink tárgyát képező eljárás a kristályosodás gyorsításán alapul. Ismeretes, hogy telített oldatok kristályosodása akkor kezdődik, amikor a rendszer számos pontján egyidejűleg indul meg a kristályok képződése. A kristályosodás kezdeti elemei az ún. kristályosodási gócek (kristálycsírák), amelyek szabadon mozgó molekulák aggregálódása következtében keletkezett kis molekulahalmazok. Ezek



a molekulahalmazok a kristályosodás folyamatának második lépcsőjében növekednek és képezik a tulajdonképpeni kristályokat. Kristályosodási góccok azonban csak akkor keletkeznek, ha a szabadon mozgó molekulák kinetikai energiája elegendően kicsi. Nagy kinetikájú molekulák ugyanis ütközés közben egymásról lepattannak és nem képesek aggregálódni. A kristályosodási góccok képződése tehát hőmérsékleti függvény is [Buzágh (1951)].

Mivel a góccok képződése molekulák mozgásával kapcsolatos, kézenfekvő, hogy ez munka végzésével jár. Ha a végzett munkát külső beavatkozással csökkenteni tudjuk, a gócképződés meggyorsítható, a keletkező góccok száma nő, a kristályosodási folyamat meggyorsul.

Ezen alapul az a jelenség, amikor telített oldatba szórt, a képződő fázissal kémiaiilag azonos törmelék a kristályosodást azonnal megindítja. (Gyakran idegen anyag is megindítja a kristályosodást.) A kristályosodás sebessége a góccok mennyiségétől és azok növekedésének mértékétől függ. A külső befolyásolás szempontjából elsődleges a góccok képződésének a sebessége és mennyisége, amelyet az előbbiek szerint megindíthatunk és szaporíthatunk.

A kristályosodás második fázisát, a kristályok növekedési folyamatát, amely elsősorban anyagi jellemző, egyszerű eszközökkel nem befolyásolhatjuk. Kézenfekvő azonban, hogy az egész rendszer kikristályosodási ideje a kristályok növekedési sebességén túlmenően nem kis mértékben függ a kristályok keletkezési helyeinek számától, vagyis a góccok mennyiségétől. Így bizonyos esetekben lehetőség van megfelelően megválasztott kristályosodási góccok bevitelével a kristályosodást gyorsítani és megfelelő irányba terelni.

A cement szilárdulási folyamatának leegyszerűsített magyarázata szerint a szilárdulás annak következménye, hogy a cement vízben oldható alkotói a vízzel telített oldatot képeznek. Az e közegben végbemenő hidratálás az oldat túltelítettségére vezet. A túltelített oldatból mikrokristályok válnak ki (kristályosodás külső beavatkozás nélkül), így az oldat telítettsége csökken és a folyamat ismétlődik.

Az előbbiek tükrében önként adódik, hogy ez a folyamat megfelelően megválasztott kristályok bevitelével gyorsítható és irányítható.

Jelen munkában ismertetett eljárás tehát nem más, mint a cement szilárdulási folyamatának – amely lényegében túltelített oldat kristályosodási folyamata – külső beavatkozással, nevezetesen a keletkező fázissal közel azonos összetételű kristályok bevitelével való gyorsítása, kristályosodási góccok mesterséges létesítése útján.

Kísérleteink portlandcementekre, illetve portland-klinker alapú heterogén cementekre vonatkoznak.



## 10.4. A kísérlet

A kísérlet során felhasznált anyagok

a) **Cementek:**

Tatabányai 500-as portlandcement,

Lábatlani 500-as portlandcement,

Bélapátfalvai 500-as portlandcement,

Hejőcsabai 400-as kohósalak portlandcement.

b) **Adalékanyag:**

Az adalékanyag a szabványos földneves cementvizsgálatoknál használatos normál homok volt.

c) **Kristályosodási góccok.**

A kristályosodási góccokat különböző cementfajtákból állítottuk elő. Az egyes cementekből normál sűrűségű pépet készítve lepényeket formáltunk. Ezeket a lepényeket különböző körülmények közé helyezve, különböző ideig hagytuk szilárdulni, majd az előírányzott szilárdulási idő után cementfinomságúra őröltük. Ezt az őrleményt a megadott százalékos arányban (általában 2%) a cementhez kevertük tízszeres átszitálással homogenizálva. Az így előkészített cementekkel készült a fent említett próbatestek.

A kristályosodási góccok a következő módon készültek:

– 7 napig 100°C-os gőztérben szilárdítva,

– 28 napig 20°C-os, 90–100% relatív légnedvességű klímakamrában szilárdítva.

Így a 10.4 a) pontban felsorolt valamennyi cementből készítettünk kristályosodási góccokat. A kísérletnél alkalmazott kristályosodási góccokat a százalékos adagolással együtt a 10.2. táblázatban részletezzük.

10.2. táblázat. A kísérlet során alkalmazott kristályosodási góccok

Alap- cementek	Cement- fajták	Tatabányai 500-as		Lábatlani 500-asa		Bélapátfalvai 500-as		Hejőcsabai 400-as	
		7	28	7	28	7	28	7	28
		napig		napig		napig		napig	
		gőzölt	20°C-on	gőzölt	20°C-on	gőzölt	20°C-on	gőzölt	20°C-on
Tatabányai 500-as		2%		2%		2%		2%	
Lábatlani 500-as	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
	4%		4%		4%		4%		
Bélapát- falvai 500-as		2%		2%		2%		2%	

Ezenkívül hejőcsabai 400-as alapcement és különféle cementekből készült, hét napon át 20°C-on szilárdított, 4%-ban adagolt kristályosodási góccal is állítottunk elő próbatesteket.

Az összehasonlító próbatestek kristályosodási góccal adagolása nélkül készültek.

Megvizsgáltuk a kristályosodási góccal más eljárással kombinált alkalmazását is lábatlani 500-as alapcementtel. A változatokat a 10.8. ábrán tüntettük fel. Ennél a kísérletnél tatabányai 500-as cementből készült, nyolc napon át 15–20°C-on szilárdított kristályosodási góccal használtunk.

### Próbatestek

A kísérlethez 7,07 cm élhosszúságú habarcsztesteket készítettünk, a szabványos földnedves cementvizsgálatnál előírt összetételben (1 tömegrész cement + 3 tömegrész normál homok) és módon. A próbatesteket 2, 7, 28 és esetenként 90 napos korban vizsgáltuk.

### Kísérleti eredmények

A megadott szilárdsági értékek három (egyes esetekben annál nagyobb számú) próbatest átlageredményei.

A kristályosodási góccal nélküli összehasonlító próbatestek abszolút szilárdsági értékeit, a 10.3. táblázatban a 28 napos szilárdsághoz viszonyított relatív szilárdsági értékeket a 10.1 ábrán adtuk meg.

10.3. táblázat. A kristályosodási góccal nélküli (etalon) próbatestek szilárdságai

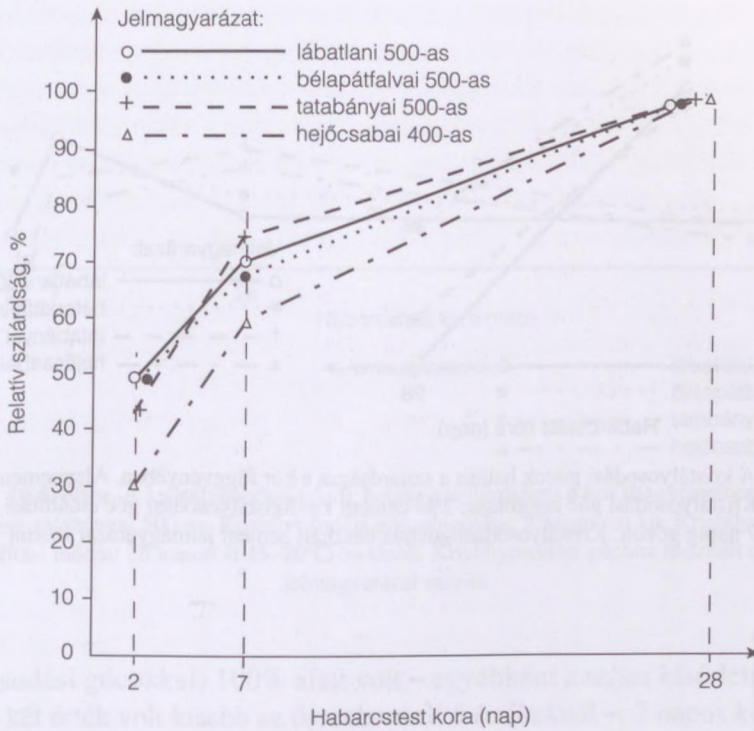
Cementfajta	Nyomószilárdság, MPa			
	2	7	28	90
	napos korban			
Tatabányai 500-as	26,0	46,1	60,4	70,3
Lábatlani 500-as	29,5	42,0	59,9	
Bélapátfalvai 500-as	30,3	41,7	51,7	71,0
Hejőcsabai 400-as	12,1	23,7	39,8	52,4

A különböző cementekkel elért szilárdsági eredményeket a 10.2.–10.7. ábrán foglaltuk össze.

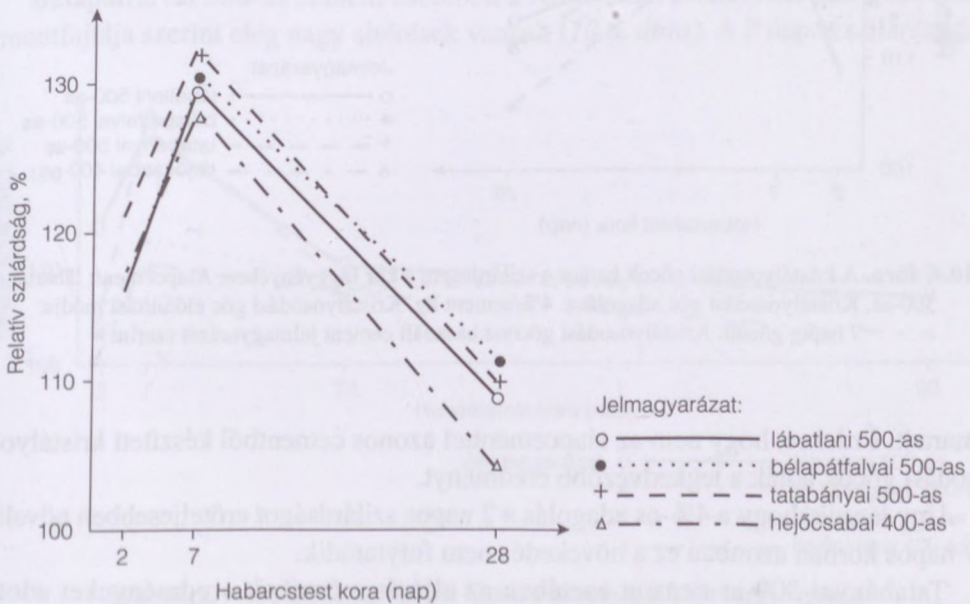
A kapott eredmények elsősorban a 2 és 7 napos értékek tükrében egyértelműen azt bizonyítják, hogy a kristályosodási góccal adagolásával a szilárdulás lényegesen meggyorsítható.

Legelőnyösebbnek a 7 napig gőzölt kristályosodási góccal 2%-os adagolása mutatkozott. Ezeknél a 2 napos korban átlag 18%, 7 napos korban pedig átlag 30% szilárdságnövekedést értünk el, amely még 28 napos korban is 10%-os szinten

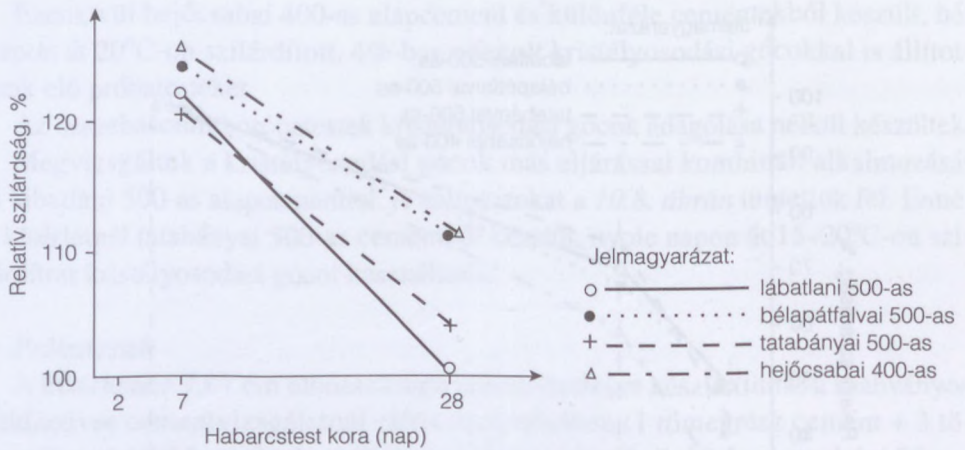




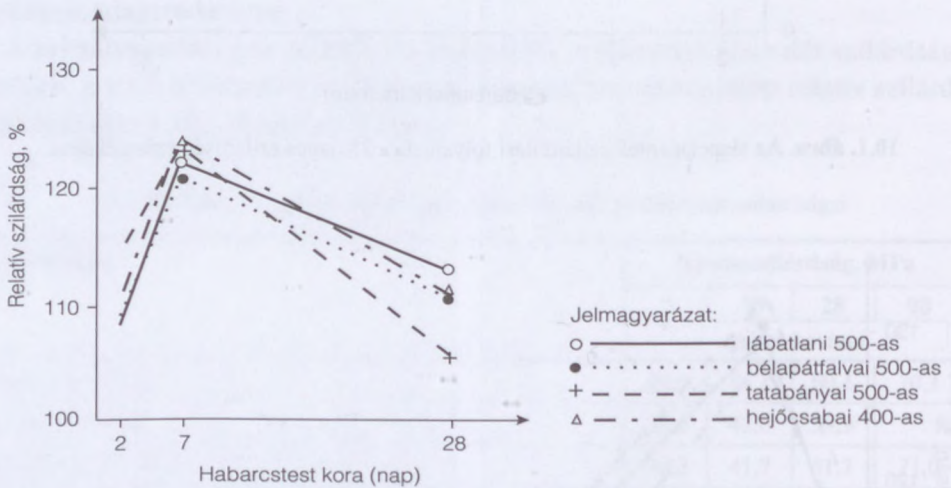
10.1. ábra. Az alapcementek szilárdulási folyamata a 28 napos szilárdság százalékában



10.2. ábra. A kristályosodási góccok hatása a szilárdságra a kor függvényében. Alapcement: lábatlani 500-as. Kristályosodási góc adagolása: 2%/cement kg. Kristályosodási góc előállítási módja: 28 napon át 15–20°C-on tárolt. Kristályosodási góchoz használt cement jelmagyarázat szerint



**10.3. ábra.** A kristályosodási gócek hatása a szilárdságra a kor függvényében. Alapciment: lábatlani 500-as. Kristályosodási góc adagolása: 2%/ cement kg. Kristályosodási góc előállítás módja: 7 napig gőzölt. Kristályosodási góchoz használt cement jelmagyarázat szerint



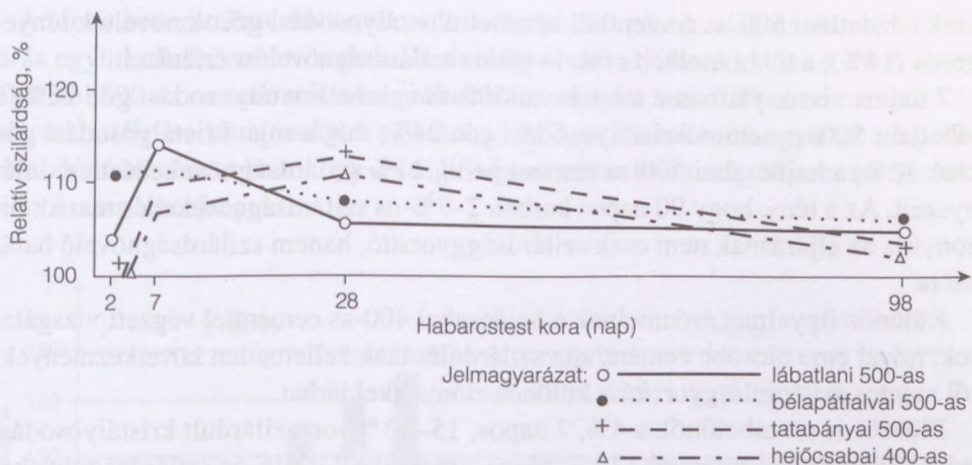
**10.4. ábra.** A kristályosodási gócek hatása a szilárdságra a kor függvényében. Alapciment: lábatlani 500-as. Kristályosodási góc adagolása: 4%/cement kg. Kristályosodási góc előállítás módja: 7 napig gőzölt. Kristályosodási góchoz használt cement jelmagyarázat szerint

maradt. Érdekes, hogy nem az alapcimenttel azonos cementből készített kristályosodási gócek adták a legkedvezőbb eredményt.

Úgy látszik, hogy a 4%-os adagolás a 2 napos szilárdságot erőteljesebben növeli, 7 napos korban azonban ez a növekedés nem folytatódik.

Tatabányai 500-as cement esetében az eljárás mérsékelt eredményeket adott (10.5. ábra). Míg 2 napos korban a szilárdság 2 esetben (saját és hejőcsabai 400-as



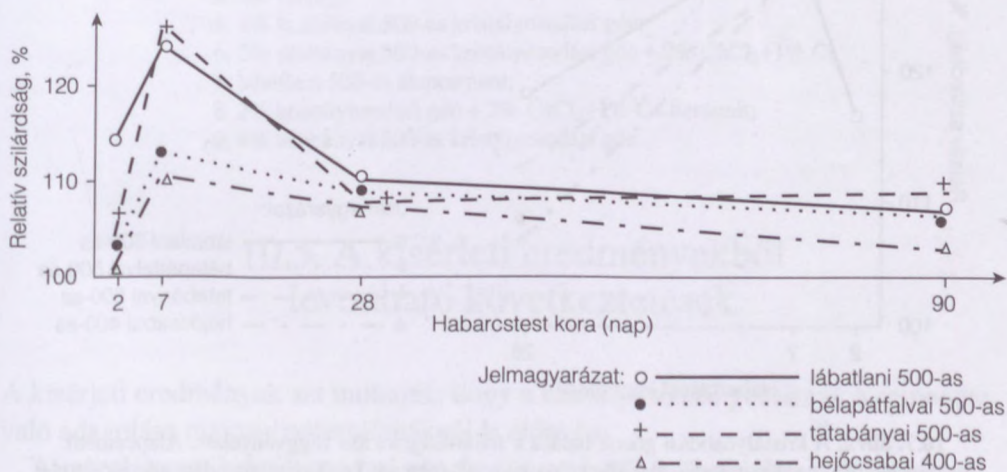


**10.5. ábra.** A kristályosodási gócek hatása a szilárdságra a kor függvényében.

Alapciment: tatabányai 500-as. Kristályosodási góc adagolása: 2%/cement kg. Kristályosodási góc előállítási módja: 28 napon át 15–20°C-on tárolt. Kristályosodási góchoz használt cement jelmagyarázat szerint

kristályosodási gócekkel) 100% alatt volt – egyébként a teljes kísérletsorozatból csak ez a két érték volt kisebb az összehasonlító értékeknél –, 7 napos korban átlagosan 10% volt a szilárdságcsökkenés, amely 28 napos korra 5%-kal csökkent. Lehetőséges, hogy gőzölt kristályosodási gócekkel tatabányai 500-as cementnél is nagyobb értékeket lehet elérni.

BÉlapátfalvai 500-as cement esetében a felhasznált kristályosodási gócek cementfajtája szerint elég nagy eltérések vannak (10.6. ábra). A 2 napos szilárdságot



**10.6. ábra.** A kristályosodási gócek hatása a szilárdságra a kor függvényében.

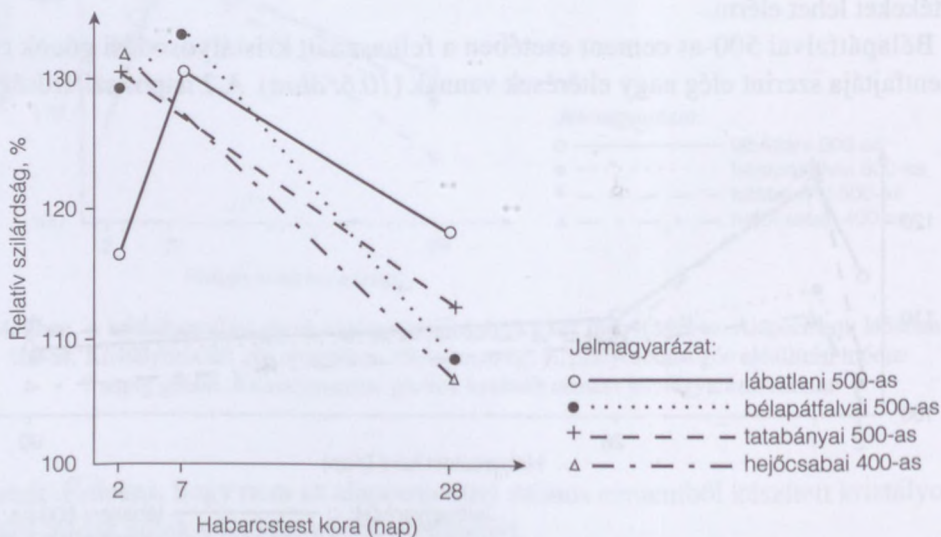
Alapciment: bÉlapátfalvai 500-as. Kristályosodási góc adagolása: 2%/cement kg. Kristályosodási góc előállítási módja: 28 napon át 20°C-on tárolt. Kristályosodási góchoz használt cement jelmagyarázat szerint

csak a lábatlani 500-as cementből készített kristályosodási gócok növelték lényegesen (14%), a többi esetben csak 1–4%-os szilárdságnövelést értünk el.

7 napos viszonylatban a tatabányai 500-as cementkristályosodási góc 26%, a lábatlani 500-as cementkristályosodási góc 24%, míg a saját kristályosodási góc csak 13%, a hejőcsabai 400-as cement pedig 11% szilárdságnövekedést eredményezett. Az a tény, hogy 90 napos korban 2–7%-os szilárdságnövekedés marad, bizonyítja az eljárásnak nem csak szilárdsággyorsító, hanem szilárdságnövelő hatását is.

Különös figyelmet érdemelnek a hejőcsabai 400-as cementtel végzett vizsgálatok, mivel eme olcsóbb cementfajta szilárdulásának kellemetlen következményektől mentes szilárdulásgyorsítása különös előnyökkel járhat.

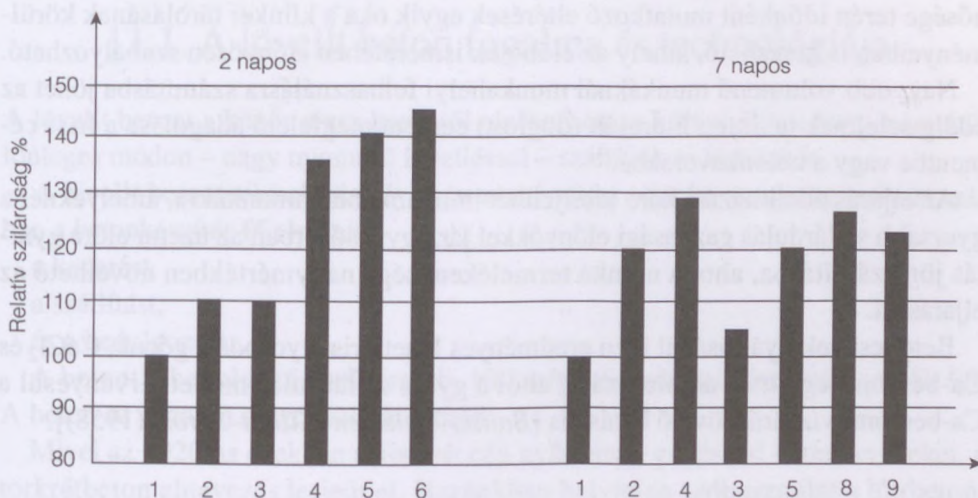
Először is szembetűnk a 4%, 7 napos, 15–20 °C-on szilárdult kristályosodási góccal elért eredmények (10.7. ábra), amelyek 21–25%-os szilárdságnövekedést mutatnak 7 napos korban. Ezek az eredmények azonban a 2 napos értéknél még nem mutatkoznak, mivel 2 napos korban a szilárdsági eredmények 100% körül maradnak. A 7 napos eredmények mégis azt mutatják, hogy elvileg lehetséges a klinker tartalmú cementek szilárdulásának így módon való gyorsítása, csupán a megfelelő fajtájú, előkészítésű és mennyiségű kristályosodási gócot kell helyesen megválasztani. Jelen kísérleteink az ismertetett eljárás általános kérdéseinek megvilágítását szolgálják, ezért itt nem volt lehetséges a 400-as hejőcsabai cementre vonatkozó, minden részletre kiterjedő vizsgálatokat elvégezni.



**10.7. ábra.** A kristályosodási gócok hatása a szilárdságra a kor függvényében. Alapcement: hejőcsabai 400-as. Kristályosodási góc adagolása: 4%/cement kg. Kristályosodási góc előállítási módja: 7 napon át 20 °C-on tárolt. Kristályosodási góchoz használt cement jelmagyarázat szerint



Amint a bevezetőben említettük, a kristályosodási góccok adagolásán alapuló eljárás együtt alkalmazható más szilárdulásgyorsító eljárásokkal is. A 10.8. ábra lábatlani 500-as cement szilárdságváltozását mutatja a tatabányai 500-as cementből készített kristályosodási góccoknak a hatására  $\text{CaCl}_2$  és Ca-bentonit együttes adagolásával. Valószínű azonban, hogy a szilárdság növelése terén még itt sem merítettük ki az összes lehetőséget.



10.8. ábra. A relatív szilárdság a kristályosodási góc fajtája és a kor függvényében

1. Alapcement (lábatlani 500-as);
2. 1% kalcium-bentonit;
3. 2% tatabányai 500-as kristályosodási góc;
4. 2%  $\text{CaCl}_2$ ;
5. 2% tatabányai 500-as kristályosodási góc;
6. 2% tatabányai 500-as kristályosodási góc + 2%  $\text{CaCl}_2$ +1% Ca
7. lábatlani 500-as alapcement;
8. 2% kristályosodási góc + 2%  $\text{CaCl}_2$ +1% Ca-bentonit;
9. 4% tatabányai 500-as kristályosodási góc.

## 10.5. A kísérleti eredményekből levonható következtetések

A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a kristályosodási góccoknak a cementbe való adagolása magyar cementfajtáknál is előnyös.

Az alkalmazott kristályosodási góccoknál szembe tűnő, hogy – bár a saját cementből származó góccok is növelik a kezdőszilárdságot és gyorsítják a szilárdulást – kedvezőbb eredmények idegen cementből származó kristályosodási góccokkal érhetők el.

A kísérletek módszeréből önként következik a gyakorlati alkalmazás mikéntjének megoldása is, gyári, illetőleg munkahelyi körülmények között.

Gyári alkalmazásra javasolni lehet a darabos klinker egészének vagy egy részének tárolását megfelelő ideig szabadban, amely tárolás alatt a levegő nedvességtartalmának segítségével a klinker megfelelő hányadának (2–4%) hidratálása érhető el.

A kísérletek eredményei alapján arra is lehet következtetni, hogy a cementek minősége terén időnként mutakozó eltérések egyik oka a klinker tárolásának körülményeiben is kereshető, amely az előbbieket ismeretében előnyösen szabályozható.

Nagyobb volumenű munkáknál munkahelyi felhasználásra számításba jöhet az eddig selejtnek tekintett hidratált (döglött) cement megfelelő adagolása a friss cementbe vagy a betonkeverékbe.

Az eljárás alkalmazási köre kiterjedhet mindama betonmunkákra, amelyeknél a gyorsabb szilárdulás gazdasági előnyökkel jár. Így elsősorban az üzemi előre gyártás jön számításba, ahol a munka termelékenysége nagymértékben növelhető az eljárással.

Betoncsövek gyártásánál igen eredményes lehet kristályosodási góccok,  $\text{CaCl}_2$  és Ca-bentonit együttes alkalmazása, ahol a gyors szilárdulás mellett érvényesül a Ca-bentonit vízzárásnövelő hatása is [Balázs–Kelemen–Kilián–Sárosi (1958)].

## 10.6. Összefoglalás

1. Kristályosodási góccok adagolásával a betonok szilárdulása magyar cementek viszonylatában is jelentősen gyorsítható.
2. Az eljárás alkalmazásával a betonok szilárdsága 2, illetve 7 napos korban 2. 10–30%-kal növelhető, a betonra gyakorolt káros hatások nélkül.
3. Kristályosodási góccok adagolása mind cementgyári, mind munkahelyi viszonylatban egyszerűen megvalósítható.
4. Az eljárás más szilárdulásgyorsító, illetve egyéb betonjavító anyaggal együttesen is előnyösen alkalmazható.



# 11. Lövellt beton

## 11.1. A lövellt beton fogalma és technológiája

A lövellt betont a közönséges betontól elsősorban az különbözteti meg, hogy különleges módon – nagy nyomású lövelléssel – szállítják és tömörítik.

A lövellt betontechnológia olyan betonkészítési eljárás, amely egyesíti magában a betonkészítés fő elemeit,

a keverést,

a szállítást,

és a bedolgozást.

A betont a bedolgozás helyére kb. 100 m/s sebességgel lövellve hordják fel. A beton az aljzaton megtapad, tömörödik.

Mivel az 1920-as években a Torkkrét cég gyártotta a gépészeti berendezéseket, a torkkrétbeton elnevezés terjedt el. Hazánkban helytelen szóhasználat a löttbeton, helyes a lövelltbeton (mivel folyamatról van szó).

A lövellt beton készíthető (11.1. ábra) száraz és nedves eljárással.

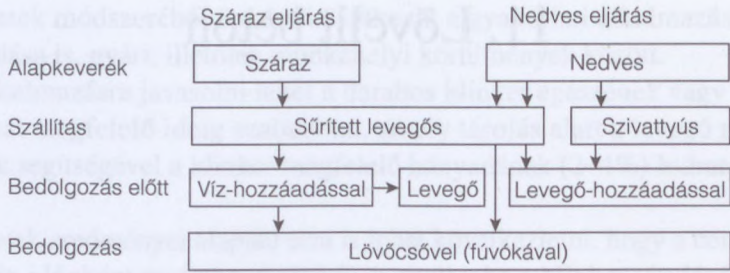
a) *Száraz eljárás* (11.2. ábra) esetén a homokos kavics, a kötőanyag, az esetleges adalékszer keverékét szárazon, pneumatikus szállítással juttatják a szórófejhez, és a fejben a vizet egy perforált gyűrűn adják hozzá, s az így kapott betont lövellik fel a betonozandó felületre.

b) *Nedves eljárás* esetén a vizet az alapanyagokhoz a keverőben adják hozzá, s az így kapott betonkeveréket beépítésre kész állapotban pneumatikus szállítással vagy szivattyúzással juttatják el a szórófejhez, s azt lövellik rá közvetlenül a betonozandó felületre.

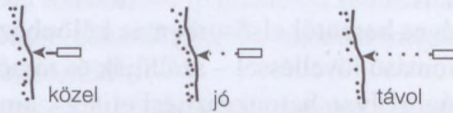
A lövellt betonnak hagyományai vannak hazánkban. Ezeket foglalta össze Ócsvár Rezső (1959) *A torkrétozásról* c. cikkében. Még néhány irodalom: Pásztor R. (1979), Janitsáry J.–Soós G. (1979), Holnapy K (1980), Dobos Gy. (1965).

A kísérletek megkezdése előtt mi is széles körű irodalomtanulmányt készítettünk [Balázs–Timon (1981)].

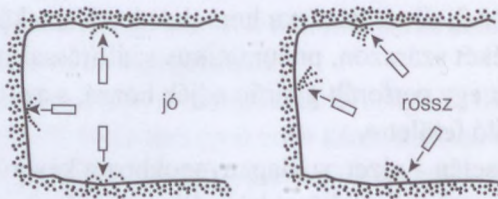
A betonra, illetve annak alapanyagaira vonatkozó követelmények általában azonosak a közönséges betonra érvényesekkel, csupán néhány speciális feltétel van, amely a különleges keverési, szállítási és bedolgozási móddal függ össze.



a)

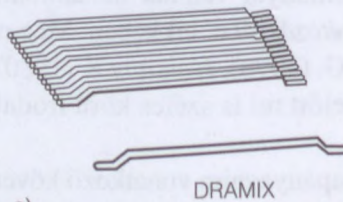


A fúvóka távolsága



A lövellés helyes szöge

b)

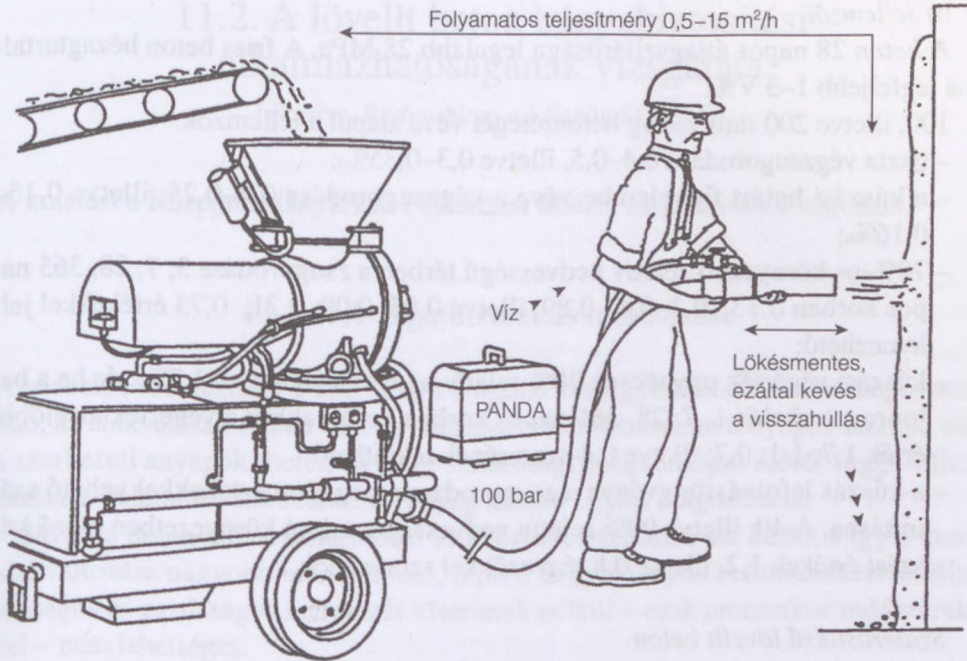


c)

DRAMIX

**11.1. ábra.** Lövellt beton. a) Lövelli eljárások; b) a fúvóka helyzete és a visszapattanás mértéke [Pásztor R. (1980)]; c) Dramix acélszal.





11.2. ábra. SBS típusú, száraz eljárású betonlövellő gép. (SBS gyártmányismertető).

#### a) Alkotói

Cement főként 450 pc, közepes (kb. 300–400 m<sup>2</sup>/kg fajlagos felülettel, legyen jó víztartó, jól tapadó, lehetőleg kis zsugorodású. A beton cementtartalma az adalékanyag szemmagyságától függően,  $d_{max}$  8, 16, illetve 24 mm esetén 400–450; 350–400; 300–350 kg/m<sup>3</sup>. Szulfátagresszivitás esetén szulfátálló cement használandó.

Adalékanyag természetes aprózódású, B jelű határgörbe szerinti, 0,25 mm alatti frakció mintegy 15–20%. Nedves eljárás esetén szivattyús, illetve pneumatikus szállítással a legnagyobb szemmagyság 8–12, esetleg 16 mm.

Vízadagolás 0,4–0,45 víz-cement tényezővel a beton telített vagy kissé túltelített. 40–42 cm területű, kissé képlékeny–képlékeny konzisztenciájú.

A szemmegoszlástól, a szemalaktól,  $d_{max}$ -tól, víz-cement tényezőtől, fúvókatá-volságtól, lövellés szögétől (11.1b ábra), a visszapattanás valószínűségétől függ a beton minősége, gazdaságossága.

Nedves eljárásnál vízcsökkentésre adagolják a folyósító adalékszert.

A visszapattanás a lövellő eljárás jellegzetessége. Száraz eljárással

- vízszintes felületre lövellés esetén 5–10 m%,
- függőleges, illetve ferde felületre 15–30 m%,
- fej feletti vízszintes felületről 25–50%.

Nedves eljárás esetén a veszteség ennek kb. 60%-a.

A visszahullt betont nem szabad újra felhasználni.

## b) Jellemzői

A beton 28 napos átlagszilárdsága legalább 28 MPa. A friss beton hézagtartalma legfeljebb 1–3 V%.

100, illetve 200 mm vastag betonréteget véve alapul a jellemzők:

- tiszta végszugorodása 0,4–0,5, illetve 0,3–0,35‰;
- a kúszási határt figyelembe véve a végszugorodása 0,2–0,25, illetve 0,15–0,16‰;
- 70%-os környezeti relatív nedvességű térben a zsugorodása 3, 7, 28, 365 napos korban 0,13, 0,2, 0,4, 0,89, illetve 0,05, 0,09, 0,21, 0,73 értékekkel jellemezhető;
- kúszási végérték ugyancsak 70% relatív nedvességű térben 1,7‰, de ha a betonra a terhelés 1, 7, 28, 365 napos korban kerül, akkor a végérték az előbbi érték 1,7; 1,1; 0,7; illetve 0,4-szeresének tekinthető;
- a kúszás lefolyásfüggvénye a zsugorodásra megadott értékekkel vehető számításba. A 40, illetve 90% relatív nedvességtartalmú környezetben előző kúszási értékek 1,2, illetve 0,8 tényezőkkel szorzandók.

## Szálerősítésű lövellt beton

Együtt érvényesek a szálerősítésre és a lövellésre vonatkozó ismeretek.

A 0,5 mm átmérőjű, 30–40 cm hosszú kampós végű Dramix acélszálak jól lehoronyzódnak.

A Dramix acélszálakat (11.1c ábra) vízzoldható ragasztóval összeragasztott 30–50 szálból álló kötegenként is adagolják. A betonkeverékben elemi szálakra oszlik és így nem csomósodik.

Példák a lövellt betonra:

- Gellért-hegyi 5–6 cm-es sziklabiztosítás,
- lövellt beton bányabiztosítás,
- pincerendszerek megerősítése,
- Inotai Hőerőmű hűtőtornyainak megerősítése, esetleg bevonása párazáró bevonattal,
- meghibásodott hidak, víztornyok, ipari csarnokok megerősítése, esetleg javítása, lövellt PCC (polimer-cement beton) bevonattal való ellátása.



## 11.2. A lövellt beton bányabiztosítási alkalmazhatóságának vizsgálata

[Balázs–Rédey-Nagyné Faragó (1989)]

A kutatást a Központi Bányászati Fejlesztési Intézet megbízásából végeztük.

### 11.2.1. A vágatbiztosítás méretezése

A vasbeton szerkezet és a vele együtt dolgozó kőzetgyűrű közötti tehermegosztásban, az alakváltozásokban és a tartórendszer teherbírásában lényeges szerepe van a szerkezeti anyagok (beton és talaj) szilárdsági tulajdonságai időtől függő változásának, valamint a két szerkezeti anyag közötti együtt dolgozásnak.

Mivel a beton már a szilárdulási idő kezdetén terhelés alá kerül, s így a lassú alakváltozása nagyobb mértékű lesz, mint a hagyományos betonszerkezeté. Biztonságos és gazdaságos méretezés kísérletek nélkül – csak numerikus módszerekkel – nem lehetséges.

Továbbiakban ismertetett kísérleteink az anyagjellemzők kísérleti meghatározását célozták.

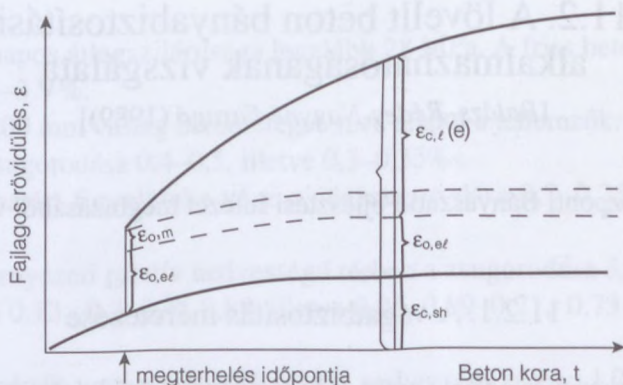
### 11.2.2. Lövelltbeton-bányabiztosítás reológiai vizsgálata

A laboratóriumi kísérletek azt a célt szolgálták, hogy a fiatalkorú lövellt betonra anyagtani jellemzőket szolgáltatassanak a vágatbiztosítás méretezéséhez. Erre azért van szükség, mert a beépített vágatbiztosítás a kőzetterhet – a kőzet fajtajától, rétegezettségétől stb. függően – már 24 órás korban megkaphatja. A kőzetterhe tartós terhelés, aminek következtében a vágatbiztosítás betonja időben lejátszódó lassú alakváltozást szenved. Magát az időben lejátszódó folyamatot a 11.3. ábra szemlélteti. A megterhelés időpontjában lejátszódik a terhelőfeszültséggel arányos rugalmas alakváltozás ( $\epsilon_{0,el}$ ) (ehhez szükséges a rugalmassági modulus ismerete). A terhelés időtartama alatt lejátszódik már egy maradó alakváltozás is. Ez az időben lejátszódó viszkózus alakváltozással együtt adja a lassú alakváltozást ( $\epsilon_{c,l}$ ).

A lassú alakváltozás mellett, a terheléstől függetlenül bekövetkezik a zsugorodás ( $\epsilon_{c,sh}$ ).

A kutatáshoz 28, illetve 40 MPa átlagszilárdságú betonokat terveztünk, 350 kspc. 20 minőségű, 400 (1. jelű), illetve 300 (2. jelű) kg/m<sup>3</sup> cementadagolással, azonos összetételű és szemmegoszlású  $d_{max}=16$  mm adalékanyaggal.

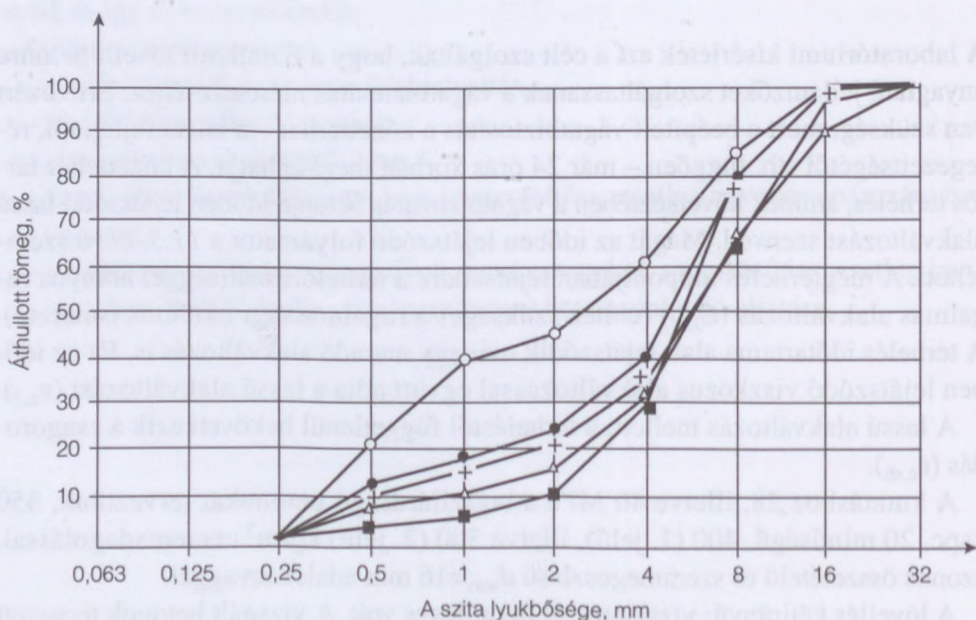
A lövellés kétirányú: vízszintes és függőleges volt. A vizsgált betonok tervezett szemmegoszlása, valamint a mosással meghatározott, különböző helyzetű lövel-



11.3. ábra. Tartósan terhelt hasábok alakváltozása vázlatosan.

léssel felhordott, illetve visszahullott betonok adalékanyagának a szemmegoszlása a 11.4. ábrán látható.

A vizsgálatokat a függőleges faállványzatra vízszintes helyzetű puskával lövelt tömbökből kb. 16 óras korban, a készítés helyén kifűrészelt  $120 \times 120 \times 360$  mm-es hasábokon végeztük. Az 1 napos korú hasábokat a beton eredeti állapotában vizsgáltuk, a 2 napos korúakat 1 napig, az idősebb korúakat 16, illetve 28 napos vízben, majd laborlevegőn tároltuk és úgy vizsgáltuk. A betonok kezdetben gyorsan szilárdultak. Az 1 napos betonnak a 28 napos beton hasábszilárdságához vi-



11.4. ábra. Vizsgált betonok adalékanyagának szemmegoszlása.



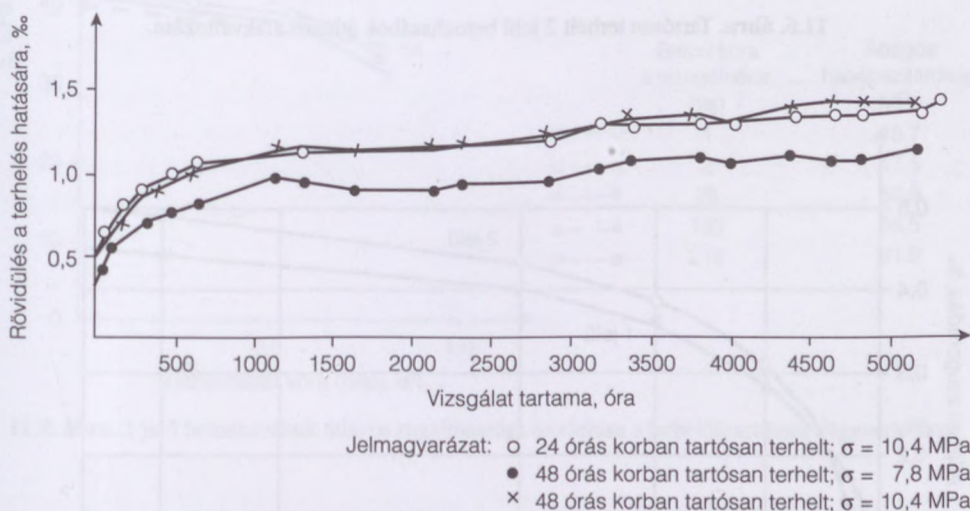
szonyított értéke 1 jelű beton esetében 37% ( $400 \text{ kg/m}^3$ ), 2 jelű beton esetében 33% ( $300 \text{ kg/m}^3$ ) volt.

Testsűrűségük 28 napos korig  $2400 \text{ kg/m}^3$  fölött volt.

Ennek a 350 kspc-20 cementből nyári, kb.  $30^\circ\text{C}$  hőmérsékleten készített betonnak nagy a kezdőszilárdsága, melynek oka a nyári időn kívül a lövellt beton kis víz-cement tényezője és nagy tömörsége.

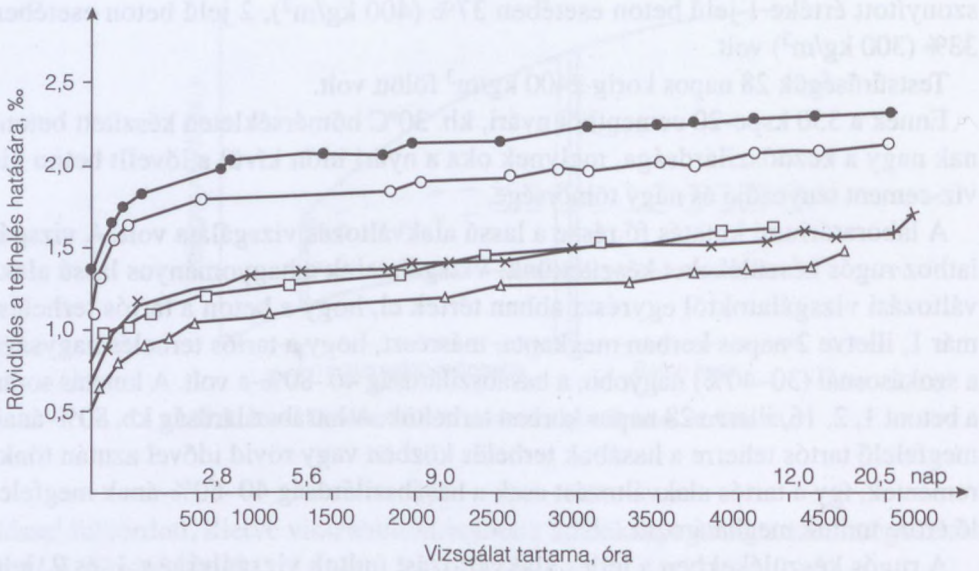
A laboratóriumi kutatás fő része a lassú alakváltozás vizsgálata volt. A vizsgálathoz rugós készülékeket készítettünk. Vizsgálataink a hagyományos lassú alakváltozási vizsgálatoktól egyrészt abban tértek el, hogy a beton a tartós terhelést már 1, illetve 2 napos korban megkapta, másrészt, hogy a tartós terhelés nagysága a szokásosnál (30–40%) nagyobb, a hasábszilárdság 40–80%-a volt. A kutatás során a betont 1, 2, 16, illetve 28 napos korban terheltek. A hasábszilárdság kb. 80%-ának megfelelő tartós teherre a hasábok terhelés közben vagy rövid idővel azután tönkrementek, így a tartós alakváltozást csak a hasábszilárdság 40–60%-ának megfelelő erőre tudtuk meghatározni.

A rugós készülékekben a teljes alakváltozást tudtuk vizsgálni. Az 1. és 2. jelű betonok teljes alakváltozását a 11.5–11.6. ábrákon foglaltuk össze. A tartósan terheléssel azonos körülmények között tárolt hasábok átlagos zsugorodásának mértékét a 11.7. ábrán foglaltuk össze.

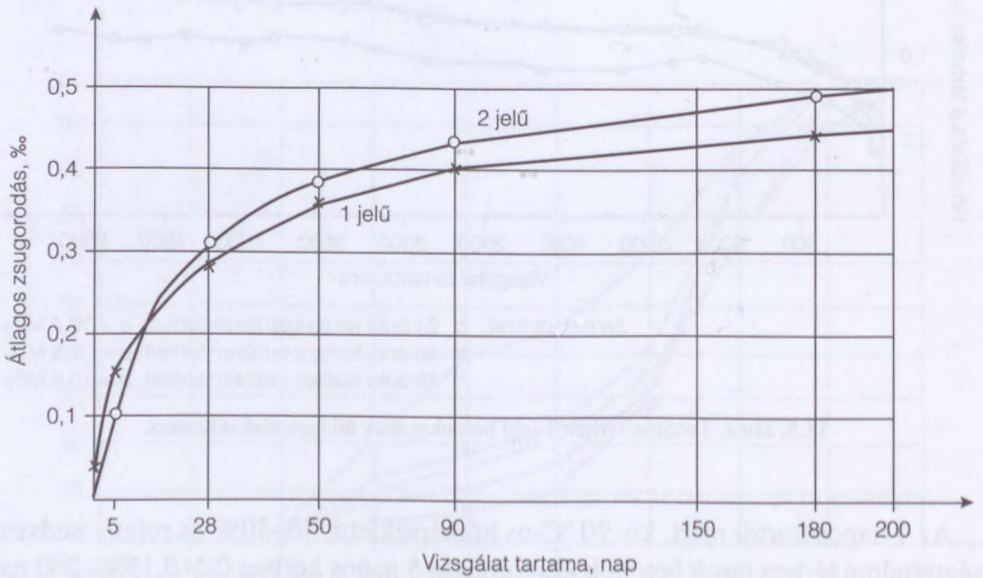


11.5. ábra. Tartósan terhelte 1 jelű betonhasábok átlagos alakváltozása.

Az 1 napos kortól mért, kb.  $20^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletű, 40–50%-os relatív nedveségtartalmú térben tárolt betonok zsugorodása 5 napos korban 0,1–0,15%, 200 napos korban 0,45–0,50%, a 2. jelű beton zsugorodása valamivel nagyobb volt.



11.6. ábra. Tartósan terhelte 2 jelű betonhasábok átlagos alakváltozása.



11.7. ábra. Betonok átlagos zsugorodása (1 napos kortól mérve)

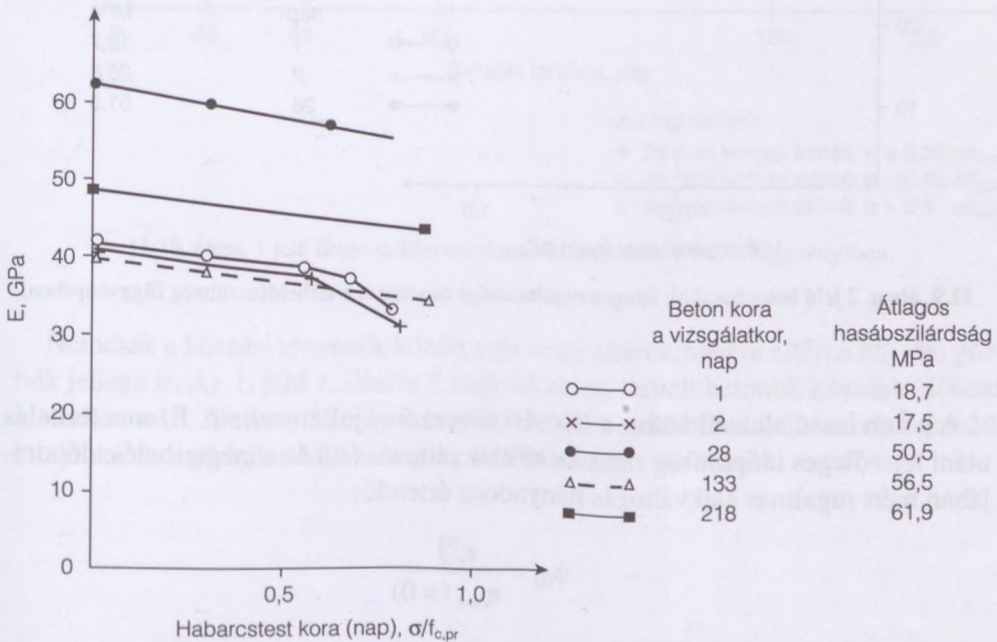


A kezdeti rugalmassági modulusokat ( $E_0$ ) összehasonlítottuk a *Roš* szerinti

$$E_0 = 60000 \frac{f_{c,pr}}{f_{c,pr} + 15}$$

összefüggés alapján számított, korábbi kutatásaink során jónak ítélt kezdeti rugalmassági modulusokkal. Kísérleteink szerint 1–2 napos korban a *Roš*-képletből számítottnál kb. 25%-kal nagyobb  $E_0$  vehető számításba. Idősebb korban akkor volt nagyobb  $E_0$  a számítottnál, ha a betont terhelés előtt vízben tároltuk, tehát vízzel telített volt.

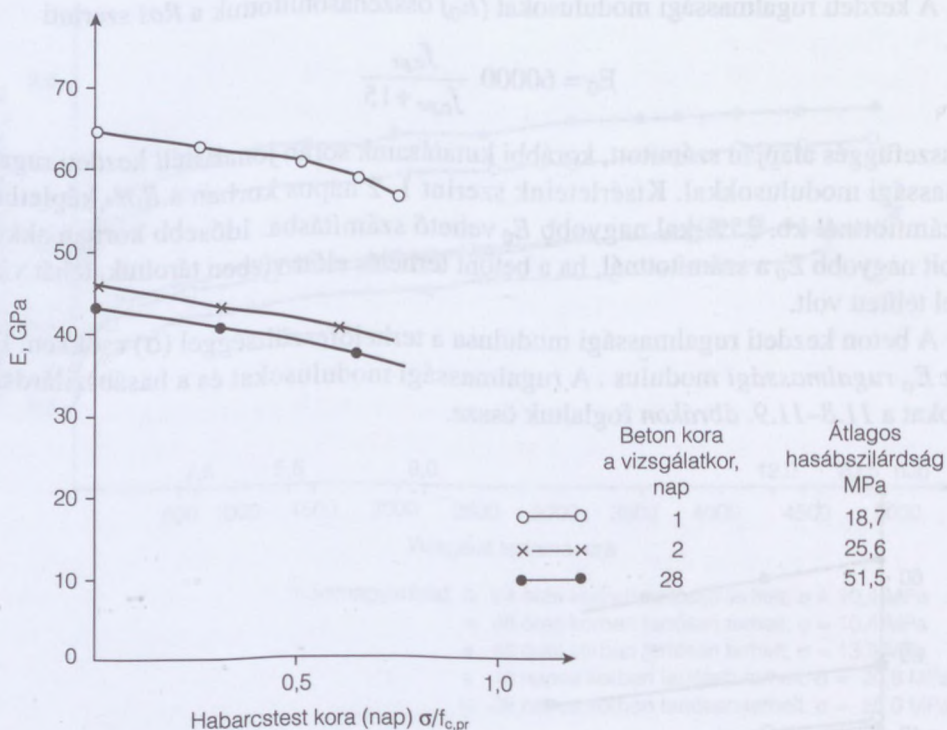
A beton kezdeti rugalmassági modulusa a terhelőfeszítéssel ( $\sigma$ ) csökken. Ez az  $E_\sigma$  rugalmassági modulus. A rugalmassági modulusokat és a hasábszilárdságokat a 11.8–11.9. ábrákon foglaltuk össze.



11.8. ábra. 1 jelű betonhasábok átlagos rugalmassági modulusa a terhelőfeszítés függvényében.

A kezdeti rugalmassági modulus az  $f_{c,pr} = 0,6$ -ig (a hasábszilárdság 60%-a) lineárisnak tételezhető fel. Az  $E_\sigma$  modulus 1, illetve 2 napos korban a kedvezőtlenebb esetet tételezve fel:

$$E_\sigma = E_0 \left( 1 - \frac{\sigma_{c,pr}}{10f_{c,pr}} \right)$$



11.9. ábra. 2 jelű betonhasábok átlagos rugalmassági modulusa a terhelőfeszültség függvényében.

A beton lassú alakváltozása a *kúszási tényezővel* jellemezhető. Ezen a terhelés utáni tetszőleges időpontban mért lassú alakváltozás ( $\epsilon_l$ ) és a megterhelés időpontjában mért rugalmas alakváltozás hányadosa értendő:

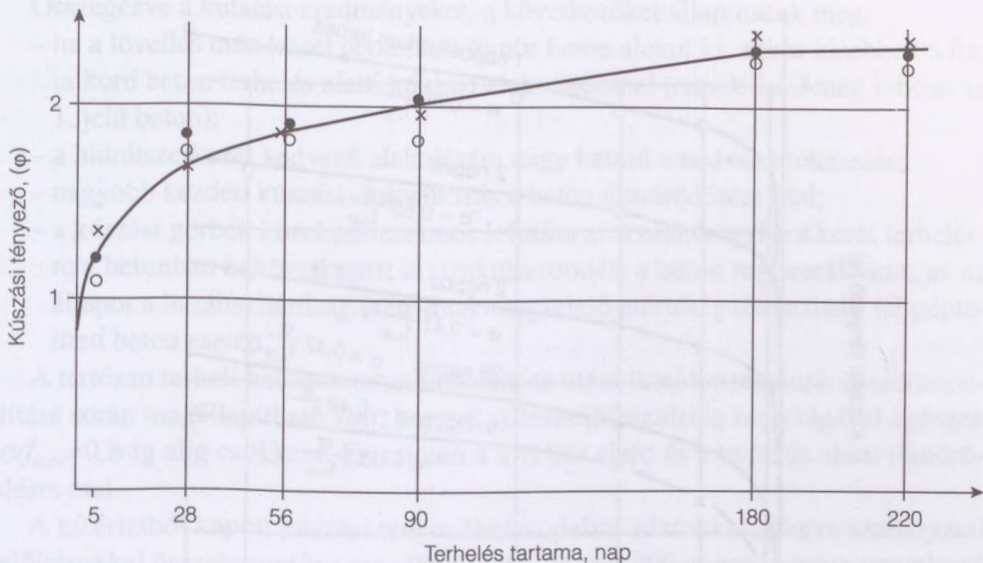
$$\phi_{(t)} = \frac{\epsilon_{c,l}^{(t)}}{\epsilon_{\sigma el} (= 0)}$$

$$\epsilon_{\sigma el} = \frac{\sigma}{E_{\sigma}}$$

A vizsgált betonok kúszási tényezőinek változását a 11.10–11.11. ábrák mutatják. Az ábrákból jól látható, hogy a kúszási alakváltozások nagyok. A kezdetben kialakult kúszási tényező a kúszás további alakulását is megszabja, hiszen a kúszási görbék közel párhuzamosak.

A kúszási tényezőt 5 napos korban határoztuk meg először és az 1, illetve 2 napos korban terhelt 1. jelű betoné átlagosan 1,1–1,35 közötti, az 1 napos korban terhelt 2. jelű betoné átlagosan 3,48, a 2 napos korban terhelt, előzetesen vízben tárolt 2. jelű betoné 2,02, a vizes kezelés nélkülieké átlagosan 2,8 volt.



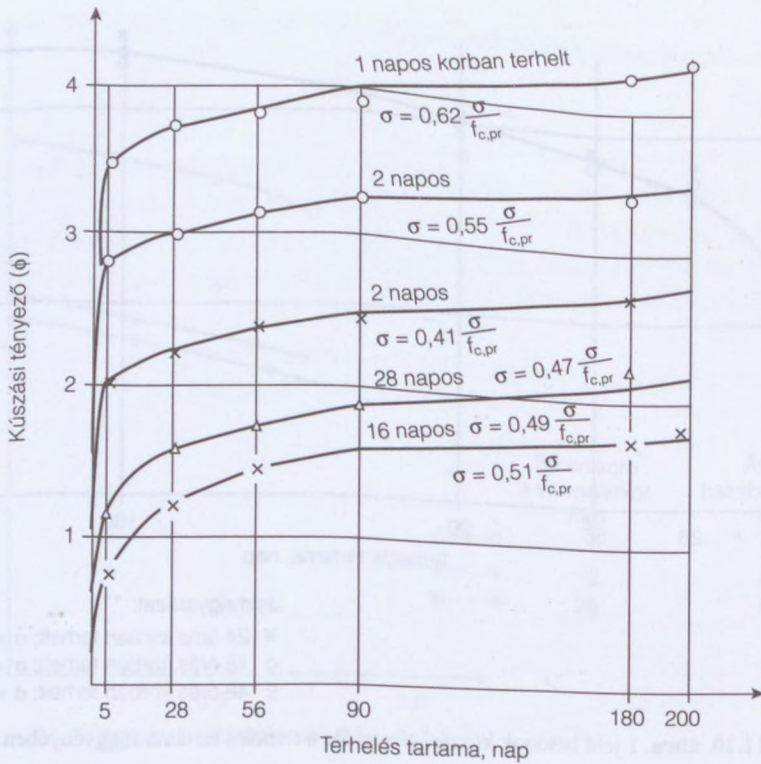


Jelmagyarázat:

- 24 óras korban terhelt;  $\sigma = 0,56 \sigma/f_{c,pr}$
- 48 óras korban terhelt;  $\sigma = 0,45 \sigma/f_{c,pr}$
- x 48 óras korban terhelt;  $\sigma = 0,6 \sigma/f_{c,pr}$

11.10. ábra. 1 jelű betonok kúszási tényezője a terhelés tartama függvényében.

Nemcsak a kúszási tényezők között volt nagy eltérés, hanem eltért a kúszási görbék jellege is. Az 1. jelű 1, illetve 2 napos korban terhelt betonok kúszása időbeni alakulása a 16, illetve a 28 napos korban terhelt 2. jelű betonokéhoz volt hasonló. Alakra ezek a görbék feleltek meg az általunk ismert görbéknek.



11.11. ábra. 2 jelű betonok kúszási tényezője a terhelés tartama függvényében.

### 11.2.3. Összefoglalás

A kutatás során azt vizsgáltuk, hogyan viselkedik a fiatal korban (24, illetve 48 óra) a hasábszilárdság 40–60%-ának megfelelő tartós terhelésre igénybe vett beton. Ugyanis beton, illetve vasbeton vágatbiztosításban ez a terhelés létrejöhethet.

A betonösszetétel

	1. jelű beton	2. jelű beton
cementtartalom, $\text{kg/m}^3$	400	300
cementfajta	350 kspc	
$d_{max}$ , mm		16



Összegezve a kutatási eredményeket, a következőket állapítottuk meg:

- ha a lövellés után közel péptelített tömör beton alakul ki, akkor kisebbek a fiatalokú beton terhelés alatti kúszási alakváltozásai (ennek felel meg jobban az 1. jelű beton);
- a hidrátszerkezet kedvező alakulására nagy hatású a nedves utókezelés;
- nagyobb kezdeti kúszási alakváltozás a beton tömörödésére utal;
- a kúszási görbék közel párhuzamos lefutása arra utal, hogyha a korai terhelésre a betonban bekövetkezett is struktúraromlás, a beton regenerálódott; ez az állapot a hasábszilárdság 60%-ának megfelelő mértékig tételezhető fel péptelített beton esetén.

A tartósan terhelt hasábok tehermentesítése utáni tulajdonságainak összehasonlítása során megállapítható volt, hogy  $E_{\sigma}$  a terhelőfeszültség nagyságával egészen  $\sigma/f_{c,pr}=0,8$ -ig alig csökkent. Ez szintén a lövellés alatti és a terhelés alatti tömörödéstre utal.

A kísérletből kapott kúszási tényezőket irodalmi adatokkal, illetve szabályzati előírásokkal összehasonlítva megállapítható, hogy a 200 napos betonra vonatkozó értékek legjobban az MSZ 15022 tervezett adataival egyeznek meg, de ez a szabvány nem jellemzi jól a kúszás folyamatát. Az egyezés azért sem várható, mert a 60%-os tartós terhelést a gyakorlatban nem engedik meg, de a vágatbiztosítás különleges eset. Továbbá feltételezzük, hogy a lineáris kúszás határa nem állandó (pl.  $0,3 f_{c,pr}$ ), hanem a péptelítettségtől függően változó érték.

## 11.3. Lövelléssel készített vízzáró vakolat

[Torkrét eljárással... (1960)]

### 11.3.1. Bevezetés

Vasbeton folyadéktartályok vízzárását – kutatásaink idején – általában vízzáró vakolattal biztosították. A víznyomás nagyságának növekedésével a vízzáró cementhabarcs vastagsága állandóan nőtt. Hazánkban a szokásos víznyomás esetén leggyakoribb a háromrétegű vízzáró vakolat volt, amelyet rétegenként kézi vakolással készítettek. Hibátlanul azonban csak igen tapasztalt szakember tudta elkészíteni, a munkahézagok gyakran vízszivárgás helyei voltak, és a meghibásodott vagy roszszul elkészített vakolatot igen nehezen lehetett kijavítani.

Ezenkívül a szakemberek között mindig vitatott kérdés volt, hogy a cementdúsabb vagy a cementszegényebb réteget hordják-e fel közvetlenül a betonra. A cementdúsabb réteg jobban tapad, ugyanakkor azonban a már többé-kevésbé megszilárdult betonéhoz képest a zsugorodása nagy. A cementszegényebb réteggel fordított a helyzet.



A cementhabarcs vakolat készítésének gépesítésére irányuló törekvés hozta létre a torkrét eljárással való vízzáróhabarcs-készítés gondolatát.

Az 1950-es években több torkrétágyút vásárolt a magyar építőipar és ezekkel többek között vízzáró vakolatot is készítettek. Ezek a vízzáró vakolatok a vízzárás követelményeinek – tudomásunk szerint – eleget is tettek. Azonban mindaddig kevés építési tapasztalattal rendelkezünk, szabvány – amely a készítés módját vagy a vizsgálat módját szabályozná – nem volt, kísérleteket e tárgyban nálunk egyáltalában nem folytattak. Ezért jöttek létre Wittmann Bélának, az ÉM 1.sz. Mélyépítő Vállalata 23 sz. Építésvezetősege építésvezetőjének a kezdeményezésére azok a kísérletek, amelyekről a továbbiakban számolunk be.

Jelen kísérlet sorozat a megbízó módszerével gyártott vízzáró vakolat minőségi elbírálására, vagyis annak megállapítására szorított, hogy ez a vakolat egyenértékű-e a kézi erővel felhordott, szokásos háromrétegű vízzáró vakolattal, milyen a habarcsréteg szilárdsága és milyen feszültségeket ébreszt a habarcsréteg zsugorodása mind a habarcsban, mind a betonban.

### 11.3.2. Vízzáróság-vizsgálatok

A kísérleti testek elsősorban a habarcsréteg szemmegoszlásában tértek el egymástól. A teljesen azonos összetétellel és azonos módon készített testeket azonos nagyságúval (A-tól F-ig) láttuk el. Az A–C jelű kísérleti testek a megbízás időpontjában már készen voltak, s így azok összetételének megállapításába a Tanszék nem szólhatott bele. A Tanszék közreműködésével csak a D–F jelű kísérleti testek készültek el.

#### 11.3.2.1. A kísérleti testek anyaga

Az egyes kísérletcsoportok adalékanyaga szemmegoszlásának az összetételét a 11.1. táblázatban tüntetjük fel.

Az A–B–C jelű kísérleti testek táblázatban feltüntetett szemmegoszlását a megbízó bocsátotta rendelkezésünkre, míg a D–F jelű próbatestek adalékanyagának a szitavizsgálatát a Tanszéken végeztük el.

Az adalékanyag agyag-iszaptartalma 1 V%-nál kisebb; az adagolt cementmennyiség kb.  $500 \text{ kg/m}^3$  500-as cement volt. A vizet a szórófejnél adagolták, így annak pontos mennyiségét megállapítani nem lehetett. A habarcs konzisztenciája közel állandó volt. Az E jelű próbatesteknél a cement tömegszázalékára vonatkoztatott 2% Ca-bentonitot is adagoltunk tömítés céljából.



11.1. táblázat. Az egyes csoportok szemmegoszlása

A szita, ill. rosta lyukátmérője (mm)	Az áthullt tömegszázalék az			
	A és C	B	D és F	F
	jelű kísérleti testeknél			
15	87,0	71,0	100	100
10	71,5	51,5	100	100
5	43,3	41,3	98,8	100
3	34,6	29,5	61,5	100
2	21,6	22,0	–	–
1			34,3	84,2
0,5			21,0	57,7
0,24			7,2	17,0

### 11.3.2.2. A próbatetek gyártása

A vizsgálathoz 1–5 cm vastagságú próbateteket készítettünk. A kísérleti testeket egymástól független sablonokban készítettük. Mindegyik sablon 1–4 cm vastag, kör alakú fa fenéklapból és azt oldalról körülfogó bádoglemezből állt. A bádoglemez a kívánt vastagságnak megfelelően emelkedett ki a fakorongból.

Az így elkészített sablonokat egy deszkalapra erősítettük fel szorosan egymás mellé. Az összes kísérleti testet az oldalfalnak megfelelő helyzetbe állítva gyártottuk le. A torokrétagyú fúvókája kb. 1 m-re volt a próbatestektől.

Ilyen módszerrel készültek az A–B–C–D–E jelű kísérleti testek azzal a különbséggel, hogy az A–B–C jelű testeket egy rétegben, a D és E jelűeket pedig több rétegben, kb. 1 cm vastagságú rétegekben hordtuk fel. Az összes test felületét – a C jelűek kivételével – a habarcs felhordása után vakolókanállal lesimítottuk, míg a C jelűeké változatlanul maradt. Az F jelű testeket háromrétegű, 2 cm vastagságú vakolatnak megfelelően készítettük.

Az E jelű kísérleti testekhez a cement tömegére vonatkoztatott 2% Ca-bentonitot is adagoltunk, melyet a cementtel egyidejűen kevertünk az adalékanyaghoz. Ez a hozzákeverés azonban nem volt olyan alapos, hogy a Ca-bentonit a cementtel egyenletesen elkeveredhetett volna.



### 11.3.2.3. A vizsgálat módszere

A kb. 18 cm átmérőjű kísérleti testeket 20 cm belső átmérőjű acélcsövekben helyeztük el, duzzadó cementtel véve körül azokat, amely megakadályozta, hogy a víz a próbatestek mellett átszivároгjon, vagy átfolyjék. A próbatestek víznyomásnak kitett felületének az átmérőjét úgy állapítottuk meg, hogy azokban olyan nagyságú hajlító-húzófeszültségek kísérlet közben fel ne lépjenek, amelyek repedésre vezetnének és ezáltal a kísérlet eredményét meghamisítanák.

A vizsgálat kezdetén 1 atü nyomásig mentünk fel, és ezt a víznyomást kb. 18–24 óráig állandóan tartottuk. Akkor óránként 1 atü-vel növelve a nyomást, egészen 7 atü-ig mentünk fel. Ezen a nyomáson tartottuk a próbatesteket kb. 18–20 órán át, esetenként tovább, és mértük a próbatesteken átfolyt, de közben el nem pároгló vízmennyiséget. Ez a mérési módszer megfelel annak a felfogásnak, amely szerint vízzárónak akkor nevezünk valamely betont, vagy habarcsot, ha azon nem szivároг át több vízmennyiség, mint amennyi onnan egyidejűleg képes elpároгolni.

A vízzárósági vizsgálat befejeztével a próbatesteket eltörtük, megállapítottuk a vízbehatolás nagyságát, valamint megvizsgáltuk a habarcs szövétét.

### 11.3.2.4. A vizsgálati eredmények

A vizsgálat eredményeit az alábbiak szerint értékeljük:

a) A vizsgálat nagyon szigorú volt. Minthogy a habarcsokra vonatkozóan szabványos vízzáróság-vizsgálati módszerünk nem volt, jó közelítéssel a betonokra előírt víznyomásértékeket tartottuk be. Ennek ellenére a kísérleti testek túlnyomó többségükben vízzárónak bizonyultak, majdnem függetlenül a lemezvastagságtól, jóllehet a ténylegesen adagolt adalékanyag szemmegoszlásában igen lényeges eltérés volt köztük.

b) A próbatesteknek a habarcsa nem volt teljesen egynemű, egyöntetű. Ez kétféleképpen jelentkezett. Nevezetesen egyrészt a víz nem egyenletesen, egyforma mélységig hatolt be, másrészt helyenként az átnedvesedett habarcsba száraz zárványok maradtak.

Az egyenlőtlen vízbeszivárgást a próbatestek nagy százalékánál megfigyeltük.

Zárványt figyeltünk meg néhány vízzárósági próbatest és néhány 20 cm élhosszúságú próbakocka belsejében is.

Mind a két eset a minőséget rontja, és a cement és az adalékanyag nem tökéletes (nem egyenletes) szárazon való összekeverésére utal. A habarcsban lévő cementgombóc pedig – véleményünk szerint – annak volt a jele, hogy a cement hozzáadásakor az adalékanyag víztartalma igen nagy volt, amikor is keverés közben a cement galacsinokká vagy gombócokká állt össze. Ezt a vízzel való későbbi keverés sem tudta teljesen egyenletessé tenni.



A teljesen egyenletes szövetű habarcszhoz a légszár az adalékanyagokat gondosan össze kell keverni a cementtel.

c) Az A és C jelű kísérleti testek összehasonlításából azt következtethetjük, hogy az elkészített habarcsfelület simítására feltétlenül szükség van. Ugyanis, míg a simított A jelű testek úgyszólván mind teljesen vízzáróak voltak, a C jelűek mindegyikén kis mennyiségű víz szívárgott át.

d) A háromrétegű vízzáró vakolatnak megfelelő technológiával, kézi erővel készített F jelű testek vízzárása kisebb volt, mint az azonos vastagságú torkrét eljárással készített habarcsoké.

e) A D jelű kísérleti testeket kb. 1 cm vastagságú rétegekben készítettük. Eltekintve a b.) pontban leírt inhomogenitástól, a próbatestek csak mintegy 10 mm mélyen nedvesedtek. Ugyanakkor a nem rétegenként felhordott próbatestek vízzárósága kisebb volt. Természetesen itt az összehasonlítás nem tökéletes, mivel az A–B jelű habarcsok adagolt összetétele lényegesen eltért. Később azonban látni fogjuk, hogy a kész habarcsban ez az eltérés lényegesen megváltozott az A–B jelű testek javára.

f) A bentonit tömítő hatása nem jelentkezett, mivel a nedves adalékanyag miatt a zárványok száma nőtt, és a bentonit elkeverése sem volt egyenletes.

### 11.3.3. A próbatestek összetétele

A vizsgálat befejeztével felmerült a kérdés, milyen mértékben változott meg a habarcs összetétele a készítés közben, azaz mennyiben tér el a habarcs összetétele a gépbe adagolttól, mi okozza a nagyon vékony testek tökéletes vízzáróságát a durva szemű adalékanyag adagolása esetén is.

#### 11.3.3.1. A vizsgálat

A vizsgálatot az MSZ 4715 szabvány 1.12. pontja szerint végeztük. A megadott adatok határokat jelentenek. Feltételezve, hogy a cement sósavban oldhatatlan része 2% és hogy az adalékanyag sósavban oldható része nincs, az alábbi adatokat kaptuk:

	D	A
	jelű kísérleti test	
víztartalom, %	4,38	2
izzítási veszteség, %	7,37	6,16
adalékanyag-tartalom, kg/m <sup>3</sup>	1221-1351	792-886
cementtartalom, kg/m <sup>3</sup>	715-854	1280-1382
próbatestek testsűrűsége, kg/m <sup>3</sup>	2270	2240



Megvizsgáltuk a próbatestek adalékanyagának a tényleges szemmegoszlását is (11.2. táblázat).

11.2. táblázat. A próbatestek adalékanyagának tényleges szemmegoszlása

A szita lyukbőssége, mm	Áthullt tömeg %	
	A	D
	jelű testek	
5,0	90	100
3,0	70	80
1,0	51	51
0,5	39	36
0,24	17	14
0,00	0	0

### 11.3.3.2. A vizsgálat értékelése

Hasonlítsuk össze a habarcs tervezett szemmegoszlását a ténylegessel. Az A jelű kísérleti testeknél az 5 mm feletti adalékanyagrészt kb. 57 tömegszázalék volt és az majdnem teljesen visszaverődött, szétszóródott a felületről. A D jelű testeknél már nem ilyen mértékű volt a szétszóródás, de itt is a kész habarcsban a finomrész tömegaránya megnőtt. Két ilyen kísérletből nem lehet messzemenő következtetést levonni, de jelen esetben az adagolás közben két teljesen eltérő szemmegoszlásból majdnem azonos lett a szemmegoszlás a kész habarcsban. Valószínűen elérhető egy olyan szemmegoszlás, amely esetén a visszapattanás mértéke minimális, és valószínűen a vízzáróság mértéke pedig kedvező lesz. A D jelű testek adalékanyagát úgy választottuk meg, hogy az a *Betonok és habarcsok* című utasításban adott alsó határt közelítse meg, és így kaptunk egy olyan szemmegoszlást, amely a két alsó határgörbe felezője felett helyezkedett el. Ilyen az A jelű kísérleti testek adalékanyagának szemmegoszlási görbéje is, jóllehet a ténylegesen adagolt szemmegoszlás ettől jóval eltért. S ez a szemmegoszlási görbe éppen közel van ahhoz, amelyet vízzáró habarcs készítéséhez javasolni szoktunk. Ez az egyik magyarázata a jó vízzáróságnak. A másik pedig az, hogy a cementadagolás megváltozott, és pedig az A jelű kísérleti testeknél a tervezett cementadagolásnak majdnem két és félszeresére, a D jelű testeknél kb. másfélszeresére. Ebből arra lehet következtetni, hogy a cement sokkal kisebb mértékben szóródik széljél és meggy kárba, mint az adalékanyag. Az ily mértékű cementfelhasználást azonban sem a vízzárási, sem a szilárdsági követelmények nem indokolják. Jórészt ezzel magyarázható a torkrét eljárás gazdaságtalanságának egyik fő oka.



### 11.3.4. Szilárdsági vizsgálatok

A vízzárósági vizsgálatnál egyidejűen szilárdsági vizsgálatok céljára is készítettünk próbatesteket.

Az A jelű kísérleti kockák 20 cm élhosszúságúak voltak. Készült 3 db vízszintes és 3 db függőleges tengelyű fúvókával. A vízszintes helyzetű fúvókával 16,4 MPa függőleges helyzetűvel 27,7 MPa kockaszilárdságot értünk el. *A felhordott vakolat tényleges szilárdsága azonban ennél jóval nagyobb, mivel a visszaverődő anyag nem tudott oldalirányban kitérni, és így visszaverődve csökkentette az egyébként elérhető tömörödés mértékét, másrészt egyszerre hordtuk fel az egész kocka betonját, ami lényegesen eltér a tényleges technológiától a minőség rovására.* Ezt mutatják a viszonylag kis testsűrűségek. Szembetűnő, hogy vízszintesen hordva fel az anyagot, a testsűrűség csak 2150 kg/m<sup>3</sup>, és ennek megfelelően a szilárdság is kisebb volt, mint függőleges felhordásnál.

A tényleges technológiához sokkal közelebb álló módon készítettük az E és D jelű kísérleti testeket. A D jelű betonból készítettünk 3 db 7,07 cm élhosszúságú próbakockát és 6 db 4 · 4 · 16 cm méretű próbahasábot. Az E jelű betonból csak 6 db próbahasábot készítettünk. Minden kísérleti test vízszintes tengelyű fúvókával készült. A próbatestek sablonjait függőleges deszkafalra erősítettük fel egymás mellé és 80–100 cm-es lövési távolságról az oldalfal készítési technológiájának megfelelően rétegenként készültek. A hasábokon zsugorodást mértünk, és pedig a hasábok felét állandóan vízben, másik felét kb. 70% relatív légnedvesség-tartalmú légtérben, kb. 20 °C hőmérsékletű klímakamrában tároltuk. A zsugorodási vizsgálatok befejeztével a hasábokon a hajlító-húzószilárdságot és eltört darabjain a testszilárdságot is megállapítottuk. Az A és D jelű kockák szilárdságát a 11.3. táblázatban, a D és E jelű hasábok szilárdságát a 11.4. táblázatban adtuk meg.

11.3. táblázat. A és D jelű próbatestek szilárdsága

A próbatest			A fúvóka tengelyének iránya	A próbakocka élhossza, cm	Törőszilárdság, MPa		A próbakockák testsűrűsége (töréskor), kg/m <sup>3</sup>	
jele	sorszám	kora, nap			egyes	átlag	egyes	átlag
A	1	150	vízszintes	20	13,0	16,4	2170	2180
	2				17,3		2175	
	3				18,9		2205	
	4		függőleges (lefelé lövelés)		20,4	27,7	2310	2300
	5				30,3		2310	
	6				38,5		2280	
D	7	kb. 120	vízszintes	7,07	35,2	40,9	2170	2217
	8				40,8		2230	
	9				46,8		2250	

11.4. táblázat. D, E és F jelű próbatestek szilárdsága kb. 4 hónapos korban

A próbatest		Hajlító-húzó szilárdság, MPa		Nyomószilárdság, MPa			Megjegyzés	Hajlító-húzószilárdság aránya, MPa
		egyek	átlag	egyik	másik	átlag		
jele	sor-száma	Mérete, cm · cm · cm		1 testé	1 testé	3 testé		
D	1		8,0	58,4	58,0	57,2	vízben tárolva	1:7,5
	2		7,0	63,2	42,4	53,2		
	3		8,0	60,8	sértült	57,0		
E	4		10,5	32,8	sértült	32,3	kb. 70% páratartalmú klímakamrában tárolva	1:3,2
	5		9,2	30,4	34,4	32,4		
	6		9,9	29,2	32,8	31,0		
	7	9,4	40,8	52,0	46,4	49,4		
	8	9,0	50,0	45,6	51,0			
	9	11,0	54,4	47,2	50,7			
F	10	8,2	71,2	76,0	73,0	vízben tárolva	1:9,6	
	11	7,0	71,6	71,6	71,6			
	12	8,0	70,4	58,2	64,6			
F	13	5,7	22,4	18,4	19,4	kb. 70% páratartalmú klímakamrában tárolva	1:3,5	
	14	5,5	18,4	19,6	19,0			
	15	5,0	18,0	17,2	18,0			



Ugyancsak ebben a táblázatban tüntettük fel az F jelű hasábok szilárdságait is, amelyeket a kézi erővel felhordott vízzáró vakolatnak megfelelően készítettünk. Ezeket a testeket is a 70% légnedvesség-tartalmú klímakamrában tároltuk.

A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a vízben tárolt hasábokon mért nyomószilárdság igen nagy volt, megközelítette a hasonló konzisztenciájú cementkő szilárdságát. A 70% légnedvességnél tárolt próbatestek szilárdsága a D jelű testeknél ennek kb. 55%-a, E jelű testeknél ennek 70%-a volt.

A hajlító-húzószilárdságra is hasonlóan nagy értékek adódtak.

A kézi erővel felhordott habarcsnak mind a nyomószilárdsága, mind a hajlító-húzószilárdsága kisebbre adódott.

A kísérletek azt mutatják, hogy a torkrét eljárással felhordott vízzáró vakolat szilárdsági szempontból kedvezőbb, mint a kézi erővel felhordott, és feltétlenül megfelel a követelményeknek.

### 11.3.5. A zsugorodásból származó feszültségek

Kellő tapadás esetén a beton és a rá felhordott vízzáró vakolat között mozgás (elcsúszás) nem jöhet létre. A beton és a rajta lévő habarcs azonban időben és nagyságban eltérő mértékben zsugorodik. Ez a zsugorodás a két együttműködő rész között szabadon nem mehet végbe, amiért is a gátolt alakváltozás miatt feszültségek lépnek fel mind a betonban, mind a habarcsban.

Ahhoz, hogy ezeket a feszültségeket számítani tudjuk, ismerni kell mind a beton, mind a habarcs zsugorodásának mértékét és időbeli lefolyását. Ismeretesen a betonösszetevők közül a zsugorodásra a víz-cement tényező és a cementadagolás hat legérzékenyebben (a cementminőség eslesik, mivel a szerkezeti beton és torkrét-habarcs készítéséhez 500-asnál gyengébb minőségű cementet használni nem szabad), és pedig ezek növekedésével a zsugorodás nő. Ezenkívül igen számottevő a környező levegő páratartalma, amelyikkel a zsugorodás fordított arányban változik.

A gyakorlatban a feladat egyszerűsödik, mivel a szerkezet betonja rendszerint B 200, illetve B 280 minőségű helyszínen készített, vagy B 280, illetve B 400 minőségű előre gyártott (gőzölt). Mindkét esetben a betonkonzisztencia gyengén képlékeny.

A habarcs ezzel szemben kedvezőtlen, mivel igen nagy cementadagolású és nagy víz-cement tényezőjű.

### 11.3.5.1. A beton és habarcs zsugorodása

A beton zsugorodásának mértékére – a Tanszéken végzett kísérletek szerint – az 500-as és 600-as cementek minőségének a különbsége számottevő hatással nincs.

Természetesen szilárdított, gyengén képlékeny konzisztenciájú,  $300 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú, kb. 15 cm vastagságú betonelem zsugorodása 4 hónap alatt 70% páratartalmú légtérben kb.  $0,15 \text{ mm/m}$  volt. Ez az érték a cementtartalom növekedésével, a víz-cement tényező növekedésével kismértékben, a páratartalom csökkenésével nagyobb mértékben nőtt. Mivel azonban a feszültségszámítás szempontjából a kisebb érték a kedvezőtlenebb, ezt vesszük alapul. A habarcs felhordása idejére – minthogy a beton zsugorodása 20 napos korban ennek kb. 45%-a, 50 napos korban ennek kb. a 75%-a, a félértékkel ( $0,075 \text{ mm/m}$ ) számolunk.

A habarcs zsugorodása 60–70% páratartalmú térben  $0,6 \text{ mm/m}$  volt.

### 11.3.5.2. A zsugorodásból származó feszültségek

Közelítő számítással kiszámítottuk a feszültségeket. Feltételeztük, hogy a beton és a habarcs rugalmassági modulusa  $30\,000 \text{ MPa}$ , a tapadás tökéletes, a betonban acélbetét nincs, csak rugalmas alakváltozás következik be a zsugorodásgátlás következtében, és a 11.5. táblázat szerinti értékeket kaptuk:

11.5. táblázat. A számított zsugorodási feszültségek

Feszültség, MPa	Betonvastagság (cm)			
	8	8	20	20
	Habarcsvastagság (cm)			
	2	4	2	4
Betonban	+4,21	+5,02	+2,26	+3,43
	-7,32	-8,32	-4,22	-6,21
Habarcsban	+7,35	+6,38	+13,20	+7,98
	-4,57	-0,04	-6,55	-5,96

Természetesen a vasbetonban közel sem lépnek fel ekkora feszültségek, mert a vasalás ezt meggátolja. A habarcsban sem lépnek fel akkor, ha a habarcsréteget állandóan nedvesen tartjuk, vagy a relatív légnedvesség-tartalom közel 100%. A jelenség felhívja a figyelmet a gondos utókezelésre, valamint a későbbi nedvesen tartásra is, ugyanis ha nedvesen tartjuk a habarcsot, akkor a zsugorodása lecsökken, vízben duzzadás lép fel.



### 11.3.6. Összefoglalás

a) A kísérlet során megvizsgált torkrét eljárással készített habarcsrestek vízzárónak bizonyultak annak ellenére, hogy a restek készítése során a vízzáró habarcs készítéséhez szükséges feltételeket hiányosan tartották be. A szigorú próbát mind a vékony, mind a vastagabb restek általában kiállták. A keresztmetszetben azonban a vízbehatolás nem volt egyenletes, helyenként száraz zárványok maradtak. Ezzel a módszerrel, ezzel a géppel készítve a vakolatot az 5 mm-nél nagyobb adalékanyag-szemcsék majdnem mind visszaverődtek a felületről. A cementből azonban igen kevés szóródott széjjel.

A habarcs egyenletességét biztosítani lehet azáltal, ha az adalékanyagokat légszáraz, illetve kiszáritott állapotban igen gondosan keverik össze a cementtel. Ez esetben, ha a habarcsot kb. fél cm-es rétegekben hordják fel, kisebb víznyomások esetén már két-három réteg vízzáró lesz. A vízzáró vakolathoz a D jelű restek szemmoszlásához közelállót javasolunk.

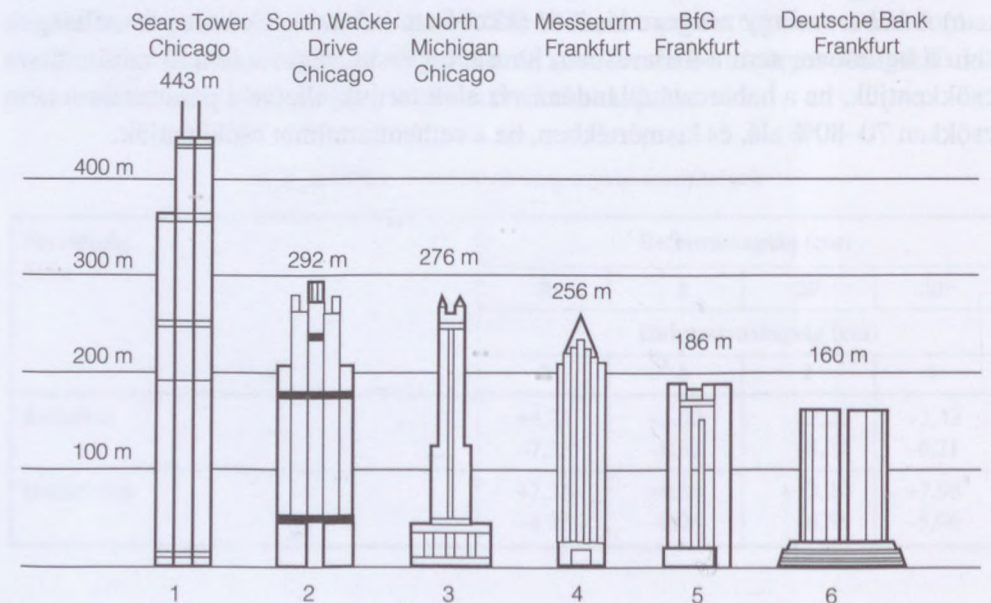
b) A habarcsrestek szilárdsága a nagy víz-cement tényező ellenére megfelelő volt, és arra lehet belőle következtetni, hogy gondos készítés esetén a cementtartalmat lehetne csökkenteni.

c) A habarcs nagy zsugorodásából akkor nem keletkeznek káros feszültségek sem a betonban, sem a habarcsban, ha a rétegvastagságot a lehető minimálisra csökkentjük, ha a habarcsot állandóan víz alatt tartjuk, illetve a páratartalom nem csökken 70–80% alá, és kismértékben, ha a cementtartalmat csökkentjük.

# 12. Nagy nyomószilárdságú beton

## 12.1. Fogalma

A nagy szilárdságú beton kutatása és alkalmazása 30–40 évre tekint vissza. A fejlődés nagy és elterjedt az egész világon. Felhasználási területe már nem korlátozódik a felhőkarcoló házak (12.1. ábra) és tenger alatti olajkutak szerkezeteinek építésére, hanem kiváló mechanikai és tartóssági tulajdonságainál fogva kiterjed a hidak, az előre gyártott monolit vagy feszített vasbeton elemek, útpályaszerkezetek építésére is. Az óriási fejlődést a Föld minden pontján elismerik.



12.1. ábra. Példák a magasépítésbeni fejlődésre. Jelölés: 1–acél; 2–nagy szilárdságú beton; 3–acél/beton; 4–beton; 5–nagy szilárdságú beton; 6–beton



A nagy nyomószilárdságú beton fogalma nagy fejlődésen ment át.

Év	Nagy szilárdság MPa
1950	34
1960	41–53
1970	62
1980	76–97
1990	100

Merész tervnek számított az, hogy *Szegedi* István tervező a kaposvári Gorkij úti hídra (1958–59) B 560 kockaszilárdságú betont írt elő. Biztonsággal úgy tervezte a hidat, hogy B 400-as betonnal is megfeleljen a teherbírás követelménynek.

Később a bizonytalanságban irányt mutatott a FIP-CEB munkacsoportja, amely 1990-ben az alábbi definíciót adta:

*Azokat a betonokat, amelyeknek a hengeren meghatározott nyomószilárdsága 60–130 MPa között van, nagy szilárdságú betonoknak nevezték el, a gyakorlati felső határt az alkalmazott hagyományos adalékanyagok szabják meg.*

E definíció érvényes azokra a könnyűbetonokra is, amelyeknek a testsűrűsége  $1200 \text{ kg/m}^3$ -nél nagyobb, és szilárdsága beleesik a fenti tartományba.

*Szalai–Huszár–Spránitz* (2005) a nagy szilárdságú betonok tartományában az alábbi betonfajtákat különböztette meg:

- nagy szilárdságú beton (HSC = high strength concrete),
- nagy teljesítőképességű beton (HPC = high performance concrete),
- ultra nagy szilárdságú beton (UHSC = ultra high strength concrete)
- öntömörödő beton (SCC = self compacting concrete)
- szálerősítésű öntömörödő beton (FRSCC = fibre reinforced self compacting concrete)
- ultra nagy teljesítőképességű szálerősítésű beton (UHPFRC = ultra high performance fibre reinforced concrete)

Az MSZ 4798-1:2004 Beton I. rész Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés. c. érvényben lévő szabvány – esetünkre – a alábbi definíciót tartalmazza:

A **nagy szilárdságú beton** olyan beton vagy nehézbeton, amelynek szilárdsági osztálya C50/60 jelűnél nagyobb, és olyan könnyűbeton, amelynek a szilárdsági osztálya LC50/55-nél nagyobb.

Az **igen nagy szilárdságú beton** olyan beton, amelynek a szilárdsági osztálya legalább C100/115 jelű.

A továbbiakban először a beton szilárdságát befolyásoló tényezőket ismertet-

jük, majd – elsősorban kísérleteink alapján – mutatunk rá a nagy szilárdságú beton előállításának a lehetőségére. Az öntömörödő és a szálerősítésű betonnal külön fejezetben foglalkozunk.

## 12.2. A beton szilárdságát befolyásoló tényezők

[Balázs (1984), Balázs–Tóth (1989)]

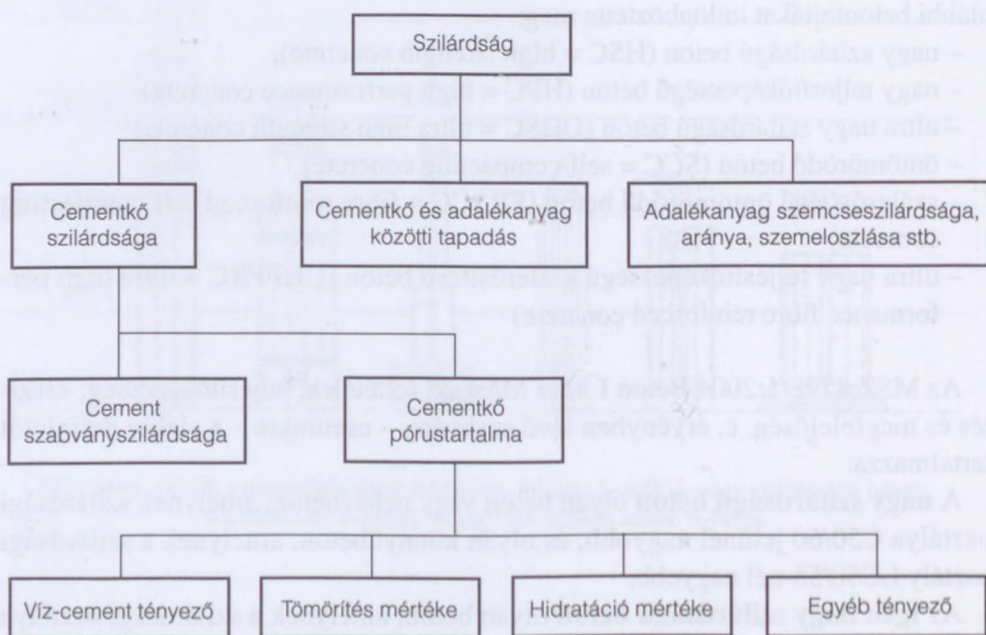
A beton szilárdságát befolyásoló tényezőket a 12.2 ábrán foglaltuk össze.

A beton többfázisú anyag, amely szilárd alkotókból (homok, durva adalékanyag, hidratált és hidratálatlan cement), pórusokból (gélpórus, kapillaris pórus, légpórus) és azokat részben vagy egészen kitöltő vízből áll. Ennek ellenére kétfázisú anyagnak tekinthető, amelyben a méretben és térfogatarányban egyenlőtlen eloszlású durva adalékanyag a sokkal homogénebb cementhabarcsba van beágyazva. Ezt figyelembe véve kétféle struktúrát különböztetünk meg: a mikrostruktúrát, vagyis a cementkő szerkezetét és a makrostruktúrát, vagyis a habarcs és beton szerkezetét.

A beton szilárdságát alapvetően három tényező határozza meg:

- a cementkő,
- az adalékanyag, és
- a cementkő és az adalékanyag közötti tapadás.

Továbbiakban ezek szerepének a tendenciájával foglalkozunk.



12.2. ábra. A beton szilárdságát befolyásoló tényezők



## 12.2.1. A cementkő szerepe

A cementkő szilárdságát a cement szabványos tulajdonságai és a cementkő porozitása határozzák meg.

Nagy szilárdságú betonokhoz nagy szilárdságú cementet kell felhasználni [Balázs–Kolostori–Székely (1989)]. A cement pedig akkor lesz nagy szilárdságú, ha ásványi összetétele kielégíti a 12.1. táblázatban megadott határokat. Ezenkívül a cement szilárdságát a finomőrlés által is növelni lehet. Ugyanis cementjeink fajlagos felülete 300–350 m<sup>2</sup>/kg. Mivel a cement szilárdságában csak azok a szemcsék vesznek részt teljes keresztmetszetükben, amelyeknek átmérője 30 μm-nél kisebb, a nagyobb szemcsék belseje inert anyagnak tekinthető. Így a jelenleg gyártott cementek végszilárdsága létrehozásában a cementnek kb. 20%-a nem vesz részt. Ha a cementet kb. 550 m<sup>2</sup>/kg felületűre növeljük, akkor megnő a szilárdu-lásban részt vevő cement mennyisége. A nagy szilárdságú cementet tekintve ebben van az 550 pc jelentősége.

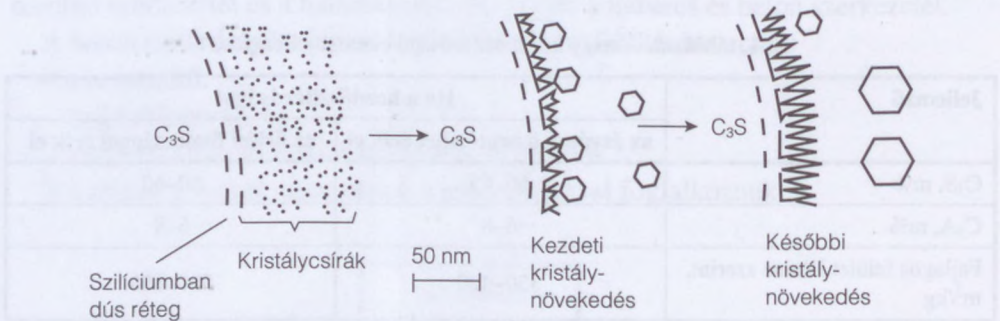
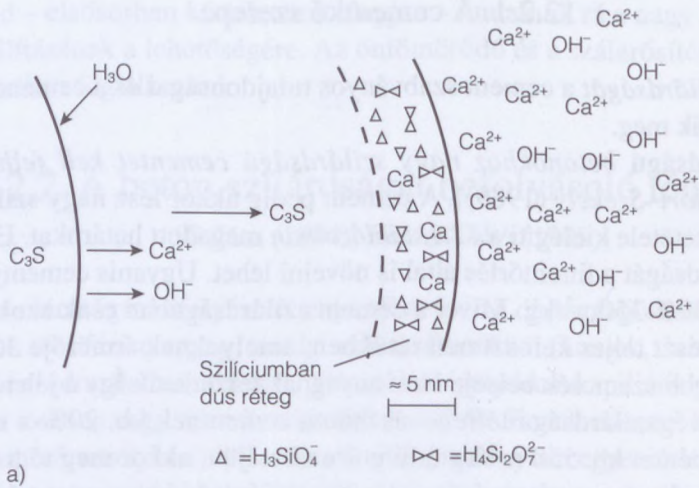
12.1. táblázat. A nagy kezdőszilárdságú cement jellemzése

Jellemző	Ha a kezdőszilárdságot	
	az ásványi összetétellel érik el	az őrlési finomsággal érik el
C <sub>3</sub> S, m%	60–65	50–60
C <sub>3</sub> A, m%	6–8	6–8
Fajlagos felület Blaine szerint, m <sup>2</sup> /kg	350–400	500–600

A cementkő porozitása létrehozásában a legnagyobb szerepe a beton víz-cement tényezőjének van. A cement teljes hidratációjához 0,15–0,20 víz-cement tényező-re volna szükség. Mivel azonban az adalékanyagot is nedvesíteni kell, és a vassze-relés sűrűsége, a zsaluzat is nehezíti a bedolgozást, továbbá bizonyos szállítási technológiák a kissé képlékeny–képlékeny betont igénylik, a víz-cement tényező az elméletileg szükségesnél mindig nagyobb, rendszerint sokkal nagyobb.

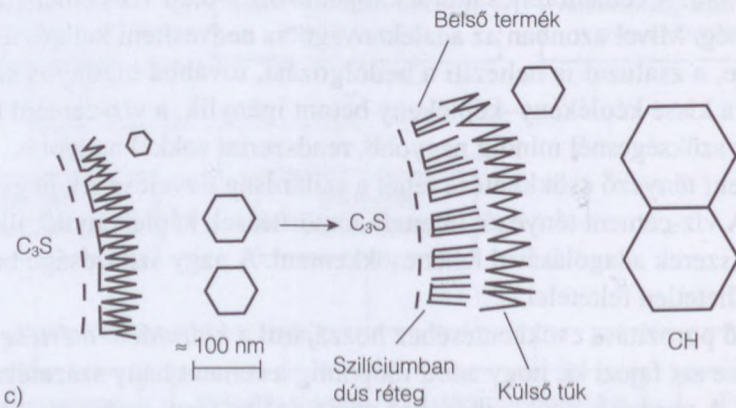
A víz-cement tényező csökkentése tehát a szilárdság növelésének nagyon fontos eszköze. A víz-cement tényezőt intenzív tömörítéssel, képlékenyítő, illetve folyósító adalékszerek adagolásával lehet csökkenteni. A nagy szilárdságú betonnak ezek nélkülözhetetlen feltételei.

A cementkő porozitása csökkentéséhez hozzájárul a hidratáció mértéke. A hidratáció mértéke azt fejezi ki, hogy adott időpontig a cement hány százaléka alakul át hidrátokká. A porozitás csökkentéséhez pedig azáltal járul hozzá, hogy a keletkező kalcium-szilikát és kalcium–aluminát–hidrátok belenőnek a pórusokba, amelyek kezdetben víz töltött ki és ezáltal csökkentik a porozitást. A legfontosabb



Kristálycsírák képződése

b)



**12.3. ábra.**  $\text{C}_3\text{S}$  hidratációméchanizmusa Skalny és Young szerint. a)  $\text{C}_3\text{S}$  kezdeti hidrolízise; b) kristálygöcképződés és kristálynövekedés az indukciós periódus végén; c) CSH belső és külső termék képződése (Skalny és Young 1980.)



szilárdsághordozó, a  $C_3S$  Skalny és Young (1980) szerinti hidratáció mechanizmusát a 12.3. ábra szemlélteti. A hidratációhoz azonban víz kell. Ebből következik, hogy a nagy szilárdságú beton gondos nedves utókezelése nélkülözhetetlen.

Pórus attól függően keletkezik, hogy a bedolgozott friss betonban a cementpép mennyire tudja kitölteni az adalékanyagváz hézagait. Ha a pép a betömörített adalékanyagváz hézagait éppen kitölti és a pép a szemcséket éppen bevonja, akkor péptelített betonról beszélünk. Ha a pép ennél kevesebb, akkor a beton telítetlen, ha ennél több, akkor túltelített (12.4. ábra). A telítetlen betonban a legjobb tömörítés esetén is már eleve marad pórus. A legkisebb a péptelített beton porozitása. A túltelítettség mértékének növelésével arányosan nő a porozitás. Ezt a körülményt az is szemlélteti, hogy a péptelített betonnak a legnagyobb a testsűrűsége (12.5. ábra). Annál nagyobboknak kellene lennie a szilárdságnak, minél nagyobb a cementtartalom, mivel több cement több kötőerőt jelent. De nem feltétlenül van így, mivel a nagyobb cementtartalom – túltelítettség tartományában – nagyobb porozitást is jelent.



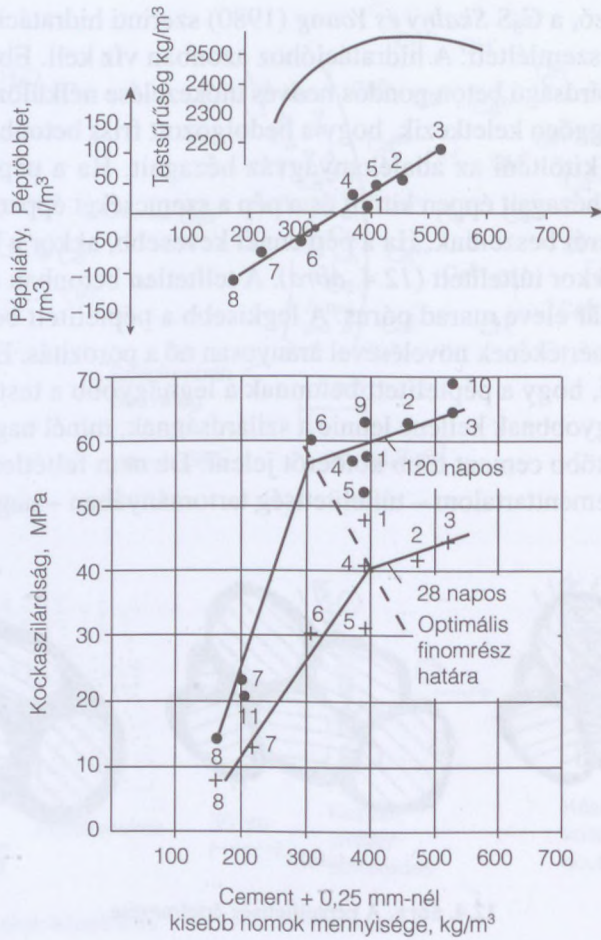
12.4. ábra. A péptelítettség értelmezése

A nagy szilárdságú betonnak tehát legalább péptelítettnek kell lennie. Az, hogy a túltelítettség tartományában hol lesz az optimum, az a tömörítés mértékétől is függ.

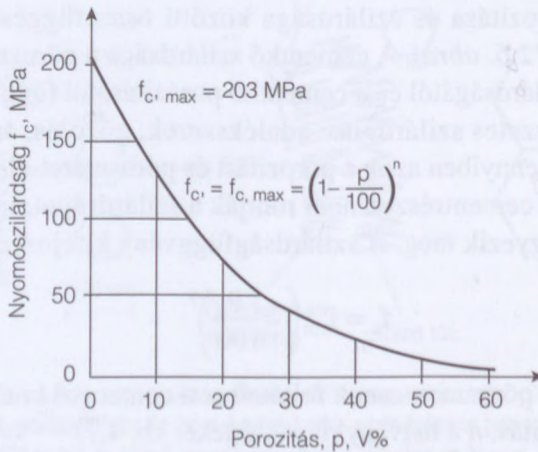
A cementkő porozitása és szilárdsága közötti összefüggést jól szemléltetik Powers kísérletei (12.6. ábra). A cementkő szilárdsága a pórusmentesnek feltételezett cementkő szilárdságától és a cementkő porozitásától függ. Az érlelés körülményeinek (természetes szilárdulás, adalékszerek, gőzölés, autoklaválás) csak annyi a szerepe, amennyiben azok a porozitást és pórusméret-eloszlást befolyásolják. A hidratálatlan cementrészecskék nem rontják a szilárdságot, mivel azok szilárdsága a bazaltéval egyezik meg. A szilárdságfüggvény kifejezhető Powers szerint

$$f_c = f_{cm} \left( 1 - \frac{p}{100} \right)^n$$

képlettel, ahol  $f_{cm}$  a pórusmentesnek feltételezett cementkő kockaszilárdsága, kb. 200 MPa,  $p$  a porozitás,  $n$  a hatványkitevő, értéke: kb. 4,7.



12.5. ábra. A beton szilárdsága a cementtartalom és a 0,25 mm-nél kisebb homok függvényében, állandó konzisztencia esetén



12.6. ábra. A cementkő nyomószilárdsága porozitása függvényében



A betontechnológia ma még nincs abban a helyzetben, hogy a cementkő szilárdságát  $f_{cm}$ -re tudná növelni. De fentiekből egyértelműen következik, hogy a betonban a cementkő szilárdságának fokozására minden olyan módszer jó, amely csökkenti a cementkő porozitását (képlékenyítő- és tömítőszerek, gondos tömörítés). Azt is le lehet az ábráról olvasni, hogy döntő a nedvesen tartás, mivel a hidratációhoz víz kell, és minél tökéletesebb a hidratáció, annál kisebb a porozitás.

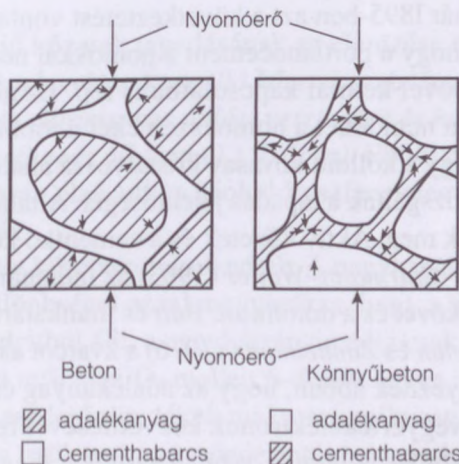
A 12.2 ábrából az is kikövetkeztethető, hogy ha a már szilárd beton porozitását csökkentjük, az szintén nagymértékben növeli a szilárdságot. Ezt a technológiát *impregnálásnak* nevezzük.

### 12.2.2. Az adalékanyag szerepe

A cementkő szilárdsága – szokásos tömörítés esetén – 70–100 MPa-ra tehető. Az adalékanyag szilárdsága általában ennél nagyobb (kvarckavicsé, bazalté kb. 300 MPa).

A heterogén betonban a nyomóerő hatására a kisebb szilárdságú cementkőnek és a nagyobb szilárdságú adalékanyagoknak egyszerre kell összenyomódnia. Bár az összenyomódásban a rugalmassági modulusnak is szerepe van, feltételezhető, hogy közönséges betonban a cementhabarcs az erőt a szilárdabb adalékanyag szemcsékre továbbítja (12.7. ábra), míg könnyű adalékanyagú betonban (minél kisebb testsűrűségű az adalékanyag, annál inkább) a cementhabarcs viseli (12.7. ábra). Más lesz a beton törési mechanizmusa is.

*Nagy szilárdságú betont tehát csak nagy szilárdságú adalékanyaggal lehet készíteni.*



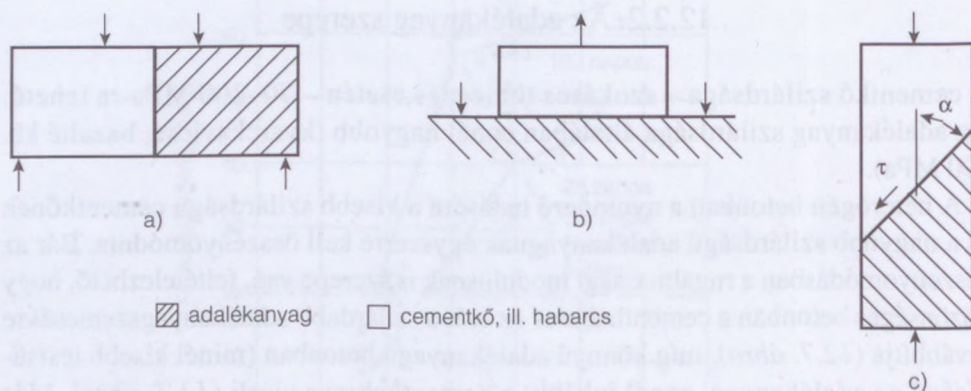
12.7. ábra. Nyomásra igénybe vett beton erőjátéka. a) normál beton; b) könnyű adalékanyagos beton

### 12.2.3. Tapadás az adalékanyag és a cement között

A cementkő és az adalékanyag közötti együttműködést nevezzük tapadásnak (2.3.7 fejezet). A kutatók egyetértenek abban, hogy a szokványos beton adalékanyaga körül átmeneti zóna alakul ki, amely porózusabb a cementkőnél és ez a réteg a beton leggyengébb része.

A tapadási szilárdságot nyíró-tapadási, illetve húzó-tapadási vizsgálattal határozzák meg (12.8. ábra). A nyomószilárdságot elsősorban a nyíró-tapadószilárdság, a húzószilárdságot elsősorban a húzó-tapadószilárdság befolyásolja.

A cementkő és az adalékanyag közötti tapadás jelentőségét régen felismerték.



12.8. ábra. A tapadás három esete. a) hajlító-húzótapadás; b) húzó-tapadás; c) nyíró-tapadás

Tomei-Finkenwalde már 1895-ben azt a következtetést vonta le a cement szilárdulásával kapcsolatban, hogy a portlandcement a homokkal nemcsak mechanikailag keveredik, hanem idővel kémiai kapcsolatba is lép. Ez abból is következik, hogy idősebb habarcsban nem lehet a homokszemeket a többi résztől megkülönböztetni. Fontos az is, hogy a kolloid kovasav kristályossá alakul át.

Utóbbi időben sokan vizsgálták a tapadás jelentőségét. Általában aktív és inaktív kőzeteket különböztetnek meg. Aktív kőzetek és a cementkő közötti kémiai kötéstételeznek fel. Hsu-Slate-Sturmann-Winter (1963) az indianai mészkövet, Farran (1956) a metamorf mészkövet és a dolomitot, Butt és munkatársai (1972) a kvarcot és a kalcitot (mészkő), Rehm és Zimbelmann (1976) a kvarcot aktív kőzetnek tekinti.

A vélemények megegyeznek abban, hogy az adalékanyag és a cementkő határfelületén mind kémiai (vegyértékelektronok közvetítésével fellépő) mind fizikai (Van der Waals típusú) kötőerők hatnak. Abban azonban megoszlanak a vélemények, hogy szerepük milyen arányú és szabad-e ilyen megkülönböztetést tenni.

A Tanszéken Kilián és Balázs végzett tapadási kísérleteket. Kilián (1964) a cementfajtánként eltérő hidratációs duzzadás tapadáscsökkentő hatására hívta fel a



figyelmet. Továbbá megállapította, hogy a mosószerrel megtisztított adalékanyag-nak nagyobb a tapadása, mint a szennyezetté.

Balázs (1982) húzó-tapadási kísérletei (12.8. ábra) szerint az azonos fajtájú kőzetek húzó-tapadási szilárdságai között igen nagy különbség van (12.2. táblázat). Ez nem lehet kísérleti hiba, mert két egymás utáni évben elvégzett kísérletekkel ugyanazt az átlagszilárdságot kapta.

12.2. táblázat. Húzó-tapadási kísérlet eredményei

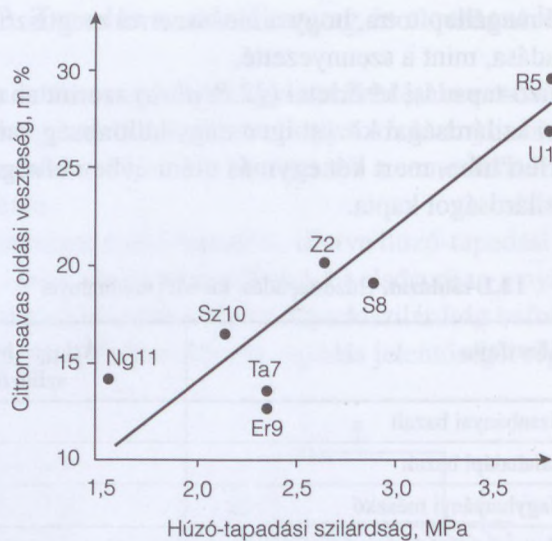
Jele	Kőzetfajta	Átlagos húzó-tapadási szilárdság, MPa
U 1	Uzsabányai bazalt	3,8
Z 2	Zalahalápi bazalt	2,6
NH3	Nagyharsányi mészkő	2,4
T 13	Tinnyei mészkő	4,6
Gy 12	Gyöngyössolymosi riolit	2,3
R 5	Recski andezit	3,8
Ta 7	Tállyai andezit	2,3
S 8	Sátoraljaújhelyi andezit	2,9
E 9	Erdőbényei andezit	2,3
Sz 10	Szobi andezit	2,2
Ng 11	Nógrádkövesdi andezit	1,6

Különböző fajtájú kőzetek tapadásának az elemzése során arra a felismerésre jutott, hogy a *nem karbonátos összeálló kőzetek* szabványos időállósági vizsgálata során meghatározott *citromsavas oldási vesztesége és húzó-tapadási szilárdsága között lineáris összefüggés áll fenn* (12.9. ábra). Ebből pedig arra következtetett, hogy a vizsgálat során elsősorban kioldódó színes elegyrészek a tapadás szempontjából kedvezőek.

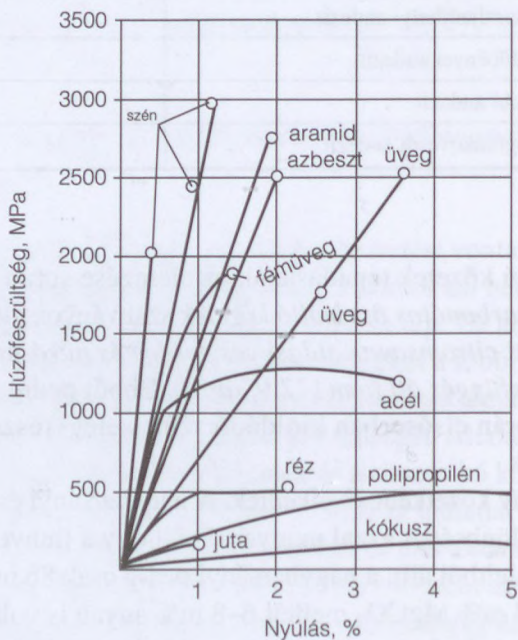
A mészkövek aktív kőzetként viselkedtek. A nagyharsányi és tinnyei mészkövek tapadása közötti különbséget azzal magyarázza, hogy a tinnyei mészkő majdnem 100 m%-ig tiszta kalcitból állt, a nagyharsányi pedig csak 86 m%-ban tartalmazott kalcitot, továbbá a 4 m% MgCO<sub>3</sub> mellett 6–8 m% agyag is volt benne a repedések mentén, és szerves eredetű töredékek makroszkopikusan is felismerhetők voltak.

Egyébként a törési felületnek van még jelentős hatása a húzó-tapadási szilárdságra. Ezt a törésfelületekről készített scanning elektronmikroszkópi felvételekkel igazolta.

Nem szabad azt sem figyelmen kívül hagyni, hogy a tapadás mesterségesen is növelhető (autoklávólással létrejön a mész-kovav sav reakció, műgyanta növeli a tapadást).



12.9. ábra. A húzó-tapadási szilárdság a citromsavas oldási veszteség függvényében. A kőzetek fajtája a 12.2. táblázat szerinti



12.10. ábra. Szálanyagok feszültségnyúlási diagramja



Növelhető a szilárdság szálas anyagokkal. Elsősorban azok hatásosak, amelyeknek a rugalmassági modulusa nagyobb a betonénál (12.10. ábra). Ilyenek a szén-szálak, aramid-, azbeszt-, üveg- és acélszálak. A szálak azáltal hatnak, hogy csökkentik a beton keresztirányú nyúlását és ezáltal késleltetik a tönkremenetelt.

Duriez finom adalékanyag helyett 2–3% polietilén és polisztirol szemcséket adagolt, amelyekkel a repedések megnyílását csökkentette. Betonja 90–100 MPa szilárdságú volt.

#### 12.2.4. Összefoglalás

Nagy szilárdságúnak nevezzük azokat a betonokat, amelyek C60 jelűek vagy annál nagyobb szilárdságúak.

A nagy szilárdságú betont nagy szilárdságú cementtel, a porozitás minimálisra való csökkentésével (kis víz-cement tényező, gondos nedves utókezelés, jó tömörítés, legalább péptelített beton, illetve a kapillárispórusok kitöltése utólagos impregnálással) lehet elérni.

Az adalékanyag legyen nagy szilárdságú és a  $d_{max}$  ne legyen túl nagy.

A cementkő és az adalékanyag közötti tapadás fokozható az adalékanyag megfelelő megválasztásával (aktív adalékanyagok), illetve a kémiai kötés mesterséges létrehozásával.

A szilárdság növelésére számításba vehetők olyan módszerek, amelyek csökkentik a keresztirányú alakváltozást, illetve gátolják a repedések megnyílását.

### 12.3. A nagy szilárdságú betonokra vonatkozó külföldi adatok

Az elmúlt évtizedben több konferenciát szerveztek a nagy és igen nagy szilárdságú betonokról. Bár ezeket többféle módon el lehet készíteni [Balázs–Tóth (1989)], a gyakorlati tapasztalat szerint a nagy szilárdságú beton eléréséhez három tényezőre van szükség:

- a víz-cement tényező csökkentése 0,25–0,35-re folyósító adalékszerrel,
- kovasavliszt adagolása betonadalékszerként,
- nagy szilárdságú cement (450 pc, 450 Rpc, 550 pc) használata.

Held (1991) megadta a nagy szilárdságú beton tipikus receptjeit (12.3. táblázat). Mayer (1991) pedig megépített toronyházak betonjának összetételét és rugalmassági modulusát foglalta össze (12.4. táblázat). A beton jel (pl. B85) mindkét táblázatban a betonszilárdság karakterisztikus jellemző értékét jelenti 15 cm élhosszúságú kockán vizsgálva. Annál nagyobb volt a beton kockaszilárdsága, minél kisebb volt a víz-cement tényező.

12.3. táblázat. Nagy szilárdságú beton tipikus receptjei [Held (1991)]

Beton jele	B85	B100	B125
Cement: PZ 45F, kg/m <sup>3</sup>	455	450	450
Kovasavliszt, kg/m <sup>3</sup>	30	45	45
Adalékanyag, kg/m <sup>3</sup>			
0/2 mm	618	654	661
2/8 mm	360	353	358
8/16 mm	738	760	768
összesen	1716	1767	1787
Víz, ℓ/m <sup>3</sup>	163	138	128
Folyósító adalékszer, ℓ/m <sup>3</sup>	6,8	16,9	22,5
Kötéskésleltető adalékszer, ℓ/m <sup>3</sup>	1,6	1,8	1,8
Víz-cement tényező	0,34	0,28	0,26
Terület, cm	48/42	56/52	58/49
Friss beton hőmérséklete, °C	25	24	23
Léggörús, V%	1,9	1,5	1,6
$f_{c,cube}$ , MPa	96	110	135

12.4. táblázat. Nagy szilárdságú beton összetétele megépített toronyházaknál [Mayer (1991)]

Építmény	Two Union Square, USA, Settle	South Wacker Drive, USA, Chicago	Bürohochhaus, BfG, Németország, Frankfurt
Magasság, m	220	292	186
Beton jele	B 140	B 100	B 85
Cement fajtája; adagolása, kg/m <sup>3</sup>	ASTM Typ 2;	ASTM Typ 1; 360	PZ 45F; 450
Kovasavliszt, kg/m <sup>3</sup>	42	58 (16 m%)	30 (7 m%)
Homok 0,5, kg/m <sup>3</sup>	650	850	0/2 Majna-homok, 610
Kavics, kg/m <sup>3</sup>	5/10 kemény-kavics, 1100	5/25 zúzott mészkő, 1060	2/16 Rajna-kavics, 1140
Víz, ℓ/m <sup>3</sup>	140	125	158
Folyósító adalékszer, ℓ/m <sup>3</sup>	9–14	3,7	10
Kötéskésleltető adalékszer, ℓ/m <sup>3</sup>	3	0,32	0,35
Víz-cement tényező	0,23	0,32	0,35
Terület, cm	64–76	60	>50
Rugalmassági modulus, MPa	49 700	38 000	37 000



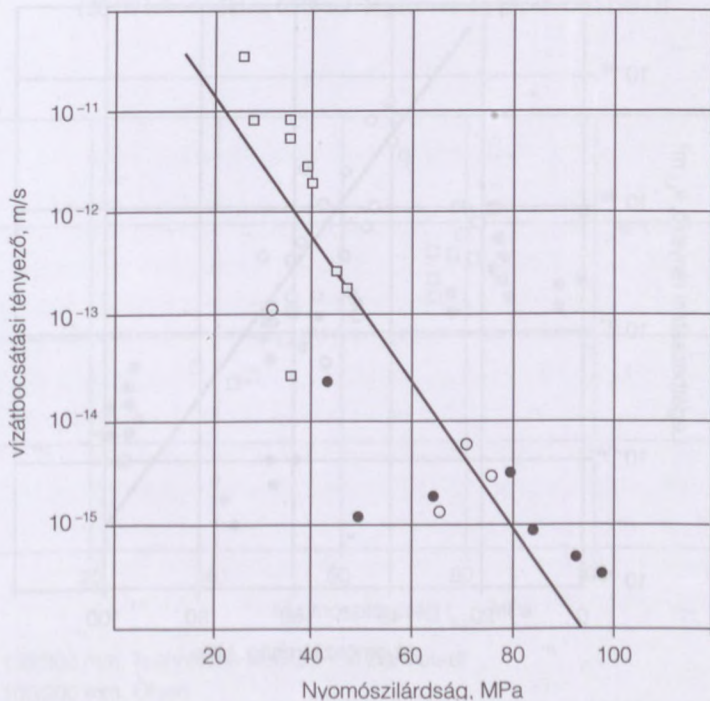
Ez a beton minőségileg új betont jelent a korábbi betonokhoz képest. A beton károsodását a betonba hatoló víz, folyadékok és gázok okozzák. Bár ezek betonba hatolása a beton kapilláris pórusszerkezetétől függ, igyekeznek a nyomószilárdság függvényében megadni a beton tartóssággal összefüggő tulajdonságait.

A CEB-FIP Model Code (1990) ajánlásaiból néhány ábra:

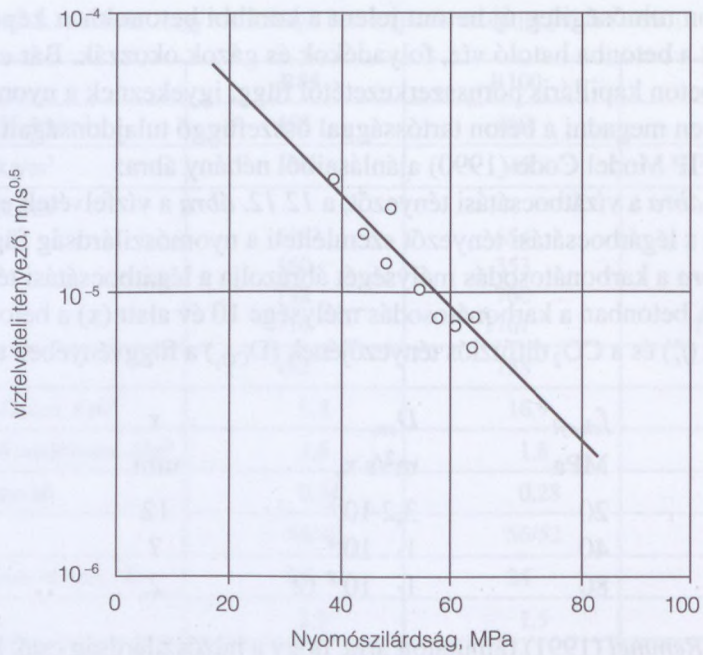
A 12.11. ábra a víztárolási tényezőt, a 12.12. ábra a vízfelvételi együtthatót, a 12.13. ábra a légátbocsátási tényezőt szemlélteti a nyomószilárdság függvényében. A 12.14. ábra a karbonátosodás mélységét ábrázolja a légátbocsátási tényező függvényében. A betonban a karbonátosodás mélysége 10 év alatt ( $x$ ) a beton hengerszilárdságának ( $f_c$ ) és a  $\text{CO}_2$  diffúziós tényezőjének ( $D_{\text{CO}_2}$ ) a függvényében a következő:

$f_{ck,cyl}$ MPa	$D_{\text{CO}_2}$ $\text{m}^2/\text{s } x,$	$x$ mm
20	$3,2 \cdot 10^{-8}$	12
40	$1 \cdot 10^{-8}$	7
80	$1 \cdot 10^{-8}$	2

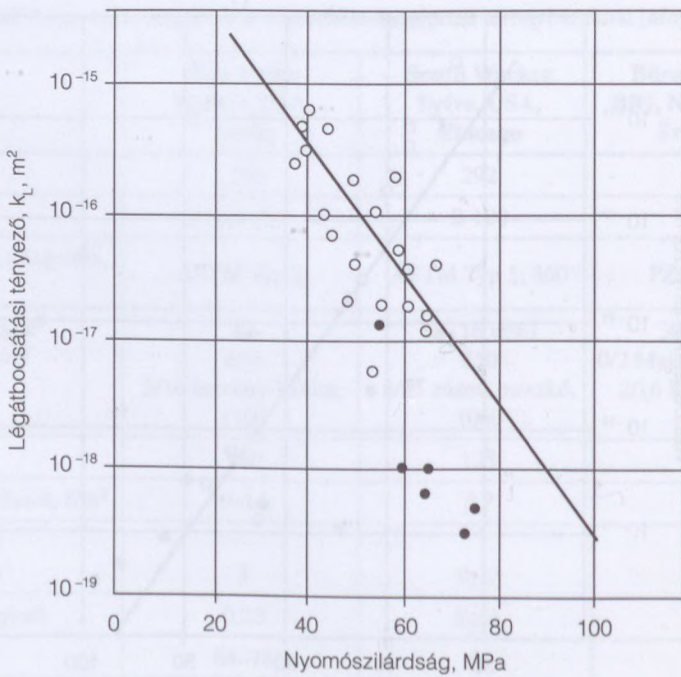
König és Remmel (1991) rámutatott arra, hogy a húzószilárdság csak 80 MPa nyomószilárdsáig nő, nagyobb nyomószilárdság esetében állandó. Példaként a hasítóhúzószilárdságot szemléltetjük a hengerszilárdság függvényében (12.15. ábra).



12.11. ábra. A víztárolási tényező a nyomószilárdság függvényében [Hilsdorf (1991)]

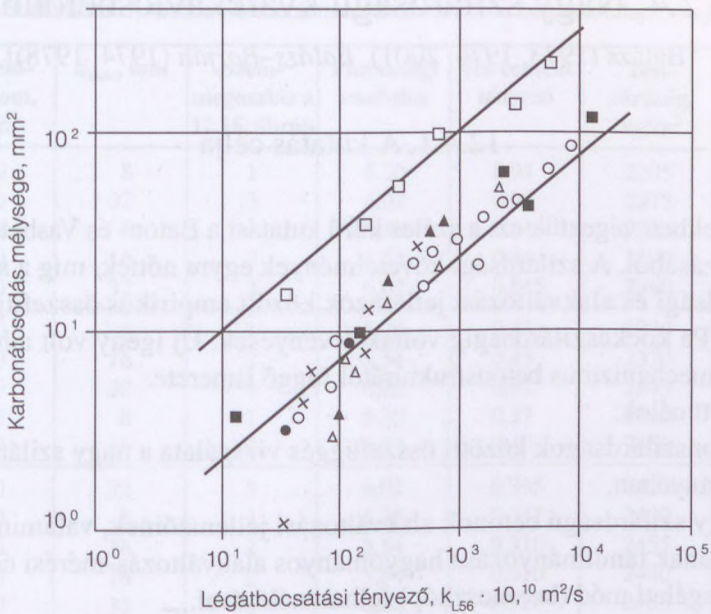


12.12. ábra. A vízfelvételi együttható a nyomószilárdság függvényében [Hilsdorf (1991)]



12.13. ábra. A légátbocsátási tényező a nyomószilárdság függvényében [Hilsdorf (1991)]

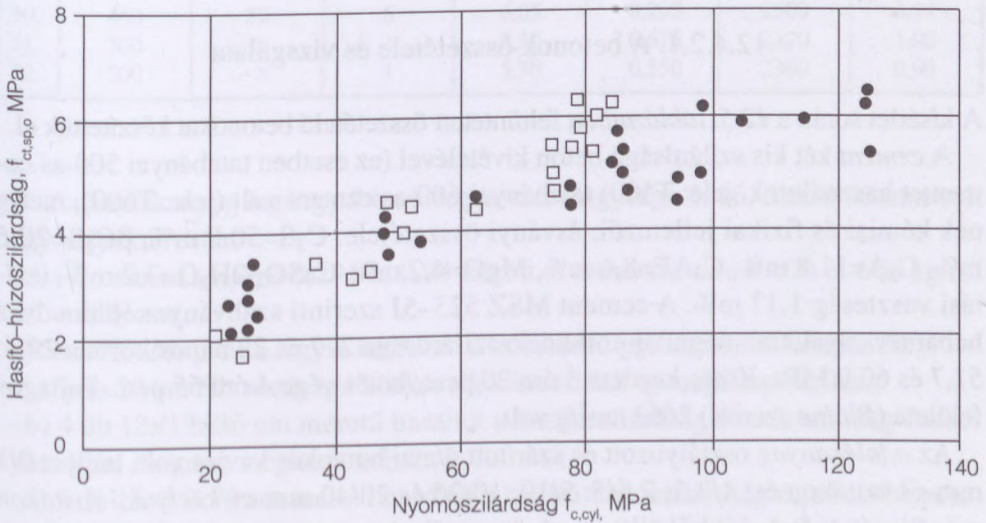




Cementek:

- PZ 35 F    □ HOZ 35 L    ● PZ 35 F + 20% FA    ▲ PKZ
- △ PZ 45 F    ■ EPZ    × PZ + LP

**12.14. ábra.** A beton karbonátosodásának a mélysége (x) 1 év levegőn tárolás után (20 °C hőmérséklet, 65% rel. légnedvesség [Schönlín (1991)])



- ø 150/300 mm, Technische Hochschule Darmstadt
- ø 100/200 mm, Olsen

**12.15. ábra.** A hasító-húzószilárdság a hasáb- és a hengersizilárdság függvényében [König-Rommel (1991)]

## 12.4. Nagy szilárdságú kvarckavicsbetonok

[Balázs (1973, 1974, 2001), *Balázs–Borján* (1974, 1978)]

### 12.4.1. A kutatás célja

A 60-as években végeztük ezt a széles körű kutatást a Beton- és Vasbetonipari Művek megbízásából. A szilárdsági követelmények egyre nőttek, míg a szilárdságok és a szilárdsági és alakváltozási jellemzők között empirikus összefüggések csak max. 50 MPa kockaszilárdságig voltak érvényesek. Új igény volt a húzószilárdság, törési mechanizmus betonstruktúrától függő ismerete.

A kitűzött célok:

a) A betonszilárdságok közötti összefüggés vizsgálata a nagy szilárdságú betonok tartományában.

b) A nagy szilárdságú betonok alakváltozási jellemzőinek, valamint törési mechanizmusának tanulmányozása hagyományos alakváltozás-mérési és roncsolásmentes vizsgálati mód (betonoszkóp) felhasználásával.

c) A cementtartalom, legnagyobb adalékszemmagyság, a víz-cement tényező betonszilárdságra, valamint a beton törési mechanizmusára gyakorolt hatásának vizsgálata.

d) A beton szilárdulási folyamatának követése roncsolásmentes vizsgálattal.

### 12.4.2. A kísérlet

#### 12.4.2.1. A betonok összetétele és vizsgálata

A kísérlet során a 12.5. táblázatban feltüntetett összetételű betonokat készítettük el.

A cement két kis szilárdságú beton kivételével (ez esetben tatabányai 500-as cementet használtunk, jele: T500) tatabányai 600-as cement volt (jele: T600), melynek kémiai és fizikai jellemzői: ásványi összetétele:  $C_3S=50,0$  m%,  $\beta C_2S=20,5$  m%,  $C_3A=11,8$  m%,  $C_4AF=8,6$  m%,  $MgO=4,2$  m%,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O=3,2$  m%, izzítási veszteség 1,17 m%. A cement MSZ 523–5J szerinti szabványos földnedves habarcsvizsgálattal megállapított kockaszilárdsága 2, 7 és 28 napos korban 29,4; 51,7 és 60,9 MPa. Kötés kezdete 3 óra 20 perc, kötés vége 4 óra 55 perc. Fajlagos felülete (*Blaine* szerint) 2663 cm<sup>2</sup>/g volt.

Az adalékanyag osztályozott és szárított dunai homokos kavics volt, melyet 0/1 mm-es szitákon és; 1/2,5; 2,5/5; 5/10; 10/20 és 20/40 mm-es körlyukú rostákon megállapított frakciókból állítottunk össze. Csak egy esetben, a 19 jelű betonnal helyettesítettük az 5/20 mm-es kavicszemeket kubikus bazaltzúzalékkal (4 jelű). A frakciók szemmegoszlását a 12.16. ábrán adtuk meg. Továbbá a 29 és 30 jelű betonokat készítettük a Fuller-görbét megközelítő szemmegoszlású adalékanyag-



12.5. táblázat. A kísérleti betonok összetétele és a friss betonok tulajdonságai

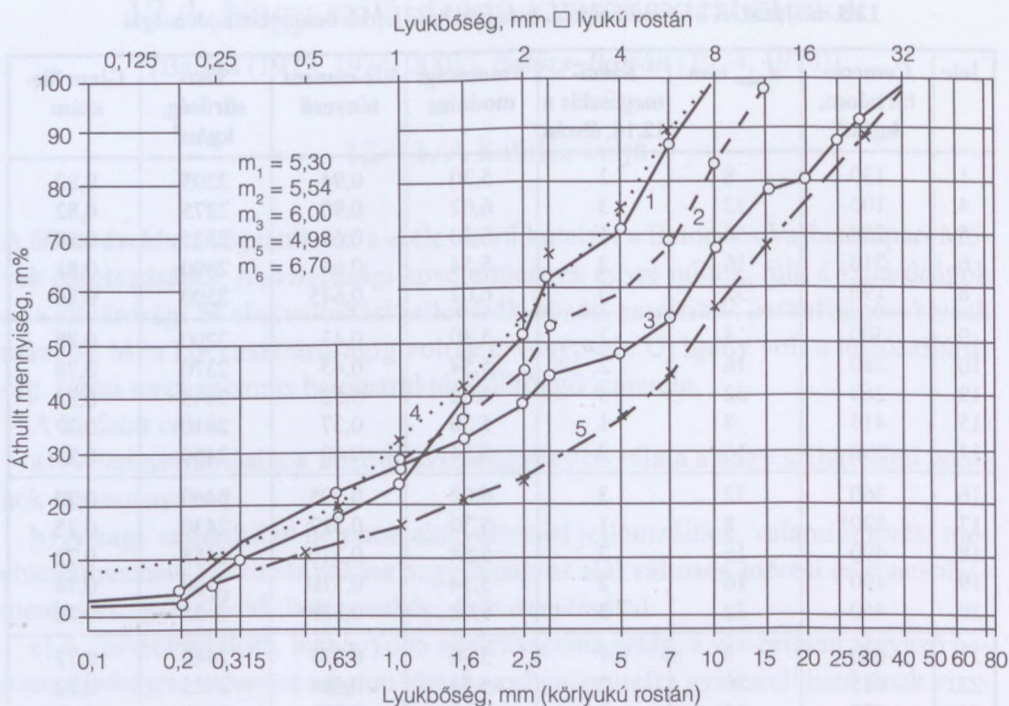
Jele	Cement-tartalom, kg/m <sup>3</sup>	$d_{max}$ mm	Szem-megoszlás a 12.16. ábrán	Finomsági modulus	Víz-cement tényező	Test-sűrűség, kg/m <sup>3</sup>	Glanville-szám
1.	130	8	1	5,30	0,94	2205	0,83
4.	100	32	3	6,02	0,90	2275	0,82
5.	228	8	1	5,30	0,61	2325	0,80
6.	210	16	2	5,54	0,64	2390	0,81
8.	190	32	3	6,02	0,645	2390	0,80
9.	300	8	1	5,30	0,43	2290	0,78
10.	280	16	2	5,54	0,43	2370	0,78
12.	260	32	3	6,02	0,52	2445	0,83
15.	415	8	1	5,30	0,37	2410	0,77
14.	390	16	2	5,54	0,40	2450	0,81
16.	360	32	3	6,02	0,395	2400	0,77
17.	530	8	1	5,30	0,317	2430	0,75
18.	490	16	2	5,54	0,310	2455	0,72
19.	490	16	2	5,54	0,310	2480	0,74
20.	460	32	3	6,02	0,326	2455	0,76
21.	660	8	1	5,30	0,277	2440	0,72
22.	615	16	2	5,54	0,284	2425	0,73
24.	570	32	3	6,02	0,289	2445	0,73
25.	530	8	1	5,30	0,396	2335	1,00
26.	530	8	1	5,30	0,356	2385	0,90
27.	460	32	3	6,02	0,425	2395	1,00
28.	460	32	3	6,02	0,375	2420	0,94
29.	530	8	5	4,98	0,337	2375	0,76
30.	460	32	6	6,65	0,293	2500	0,74
31.	300	8	1	5,30	0,675	2320	1,00
32.	300	8	1	5,30	0,550	2360	0,90

gal. Az adalékanyag legnagyobb névleges szemnagysága 8, 16, illetve 32 mm volt négyzetlyukú rostán.

A víz-cement tényező 0,294 és 0,94 között, a cementtartalom 100 és 660 kg/m<sup>3</sup> között változott.

A kísérlet során mindegyik betonból a következő próbatesteket készítettük:

- 5 db 20 cm élhosszúságú kockát a kockaszilárdság megállapításához,
- 4 db 12×12×36 cm méretű hasábot a hasábszilárdság és a feszültség-összenyomódási diagram meghatározásához,
- 3 db 15×15×70 cm méretű hasábot a hajlító-húzószilárdság és a hasábasító-húzószilárdság vizsgálatához,
- 3 db Ø15/30 hengert a hengerhasító-húzószilárdság,
- 6 db piskóta alakú próbatestet a tiszta húzószilárdság és a feszültség-nyúlásdiagram meghatározásához.



12.16. ábra. Az adalékanyag szemmegoszlása

A betont kézi erővel *kevertük* meg, és kézi erővel *gondosan tömörítettük*. A próbatesteket egynapos korukban zsaluztuk ki, majd a laboratórium udvarán tároltuk, és 1 hónapon át naponta többször meglocsoltuk. Tekintettel arra, hogy a betont áprilisban készítettük, a levegő nedvességtartalma nagy volt.

A beton megkeverése után Glanville-készülékkel azonnal megmértük a friss beton konzisztenciáját. A tömörödési mérőszám általában 0,72–0,82 között változott, és csak a 25–28, valamint a 31–32 jelű betonok esetén vizsgáltuk a konzisztencia változásának a hatását. Ezenkívül megmértük a friss beton testsűrűségét 15 cm élhosszú kockán. A friss betonra vonatkozó mérési eredményeket a 12.5. táblázatban foglaltuk össze.

A megszilárdult próbatesteket csak 4–6 hónapos korban tudtuk megvizsgálni, mivel a húzóberendezést csak többszöri próbálkozás után sikerült úgy kialakítani, hogy elfogadható eredményeket kapjunk. Ez a tény amiatt kedvező volt, hogy nem pontosan azonos korú betonok szilárdságait anélkül hasonlítottuk össze, hogy ezáltal számottevő hibát követtünk volna el.

A beton *kockaszilárdságát* természetes állapotú (légnedves) próbakockákon határoztuk meg.



A hajlító-húzószilárdságot 60 cm-es támaszközön, harmadpontos erővel terhelve vizsgáltuk. A hasábokat a vizsgálat előtt két héttel vízzel telt kádba helyeztük, hogy a beton eltérő mérvű vízzel telítettsége a vizsgálati eredményeket ne befolyásolja. A hajlítóvizsgálatot a vízből kivételt követően 1 órán belül elvégeztük. A próbatestek eltört darabjain meghatároztuk a hasító-húzószilárdságot közvetlenül a hajlítóvizsgálat után úgy, hogy a hasáb egymástól 7,5 cm-re (az oldal élhosszának a fele) lévő keresztmetszeteit nyírásra vettük igénybe. A hasító-húzószilárdságot a hasábra írható henger adataival, a hengerhasítás során használatos képlet segítségével számítottuk.

A hengereket a hasítóvizsgálat előtt szintén vízben tároltuk. Meghatároztuk a vízbehatolás mélységét a kerület mentén, valamint a próbatest vízfelvételét is néhány esetben.

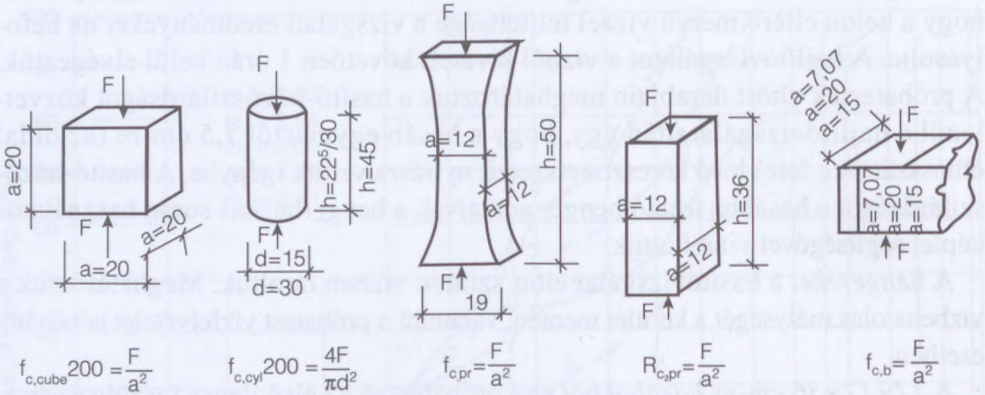
A  $12 \times 12 \times 36$  cm-es hasábokból egy próbatesten az elsődleges feszültség-összenyomódási (szűz) diagramot határoztuk meg, míg a másik három próbatesten megállapítottuk a hasábszilárdság kb. 30, 60 és 90%-ához tartozó rugalmassági modulusát, a teljes feszültség-összenyomódási diagramot, a harántkontrakciós tényezőt, valamint nyomon követtük a törési mechanizmust szónikus berendezéssel is. A feszültség-összenyomódási diagramokat 40 mm alaphosszú, a hasáb két átlellenes oldalának felezőjére elhelyezett, Hottinger D-32 típusú indukciós nyúlásmérő- és mérőerősítőhíd felhasználásával XY-koordinátaíró segítségével fel is rajzoltattuk. A keresztirányú alakváltozásokat szintén a fenti indukciós műszerekkel mértük, de az eredményeket a műszerleolvasások jegyzőkönyvezése útján rögzítettük, a nyúlásadókat a hasábok másik két lapjára szimmetrikusan erősítettük fel.

A tiszta húzóvizsgálatot 100 kN mérőképességre állított ingás erőmérővel felszerelt szakítógépen végeztük el. A piskóta alakú próbatestekre helyezett 40 mm alaphosszú indukciós nyúlásmérő segítségével meghatároztuk a beton elsődleges feszültség-nyúlási diagramját, a kezdeti rugalmassági modulusát, törési nyúlását, valamint húzószilárdságát. A próbatestek közül hármat a szakítóvizsgálat előtt kb. 2 hónappal vízbe helyeztünk, és csak közvetlenül a vizsgálat előtt vettük onnan ki. Másik három próbatestet természetes állapotban vizsgáltunk. Az így elszakított piskóta alakú próbatestek egy részét epoxigyantával újra összeragasztottuk, majd előzetes vízben tárolás után elszakítottuk. A hat darab piskóta alakú próbatest közül hármat előzetesen központosan megnyomtunk, majd azután szakítottuk el.

A  $12 \times 12 \times 36$  cm-es hasábokat a feszültség-összenyomódási diagramok felvételével egyidejűen végeztük az ultrahangos méréseket. A mérés során a betonoszkóp adó- és vevőjét a keresztirányú alakváltozás ellenőrzésre párhuzamosan erősítettük a próbatestre.

Ebben a fejezetben csak a szilárdságvizsgálat eredményeit foglaltuk össze. A szilárdságvizsgálatra használt próbatesteket a 12.17. ábrán tüntettük fel.

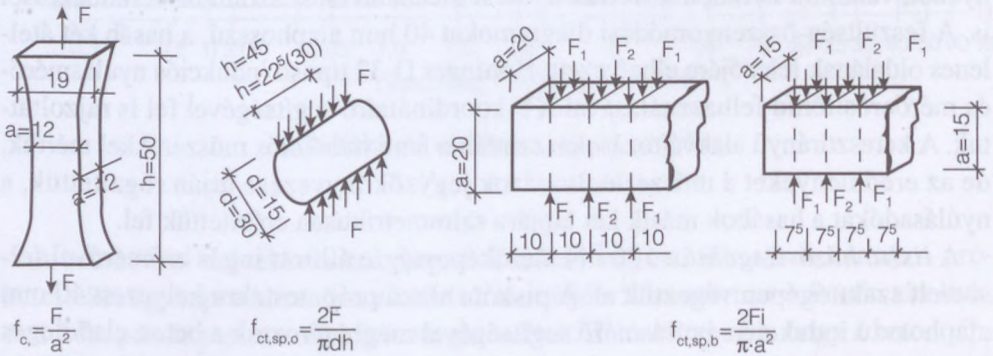
### Nyomóvizsgálat



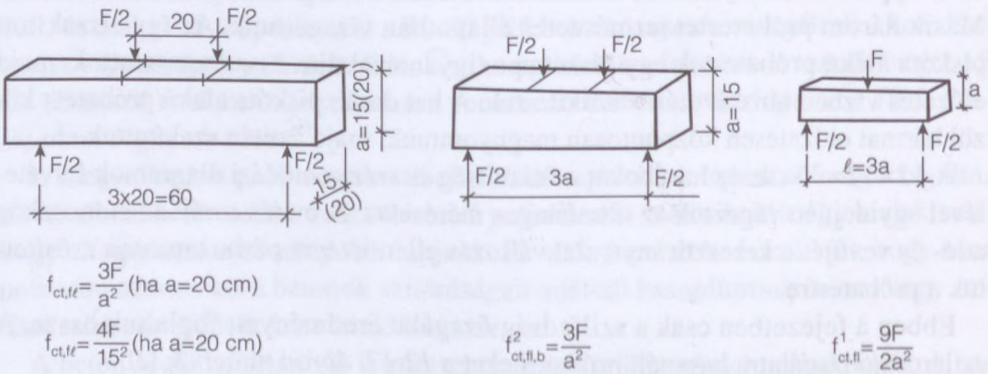
### Húzóvizsgálat

(Tisztahúzás)

(Hasítóhúzás)



### Hajlítás



12.17. ábra. A betonszilárdság vizsgálatára használt próbatestek



### 12.4.2.2. Összefüggések a beton alkotói és nyomószilárdsága között

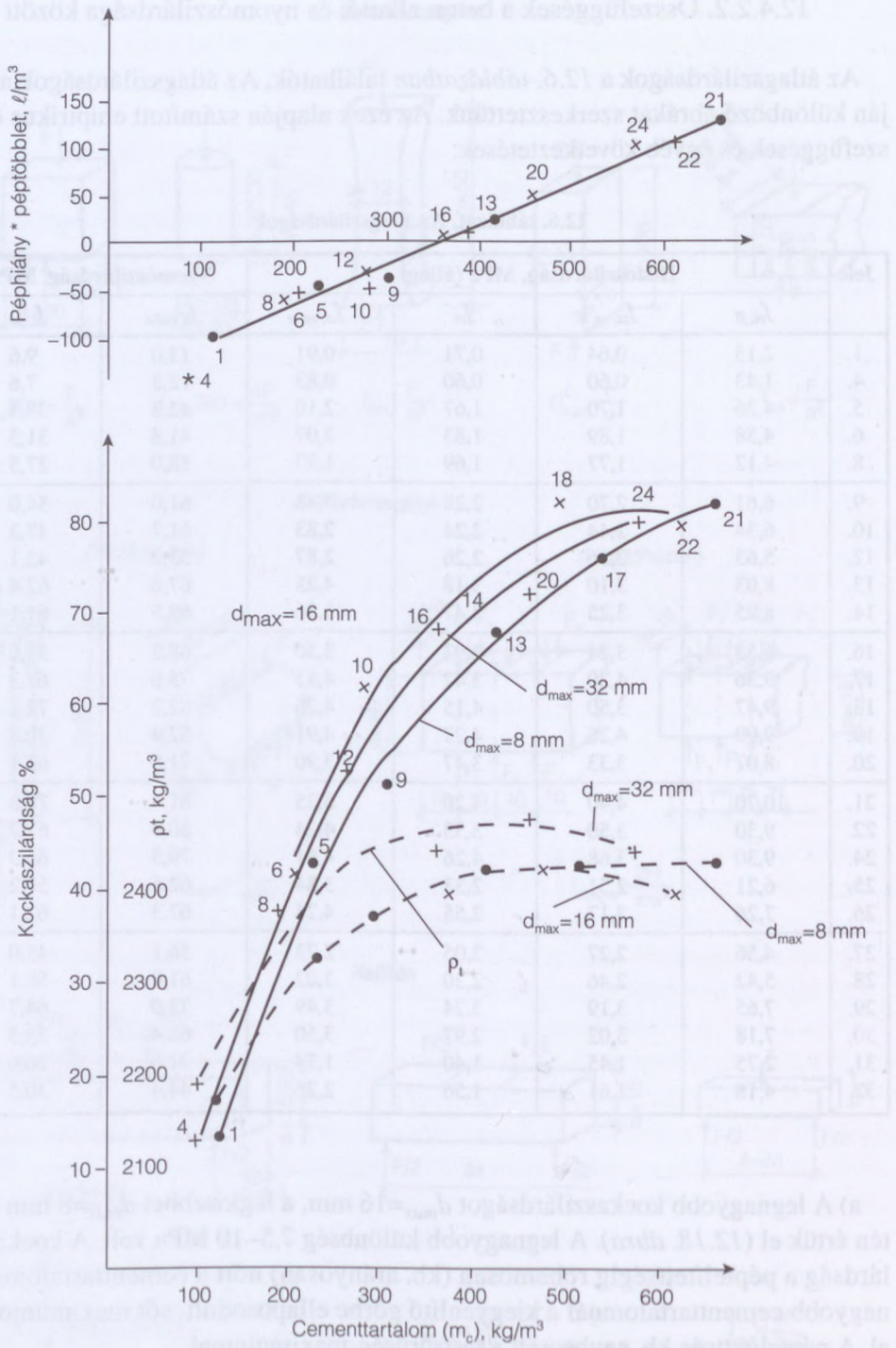
Az átlagszilárdságok a 12.6. táblázatban találhatóak. Az átlagszilárdságok alapján különböző ábrákat szerkesztettünk. Az ezek alapján számított empirikus összefüggések és egyéb következtetések:

12.6. táblázat. Az átlagszilárdságok

Jele	Húzószilárdság, MPa (átlag)				Nyomószilárdság, MPa	
	$f_{ct, fl}$	$f_{ct, sp, b}$	$f_{ct}$	$f_{ct, sp, o}$	$f_c, cube$	$f_c, pr$
1.	2,13	0,64	0,71	0,91	13,0	9,6
4.	1,43	0,60	0,60	0,83	12,8	7,6
5.	4,36	1,70	1,67	2,10	42,8	35,3
6.	4,58	1,89	1,83	2,07	41,8	31,3
8.	4,12	1,77	1,69	1,97	38,0	27,5
9.	6,61	2,70	2,28	3,48	61,0	54,0
10.	6,34	2,44	2,24	2,83	61,7	47,3
12.	5,63	2,36	2,26	2,87	53,2	43,1
13.	8,03	3,10	3,18	4,25	67,6	62,4
14.	8,25	3,25	3,47	3,86	69,5	61,1
16.	6,53	3,24	2,93	3,50	68,2	55,0
17.	9,36	4,20	3,47	4,81	75,6	67,3
18.	9,47	3,50	4,15	4,26	82,2	72,1
19.	9,99	4,26	4,27	4,91	82,4	70,7
20.	8,07	3,33	3,47	3,90	71,6	61,1
21.	10,70	4,40	4,20	5,25	81,4	78,3
22.	9,30	3,50	3,33	4,24	80,0	67,7
24.	9,30	3,68	4,26	4,61	79,5	65,3
25.	6,21	2,51	2,33	3,84	62,6	56,2
26.	7,26	3,17	2,55	4,23	67,3	62,1
27.	4,56	2,27	2,05	2,73	56,1	45,0
28.	5,42	2,46	2,30	3,02	61,0	50,1
29.	7,65	3,19	3,24	3,49	73,0	64,7
30.	7,18	3,02	2,97	3,50	68,4	53,5
31.	2,75	1,45	1,40	1,74	31,6	26,6
32.	4,18	1,61	1,56	2,26	44,4	30,5

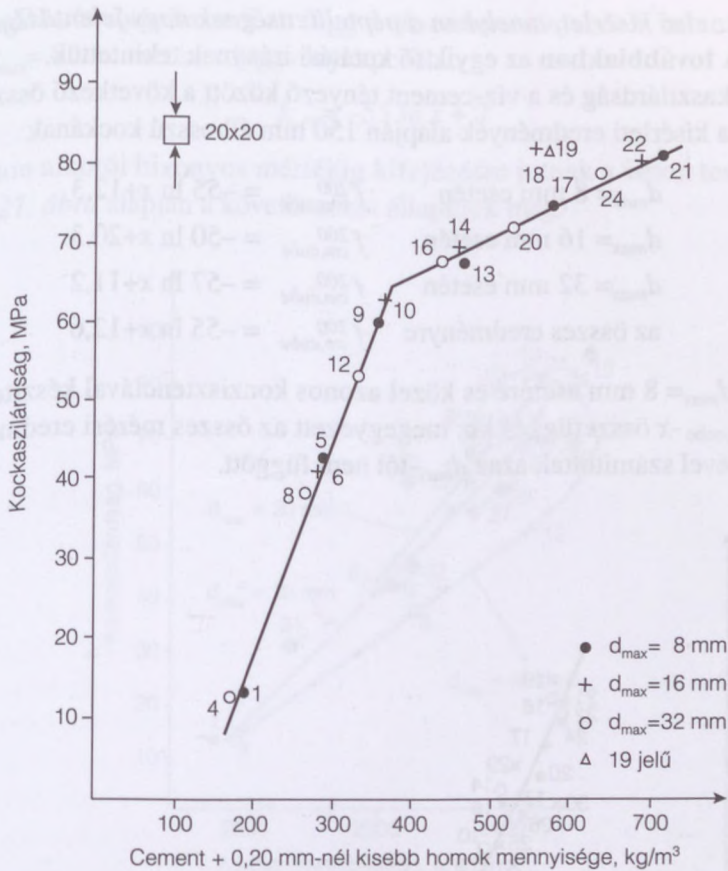
a) A legnagyobb kockaszilárdságot  $d_{max}=16$  mm, a legkisebbet  $d_{max}=8$  mm esetén érték el (12.18. ábra). A legnagyobb különbség 7,5–10 MPa volt. A kockaszilárdság a péptelítettség rohamosan (kb. arányosan) nőtt a cementtartalommal, nagyobb cementtartalomnál a kiegyenlítő görbe ellaposodott, sőt maximumot ért el. A péptelítettség kb. egybeesett a testsűrűség-maximummal.

b) Ha az állandó konzisztencia-mérőszámú beton szilárdságait a cement és a 0,25 mm-nél kisebb homok mennyisége függvényében tüntettük fel, akkor a koc-



12.18. ábra. A beton szilárdsága a cementtartalom függvényében. a) péptelítettség; b) a kockaszilárdság a cementtartalom függvényében





12.19. ábra. A kockaszilárdság a cement +20,0 mm-nél kisebb homok mennyisége függvényében

kaszilárdságok olyan egyenes mentén helyezkedtek el, amelynek töréspontja volt. Az egyenes töréspontja kb. 370 kg/m<sup>3</sup> cementtartalomnak felelt meg (12.19. ábra). A kísérleti eredmények a kiegyenlítő egyenesek mentén helyezkedtek el. Az adalékanyag szemmegoszlása eltért egymástól (12.16. ábra 1–3 jelű görbe), de alig volt különbség e három szemmegoszlási görbe finomrésztartalmában.

Különböző szakkönyvekben előírják azt a finomrészmennyiséget, amely szükséges ahhoz, hogy vízzáró betont, látszó betont, szivattyúzható betont lehessen előállítani. Ez a mennyiség minden esetben a legnagyobb szemmagyság függvénye, jóllehet maga a számérték nem minden könyvben azonos. Ezért indokolt az eredményeket a finomrésztartalom függvényében ábrázolni. Jó közelítéssel a Fuller-görbe szerinti szemmegoszlású (5 jelű) adalékanyaggal készített beton szilárdsága (29 jelű) is a kiegyenlítő egyenes mentén helyezkedett el.

Az a körülmény, hogy a 2 jelű adalékanyagban a 4/16 mm-es részt zömök bazaltzúzalék helyettesítette (19 jelű), a nyomószilárdságot nem befolyásolta, a hajlító-húzószilárdság viszont kb. 5%-kal nőtt a jobb tapadás miatt.

Ez volt az első kísérlet, amelyben a péptelítettségnek nagy jelentőséget tulajdonítottunk. A továbbiakban az egyik fő kutatási iránynak tekintettük.

c) A kockaszilárdság és a víz-cement tényező között a következő összefüggéseket kaptuk a kísérleti eredmények alapján 150 mm élhosszú kockának

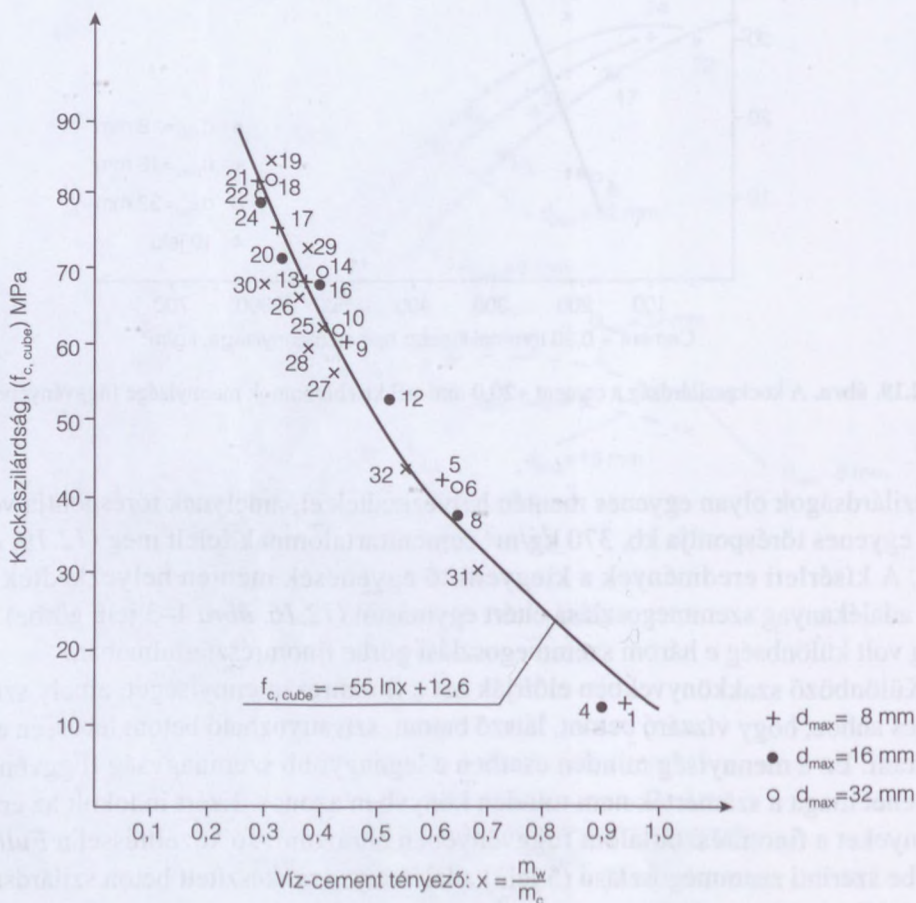
$$d_{max}=8 \text{ mm esetén} \quad f_{cm,cube}^{200} = -55 \ln x + 12,3$$

$$d_{max}=16 \text{ mm esetén} \quad f_{cm,cube}^{200} = -50 \ln x + 20,3$$

$$d_{max}=32 \text{ mm esetén} \quad f_{cm,cube}^{200} = -57 \ln x + 11,2$$

$$\text{az összes eredményre} \quad f_{cm,cube}^{200} = -55 \ln x + 12,6$$

Tehát a  $d_{max}=8$  mm esetére és közel azonos konzisztenciával készített betonra kapott  $f_{cm,cube}^2$ - $x$  összefüggés kb. megegyezett az összes mérési eredmény figyelembevételével számítottal, azaz  $d_{max}$ -tól nem függött.



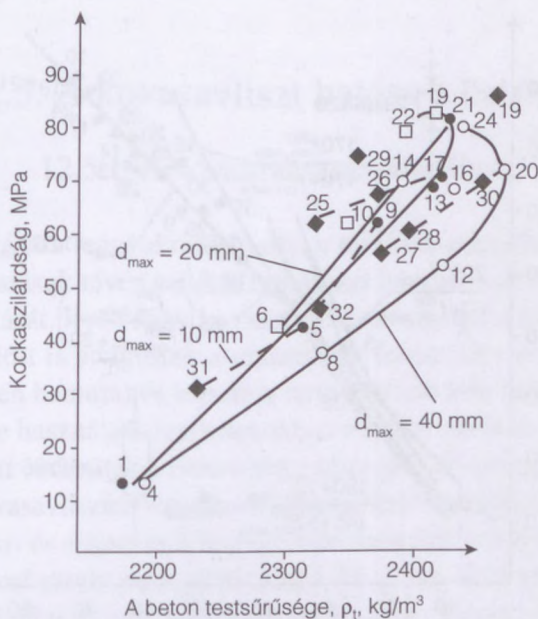
12.20. ábra. A kockaszilárdság a víz-cement tényező függvényében



d) A hasábszilárdság hasonlóan függ a víz-cement tényezőtől, mint a kockaszilárdság.  $d_{max} = 8$  mm esetén a függvénykapcsolat:

$$f_{c,pr} = -55 \ln x + 7$$

e) A beton alkotói bizonyos mértékig kifejezésre jutnak a beton testsűrűségében. A 12.21. ábra alapján a következőket állapítjuk meg:



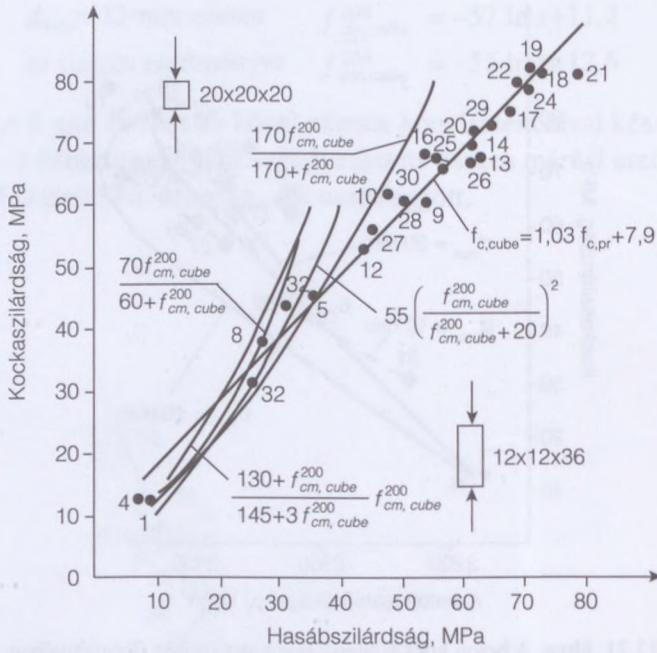
12.21. ábra. A beton kockaszilárdsága a testsűrűség függvényében

Azonos adalékanyag-szemmegoszlás, betonkonzisztencia és  $d_{max}$  esetén a nyomószilárdságok lineárisan nőnek, ha nő a beton testsűrűsége, majd bizonyos határon túl ez a linearitás megszűnik. Csökken a testsűrűség, és esetleg igen lassan nő vagy csökken a nyomószilárdság. Ezt a körülményt mutatja a 12.18. ábra is, amelyen a kockaszilárdságot és a testsűrűséget a cementtartalom függvényében ábrázoltuk. Ha a beton telített, majd túltelített lesz, a növekvő cementtartalom okozta kötőerőtöbblet hatását rontja a beton növekvő porozitása.

Azonos betonösszetétel esetén a víz-cement tényező növelése és ezáltal a betonkonzisztencia eltolódása a folyós beton tartománya felé,  $300 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén a testsűrűség csökkenésével ugyanúgy csökkent, mint a kocka-, mind a hajlító-húzószilárdság (9, 32 és 31 jelű beton), mint amikor a csökkenés azonos konzisztencia esetén a cementtartalom csökkenése miatt következett be.  $530 \text{ kg/m}^3$  (17, 26 és 25 jelű beton), valamint a  $460 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén (20, 28 és 27 jelű beton) a víz-cement tényező növekedése kevésbé csökkentette a nyomószilárdságot, mint a testsűrűséget (szaggatott vonalak).

### 12.4.2.3. Összefüggések a szilárdságok között

A 12.22. ábrán a kockaszilárdságot a hasábszilárdság függvényében ábrázoltuk. Mivel általában a beton kockaszilárdságát használjuk a beton minősítésére, de a hasábszilárdságból származtatjuk a beton határfeszültségét, ezért szükség van a kettő közötti összefüggésre.



12.22. ábra. A beton kockaszilárdsága a beton hasábszilárdsága függvényében

A kutatás idején az ábrán feltüntetett összefüggéseket ismertük.

ÉTI 1.

$$f_{c,pr} = \frac{70 \cdot f_{cm,cube}^{200}}{60 + f_{cm,cube}^{200}}$$

2.

$$f_{c,pr} = \frac{170 \cdot f_{cm,cube}^{200}}{170 + f_{cm,cube}^{200}}$$

PALOTÁS

$$f_{c,pr} = 70 \rho^2, \text{ ahol } \rho = \frac{170 \cdot f_{cm,cube}^{200}}{170 + f_{cm,cube}^{200}} + 20$$

érvényes  $14 < f_{cm,cube}^{200} < 56$  (56 MPa) tartományban



A 12.22. ábra azt bizonyítja, hogy a *fenti képletek nem használhatók a nagy szilárdságú betonok tartományában.*

Gauss szerinti kiegyenlítő számítás alapján az alábbi összefüggést javasoljuk az általunk vizsgált esetben:

$$f_{cm,cube}^{200} = 1,03 f_{c,pr} + 79.$$

Ez az összefüggés azonban csak 30–80 MPa kockaszilárdság-tartományban érvényes.

## 12.5. A kovasavliszt hatása a betonra

### 12.5.1. A kovasavlisztről általában

A tömörség fokozására leggyakrabban olyan tömítőanyagokat használunk, amelyek puzzolános hatásuk révén szilikát-hidrátokat hoznak létre, és ezáltal csökken a beton porozitását. Ilyen nagy kovasavtartalmú anyagok: *trasz* (amelyet már a II. Világháború előtt is adagoltak a vízzáróság fokozására a betonhoz), *pernye* (rendszerint porszén hamuja) és legutóbb teret hódított a *kovasavliszt* (szilikapor). A *trasz* és a *pernye* használata szabványokban rögzített módon általában elterjedt, és az így előállított cementek a heterogén cementek (pl. *pernyeportlandcement*). Ezért itt csak a kovasavlisztre vonatkozó ismereteket foglaljuk össze röviden.

A ferroszilícium- és a fémszilícium-gyártás füstgázaiból leválasztott, 85–98% SiO<sub>2</sub>-tartalmú, amorf szerkezetű, gömb alakú, kb. 1 µm átlagos átmérőjű és 12–20 m<sup>2</sup>/g fajlagos felületű port nevezzük kovasavlisztnek, szilikapornak, az irodalomban megtalálható még a mikroszilika megnevezés is.\*

*Jelenleg két fő célra használják a kovasavlisztet:*

a) Kis mennyiségű (a cement tömegének 5%-ánál kevesebb) kovasavlisztet szokásos adagolni a beton tulajdonságainak javítására, az összetétel és a gyártási eljárások nagyobb mérvű megváltoztatása nélkül.

b) Nagyobb mennyiségű kovasavliszt használata a nagy és igen nagy szilárdság eléréséhez és a tartósság fokozásához.

*A kovasavliszt betontechnológiai hatása a következő:*

Javítja a friss beton tulajdonságait:

– Növeli a friss betonkeverék stabilitását, csökkenti a szétosztályozódási hajlamát.

– Javul a bedolgozott beton felülete.

– Csökken a kivérzés veszélye.

– Javítja a beton tixotróp tulajdonságait.

– Javítja a megszilárdult beton tulajdonságait.

A kovasavliszt a megszilárdult betonra kétféleképpen hat: kémiai úton kötőanyagként, fizikai úton tömítőszerként.



*Kémiai hatását* azáltal fejt ki, hogy az amorf szerkezet, a nagy  $\text{SiO}_2$ -tartalom és a nagy fajlagos felület igen aktívvá teszi a cementhidratáció során keletkező kalcium-hidroxiddal szemben, ezért kovasavtartalma reakcióba lép a cementszilárdulás során keletkező  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -dal és CSH-ot (kalcium-szilikát-hidrát) alkot. A keletkező CSH fázis morfológiája, összetétele és szerkezete azonban más, mint a klinkerásványokból és a durvább és kevésbé tiszta puzzolánokból (pl. pernye) keletkezett CSH-é. Ez a CSH növeli a beton szilárdságát, jelentősen megjavul a cement és az adalékanyag közötti átmeneti zóna mikrostruktúrája.

A kutatások szerint a cement tömegének 24%-ával egyenlő kovasavliszt reakcióba lép a cement teljes  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -tartalmával, bizonyítva ezzel a kovasavliszt puzzolános reakcióképességét. Az ilyen beton pH értéke lecsökken, és a beton tömörségére hárul az acélbetétek korrózióvédelme.

*Fizikai hatását* azáltal fejt ki, hogy a kis méret a kovasavlisztet nagyon jó tömítőszerré teszi, és ezzel a CSH egyenletesebb eloszlását szolgálja. A keletkezett igen nagy felületű CSH gélfázis kitölti a beton pórusait, és ezáltal mind vízzáróságát, mind korrózióállóságát növeli.

A kovasavliszt, amelyik még nem lépett a cementtel reakcióba, szintén növeli a tömörséget, mert a cementnél kisebb, gömb alakú szemcséi kitöltik a cementpép pórusait.

Kimutatták azt is, hogy a kovasavliszt nem csökkenti a cementkő porozitását, de a pórusokat felosztja finomabb pórusokra.

Így a puzzolános reakcióképesség és a hézagkitöltő hatás együttesen hozza létre a javított tulajdonságokat.

*A kovasavliszt-tartalmú beton kémiaiilag agresszív környezetnek jól ellenáll.*

Ennek okai:

- Pórusszerkezete finom, és ezért az ártalmas ionok kevésbé tudnak áthatolni rajta.
- A beton kalcium-hidroxid tartalma kisebb lesz vagy teljesen megszűnik.
- A reakciótermékek kisebb mész-szilika aránya növeli az idegen ionokkal való egyesülési képességét a szilika-rácsszerkezetben.

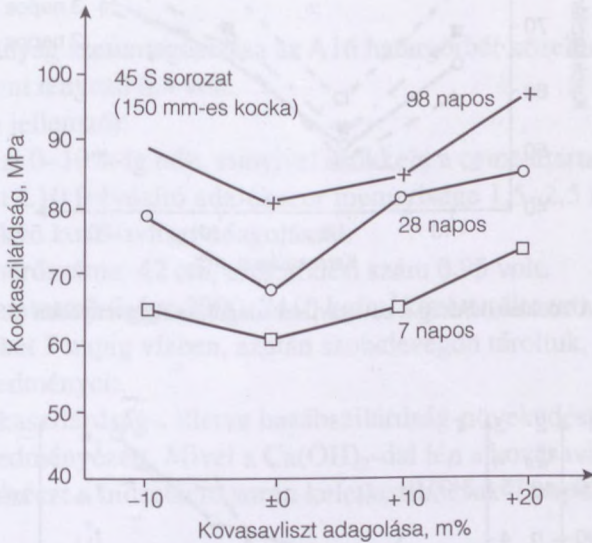
## 12.5.2. Kezdeti kísérleteink kovasavliszttel

*Első kísérletünkben* azt vizsgáltuk, hogy a cement tömegére vonatkoztatott – 10% (90 m% cement + 10 m% kovasavliszt) – +20% kovasavliszt hogyan változtatja meg a beton tulajdonságait.  $d_{max}=16$  mm volt. 450 és 550 pc-tel kísérleteztünk. A víz-cement tényezőt 0,4-ra választottuk. Az egyidejűleg állandó konzisztenciát a Melment L10 folyósító adalékszer mennyiségének változtatásával értük el.

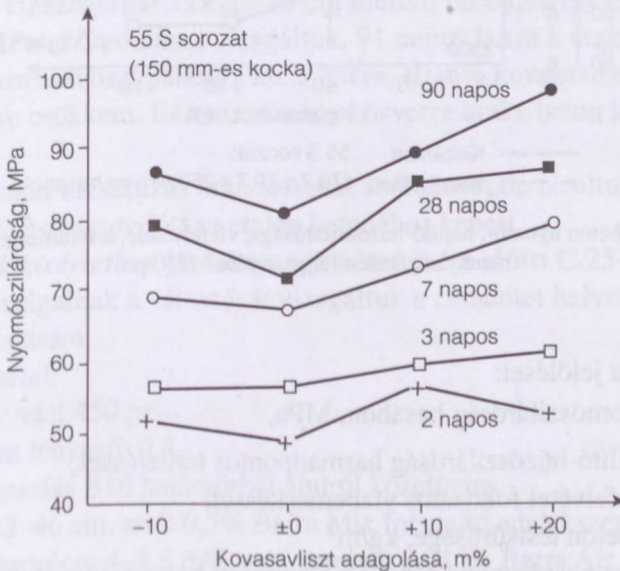
A legkisebb pépigényű az AB16 jelű szemmegoszlási görbe volt. A legtömörebb betont gyengén képlékeny konzisztencia és 380 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom eredményezte.



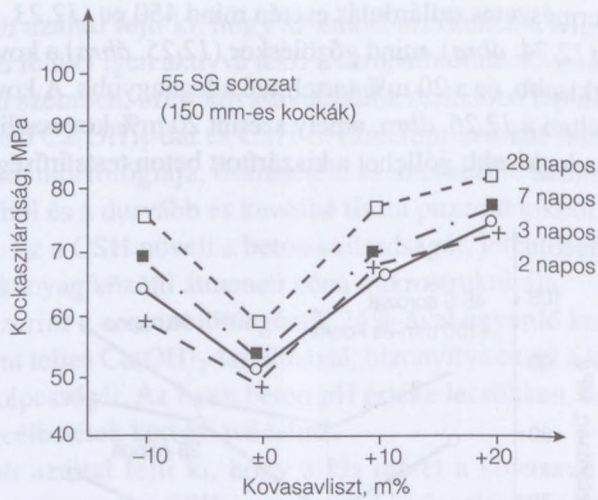
A szilárdság természetes szilárdulás esetén mind 450 pc (12.23. ábra), mind 550 pc adagolásakor (12.24. ábra), mind gőzöléskor (12.25. ábra) a kovasavliszt nélküli etaloné volt a legkisebb, és a 20 m% tartalmúé a legnagyobb. A kovasavliszt tömítő hatását jól szemlélteti a 12.26. ábra, amely szerint 20 m% kovasavliszt-tartalom esetén a vízfelvétel a legkisebb, jóllehet a kiszáritott beton testsűrűsége is a legkisebb.



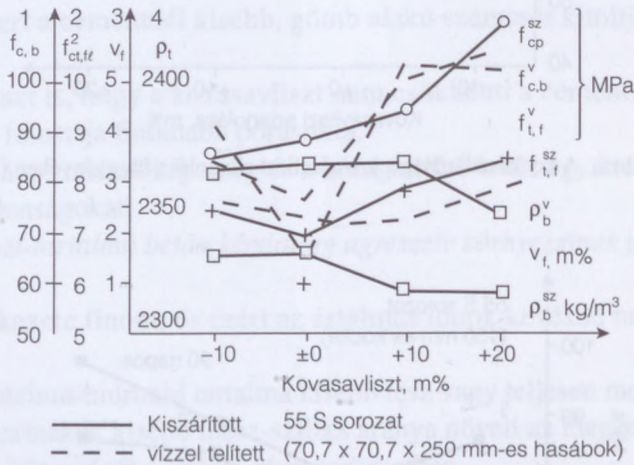
12.23. ábra. A kockaszilárdság a kovasavliszt adagolása függvényében (450 pc)



12.24. ábra. A kockaszilárdság a kovasavliszt adagolása függvényében (550 pc)



12.25. ábra. A kockaszilárdság a kovasalvlszt adagolása függvényében (550 pc, gőzölt)



12.26. ábra. A beton nyomó-, hajlító-húzószilárdsága, vízfelvétele, testsűrűsége a kovasalvlszt mennyiségének a függvényében (550 pc)

A 12.26. ábra jelölései:

$f_{c,pr}$  1 nyomószilárdság hasábon, MPa,

$f_{ct,fl}^2$  2 hajlító-húzószilárdság harmadpontos terheléssel,

$v_f$  3 vízfelvétel fokozatos vízbemerítéssel,

$\rho_c$  4 a beton testsűrűsége, kg/m<sup>3</sup>

felső indexben a v vízzel telített, sz a kiszáritott betonra vonatkozik.



A második kísérlet során az előző kísérlet tapasztalatai alapján az optimális péptelítettségből indultunk ki, és a  $420 \text{ kg/m}^3$  cementnek 0–10%-át helyettesítettük kovasavliszttel. A betonösszetétel a szabad előtolásos szolnoki Tisza-hídnak felelt meg.

Az etalonbeton összetétele:

- $420 \text{ kg/m}^3$  cement (ásványi összetétele: 49%  $\text{C}_3\text{S}$ ; 28%  $\beta\text{C}_2\text{S}$ ; 8%  $\text{C}_3\text{A}$ ; 10%  $\text{C}_4\text{AF}$ ).
- Az adalékanyag szemmegoszlása az A16 határgörbét közelítette meg.
- A víz-cement tényező 0,4 volt.

A friss beton jellemzői:

- Kovasavliszt 0–10%-ig növelt, ennyivel csökkent a cementtartalom.
- A Melment L10 folyósító adalékszer mennyisége 1,5–2,5 m% között változott a növekvő kovasavliszt-adagolással.
- A terület mérőszáma: 42 cm, tömörödési szám 0,95 volt.
- A friss beton testsűrűsége  $2390\text{--}2410 \text{ kg/m}^3$  között változott.

A próbatesteket 7 napig vízben, azután szobalevegőn tároltuk.

A kísérlet eredményei:

Jelentős kockaszilárdság-, illetve hasábszilárdság-növekedést csak a 6–10 m% kovasavliszt eredményezett. Mivel a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -dal lép a kovasavliszt reakcióba, az pedig túlnyomórészt a hidratáció során keletkezik, csak 7 napos kortól növelte a szilárdságot.

A beton zsugorodását 7 napos vízben tárolás után  $20^\circ\text{C}$  hőmérsékletű és 35–40% relatív légnedvesség-tartalmú térben vizsgáltuk. 56 napos korban 0,39, míg 91 napos korban 0,49% volt.

A betonok vízzáróságát  $12 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  méretű próbatesteken, 28 és 91 napos korban, 0,8 MPa víznyomásra vizsgáltuk. 91 napos korra a vízbehatolás átlagos értéke 6 m% kovasavliszt hatására kb. a felére, 10 m% kovasavliszt hatására pedig kb. a negyedére csökkent. Ez az eredmény közvetve utal a beton korrózióállóságára is.

Ha a hasábokat kizsaluzás után azonnal szobalevegőn tároltuk, akkor a kovasavliszt növelte a zsugorodást az etalon betonéhoz képest.

A harmadik kísérletben járdabetonok készítésére előírt C 25–16/KK f50 jelű beton tulajdonságainak a változását vizsgáltuk a cementet helyettesítő 0–10 m% kovasavliszt hatására.

Betonösszetétel:

- $450 \text{ kg/m}^3$  váci 450 pc.
- Víz-cement tényező: 0,4.
- Szemmegoszlás B16 határgörbét alulról közelítette.
- Terület: 42–46 cm, amit 0,5% Barra Mix folyósító adalékszerrel értünk el.
- Előírt légtartalom 4–3,5 m% volt, amelyet 0,045% Barra Air adalékszerrel értünk el.

Összefoglalóan azt tapasztaltuk, hogy a beton kockaszilárdságát, a hasábszilárdság és a kockaszilárdság hányadosát, az összporozitást, a vízfelvételt, a zsugorodást, a törési mechanizmust a kovasavliszt nem befolyásolta. Az átlagos vízbehatolás 91 napos korban 0,8 MPa víznyomásra 13,9 mm-ről 12,0 mm-re csökkent.

A kovasavliszt a 28 napos próbatesteken pórusanalizáló mikroszkóppal meghatározott összes pórustartalmat is csak kismértékben befolyásolta. Ezzel szemben nagy volt a hatása a 300  $\mu\text{m}$ -nél kisebb átmérőjű, úgynevezett hatásos pórustartalomra és ezáltal e pórusokból számított távolsági tényezőre. Ezen belül is a 6 m% kovasavlisztnek volt a legkedvezőbb a hatása a pórusszerkezetre. Csak ezzel lehetett elérni a 0,2 mm-es távolsági tényezőt.

Végül a kovasavliszt kedvezően változtatja meg a törésmechanikai jellemzőket.

### 12.5.3. Betonszilárdítás kovasavliszt felhasználásával

[Balázs–Thahn (1991)]

E kutatást a Hídépítő Vállalat megbízásából végeztük.

#### 12.5.3.1. A kutatás célja

Jelen kísérletek eredeti célja kettős volt:

a) Egyrészt annak a megvizsgálása, hogy származik-e előnye a Hídépítő Vállalatnak a szilikapor felhasználásából. Előnyön elsősorban a faggyal és a sózással szembeni nagyobb ellenálló képességet, esetleg a cementtakarékoságot vagy a szilárdságnövekedést értjük.

b) Másrészt annak a megvizsgálása, hogy mi a hatásmechanizmusa a kovasavlisztnek, stabil-e az a kedvező hatás, amely elérhető. Mindezek az eredmények használhatók az egész építőiparban.

#### 12.5.3.2. A vizsgálandó betonok

A vizsgálandó betonok összetételét megbízónk adta meg.

1. C 30–16/KK

A „Taktchiebeverfahren” eljárással készített szolnoki hídbeton tervezett összetételének felel meg:

beremendi 450 pc, 450 kg/m<sup>3</sup>

víz-cement tényező = 0,4



adalékanyag

délegyházai 0/4 35%

délegyházai 4/8 35%

délegyházai 8/16 30%

Melment 2% a cement tömegére vonatkoztatva terület: 42–46 cm.

## 2. C 25–16/KK-f 50

A kerékvetők betonja összetételének felelt meg:

váci 450 pc, 450 kg/m<sup>3</sup>

$d_{max} = 16$  mm

a szemmegoszlás a B16 határgörbét alulról közelíti meg,

víz-cement tényező = 0,4

0,2 mm-nél kisebb finom rész 425–475 kg/m<sup>3</sup>

habarcs 30–35 térfogat%, konzisztencia: képlékeny és kissé képlékeny határán, területe 42–46 cm,

az 5% Barra Mix a cement tömegére vonatkoztatva,

a friss beton előírt levegőtartalma 4–4,5 térfogat% volt.

### 12.5.3.3. Kísérletek C30–16/KK jelű betonnal

#### A kísérlethez felhasznált anyagok

A cement beremendi 450 pc volt, amely 1990. VIII. 6-án érkezett a laboratóriumba.

A cement kémiai és ásványi összetételét a 12.7. táblázatban foglaltuk össze.

12.7. táblázat. A beremendi 450 pc kémiai és ásványi összetétele

Kémiai összetétel:	
Nedvesség	0,61 m%
Izzítási veszteség	1,90 m%
SiO <sub>2</sub>	20,64 m%
CaO	61,25 m%
MgO	1,88 m%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,35 m%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,96 m%
SO <sub>3</sub>	3,37 m%
<b>Összesen:</b>	<b>97,35</b>

Ásványi összetétel:	
CaO <sub>sz</sub>	0,90 m%
AM	1,48 m%
C <sub>3</sub> S	41,11 m%
βC <sub>2</sub> S	28,16 m%
C <sub>3</sub> A	7,48 m%
C <sub>4</sub> AF	10,19 m%





Az *adalékanyagot* nyékládházai mosott és osztályozott 0/4 frakcióból, valamint a Mélyépítő Vállalat észak-pesti osztályozójából származó 4/16 és 8/16 frakcióból állítottuk elő, a következő arányban keverve össze:

0/1 frakció	24,4 m%
1/4 frakció	54,6 m%
4/8 frakció	21,0 m%

Az *adalékanyag-frakciókat* és a kísérleti szemmegoszlási görbét a határgörbékkel együtt a 12.27. ábra szemlélteti. A szemmegoszlási görbe az A 16 határgörbét közelítette meg.

A *kovasavliszt* kémiai összetétele:

Izzítási veszteség	1,12 m%
SiO <sub>2</sub>	94,25 m%
CaO	1,32 m%
MgO	0,80 m%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,00 m%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13 m%
Összesen:	<u>98,62 m%</u>

## A kísérlet leírása

### Alapkísérletek

A *kutatási tervnek* megfelelően a 12.9. táblázatban feltüntetett ötféle betont állítottuk elő. A cement + kovasavliszt tartalom mindig 420 kg/m<sup>3</sup>, a víz-cement tényező 0,4 volt. A konzisztencia állandóságát a területmérés alapján értettük. Ahhoz, hogy a terület mérőszáma 42–46 között legyen, a Melment folyósító adalék-szer mennyiségét változtattuk. A friss beton légtartalmát is igyekeztünk azonosnak tartani. A *friss beton jellemzőit* a 12.9. táblázatban foglaltuk össze. A konzisztenciát a Glanville típusú tömörödésmérő készülékkel is megvizsgáltuk. A kísérletet nyári melegben kezdtük, ezért fontosnak tartottuk a beton bedolgozása idején mért léghőmérsékletnek és betonhőmérsékletnek a megadását is.

A betont Jäger TZ 75 rendszerű, 75 ℓ-es kényszerkeverőben 2 percig kevertük, majd a próbatesteket kb. 3000 ford/perc asztalvibrátorral tömörítettük.

Az I/1–I/5 jelű betonokkal a 12.10. táblázatban feltüntetett kísérleteket végeztük el. Ehhez a kísérlethez a betont 1–7 napos korig vízben, majd szobalevegőn tároltuk.

### A vizsgálatok rövid leírása

A szilárdulás időbeli folyamatát *kockapróbával* határoztuk meg. Az eredmények értékelése során számításba kell venni, hogy 7 napos korig vízben tároltuk a kockákat. A 2 és 3 napos szilárdság meghatározását az indokolta, hogy a betont 3 napos korban tervezték megfeszíteni. A 90 napos vizsgálatot pedig az indokolta, hogy a szilikapor hatása nem a kezdeti korban jelentkezik, hanem 7 napos kortól kezdve, de inkább 28 napos és későbbi korban.

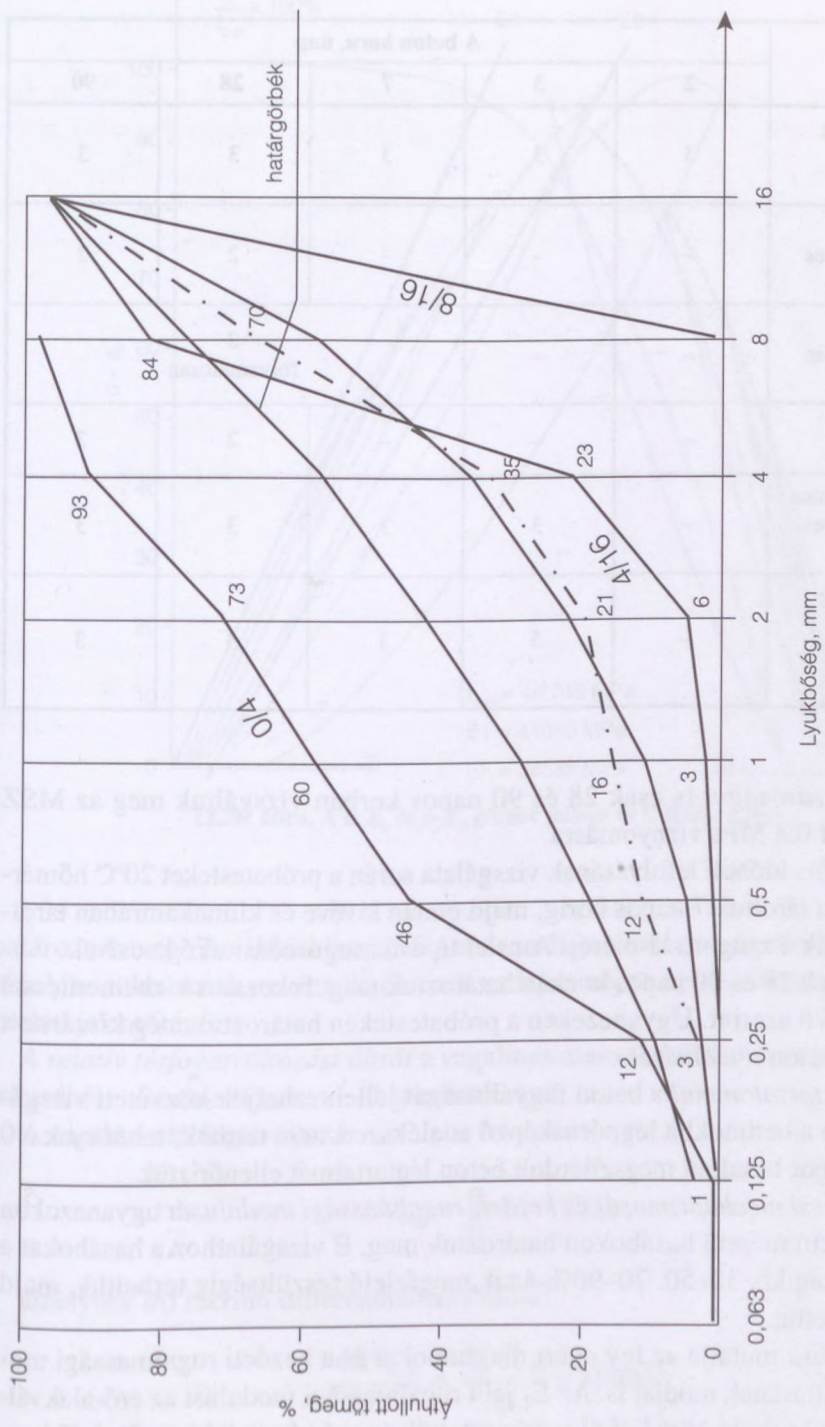
12.9. táblázat. A friss beton jellemzői

Kísérlet jele	Recept jele	Kovasz- liszt, m %	Melment- adagolás, m %	Hőmérséklet °C		Konzisztencia		Légtartalom <sup>x</sup>		Testsűrűség $\rho_t^{xx}$ , kg/m <sup>3</sup>
				levegő	betoné	terülés <sup>x</sup>	tömörödési tényező	tervezett	tényleges	
I/1.		0	1,5	22	25	43	0,937		1,3	2414
I/2.		4	1,5	22	25	41	0,341		1,5	2387
I/3.	I	6	2	19	21	42	0,957	1,5	1,5	2415
I/4.		8	2	23	25,5	42	0,951		1,3	2410
I/5.		10	2,5	23	25,5	42	0,953		1,3	2409

<sup>x</sup> 3 mérési eredmény átlaga

<sup>xx</sup> 15 mérési eredmény átlaga





12.27. ábra. Az adalékanyag-frakciók és a kísérleti szemmegoszlási görbe

12.10. táblázat. Az I/1-I/5 jelű betonokkal elvégzett vizsgálatok száma

A vizsgálat	A beton kora, nap				
	2	3	7	28	90
Kockaszilárdság 15 cm élhosszú kockán	3	3	3	3	3
Vízzáróság 20×20×12 cm-es hasábon	–	–	–	2	2
Zsugorodás 10×10×50 cm-es hasábon	–	–		2 folyamatosan	
Vízfelvétel, tömörség	–	–	–	2	2
Törésmechanizmus 12×12×36 cm-es hasábon	–	3	3	3	3
Hasábszilárdság és kezdeti rugalmassági modulus	–	5	3	3	3

Ezért a vízzáróságot is csak 28 és 90 napos korban vizsgáltuk meg az MSZ 4715/6 szerint 0,8 MPa víznyomásra.

A zsugorodás időbeli lefolyásának vizsgálata során a próbatesteket 20°C hőmérsékletű vízben tároltuk 7 napos korig, majd onnan kivéve és klímakamrában tárolva, megkezdjük a zsugorodásmérést Amsler típusú zsugorodásmérő kocsival.

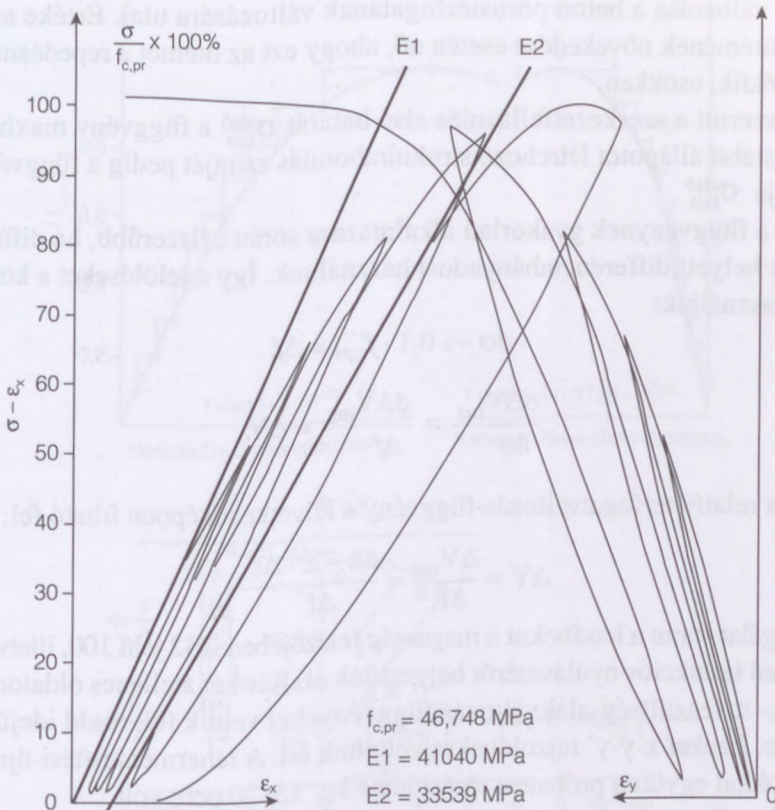
A vízfelvételt 28 és 90 napos kockán határoztuk meg, fokozatos vízbemerítéssel az MSZ 4715/6 szerint. Ugyanezekben a próbatesteken határoztuk meg kiszáritott állapotban a beton tömörségét.

A légpórustartalommal a beton fagyállóságát jellemezhetjük közvetett vizsgálattal. Ezekbe a betonokba légpórusképző adalékszert nem tettünk, tehát csak a 0 és 6% szilikapor tartalmú megszilárdult beton légtartalmát ellenőriztük.

A beton törési mechanizmusát és kezdeti rugalmassági modulusát ugyanazokon a 12×12×36 cm méretű hasábokon határoztuk meg. E vizsgálatokhoz a hasábokat a hasábszilárdság kb. 30–50, 70–90%-ának megfelelő feszültségig terheltek, majd tehermentesítették.

A 12.28. ábra mutatja az így nyert diagramokat és a kezdeti rugalmassági modulusok számításának módját is. Az  $E_1$  jelű rugalmassági modulusot az erő-alakváltozás diagram burkoló görbéjéből szerkesztettük és számítottuk ki, az  $E_2$  jelű kezdeti rugalmassági modulusot pedig az utolsó tehermentesítés utáni újrateherelésből





12.28. ábra. A  $\sigma - \varepsilon_x$  és  $\sigma - \varepsilon_y$  görbék jellege és E szerkesztése

határoztuk meg. Továbbiakban az  $E_1$ -et és az  $E_2$ -t a tehermentesítés előtti, illetve utáni modulusoknak nevezzük, de csak az  $E_1$ -et adjuk meg, mert ennek van gyakorlati jelentősége.

A relatív térfogatváltozási ábrát a rugalmas alakváltozások okozta térfogatváltozásából – Béres-módszerrel – határoztuk meg.

A rugalmas térfogatváltozás:

$$\Delta V_{\text{rug}} = \frac{\sigma}{E} (1 - 2\mu),$$

amelynek  $d\sigma$  szerinti differenciálhányadosa:

$$\frac{d\Delta V_{\text{rug}}}{d\sigma} = \frac{1 - 2\mu}{E} = \text{állandó},$$

ahol:  $\mu$  a Poisson-tényező.

Ennek változása a beton pórusterfogatának változására utal. Értéke az üregek záródási ütemének növekedése esetén nő, ahogy ezt az ütemet a repedésmegnyílások mérséklék, csökken.

Béres szerint a szerkezetfellazulás alsó határát  $\sigma_{krit}^{alsó}$  a függvény maximum helye, az instabil állapotot létrehozó struktúrabomlás szintjét pedig a függvény zérus értéke adja  $\sigma_{krit}^{alsó}$ .

Ennek a függvénynek gyakorlati alkalmazása során célszerűbb, ha differenciálhányados helyett differenciahányadost használunk. Így a jelöléseket a következőképpen használjuk:

$$d\sigma \rightarrow 0,1 \cdot f_{c,pr} = \Delta f,$$

$$\frac{d\Delta V_{rug}}{d\sigma} = \frac{d\Delta V_{rug}}{\Delta f} = \Delta V,$$

Tehát a relatív térfogatváltozás-függvény a következőképpen írható fel:

$$\Delta V = \frac{\Delta V_{rug}}{\Delta f} = \frac{\Delta \epsilon - 2 \cdot \Delta \epsilon}{\Delta f}.$$

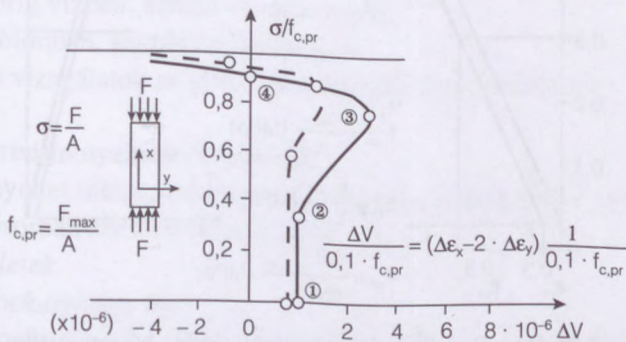
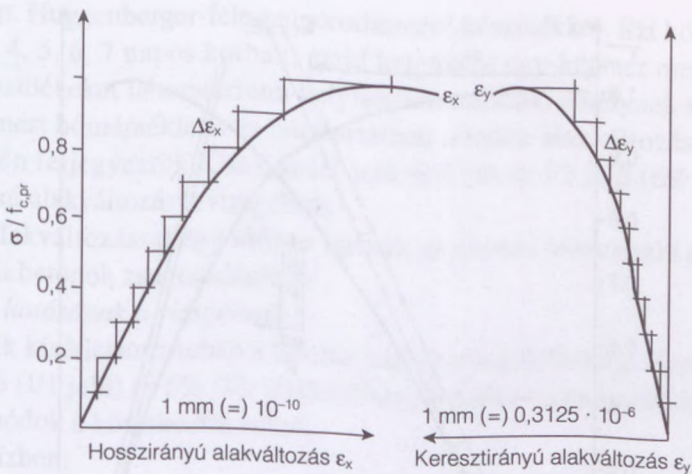
A vizsgálat során a hasábokra a magasság felezőjében D32 jelű 100, illetve 80 mm alaphosszú indukciós nyúlásmérőt helyeztünk el. Két-két átellenes oldalon a  $\sigma_x - \epsilon_x$ , illetve  $\sigma_x - \epsilon_y$  feszültség-alakváltozás függvényeket vettük fel, rövid idejű statikus terhelésre. Ezeket x-y-y' rajzolóval rajzoltattuk fel. A tehermentesítési-újraterhelési ciklusokkal együtt a próbatest törési ideje kg. 15–20 perc volt.

A 12.29. ábra szerint megrajzolt ábrák burkoló görbéjét használtuk fel a térfogatváltozási függvény megszerkesztésére. A számítás menete a következő volt:

A feszültség-alakváltozási függvényeket  $\Delta f = 0,1 \cdot f_{c,pr}$ -nek megfelelő szakaszokra felosztottuk, majd kiszámítottuk előjelhelyesen minden pontban a relatív térfogatváltozási értékeket. Az így kiszámított értékeket a  $\Delta V - \sigma / f_{c,pr}$  koordináta-rendszerben felrakva, a kapott értékeket folytonos, illetve szaggatott vonallal összekötve kaptuk a (tehermentesítés előtti, illetve utáni)  $\Delta V - \sigma / f_{c,pr}$  függvényeket. A függvény jellemző pontjait a 12.29. ábrán a következő sorrendben jelöltük:

1.  $\Delta V - \sigma / f_{c,pr}$  függvény kezdő értéke,
2.  $\Delta V - \sigma / f_{c,pr}$  függvény állandó szakaszának a vége, a repedések megjelenésének a feszültség-szintje,
3.  $\Delta V - \sigma / f_{c,pr}$  függvény alsó kritikus szintje,
4.  $\Delta V - \sigma / f_{c,pr}$  függvény felső kritikus szintje.



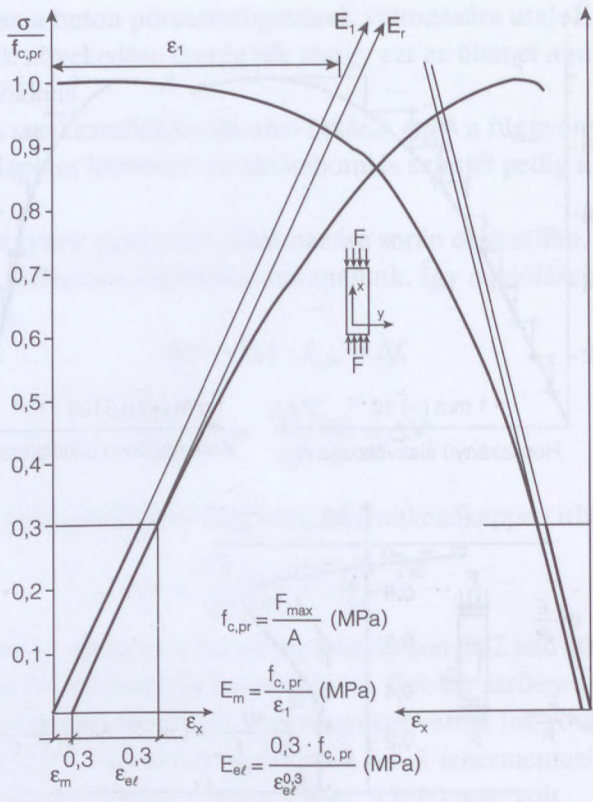


12.29. ábra. A  $\Delta V - \sigma / f_{c,pr}$  függvény szerkesztése

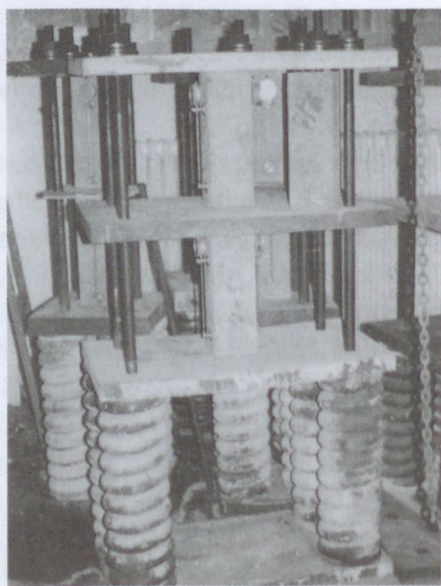
A továbbiakban nem szaporítjuk az anyagot az ábrák és az ezekből a jellemző pontok számításának a megadásával, hanem csak a kiszámított  $E$  és  $\Delta V - \sigma / f_{c,pr}$  értéket adjuk meg táblázatosan.

A rugalmassági modult úgy határoztuk meg, hogy a hasábszilárdság harmadáig terheljük a hasábokat és addig ismételtük a terhelést-tehermentesítést a  $0,1$  és  $0,33 \sigma / f_{c,pr}$  között, amíg a maradó alakváltozás ki nem esett (12.30. ábra). Ezt a rugalmassági modult  $E_r$ -rel jelöltük. Azt tapasztaltuk, hogy  $E_r$  nem tér el az ún. kezdeti rugalmassági modultól, így a továbbiakban  $E$ -jelöléssel adjuk meg.

A beton lassú alakváltozását a 12.1. fénykép szerinti rugós készülékben határoztuk meg. A vizsgálat menete a következő volt: 3 napos 3-3 db  $12 \times 12 \times 36$  cm-es hasábnak meghatároztuk a hasábszilárdságát ( $\sigma / f_{c,pr}$ ) és a rugalmassági modult  $0,1 - f_{c,pr} / 3$  feszültség között. Utána a rugós készülékben megterheltük a két hasábot – az egyik hasábot vízben, a másikat laborlevegőn tároltuk a vizsgálat időpontjáig, azaz 3 napos korig – az átlagos hasábszilárdság harmadának megfelelő terhelőfeszültséggel. Terhelés előtt és terhelés után is megmértük a beton alakvál-



12.30. ábra. Rugalmassági modulusok mérése és szerkesztése



12.1. fénykép. Lassú alakváltozás mérése rugós készülékben



tozását az ún. Huggenberger-féle zsugorodásmérő készülékkel. Ezt követően a mérest 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 napos korban, majd hetenként egy-kétszer megismételtük. A rugós készülékeket laboratóriumi helyiségben tároltuk, amelynek a próbatestek közelében mért hőmérsékletét és páratartalmát minden alakváltozásmérés alkalmával szintén feljegyeztük. Csak az I/1 jelű (0%) és az I/3 jelű (6%) összetételű betonok lassú alakváltozását vizsgáltuk.

A lassú alakváltozással egy időben mértük az azonos összetételű és korú, azonosan terhelt betonok zsugorodását is.

*A tárolás hatásának a vizsgálata.*

A második kísérletsorozatban a tárolás hatását vizsgáltuk meg. Ezeket a vizsgálatokat a 0% (I/1 jelű) és 6% (I/3 jelű) szilikapor tartalmú betonokon végeztük el. A tárolási módok a következők voltak:

- végig vízben;
- 7 napos korig vízben, azután szobalevegőn;
- 1 napig sablonban, azután szobalevegőn.

Az elvégzett vizsgálatok az előzőekben leírtakkal egyeztek meg.

### **A kísérlet eredményeinek értékelése**

Az eredményeket táblázatokban és ábrákon is feldolgoztuk. A szemléletesség érdekében elsősorban ábrákra hivatkozunk.

#### *a) Alapkísérletek*

##### *1. A beton kockaszilárdsága*

A kísérlet során állandó volt a betonösszetétel (kivéve a folyósító adalékszer mennyiségét), a víz-cement tényező (0,4), a konzisztencia és a tárolás (7 napig vízben, azután szobalevegőn). A konzisztencia állandóságát a folyósító adalékszer mennyiségének a változtatásával értük el.

Az adalékszer nélküli beton 28 napos (szabványos) kockaszilárdsága 68,3 MPa volt. A szilárdulási folyamat 7 napos korig – féllogaritmusú léptékben – (12.31. ábra) kb. lineáris volt. 10% kovavavliszttel (a cement tömegére vonatkoztatva) ez a linearitás 90 napos korig fennállt.

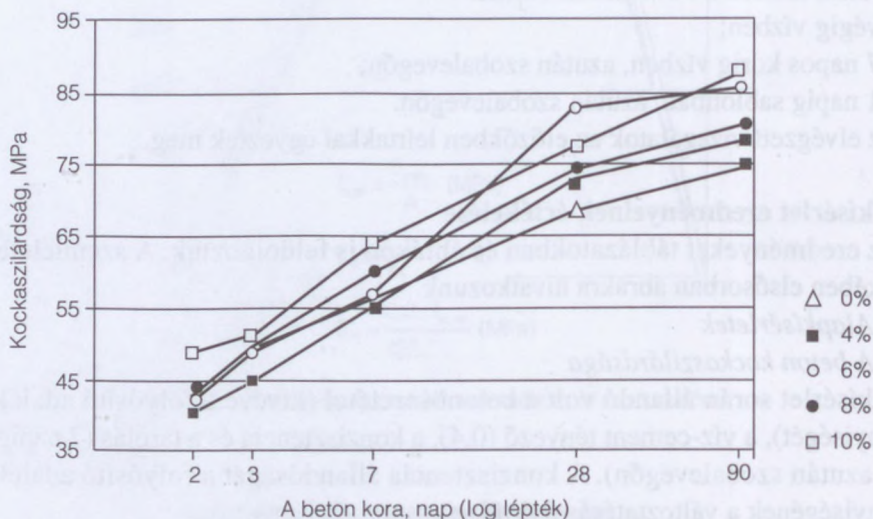
A viszonylagos szilárdságokat a kor függvényében a 12.11. táblázatban foglaltuk össze.

A kovavavliszt nélküli beton *szilárdulása rendkívül gyors volt* (2 napos korban kb. 60, 3 napos korban kb. 70%). Ezt a körülményt részben azzal magyarázzuk, hogy bár a beton könnyen bedolgozható (a terület 42–46 cm), a víz-cement tényező kicsi és a levegő hőmérséklete 20–25°C volt. Azonban szabadkonzolos hídpí-tés esetén arra lehet számítani, hogy a beton a hidratációhő miatt felmelegszik, tehát hőmérséklete a léghőmérsékletnél nagyobb, esetleg lényegesen nagyobb (pl. 40 cm vastag bordában), tehát kedvező szilárdulási ütemre lehet számítani.

A kovavavliszt – ahogy az várható volt – a 2 és 3 napos szilárdságot nem növelte (12.32. ábra). Szilárdságnövekedést csak 7 napos kortól észleltünk. A szilárd-

12.11. táblázat. A viszonylagos szilárdságok a kor függvényében

A beton kora, nap	A kockaszilárdság a 28 napos szilárdsághoz viszonyítva, %				
	0	4	6	8	10
	tömeg% kovasavliszttel				
2	62	59	61	61	70
3	72	65	71	71	74
7	81	81	88	89	93
28	100	106	121	109	113
90	109	114	126	118	127



12.31. ábra. Kockaszilárdság a kor függvényében

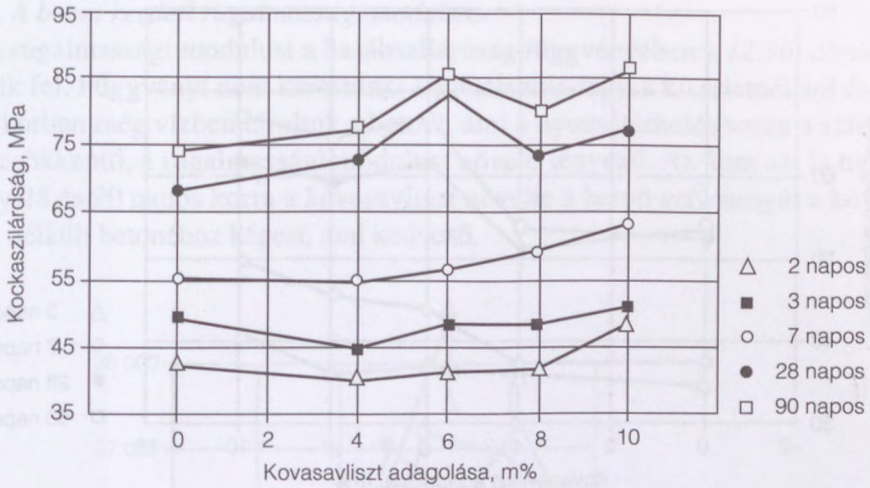
ságnövekedés a kovasavliszt nélküli beton szilárdságához viszonyítva a 12.12. táblázat szerinti (ha a 6%-nál észlelt kiugrástól eltekintünk).

Jelentős szilárdságnövekedést csak a 10% kovasavliszt eredményezett. A növekmény MPa-ban nőtt a beton korával, a kovasavliszt nélküli beton szilárdságához %-ban viszonyítva 15–17% volt. Kiugró növekedést okozott a 6%.

## 2. A beton hasábszilárdsága

A hasábszilárdság kortól (12.33. ábra), valamint a kovasavliszt mennyiségétől való függésére (12.34. ábra) ugyanazok a tendenciák érvényesek, mint a kocka szilárdságára. A különbség az, hogy 4% kovasavliszt- tartalommal még nem észleltünk szilárdságnövekedést. 7 napos kortól kezdve (ha a 6%-nál kiugró értéktől eltekintünk) azt mondhatjuk, hogy a hasábszilárdság (4%-tól kezdve) arányosan

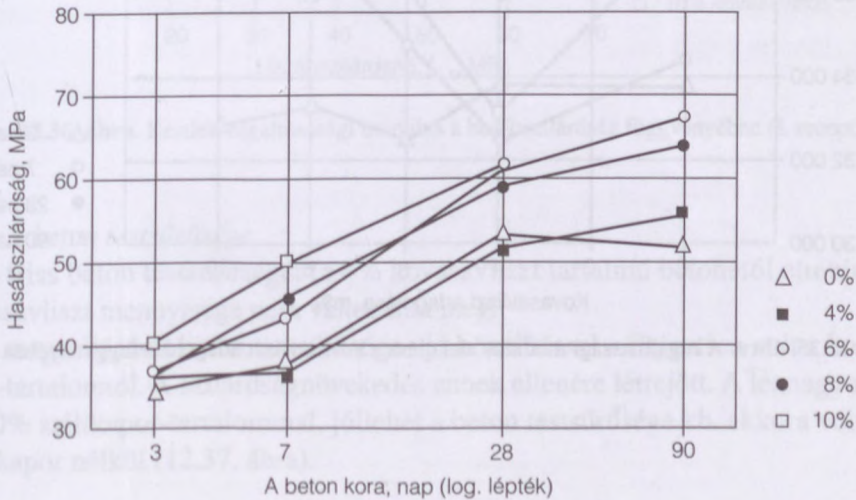




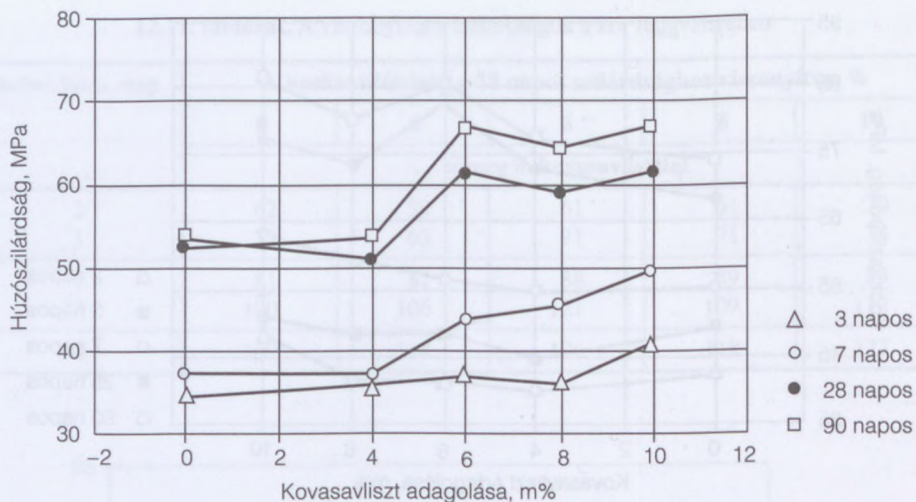
12.32. ábra. A beton kockaszilárdsága a kovasavliszt mennyisége függvényében

12.12. táblázat. A szilárdságnövekedés a beton kora és a kovasavliszt mennyisége függvényében

A beton kora	Szilárdságnövekedés							
	4		6		8		10	
	tömeg% kovasavliszt-tartalom esetén							
nap	MPa	%	MPa	%	MPa	%	MPa	%
7	4,7	1,3	1,4	2,5	4,1	7,5	8,3	15,0
28	4,4	6,5	14,6	21,4	5,8	8,6	9,1	13,3
90	3,6	5,8	11,3	15,2	6,0	8,1	12,6	16,8



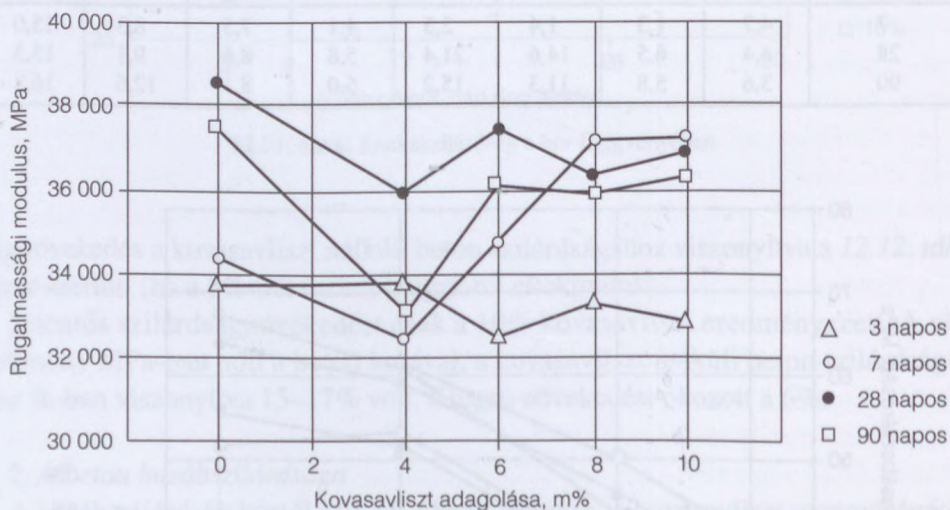
12.33. ábra. Hasábszilárdság a kor függvényében



12.34. ábra. A hasábszilárdság a kovavavliszt adagolása függvényében

nőtt 10%-ig. A növekmény 7; 28; illetve 90 napos korban 10% kovavavliszt esetére 12,3 MPa (33%); 8,7 MPa (16,5%), illetve 13,6 MPa (26%) volt.

A 12.35. ábrán a rugalmassági moduluszt a kovavavliszt-tartalom függvényében ábrázoltuk. Jó közelítésnek tekinthető: a hasábszilárdság (az összes kísérletre vonatkoztatva) kb. a kockaszilárdság háromnegyede.

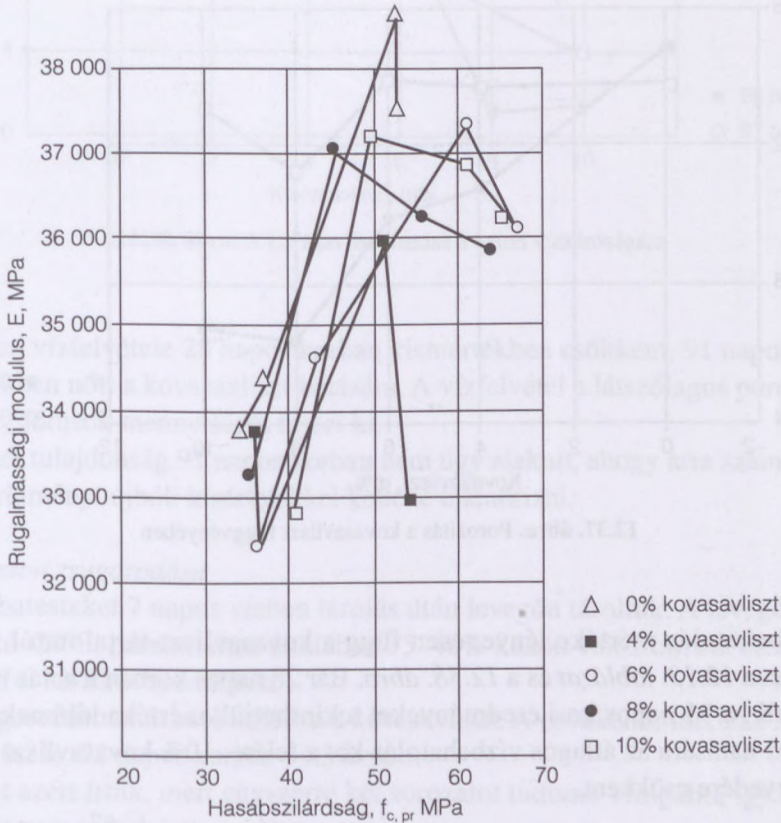


12.35. ábra. A rugalmassági modulus alakulása a kovavavliszt adagolása függvényében



### 3. A beton kezdeti rugalmassági modulusa

A rugalmassági moduluszt a hasábszilárdság függvényében a 12.36. ábrán tüntettük fel. Függvényt nem kerestünk. Ugyanis mindegyik kísérletnél a 3 és 7 napos korban még vízben tároltuk a betont, ami a nyomóterhelés során a szilárdságot csökkentő, a rugalmassági moduluszt növelő tényező. Az ábra azt is mutatja, hogy 28 és 90 napos korra a kovasavliszt növelte a beton szívósságát a kovasavliszt nélküli betonéhoz képest, ami kedvező.



12.36. ábra. Kezdeti rugalmassági modulus a hasábszilárdság függvényében (I. recept)

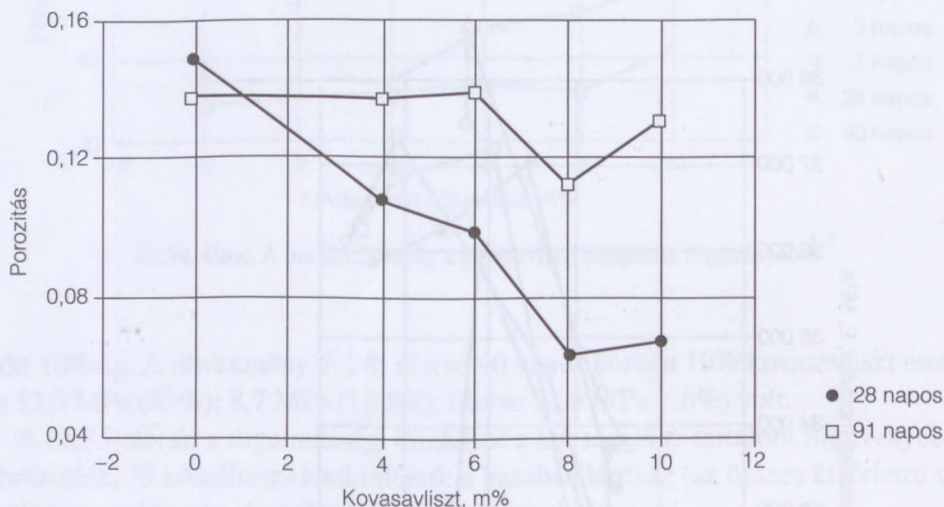
### 4. A beton testsűrűsége

A friss beton testsűrűségét (a 4% kovasavliszt tartalmú betonétól eltekintve) a kovasavliszt mennyisége nem változtatta meg.

A megszilárdult beton testsűrűsége – jó közelítéssel – független volt a kovasavliszt-tartalomtól. A szilárdságnövekedés ennek ellenére létrejött. A legnagyobb lett 8–10% szilikapor-tartalommal, jóllehet a beton testsűrűsége kb. akkora volt, mint szilikapor nélkül (12.37. ábra).

### 5. A beton porozitása, vízfelvétele, vízzárósága

A beton *porozitása* a kovasavliszt-tartalommal arányosan csökkent. 28 napos korban 4; 6, illetve 10% szilikapor esetén a csökkenés 4; 5, illetve 7% és már 6% kovasavliszt-tartalommal is 0,10 lett, 10%-kal pedig 0,07. Úgy látszott tehát, hogy a kovasavliszt nagymértékben fokozza a beton tömörségét. A 90 napos beton vizsgálata azonban ezt a tendenciát nem támasztotta alá. A kovasavliszt-tartalom alig csökkentette a porozitást (12.37. ábra).



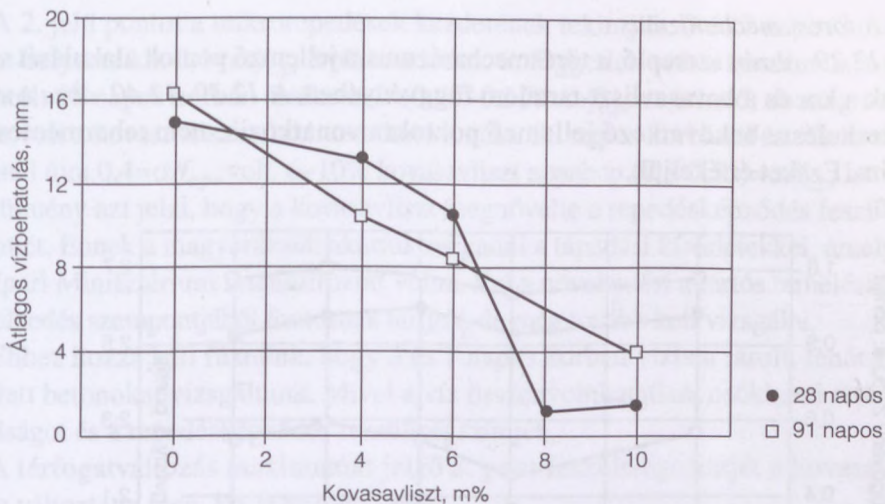
12.37. ábra. Porozitás a kovasavliszt függvényében

A vízbehatolás mértéke lényegesen függ a kovasavliszt-tartalomtól, amit jól szemléltet a 12.13. táblázat és a 12.38. ábra. Bár 28 napos korban a hatás nagyobb-nak látszik, a 91 napos kori eredményeket tekinthetjük mértékadóbbnak. 6% kovasavliszt hatására az átlagos vízbehatolás kb. a felére, 10% kovasavliszt hatására kb. a negyedére csökkent.

12.13. táblázat. Az átlagos vízbehatolás a kovasavliszt-tartalom függvényében

Kovasavliszt-tartalom, m%	Az átlagos vízbehatolás, mm	
	kb. 28	kb. 91
	napos korban	
0	15,5	16,3
4	13,3	10,6
6	10,5	8,5
8	1,1	6,2
10	1,4	3,8





12.38. ábra. A kovasavliszt hatása a beton vízzáróságára

A beton vízfelvétele 28 napos korban kismértékben csökkent, 91 napos korban kismértékben nőtt a kovasavliszt hatására. A vízfelvétel a látszólagos porozitást, a kapilláris pórusok mennyiségét fejezi ki.

Ez a két tulajdonság 91 napos korban nem úgy alakult, ahogy arra számítottunk. Ezt a körülményt újbóli kísérletekkel kellene ellenőrizni.

#### 6. A beton zsugorodása

A próbatesteket 7 napos vízben tárolás után levegőn tároltuk. A levegő hőmérséklete 24–20°C, páratartalma általában 35–40% között változott. Az eredményeket a 12.14. táblázat szemlélteti.

A zsugorodást tehát csökkentette a kovasavliszt. A csökkenés mértéke 56 napos korban 10,3%, 91 napos korban 14,3% volt.

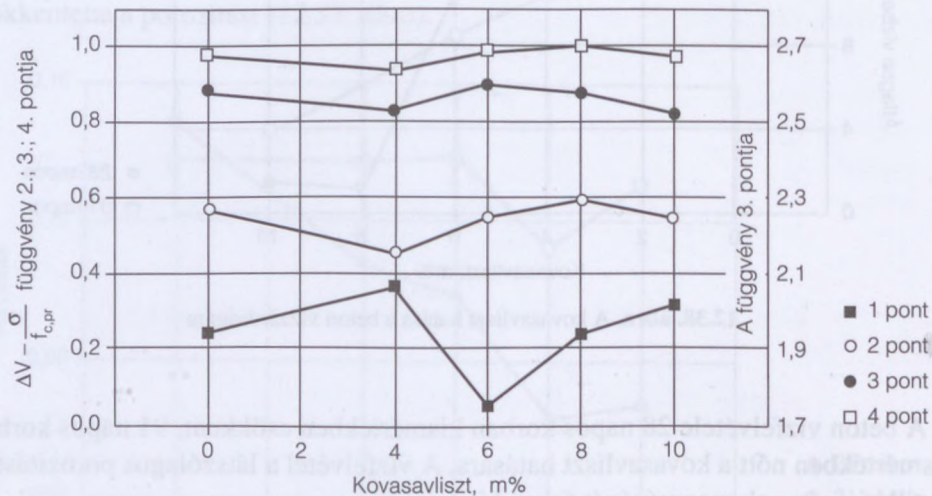
A kb.-t azért írtuk, mert egyszerre két sorozatot tudtunk vizsgálni, így a pontos időpontot nem tudtuk betartani.

12.14. táblázat. A zsugorodás átlagértékei

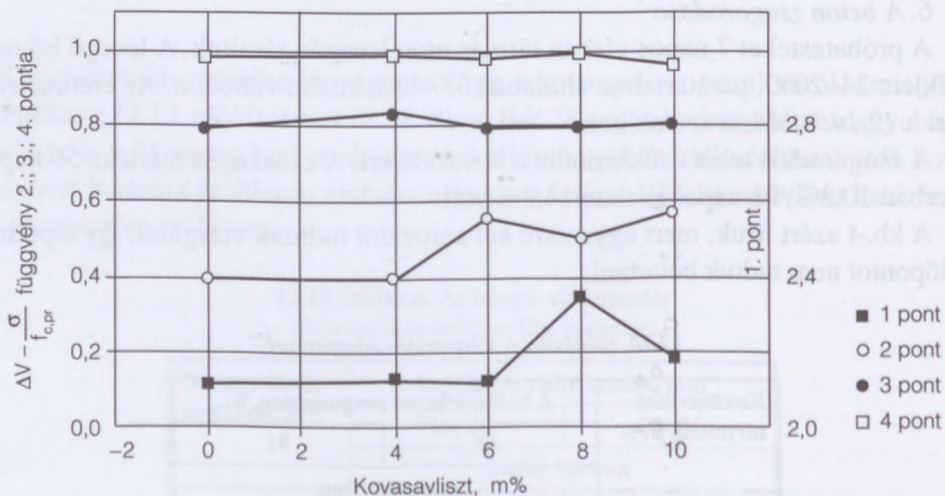
Kovasavliszt-tartalom, m%	A beton átlagos zsugorodása, ‰	
	56	91
	napos korban	
0	0,39	0,49
4	0,32	0,43
6	0,35	0,42
8	0,35	0,42
10	0,35	0,42

### 7. A törési mechanizmus

A 12.29. ábrán szereplő, a törésmechanizmusra jellemző pontok alakulását vizsgáltuk a kor és a kovasavliszt-tartalom függvényében. A 12.39–12.40. ábra a statikus terhelésre bekövetkező jellemző pontokra vonatkozik, nem tehermentesítés utánira. Ezeket értékeljük.



12.39. ábra. 28 napos betonok törésmechanizmusa



12.40. ábra. 91 napos betonok törésmechanizmusa



A 2. jelű pontot a mikrorepedések kezdetének tekintjük. 3 és 7 napos korban a pont helyzete kb.  $0,4 = \sigma/f_{c,pr}$  értékre adódott és független volt a kovasavliszt-tartalomtól. 28 napos korban értéke már  $(0,45-0,55) = \sigma/f_{c,pr}$ -ra tehető, de még mindig nem volt a kovasavlisztnek kimutatható hatása. 90 napos korban 0 és 4% kovasavliszttel újra  $0,4 = \sigma/f_{c,pr}$  volt. 6–10% kovasavliszt azonban  $(0,5-0,55) = \sigma/f_{c,pr}$  lett. Ez a körülmény azt jelzi, hogy a kovasavliszt megnövelte a repedésképződés feszültség-szintjét. Ennek a magyarázatát akartuk megadni a tapadási kísérletekkel, amelyeket az Ipari Minisztérium finanszírozott volna. Ezt a növekedést a tartós terhelésre való viselkedés szempontjából fontosnak tartjuk, de még tovább kell vizsgálni.

Ehhez hozzá kell fűznünk, hogy 3 és 7 napos korban vízben tárolt, tehát vízzel telített betonokat vizsgáltunk. Mivel a víz összenyomhatatlan, csökkenti a törőszilárdságot és a repedésképződés feszültség-szintjét.

A térfogatváltozás maximumát jelző 3. pont feszültség-szintjét a kovasavliszt nem változtatta meg, kb.  $0,8 = \sigma/f_{c,pr}$  volt.

A 0 térfogatváltozáshoz tartozó 4. jelű pont feszültség-szintje megközelítette az 1-et és nem függött a kovasavliszt-tartalomtól.

#### A tárolási mód hatása

Háromféle tárolási módot hasonlítottunk össze:

végig vízben,

2. 7 napig vízben, azután szobalevegőn,

3. kiszaluzás (1 nap) után szobalevegőn.

A beton kétféle volt:

– kovasavliszt nélküli,

– 6% kovasavliszt tartalmú.

A kockaszilárdság 3 napos korig teljesen azonos volt. Ez természetes, hiszen azonos volt a tárolás is. 28 napos és 90 napos korban már látszott a különbség. Mindig a 2. jelű tárolás eredményezett legnagyobb kockaszilárdságot, a 3. jelű a legkisebbet, az 1. jelű közepeset. 91 napos korban a szilárdságok a 12.15. táblázat szerintiék voltak.

12.15. táblázat. A tárolás és a kovasavliszt-tartalom hatása a nyomószilárdságra

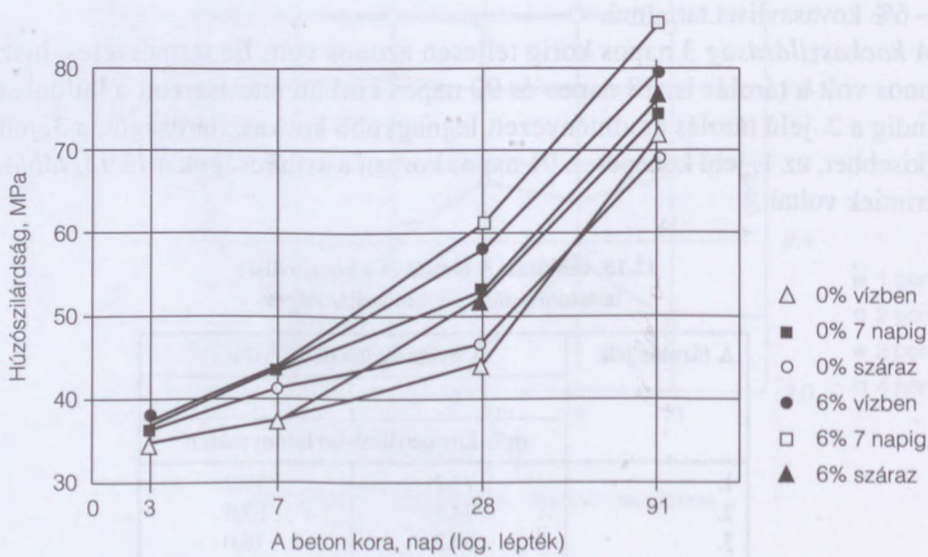
A tárolás jele	A nyomószilárdság, MPa	
	0	6
	m% kovasavliszt-tartalom esetén	
1.	72,2	79,2
2.	74,4	85,8
3.	69,2	76,0

Egyrészt látható a szilárdságnövekmény a kovasavliszt hatására (7–10 MPa), másrészt látható, hogy az eltérő tárolás okozta szilárdságkülönbség nem nagy. A 2. és 3. jelű tárolás esetén a különbség 5,2 (0%), illetve 9,8 MPa (6% kovasavliszt). Eddigi tapasztalatunk szerint azért nem lett nagyobb a vizes utókezelés elhagyása miatti hatás, mert egyrészt a vizsgált beton a kis víz-cement tényező miatt eléggé tömör volt, másrészt a kockák 1 napos korig sablonban voltak és akkorra már a hidratáció jelentős része lejátszódott. De ugyanaz az eset kb. a szabadkonzolos hídépítés esetén is. Ott 2-3 napos korig csak a vasbetonszerkezet felső felülete szabad, amelyből a víz elpárolgását takarással meg kell gátolni. Azt ugyanakkor érdemes volna megvizsgálni, hogy mennyire tér el a felületi réteg szilárdsága a közbenső rétegeketől. (De ez a kérdés független a szilikaporttól.) Ugyanis a sózás a beton kérgét éri.

Az 1. jelű tárolású beton szilárdsága – szerintünk – nem tekinthető kisebbnek a 2. jelűénél, ugyanis az 1. jelű vízzel telített beton szilárdságát a benne lévő víz összenyomhatatlan volta csökkenti. Az eltérés tehát csak látszólagos.

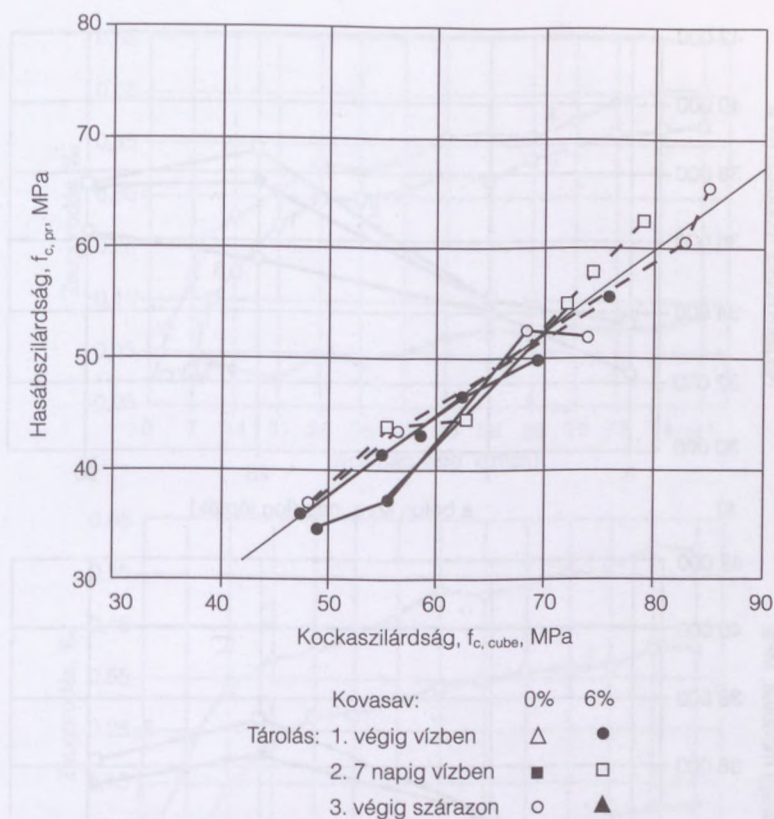
A vízben, illetve a szobalevegőn tárolt kockák testsűrűsége a kor függvényében alig változott (csak ingadozott). Legnagyobb a végig szobalevegőn tárolt betonok testsűrűsége volt. A 7 napig vízben, azután szobalevegőn tárolt betonok testsűrűsége 28 napos korig kisebb, 90 napos korig nagyobb mértékben csökkent, összhangban az elvárásokkal.

A tárolás hatását a *hasábszilárdságra* a 12.41. ábra szemlélteti. Ezen az ábrán is az látható, hogy minden esetben a kizsaluzás után utókezelés nélkül tárolt betonok szilárdsága a legkisebb, 28 napos kortól kezdve egyértelműen megmutatkozott a 6% kovasavliszt szilárdságnövelő hatása.



12.41. ábra. Tárolás hatása a hasábszilárdságra





12.42. ábra. Tárolásmódok hatása a kocka- és hasábszilárdság kapcsolatára

A 12.42. ábrán a hasábszilárdságot a kockaszilárdság függvényében ábrázoltuk. 28 napos korig mindegyik betonra és tárolásra jó közelítéssel érvényes az

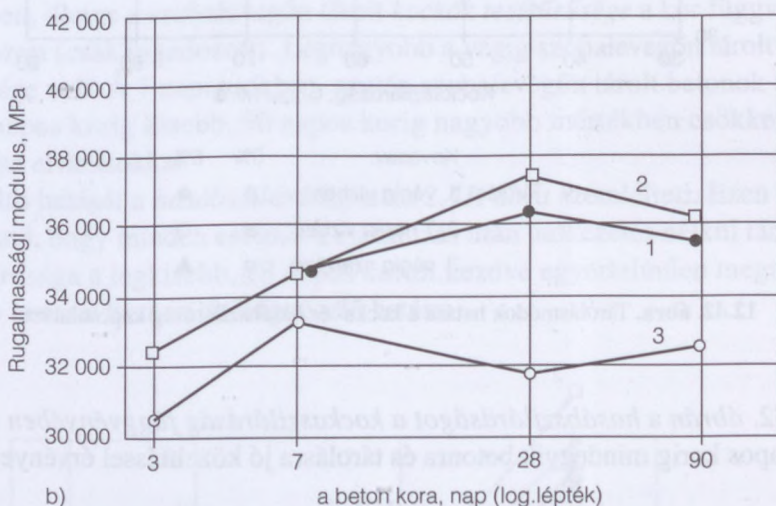
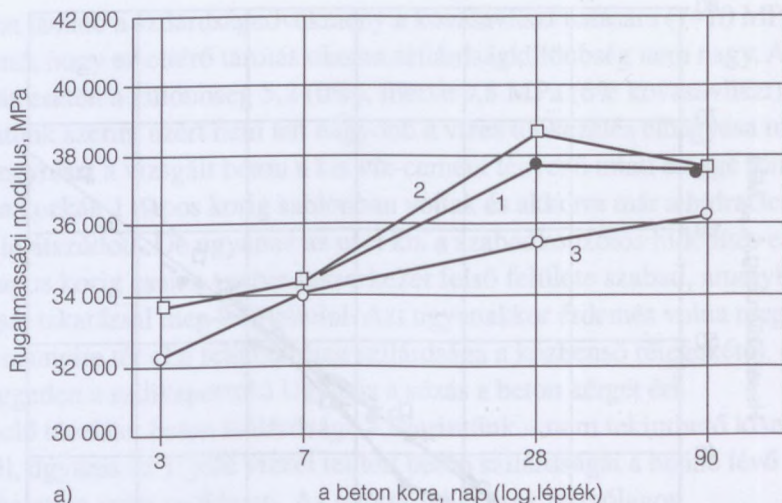
$$f_{c,pr} = 0,75 f_{c,cube}$$

összefüggés. Tehát a tárolás egyformán hatott a kockára és a hasábra.

A kovasavliszt-adagolás minden esetben csökkentette a *kezdeti rugalmassági modult* (azonos hasábszilárdság és azonos tárolás esetén) és növelte a beton szívósságát. Az 1. és 2. jelű tárolás hatása között nagy különbség nem volt, a 3. jelű tárolás esetén lényegesen csökkent  $E$ , a másik két tároláshoz viszonyítva. A kor és a tárolás együttes hatását a kezdeti rugalmassági modulusra a 12.43. ábra szemlélteti.

A *zsugorodás* időbeni alakulását a 12.44. ábra szemlélteti. A szobalevegőn tárolás hatására már 1 napos kortól erőteljes zsugorodás indult meg. A háromféle tárolás hatására a zsugorodás 56 és 91 napos korban a 12.16. táblázat szerinti volt.

Vízben tárolás esetén egyrészt csak kémiai zsugorodás ment végbe, másrészt kis hatása volt annak is, hogy a beton korával a víz hőmérséklete  $2-3^{\circ}\text{C}$ -ot csökkent, ami szintén zsugorodásként jelentkezett. 91 napos korban a 6% kovasavlisztet tar-



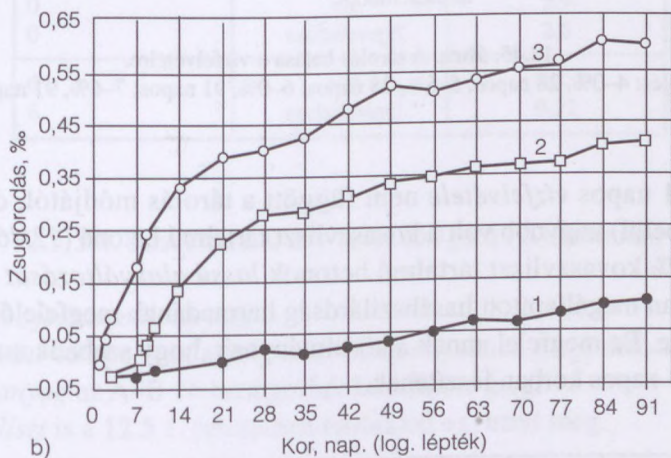
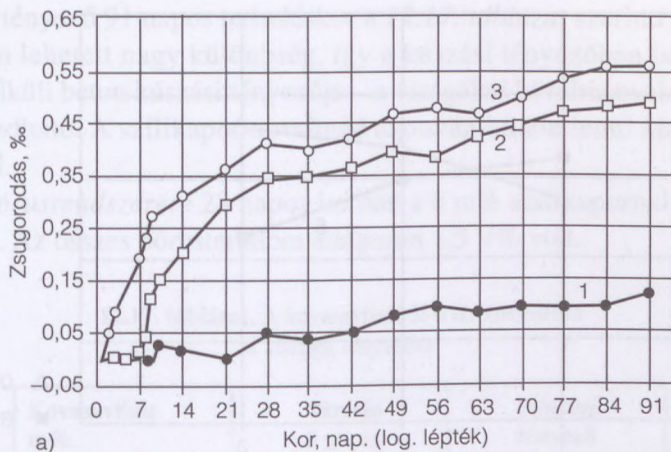
**12.43. ábra.** A tárolás hatása a rugalmassági modulusra. a) 0% kovasavliszt; b) 6% kovasavliszt. Jelölés: 1–vízben; 2–7 napig vízben; 3–levegőn

talmazó beton zsugorodása 0,05%-kal volt nagyobb a kovasavlisztet nem tartalmazó betonénál 3 jelű tárolás esetén. Ezzel szemben a 2. jelű (szabványos) tárolás esetén a 6% kovasavliszt-tartalmú betoné volt 91 napos korban 0,07%-kal kisebb.

A végig vízben tárolt betonok vízzáróságára (1. jelű) a kornak, kovasavlisztnek nem volt hatása. 2. és 3. jelű tárolás esetén már egyértelműen megmutatkozott a kovasavliszt kedvező hatása. A kornak és a kezelés módjának (7 napig vízben, azután szobalevegőn) csak kis hatása volt előbbi javára.

A beton porozitása 91 napos korban alig függött a tárolás módjától. (12.45. ábra). A 2. és 3. jelű tárolás esetén – 6% kovasavliszt tartalommal – kismértékben csökkent a porozitás.

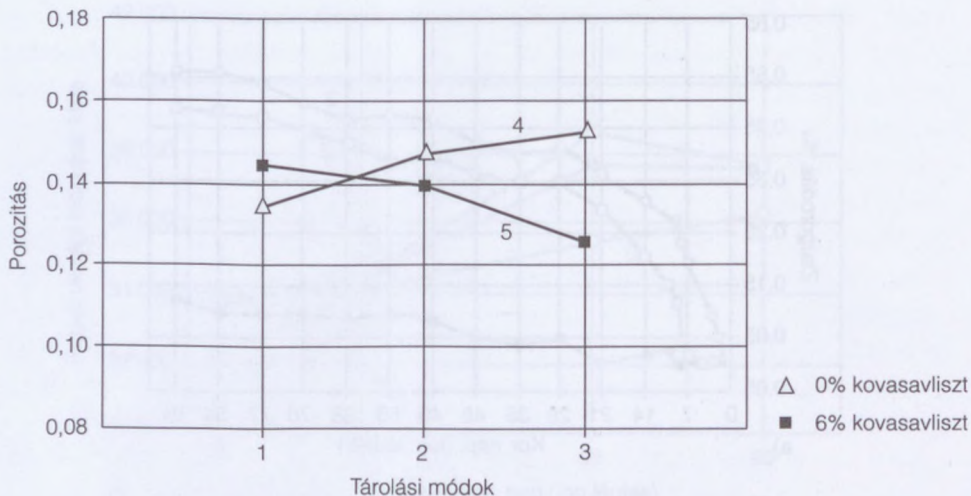




12.44. ábra. A tárolás hatása a zsugorodásra. a) 0% kovásvulst; b) 6% kovásvulst.  
Jelölés: 1–vízben; 2–7 napig vízben; 3–levegőn

12.16. táblázat. A kovásvulst hatása a zsugorodásra

A tárolás jele	Kovásvulst m%	A beton átlagos zsugorodása, ‰	
		56	91
		napos korban	
1.	0	0,097	0,126
2.	0	0,378	0,485
3.	0	0,476	0,553
1.	6	0,0583	0,116
2.	6	0,349	0,418
3.	6	0,515	0,602

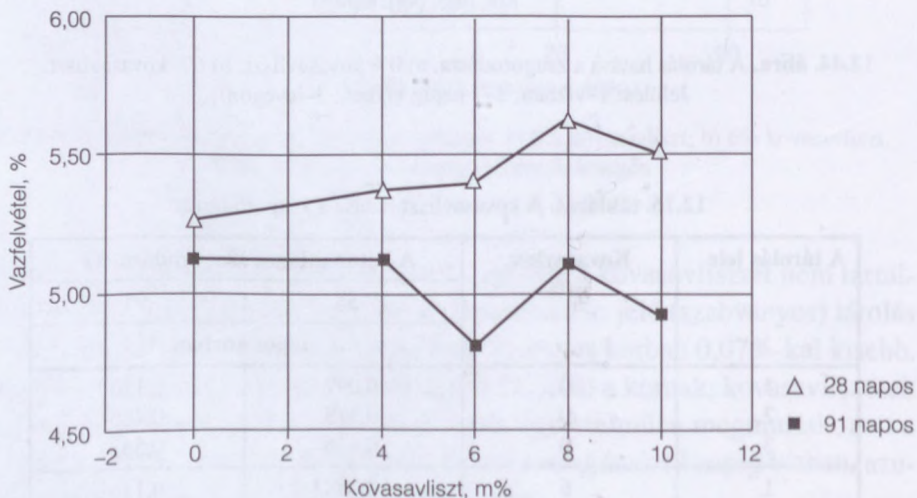


12.45. ábra. A tárolás hatása a vízfelétele.

Jelölés: 4–0%, 28 napos; 5–6%, 28 napos; 6–0%, 91 napos; 7–6%, 91 napos

A beton 91 napos *vízfélétele* nem függött a tárolás módjától, de valamivel (0,2 m%-on belül) nagyobb volt a kavasavliszt tartalmú betoné (12.46. ábra).

A 0 és 6m% kavasavliszt tartalmú betonok *lassú alakváltozását* vizsgáltuk a 3 napos korban megállapított hasábszilárdság harmadának megfelelő tartós terhelő feszültségre. Ez megfelel annak a körülménynek, hogy szabadkonzolos hídépítés esetén is 3 napos korban feszítenek.



12.46. ábra. A tárolás hatása a porozításra (91 napos).

Jelölés: 1–vízben; 2–7 napig vízben; 3–levegőn; 4–0%; 5–6% kavasavlisztel



A kúszási tényező 91 napos terheléskor a 12.17. táblázat szerinti. 3 napig a tárolásban nem lehetett nagy különbség, így a kúszási tényezőben is kicsi volt. A szilikapor nélküli beton kúszási tényezője – a vizsgálati körülmények között – várhatóan mondható. A szilikapor tartalmúé azonban hihetetlenül kicsi, amit még vizsgálni kell.

A beton *pórusrendszerére* 28 napos korban a 6 m% szilikapornak nem volt jelentős hatása. Az összes pórustartalom átlagosan 1,5 V% volt.

12.17. táblázat. A kovasavliszt és a tárolás hatása a kúszási tényezőre

Kovasavliszt m%	Tárolás 3 napig	Kúszási tényező
0	víz	2,9
0	szobalevegő	2,5
6	víz	0,23
6	szobalevegő	0,22

#### 12.5.3.4. Kísérletek C25–16/K f50 jelű (II) betonnal

##### 1. A kísérlethez felhasznált anyagok

A cement váci 450 pc volt, amely a követelményeknek megfelelt.

Az adalékanyag az A–B 16 határgörbét közelítette meg.

A kovasavliszt is a 12.5.1. fejezetben leírtakkal egyezett meg.

##### 2. A kísérlet leírása

A kutatási tervnek megfelelően a 12.18. táblázatban feltüntetett ötféle betont állítottuk elő. A táblázatban mind az adalékszerek mennyiségét, mind a készítéskori hőmérsékletet, mind a friss beton tulajdonságait megadtuk. A kovasavliszt növelésével kissé növelni kellett a Barra Mix mennyiségét.

A kísérleti eredményeket az alábbiakban röviden értékeljük.

A betonösszetételt előkísérletekkel terveztük meg. Végül is sikerült mind a betonkonzisztenciát, mind a légtartalmat közel azonosnak beállítani.

A beton keverése, bedolgozása, tárolása és vizsgálata a 3.2.1. fejezetben ismertetett betonokéval egyezett meg.

A betonokat 1 hétig vízben, azután szobahőmérsékleten tároltuk. Ezeket a betonokat légpórusképzővel készítettük, ezért 28 napos korban ellenőriztük a beton levegőtartalmát is. A légpórus jellemzőit az Építőanyagok Tanszékén Erdélyi Attila (1973) irányításával készített légpórusvizsgáló mikroszkópon határozták meg.

A légpórusos beton szilárdságát, vízzáróságát, zsugorodását, törési mechaniz-

12.18. táblázat. A friss beton jellemzői

Recept jele	Kovasaliszt, m%	Barra Mix, m%	Barra Air m%	Hőmérséklet °C		Konzisztencia		Légtartalom, V%		Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup> (xx)
				Levegő	Beton	Terület, cm (x)	Tömörödési tényező (x)	Tervezett	Tényleges (x)	
II	0	0,7	0,045	18,5	21,0	45,0	0,992	4,5	4,6	2293
	4	0,75	0,045	18,5	21,5	43,5	0,995		4,9	2279
	6	0,8	0,045	18,5	22,0	43,0	0,990		4,8	2265
	8	0,8	0,045	18,0	21,5	43,0	0,990		4,6	2295
	10	0,8	0,045	17,0	19,0	42,0	0,991		4,5	2296

x 3 mérés átlaga  
xx 15 mérés átlaga



musát a szilikapor nem befolyásolta számottevően. A fagyállóság szempontjából fontos pórusjellemzőket azonban kedvezően befolyásolta. Bár az összes pórustartalom a 28 napos betonban is közel volt a tervezetthez, illetve a friss betonéhoz, a fagyállóság megítélésének alapját képező 0–350  $\mu\text{m}$ -es pórusok mennyiségét és a távolsági tényezőt azonban lényegesen javította a kovasavliszt. Az osztrákok 0,2 mm távolsági tényezőt írnak elő. Legkedvezőbb volt a 6 tömeg% szilikaporról készített beton.

Valamennyi betonra (szilikapor-tartalomtól, kortól, légpórus-tartalomtól, a tárolás módjától jó közelítéssel függetlenül) jó közelítéssel elfogadható, hogy a hasáb-szilárdság a kockaszilárdság háromnegyede.

Általánosan érvényes az is, hogy csökken a beton kezdeti rugalmassági modulusa szilikapor hatására.

Sok változónak (kovasavliszt mennyisége, tárolás módja, légtartalom, kor) a hatását vizsgáltuk. A beton kezdeti (2–3 napos) szilárdságát – azonos víz-cement tényező és azonos konzisztencia esetén – a kovasavliszt adagolása alig befolyásolta. Ugyanis előbb a cement szilárdulása során fel kell szabadulnia annak a mésznek, amellyel a kovasav tartalma reakcióba léphet. A kovasavlisztet ezért a kezdőszilárdság növelése miatt nem érdemes adagolni. Egyéb hatásai miatt adagolják. Célzerű mennyisége a cementre vonatkoztatott 6–10 tömeg%. Ez tiszta portlandcementre vonatkozik, heterogén cementre kisebb a hatása.

A kovasavliszt beszerezhető a Salgótarjáni Ötvözetgyárban. Termékként árusítják, külföldre is szállítják, minősége – hasonlóan a cementéhez – állandónak tekinthető. Ára kb. a TŰZÉP-telepen vásárolható 350 pc-ével volt azonos.

A zsákolt kovasavlisztet úgy kell tárolni, mint a zsákolt cementet. Ha ömlesztve tárolják, akkor úgy kell tárolni, mint az ömlesztett cementet.

Vizsgált betonjaink péppel túlteltettek. Előkísérleteink alapján megengedhető, hogy az adagolandó kovasavliszt mennyiségével csökkentjük a cement mennyiségét. Hiszen ez igen aktív hidraulikus pótlék. A kovasavliszt ára ez esetben elesne. Szállítása sem feltétlenül jelent többletköltséget.

Többletköltséget jelent a munkahelyi tárolás és adagolás. Nagyon fontos az egyenletes elkeveredés. Ehhez adagolószerkezetet kell készíteni. Ez kimondottan gépészeti feladat.

## 12.6. Igen nagy szilárdságú betonok a rizsszalma hamujával

A földalatti vasutat 1950-től a Szovjetuniótól vásárolt acél-tübbingekkel építették. Ennek a helyettesítésére dolgozták ki az ÉTI-ben Gáspár Géza vezetésével az autoklávolt beton tübbingeket.



Megfigyeltük, hogy a rizsszalma lassan rothad el. Megvizsgáltuk a hamuját, és azt tapasztaltuk, hogy az kolloid kovasav. *Az volt a hipotézisünk, hogy ezzel igen nagy szilárdságú betont lehet készíteni az igen költséges autoklávólás nélkül.*

A rizsszalma elégetésére Lipovetz Iván Kossuth-díjas kohómérnök kidolgozott egy egyszerű kemencét.

Betont készítettünk az autoklávólás technológiájának megfelelő betonból, valamint a cement tömegére vonatkoztatott 6–10% rizsszalmahamut tartalmazó betonból, és a beton 7,07 cm élhosszú kockán meghatározott szilárdsága 130–140 MPa lett. Tehát el lehetett volna hagyni az autoklávólást. A kutatást akkor abbahagytuk, mert közben feltalálták a csuklósan csatlakoztatható, hagyományos gőzöléssel készíthető tübbingelemeket. Ezzel mind az autoklávolt, mind az általunk rizsszalma hamujával készítendő tübbing feleslegessé vált. Hiba volt, hogy abbahagytuk. Megelőztük korunkat. Akkor elképzelhetetlen volt, hogy 100 MPa-nál nagyobb szilárdságú betonból toronyházakat készítsünk, a 40 MPa szilárdságú beton akkor nagy szilárdságúnak számított. A környezeti szennyeződések sem veszélyeztették a beton tartósságát.

## 12.7. Polimerrel impregnált beton

[Palotás–Balázs (1980)]

### 12.7.1. Polimerek a betontechnológiában

Az 1950-es években kezdődtek el azok a kutatások, amelyeknek a célja volt a beton hátrányos tulajdonságainak megjavítása a polimerek felhasználásával. A három egymástól eltérő felhasználási irány:

a) *A polimerrel impregnált beton* (jele: PIB), melyet úgy állítanak elő, hogy a szilárd portlandcement-betont monomerrel impregnálják, majd ezt követően polimerizálják.

b) *A polimerbeton* (jele: PB) a töltőanyag (adalékanyag) monomerrel vagy gyantarendszerrel alkotott keveréke. Ebben az esetben a kötőanyag a polimer.

c) *A polimer-cementbeton* (jele: PCB) olyan hagyományos betonkeverék, amelybe a keverés során monomert vagy gyantarendszert adagolnak, és amelynek a polimerizálására a beton megkötése folyamán kerül sor.

Világviszonylatban ezekkel a kutatásokkal nagy intézetek foglalkoznak, és 1980-ig e témakörből hat világkonferenciát tartottak. Ezenkívül a problémakör egyes részei szerepeltek a cementtel és a betonnal foglalkozó konferenciákon is.

Hazánkban a BME Építőanyagok Tanszéke, a SZIKKTI, a MÜKI és az ÉTI foglalkozott egyes részterületekkel. Rövid összefoglaló áttekintést Székely (1978) adott.

A rendelkezésre álló nagy irodalom minden részletében nehezen áttekinthető. Ezért csak összefoglaló értékelést adunk, beleszöve saját és az irodalomban megtalálható hazai és külföldi kísérleti eredményeket.



## 12.7.2. Impregnálásra használt polimerek

Az impregnáláshoz a hőre lágyuló műanyagok közül a metil-metakrilátot (MMA), a sztírolt (S) és származékait, a metil-akrilátot (MA) és származékait, a vinil-acetátot (VAc) és kopolimereit, a butil-akrilátot (BA), az akril-nitritet (A), vinil-származékokat, etilén-származékokat; a hőre keményedők közül a telítetlen poliésztert (PÉ), az epoxigyantát (E), a poliuretánt (PU), karbamid-származékokat és furángyantákat vizsgálták meg. Telítésre javasolt még az olvasztott kén.

A továbbiakban elsősorban az impregnálás technológiáját, az impregnált beton tulajdonságait, valamint az impregnálással kapcsolatos példákat ismertetjük.

## 12.7.3. Az impregnálás és a polimerizálás

A polimerrel való impregnálás 3 fő folyamatból áll:

- a) szárítás a nedvességtartalom eltávolítása céljából,
- b) impregnálás cseppfolyós monomerrel,
- c) a monomer polimerizálása.

A beton tulajdonságai a legnagyobb mértékben akkor javulnak meg, ha *teljes impregnálást* hajtunk végre, ami vákuum, illetve nyomás alatti kezelést jelent.

A teljes impregnálás műveletei:

a) 150°C hőmérsékleten 24 órán át szárítjuk a betont azért, hogy a szabad víztartalom eltávozzék. Ha a hőmérséklet kisebb, akkor a szárítás időtartama hosszabb.

b) A betont hagyjuk lehűlni szobahőmérsékletre.

c) Elhelyezzük a munkadarabot az impregnálóedénybe és 1,5 óráig tartó vákuumnak vetjük alá.

d) A vákuum ideje alatt hozzáadjuk a katalizált monomert úgy, hogy a munkadarab teljesen alámerüljön, majd állni hagyjuk benne 2 órán át 0,17–0,35 MPa nyomáson, amit sűrített levegővel érünk el.

e) A monomerfelesleget leengedjük és az edényt azonnal feltöltjük meleg vízzel. A meleg vizes fürdő célja a monomer párolgási veszteségének a csökkentése.

f) Megindítjuk a fűtést, általában gőzt alkalmazunk, és polimerizálunk. A polimerizáció általában 70°C hőmérsékleten 4 órán át tart.

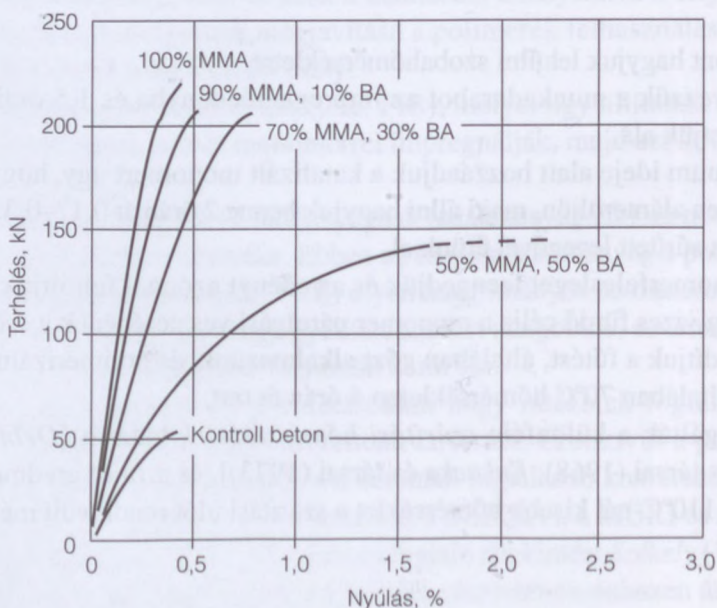
Megvizsgálták a különféle *szárítási hőmérsékletek* hatását [Deburg (1976), Steinberg és társai (1968), Kukacka és társai (1973)], és arra az eredményre jutottak, hogy a 110°C-nál kisebb hőmérséklet a szárítási időt rendkívüli mértékben növeli.

## 12.7.4. Az impregnált beton tulajdonságai

Mások kutatásaiból arra következtethetünk, hogy leggyakrabban használt impregnáló monomer a metil-metakrilát. *Schorn* (1975) számos kísérleti eredményt gyűjtött össze. Arra a következtetésre jutott, hogy a rel. max. szilárdságnövekedés értéke 400%, másrészt, hogy a nyomószilárdság a legnagyobb mértékben akkor nő, ha az eredeti beton szilárdsága  $\approx 35,0$  MPa. Ez megmagyarázható a hozzáférhető, tehát nyitott pórusok térfogatával. A négyszeres szilárdságnövekedés tehát csak a 35,0 MPa-nál kisebb szilárdságú betonok esetében várható. Ahogy a szilárdság nő, a szilárdságnövekedés is csökken. 70–80 MPa szilárdságú beton szilárdsága legfeljebb a kétszeresére nő az impregnálás által.

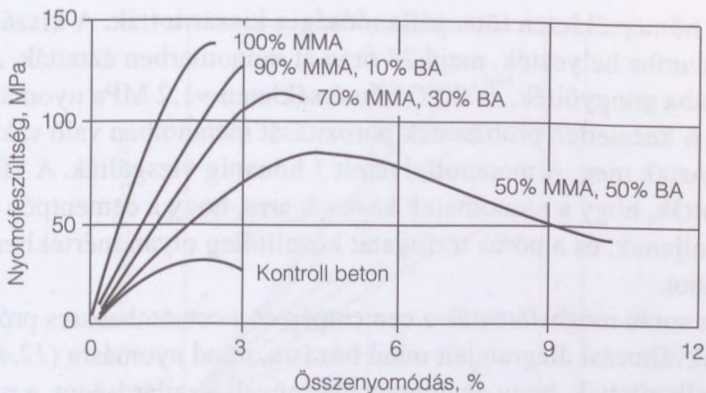
Az már a *Feret-képlet* óta ismeretes, hogy a beton szilárdsága döntően függ a beton porozitásától. A cementbeton bedolgozhatósága kb. 10% pórustartalomig lehetséges. További szilárdságnövekedés csak elméletileg tételezhető fel. Azonban ebből a pórusmennyiségből kitölthető hézagok elegendők lesznek arra, hogy a beton szilárdságát impregnálás esetén lényegesen megjavítsák. Ha a gyakorlatban sikerülne üzemszerűen igen nagy tömörségű betont előállítani, amely 100–120 MPa szilárdságot eredményezne, akkor impregnálással – a lecsökkent porozitás miatt – már csak kb. 30% többletszilárdság volna elérhető.

*Swamy* (1975) rámutat arra, hogy a MMA-monomerrel impregnált beton mind húzásra, mind nyomásra a törésig szinte teljesen rugalmasan viselkedik (12.47. és 12.48. ábrák), és robbanásszerűen törik. A ridegséget azonban csökkenteni lehet



12.47. ábra. Terhelés-nyúlás görbék polimerrel impregnált beton hasító vizsgálata során [*Swamy* (1976)]





12.48. ábra. Polimerrel impregnált beton feszültség-összenyomódási diagramjai [Swamy (1976)]

például ha a MMA-t butil-akriláttal (BA) kombinálják. A 12.47. és 12.48. ábra szerint a növekvő BA-tartalom növeli a beton alakváltozó képességét. 50% esetén a növekmény már igen nagy mértékű, de mind a húzó-, mint a nyomószilárdság ebben az esetben már csökken. Ha a nyújthatóság a tervezés egyik kritériuma, akkor a polimerrel való impregnálás nem jelent jelentős előnyt az acélhaj-betonnal szemben.

Manning és Hope (1976) ötféle monomerrel végzett kísérletet. Az iniciátor minden esetben azo-bisz-izobutiro-nitril volt. Az egyes polimereket és az adagolt iniciátor százalékos mennyiségét alábbi felsorolás tartalmazza.

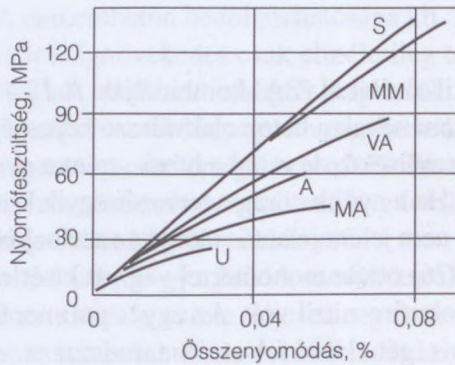
A monomer neve	A monomer jele	Az iniciátor %-ban a monomerre vonatkoztatva
Metil-metakrilát	MM	0,5
Metil-akrilát	MA	0,5
Akril-nitril	A	0,5
Sztírol	S	1,5
Vinil-acetát	VA	1,0
Kezeletlen	U	

A kísérlet során egyrészt cementkövet, másrészt cementhabarcsokat impregnáltak a polimerekkel. A víz-cement tényező mindkét esetben 0,5 volt. A habarcsban a homok térfogataránya 32% volt. A nyomószilárdságot 24,5×24,5×76,2 mm-es prizmákon vizsgálták, a húzószilárdságot piskótákon, melyeknek keresztmetszeti területe az állandó keresztmetszetű szakaszon 645 mm<sup>2</sup> volt.

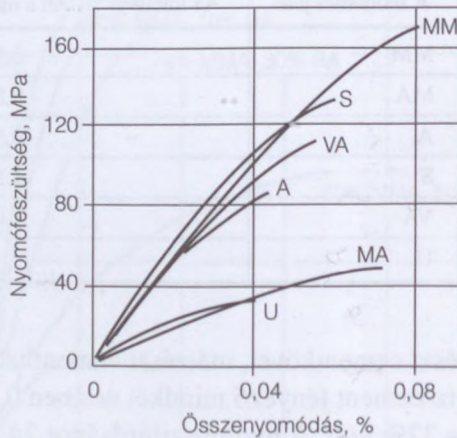
A próbatesteket, amelyekhez nagy kezdőszilárdságú cementet használtak, az elkészítés után a sablonból kivették, és 24 órás korrig meszes vízben tartották. Ez-

után 110°C hőmérsékleten tömegállandóságig kiszárították. A kiszárítás után 4 órán át vákuumba helyezték, majd 24 órán át monomerben áztatták. Azután alumíniumfóliába göngyölték, és 80°C hőmérsékleten  $\approx 1,2$  MPa nyomás alatt polimerizálták. A kezeletlen próbatestek porozitását metanolban való vákuumos teltéssel határozták meg. A metanolfelvételt 1 hónapig vizsgálták. A kísérlet során megállapították, hogy a monomerek képesek arra, hogy a cementpép mikropórusaiba behatoljanak, és a pórus térfogatát közelítőleg olyan mértékben töltsék ki, mint a metanol.

A kísérlet során meghatározták a cementpép és a cementhabarcs próbatestek feszültség-alakváltozási diagramjait mind húzásra, mind nyomásra (12.49. és 12.50. ábra). Megállapították, hogy az impregnálás növeli a szilárdságot, a rugalmassági



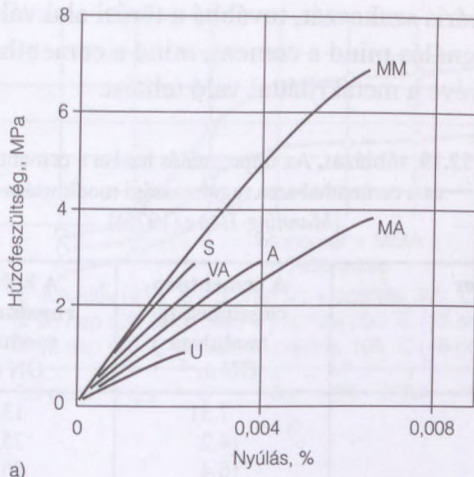
a)



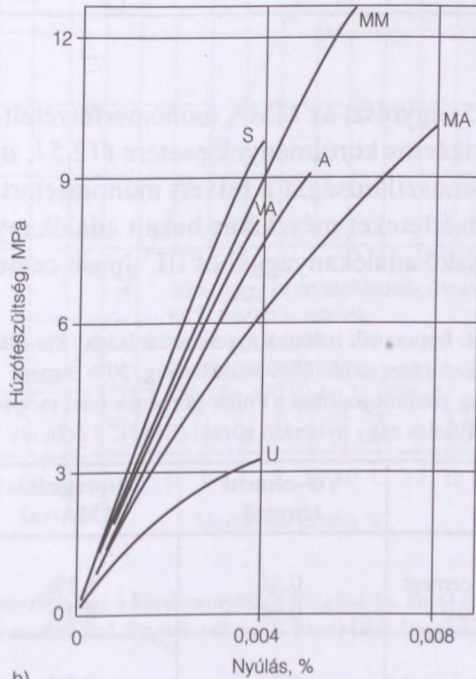
b)

12.49. ábra. Feszültség-összenyomódási görbék: a) cementkő; b) habarcs [Manning–Hope (1976)]





a)



b)

12.50. ábra. Feszültség-nyúlási görbék: a) cementkő; b) habarcs [Manning-Hope (1976)]

modulust, a görbe lineáris szakaszát, továbbá a törési alakváltozást. A 12.19. táblázat szerint az impregnálás mind a cement, mind a cementhabarcs rugalmassági modulusát növelte, kivéve a metakriláttal való telítést.

**12.19. táblázat.** Az impregnálás hatása a cementkő és a cementhabarcs rugalmassági modulusára  
[Manning-Hope (1975)]

Polimer	A cementpép rugalmassági modulusa GN m <sup>-2</sup>	A habarcs rugalmassági modulusa GN m <sup>-2</sup>
U	7,31	13,4
MM	14,2	25,6
S	15,4	25,4
VA	12,4	21,9
MA	7,79	12,9
A	10,0	20,0

Rio és Biagini (1975) egyrészt az MMA monomerfelvételt vizsgálták különböző tárolási és polimerizációs körülmények esetére (12.51. a) ábra), másrészt az impregnált beton nyomószilárdságát a felvett monomertartalom függvényében (12.51. b) ábra). A kísérleteket mészkő és bazalt adalékanyaggal is elvégezték (12.20. táblázat). Mészkő adalékanyaggal és III. típusú cementtel kisebb szilárd-

**12.20. táblázat.** Impregnált betonok nyomószilárdsága [Rio-Biagini (1975)]

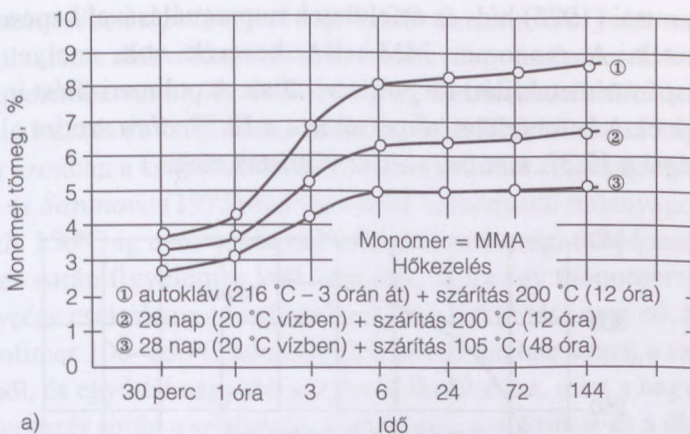
Betonösszetétel: 80% adalékanyag, 20% cement

Az adalékanyag szemmegoszlása a Fuller-görbének felel meg ( $d_{max} = 7$  mm)

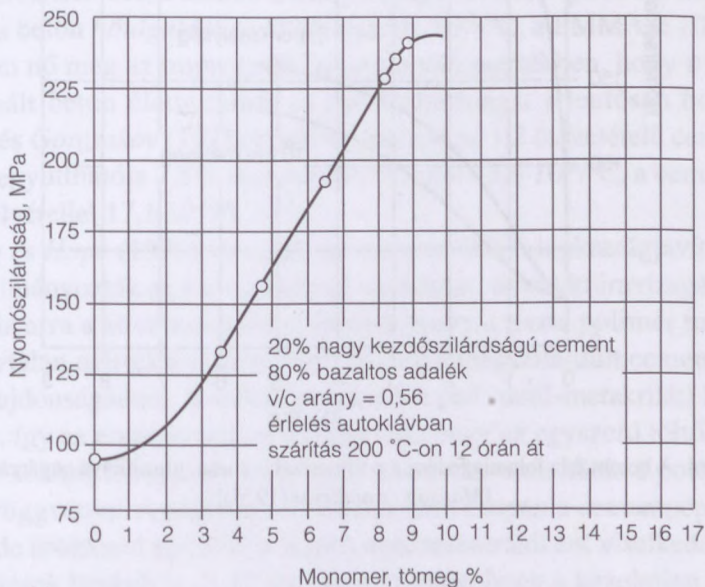
Érlelés nagy nyomású gőzzel (216 °C 3 órán át)

Minták	Víz-cement tényező	Impregnálás MMA-val	Nyomószilárdság, MPa
Bazaltos adalékanyag nagy kezdőszilárdságú cement portlandcement (III. típus)	0,54	8,3%	258
	0,54	8,2%	219
Mészkő adalékanyag nagy kezdőszilárdságú cement portlandcement (III. típus)	0,54	7,5%	170
	0,54	7,5%	139
Bazaltos adalékanyag nagy kezdőszilárdságú cement	0,65	9,3%	231
	0,56	8,4%	252
	0,45	6,1%	265
	0,35	5,2%	287





a)

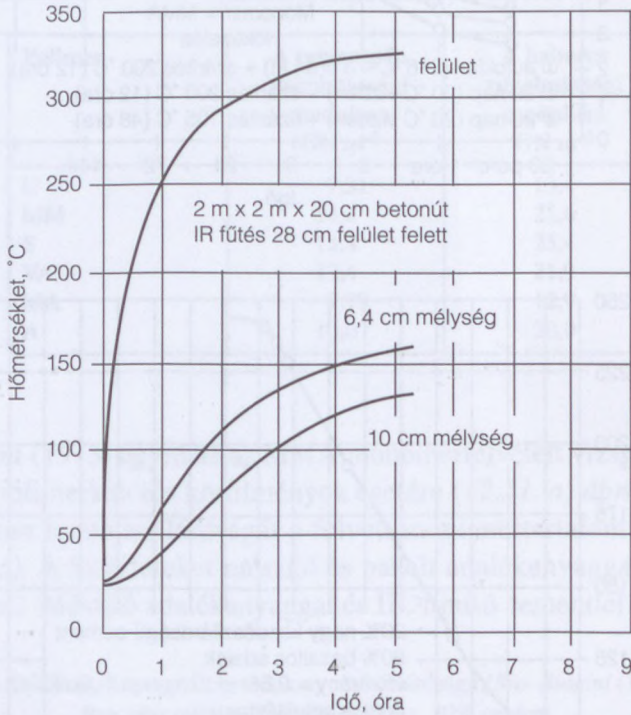


b)

**12.51. ábra.** Polimerfelvétel a körülményektől függően (a. ábra) és a nyomószilárdság a polimerfelvétel függvényében (b. ábra) [Rio Biagini (1976)]

ságot kaptak, mint bazalt adalékanyaggal és nagy kezdőszilárdságú cementtel. A szilárdság azonban igen nagy volt, és még a kb.  $\approx 90$  MPa szilárdságú telítetlen beton szilárdsága is közel háromszorosára nőtt a kb. 8% monomerfelvétel hatására, amit nagy nyomású telítéssel értek el. A rugalmassági modulus azonban 150 MPa nyomószilárdság esetén csak  $\approx 20$  GPa volt, míg az ütőszilárdság a négyszeresére nőtt.

Manson és mtsai (1975) híd- és útfelületek impregnálásával kapcsolatos kísérleteket végeztek. A monomer MMA-BA keverék volt, melyet TMPTMA (trimetilol-propán-trimetakrilát)-tal polimerizáltak. A polimerizálást infravörös sugárzással érték el. A betonfelület hőmérséklete a 12.52. ábra szerint alakult. A beton tulajdonságai a 12.21. táblázat szerint változtak meg.



12.52. ábra. A betontábla felmelegedése a polimerizálás során, ultraibolya sugárzás hatására [Manson és m.társai (1975)]

12.21. táblázat. Impregnált felületű betonút tulajdonságai (MPa) [Manson és mtsai (1975)]

Tulajdonság	Kontroll betonút	Impregnált betonút
Fagyás-olvadási dilatáció $\mu\text{m}$ (10 ciklusra)	1500–2500	10–40
Nyomószilárdság, MPa	21–29	59,5–84,0
Hasító-húzószilárdság, MPa	2,2–3,9	5,8–7,3
Kopási ellenállás, javulás %	–	55–90
Savállóság	gyenge	kiváló



*Kúszás tekintetében a polimerrel impregnált beton sokkal jobb, mint a cement-beton.* Az ellentétes alakváltozás nem számottevő, és az épületek tervezése során nem kell figyelembe venni. Az előfeszített szerkezetekben előfordulnak feszítési veszteségek a kúszás és zsugorodás hatására, az előfeszítés és az impregnálás közötti időben azonban a későbbi kúszási veszteségek már elhanyagolhatók.

*Nyikolov és Saronova (1975)* szerint a hőre keményedő műanyagokkal impregnált beton kb. 150°C-ig nem veszít szilárdsági és tartóssági tulajdonságaiból.

A tervezés során figyelembe kell vennünk, hogy egy monomerrel impregnált beton merevsége csak akkor nő valamelyest, ha a duktilitása nem nő, továbbá, hogy a legtöbb polimer 100–200°C hőmérsékleti tartományban veszít a szilárdságából, merevségéből, és egyúttal nagyobb a teljes alakváltozása, mint a hagyományos betoné. Ha a tervezés során a szilárdság, a merevség, a duktilitás és a tűzállóság alapvetően fontos szempontok, akkor a polimerrel való impregnálás nem előnyösebb, mint a szálerősítésű beton alkalmazása, jóllehet a kúszása igen kedvező.

Jóllehet a beton *hőtágulási együtthatója* kb.  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ , a PMMA-é  $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ , a telítés után nem nő meg az impregnált betoné olyan mértékben, hogy a növekmény az impregnált beton élettartamát és megbízhatóságát jelentősen befolyásolná. *Bazsenova és Gorcsakov (1975)* kísérletei szerint az 1:2 összetételű cementhabarcs hőtágulási együtthatója 7,5% monomerfelvétellel  $15,6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , a cementkéé 13% monomerfelvétellel  $17,1 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  volt.

*Manning és Hope (1975)* vizsgálta az impregnálás tulajdonságjavító hatásának okait. Tanulmányozták az ide vonatkozó irodalmat, és struktúravizsgálatot végeztek. Végül is arra a következtetésre jutottak, hogy a tiszta polimer tulajdonságai csak bizonytalan mértékben mutatkoznak meg a megszilárdult cementkőben lévő polimer tulajdonságaiban. A terhelés hatására a poli(metil-metakrilát) könnyen deformálódik, így az eredmények arra mutatnak, hogy az egyszerű töltőhatás összenyomáskor sokkal lényegesebb, mint húzáskor, és ez a hatás a polimer merevségének a függvénye. A polimer töltőhatása nem csupán a cementpép porozitását csökkenti, de csökkenti egyúttal a feszültségkoncentrációként viselkedő pórusok és mikrorepedések hatását is. A 12.49. ábra mutatja, hogy a kezeletlen cementkőre vonatkozó  $\sigma - \epsilon$  görbe kezdeti nem lineáris szakasza, amely megfelel a mikrorepedések terhelés alatti összenyomódásának, a polimer esetén az impregnálás következtében elmarad, kivéve a metil-akrilátot. Egyéb tényezők, mint például a cementpép pórusaiban lévő polimer tulajdonságai, kihatnak a cementkő alakváltozási tulajdonságaira, de nem feltétlenül ugyanolyan mértékben húzás és nyomás esetén.

A polimerrel impregnált beton tulajdonságait – az impregnálatlan betonhoz hasonlítva – a 12.22. táblázat szemlélteti.



12.22. táblázat. Polimerrel impregnált beton tulajdonságai (MPa)  
[Bazsenov és mtsai (1975)]

Tulajdonság	Mértékegység	Közönséges beton	MMA-val impregnált beton
Nyomószilárdság	MPa	20–50	100–200
Húzószilárdság	MPa	2–4	10–18
Hajlítószilárdság	MPa	3–6	12–28
Nyomási rugalmassági modulus	MPa·10 <sup>4</sup>	2,5–3,0	3,5–5,0
Vízelnyelés	%	4–10	1-nél kevesebb
Vízzároság	att (0,1 MPa)	1–3	gyakorlatilag vízzáró
Fagyállóság (USA adatai szerint)	ciklus	600	7000-nél több
Kopási hajlam	g	14	4
Szulfátállóság (300 nap)	tágulási, %	0,2	0
Savállóság (15% HCl, 85 nap)	tömegveszteség, %	10,4	3,64
Kúszás mértéke (160 nap, 1/3 $f_{c,pr}$ alatt)	cm <sup>2</sup> /kg·10 <sup>5</sup>	1–3	0,03

### 12.7.5. Az Építőanyagok Tanszék kísérletei

[Balázs–Kovács (1979, 1982); Palotás–Balázs (1980)]

A kapilláris pórusokkal összefüggő pórusrendszert *nyitott pórusrendszernek* (lát-szólágos porozitás) is nevezzük, és mértéke meghatározható a fokozatos vízbemárással meghatározott vízfelvétel által. Úgy véltük, hogy ezt és a telítetlen beton légpórusait lehet a legkönnyebben monomerrel kitölteni. Ezért az Építőanyagok Tanszéken kísérleteink során a pórustartalmat változtattuk [Balázs–Kovács (1979)].

A 12.23. táblázatban feltüntetett 8 féle betonból 7×7×25 cm méretű hasábokat készítettünk. A 8. jelű betonhoz 0,6‰ Biberol LP légpórusképzőt is adagoltunk. Az adalékanyag finomsági modulusa a 0,063 mm-es lyukbőségű szitával kezdődő

12.23. táblázat. A friss beton összetétele, tulajdonságai, a beton vízfelvétele szárítás előtt, a kiszáritott beton testsűrűsége

Jele	Friss beton testsűrűsége, kg/m <sup>3</sup>	Cement-tartalom, kg/m <sup>3</sup>	Víz-cement tényező	Glanville tömörödési szám	Kiszáritott beton testsűrűsége, kg/m <sup>3</sup>	Vízfelvétel fokozatos vízbemárással, m%
1.	2180	164	0,81	0,875	2025	5,75
2.	2290	218	0,66	0,85	2185	4,85
3.	2345	264	0,54	0,85	2220	4,62
4.	2390	312	0,56	0,84	2225	4,52
5.	2380	353	0,42	0,765	2235	3,94
6.	2380	400	0,38	0,75	2295	3,95
7.	2375	500	0,345	0,71	2270	3,77
8.	2410	358	0,42	0,835	2200	5,43



négyzetlyukú szita-, illetve rostasoron 5,6. Az adalékanyag 90%-a 8 mm-nél kisebb szemcseméretű volt. A próbatesteket 1 hétig mésztelített vízben, majd laboratóriumban tároltuk egészen az impregnálásig (kb. 28 napig).

Impregnálás előtt a vízfelvételt fokozatos vízbemerítéssel határoztuk meg. Az impregnáláshoz felhasznált próbatesteket 150°C hőmérsékleten 24 órán át szárítottuk, majd a kiszáritott betont az impregnálás kezdetéig zárt polietilénfólia-zsákban tároltuk. Telítéshez a fűzfői Nitrokémia Ipartelepek által gyártott metilmetakrilát monomert használtuk.

Mivel az irodalom szerint leggyakrabban a MMA monomert használják impregnálásra, mi is azzal kísérleteztünk.

A telítést háromféleképpen végeztük el.

Az 1. sorozatban 20–30 Hgmm (kb. 2700–4000 Pa) vákuumot létesítettünk, majd 30 percen át légköri nyomáson MMA–monomerben tároltuk a próbatesteket. Majd a monomerből kivéve letöröltük, tömegét megmértük, csapvízbe helyeztük, azt 80–90°C-ra felfűtöttük, és 3 órán át ezen a hőmérsékleten polimerizáltuk.

A második sorozatban ettől annyiban térünk el, hogy a polimerizálás előtt nem csapvízbe, hanem 90 °C-os vízbe helyeztük a próbatesteket. Ezáltal megakadályoztuk, hogy a telítetlen beton nagy légpórusaiból a monomer melegítés közben kihajtódjék.

A harmadik sorozatban nem volt vákuum, hanem a kiszáritott hasábokat 1 órán át – légköri nyomáson – monomerben itattuk, majd 80°C-os vízben polimerizáltuk.

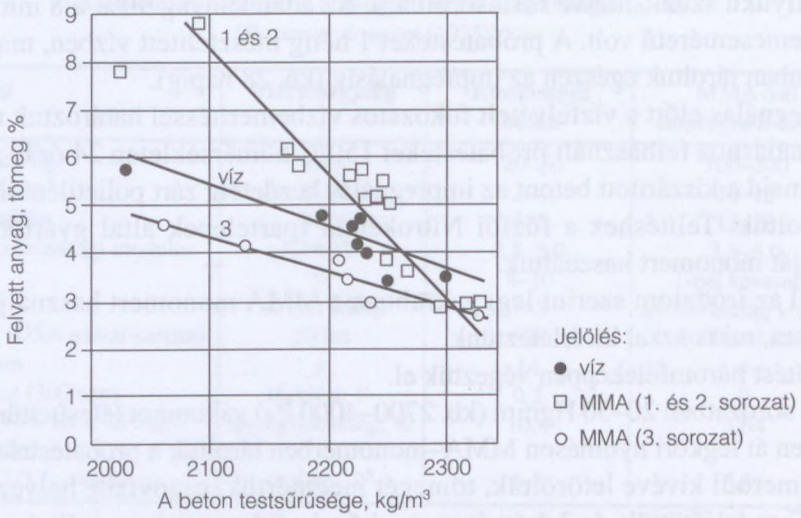
A felvett polimer és az eredeti beton testsűrűsége közötti összefüggést a 12.53. ábrán szemléltettük. Légköri nyomáson a monomerfelvétel hasonló tendenciájú volt, mint a vízfelvétel, de 24 óra alatt annál kevesebb volt. *A vákuumozás jelentősen segíti az impregnálást.* Megváltozott a monomerfelvételi görbe iránytangense is.

A hasábokon – harmadpontosan terhelve – először a hajlító-, majd a hasábok eltört darabjain a nyomószilárdságot határoztuk meg. A beton eredeti szilárdságát és az impregnálás utáni szilárdságát a 12.54. ábrán a vízfelvétel függvényében ábrázoltuk. Kb. 4,5% vízfelvételnél kaptunk szilárdsági maximumot.

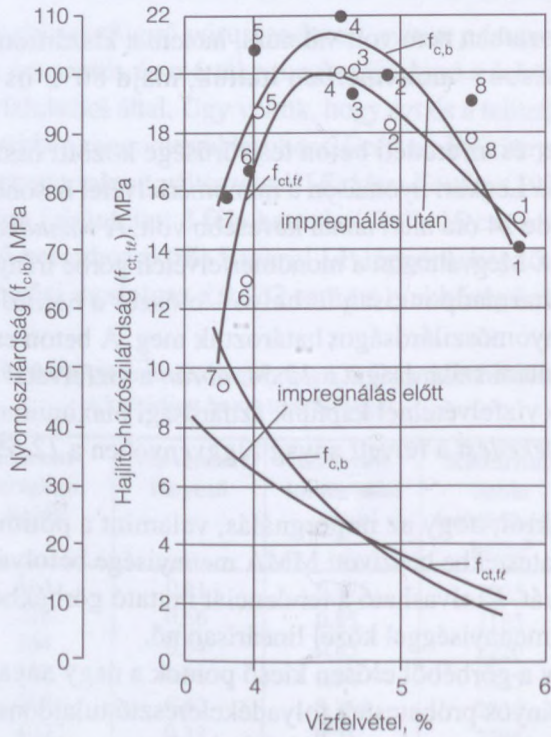
A *szilárdságnövekedést* a felvett anyag függvényében a 12.55. és a 12.56. ábra szemlélteti.

Látható az ábrákról, hogy az impregnálás, valamint a polimerizálás módjától függetlenül a próbatestekbe beszívott MMA mennyisége befolyásolja elsősorban a szilárdság alakulását. Kiolvasható a tendenciát mutató görbékből, hogy a szilárdság a felvett anyagmennyiséggel közel lineárisan nő.

Észlelhető, hogy a görbéből erősen kieső pontok a nagy anyagfelvételnél találhatók. Ezt a péphiányos próbatestek folyadékeleresztő tulajdonságával magyarázhatjuk. Az impregnált beton szilárdsága kialakulásában azonban az eredeti betontulajdonságok is szerepet játszanak. A 12.57. és a 12.58. ábrában az vizsgáltuk, hogy az adott szemmegoszlás esetén milyen eredeti testsűrűséggel kapunk maximális

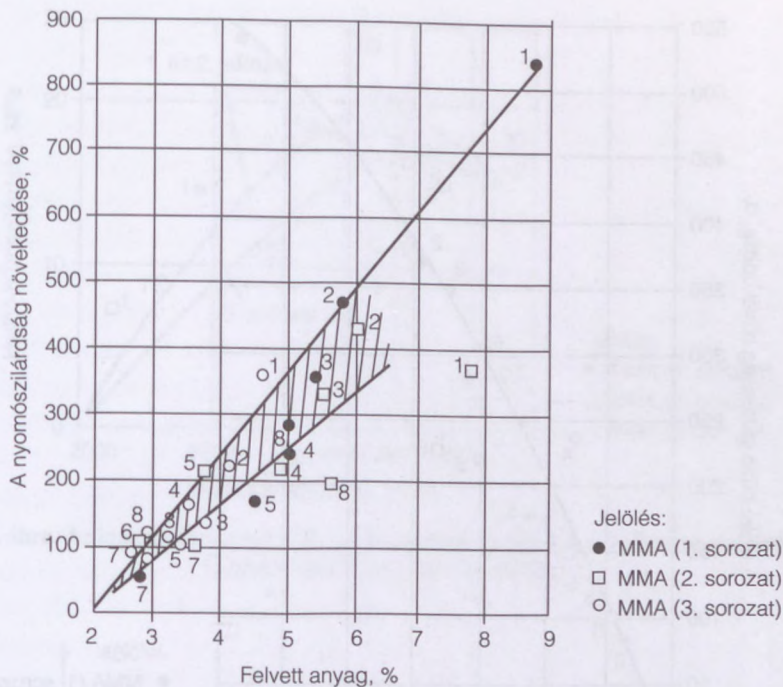


12.53. ábra. Polimerfelvétel a beton testsűrűsége függvényében [Balázs-Kovács (1979)]



12.54. ábra. MMA 1 sorozattal kapott szilárdságok a vízfelvétel függvényében [Balázs-Kovács (1979)]



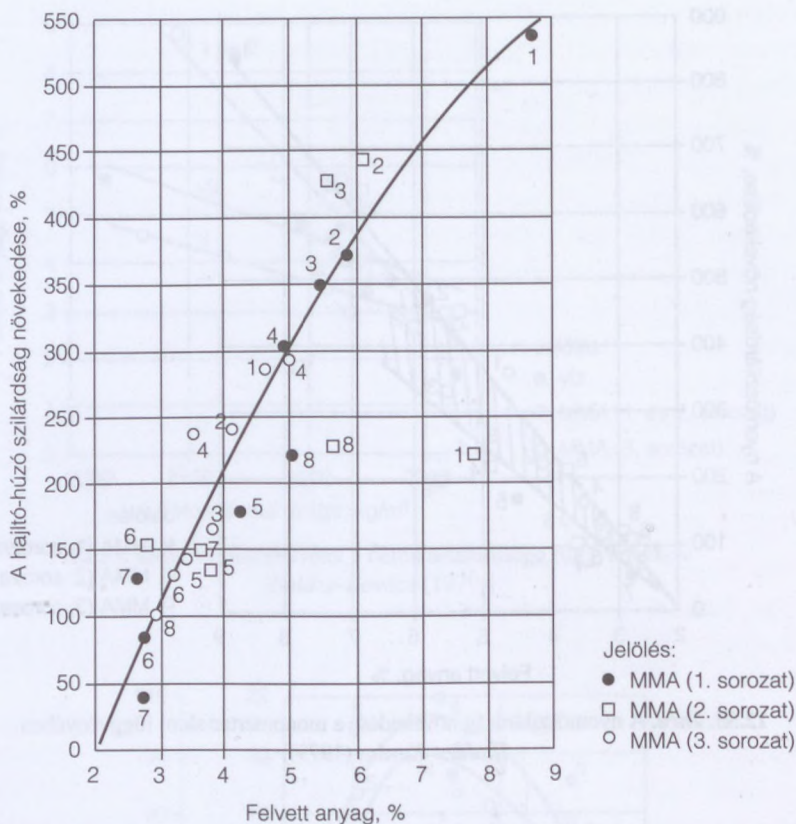


**12.55. ábra.** A nyomószilárdság növekedése a monomertartalom függvényében [Balázs-Kovács (1979)]

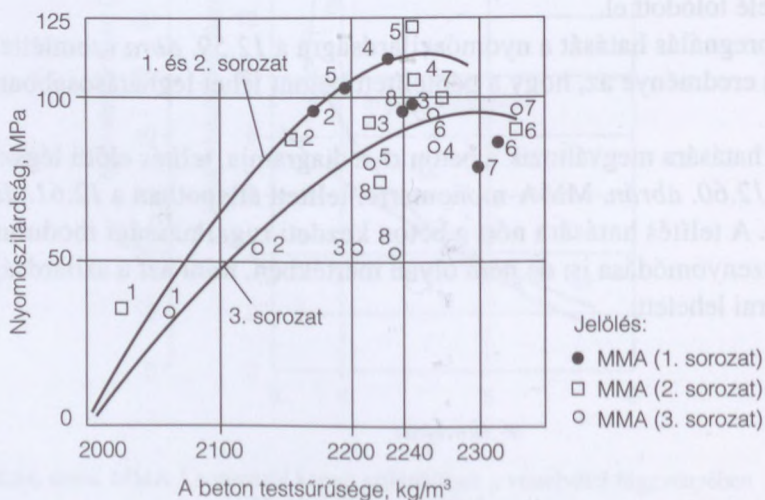
szilárdságnövekedést. Csak a szilárdságot véve alapul – adott esetben – 2240–2280 kg/m<sup>3</sup> esetén adódott optimum MMA vákuumimpregnálása során. Vákuumozás nélkül, itatással impregnált MMA-os próbatesteknél a maximum a nagyobb test-sűrűség felé tolódott el.

Az impregnálás hatását a nyomószilárdságra a 12.59. ábra szemlélteti. Kísérleteink új eredménye az, hogy a péptelített betont lehet leghatásosabban impregnálni.

Telítés hatására megváltozik a beton  $\sigma$ – $\varepsilon$  diagramja, telítés előtti légszáraz állapotban a 12.60. ábrán, MMA-monomerrel telített állapotban a 12.61. ábrán tüntettük fel. A telítés hatására nőtt a beton kezdeti rugalmassági modulusa, nőtt a törési összenyomódása is, de nem olyan mértékben, mint azt a szilárdságnövekedésből várni lehetett.

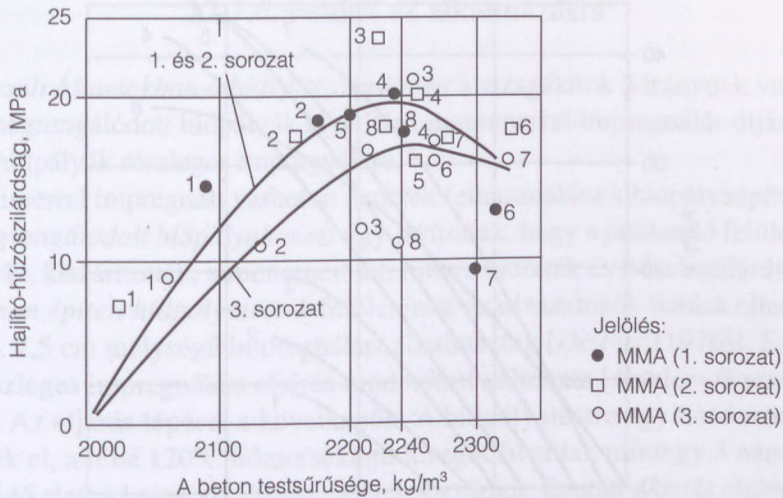


12.56. ábra. A hajlító-húzószilárdság növekedése a monomertartalom függvényében [Balázs-Kovács (1979)]

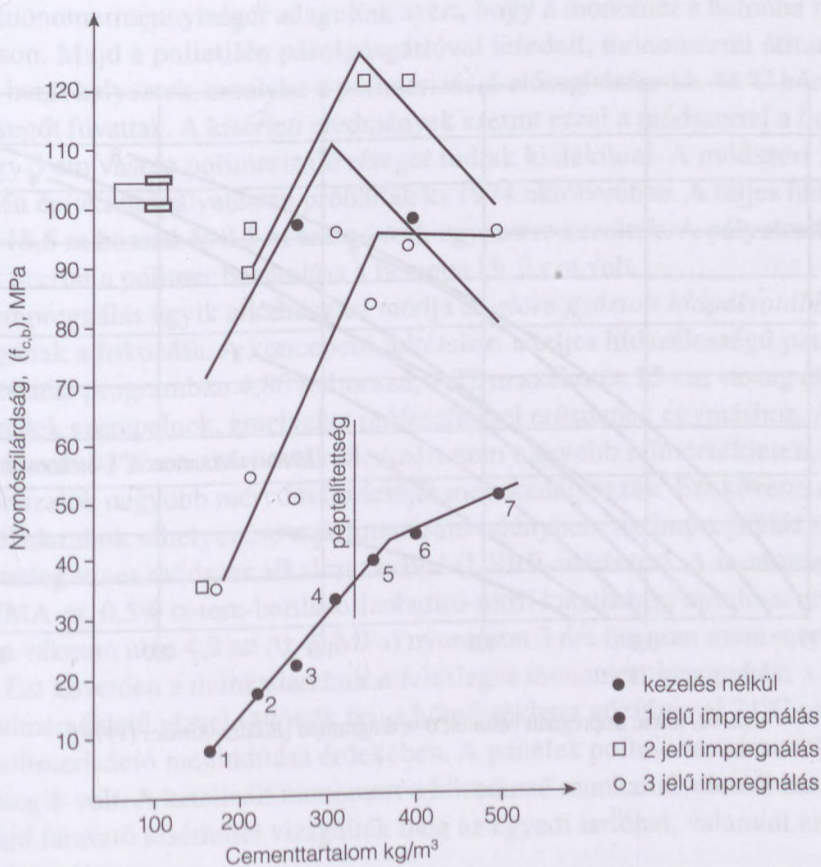


12.57. ábra. Az impregnált beton nyomószilárdsága az impregnálatlan beton testsűrűsége függvényében [Balázs-Kovács (1979)]

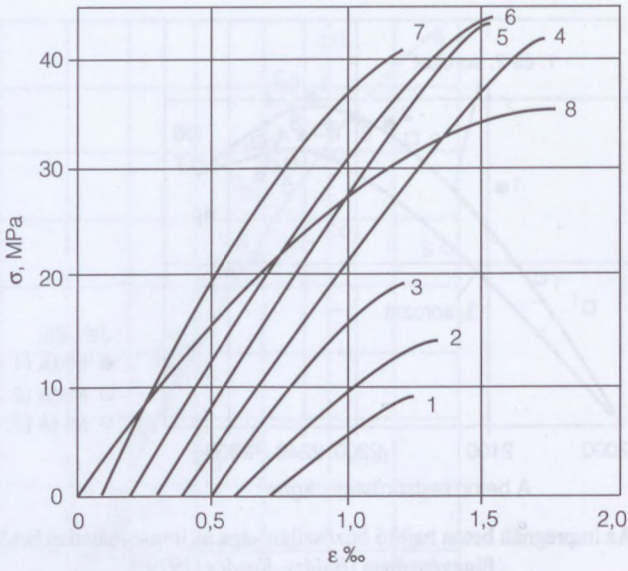




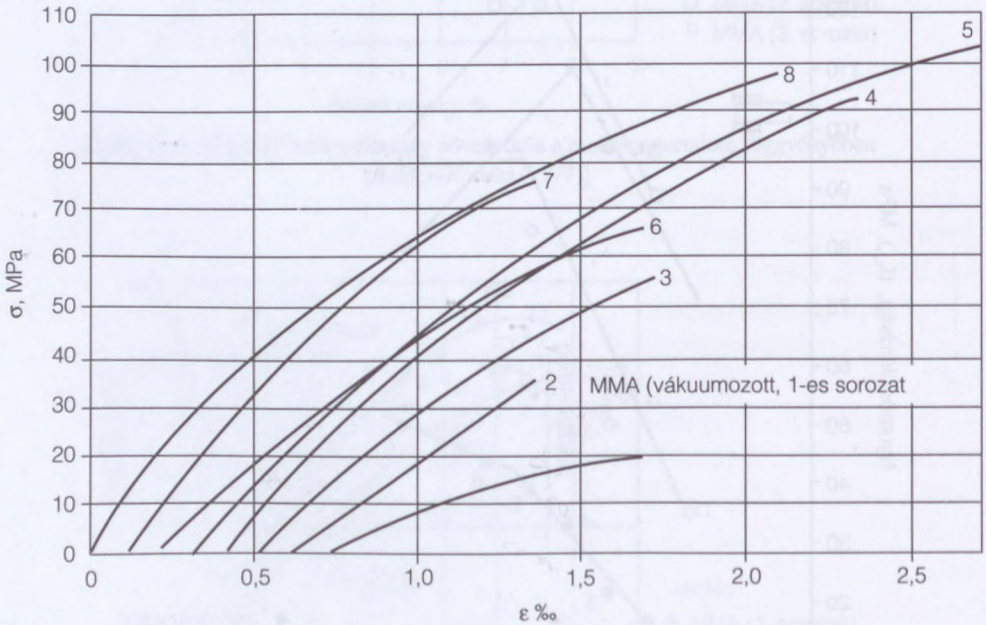
12.58. ábra. Az impregnált beton hajlító-húzószilárdsága az impregnálatlan beton testsűrűsége függvényében [Balázs-Kovács (1979)]



12.59. ábra. Az impregnálás hatása a beton nyomószilárdságára



12. 60. ábra. Légszár betonok  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramjai [Balázs-Kovács (1979)]



12. 61. ábra. Impregnált betonok  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramjai [Balázs-Kovács (1979)]



## 12.7.6. Példák az alkalmazásra

Az Egyesült Államokban a hídépítés területén a vizsgálatok 3 irányúak voltak:

- a megrongálódott hídpályák kijavítása monomerrel impregnálás útján,
- új hídpályák részleges impregnálása,
- polimerrel impregnált vasbeton panelek felhasználása a hídpályaépítésben.

A megrongálódott hídpályalemezt úgy javították, hogy a javítandó felületet megtisztították, kiszárították, a monomert a felületre öntötték és hővel szilárdították.

Újonnan épített hídpályatestek felületének az olvasztósók hatása elleni védelmére kb. 2,5 cm mélységű impregnálást alkalmaztak [De Puy (1976)]. Ez az eljárás a részleges impregnálási eljárás módosított változata [Fowler–Hauston–Paul (1973)]. Az eljárás lépései a következők: A hídpályatestre egy hordozható burát helyeztek el, amibe 120°C hőmérsékletű levegőt fúvattak mintegy 3 napon át. Ez alatt az idő alatt a beton kb. 20 cm mélyen kiszáradt. Ezután a burát eltávolították, és a lehűlés után 0,5 cm vastagságú homokréteget terítettek a hídpálya felületére, majd a homokot monomerrel telítették. A párolgás megakadályozására a monomert, illetve a homokot polietilén fóliával takarták le. Különböző időközökben újabb monomermennyiséget adagoltak azért, hogy a monomer a betonba is behatolhasson. Majd a polietilén párolgásgátlóval lefedett, monomerrel átítatott homokra burát helyeztek, amelybe a polimerizáció elősegítésére kb. 66°C hőmérsékletű levegőt fúvattak. A kísérleti eredmények szerint ezzel a módszerrel a betonban mintegy 5 cm vastag polimerizáló réteget tudtak kialakítani. A módszert Denver területén épített hídpályatesten próbálták ki 1974 októberében. A teljes hídpályát, amely 18,6 m hosszú és 8,5 m széles volt, egyszerre kezelték. A pályatestből vett minták szerint a polimer behatolása a betonba kb. 3 cm volt.

Az impregnálás egyik alkalmazási módja az előre gyártott hídpályatáblák időállóságának a fokozása. A koncepció feltételezi a teljes hídszélességű paneleket. A fejlesztési programban 4,88 m hosszú, 1,22 m széles és 15 cm vastag előfeszített panelek szerepelnek, amelyeket utófeszítéssel erősítenek egymáshoz. A paneleket először 93°C-on szárították ki. Azért nem nagyobb hőmérsékleten, hogy a feszítőhuzalok nagyobb mérvű relaxációját megakadályozzák. Ezt követte a hűtés, a munkadarabok elhelyezése a polimerizáló edényben, az impregnálás nyomás alatt, meleg vizes módszer alkalmazásával (USBR-módszer). A monomer rendszer MMA-ot, 0,5%  $\alpha$ -terc-butilazo-izobutiro-nitril katalizátort tartalmazott. A paneleken vákuum után 4,2 atm (0,42 MPa) nyomáson 3 óra hosszan monomerben áztatták. Ezt követően a munkadarabról a felesleges monomert leengedték, a tartályt 65°C hőmérsékletű vízzel töltötték fel, a hőmérsékletet gőzfűtéssel 71°C-ra növelték a polimerizáció megindítása érdekében. A panelek polimertartalma átlagosan 5,6 tömeg% volt. A katalizált monomert a következő munkaműveletnél használták fel. Majd fásasztó kísérlettel vizsgálták meg az egyedi tartókat, valamint az összekapcsolt tartókat.



A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a panelek megfeleltek a tervezési igényeknek. Az előzetes tanulmányok szerint ez a hídpálya-építési koncepció gazdaságos lehet, különös tekintettel a hosszú távú fenntartási költségek megtakarítására. Készítettek nagyobb kísérleti pályapanelek vizsgálatára vonatkozó terveket is.

Az USBR-ben és a NBL-ben [De Puy (1976)] (Brookhaven National Laboratory) *különböző csövekkel* végeztek kutatásokat. A csövek belső átmérője 30,5; 61 és 91,5 cm volt. A legnagyobb darabok 1,8 m hosszú, 91,5 cm belső átmérőjű, 10 cm falvastagságú csövek voltak. A csőszelvényeket a szokásos módszerekkel készítették vasalással és vasalás nélkül. A csőszelvények impregnálására az említett kutatóintézetekben került sor. Az él menti terhelések azt mutatták, hogy a polimerrel való impregnálás során a vasalatlan cső szilárdsága megkétszereződik, és így eléri a vasalt cső szilárdságát. A vasalt impregnált cső szilárdsága 36%-kal nőtt az impregnálás hatására. A víznyomás hatására kétszer olyan erősnek mutatkoztak a csövek, mint a vasalatlan csövek és 36–142%-kal voltak nagyobb szilárdságúak a vasalt csöveknél. További helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokat végeznek alagcsövekkel és szennyvízcsövekkel olyan helyeken, ahol a talajban és a felszíni vizekben igen nagy a szulfáttartalom.

1969-ben olyan impregnált betoncsöveket készítettek, amelyeket szulfáttartalmú talajban, illetve talajvízben helyeztek el. Az első esetben 7,5%-os, a második esetben 5,9%-os volt a szulfátkoncentráció. 1975-ig semmi károsodást nem figyeltek meg [Kukacka (1975), Dikeou (1975)].

San Diegóban, Kaliforniában 1970 óta vizsgálták a polimerrel impregnált betonból készített *szennyvízcsatorna-csőveket* [Dikeou és társai (1972)]. A vizsgálatokat a telep olyan részén végezték, ahol a hidrogénszulfid koncentráció nagy. Semmi károsodást nem figyeltek meg.

Az USA-ban kidolgoztak impregnált alagúttám- és bélésrendszert is. Egyrészt a faállványzatot akarták PIB vasbetonnal helyettesíteni, másrészt vizsgálatokat kezdtek 2,4 m átmérőjű alagút alátámasztási és belső burkolási rendszerének PIB-nal való helyettesítésére. Az első esetben 2,4 m hosszú betongerendákat és oszlopokat vizsgáltak, változtatva a vasalásukat. Az impregnálás 200%-kal növelte a gerendák teherbírását. A második esetben az alagútgűrű 7 szegmensből állt. A kísérlet, melynek során az impregnálást ugyanúgy végezték el, mint a hídpályalemezek esetében, azt bizonyította, hogy az impregnált rendszer a hagyományos betonrendszerrel összehasonlítva megnövekedett teherbírást mutat, a visszatöltéssel szemben 1,6-szor nagyobb az ellenálló képessége, mint az azonos szegmensvastagságú betoné, a csatlakozások megfelelően alakíthatók ki, az impregnálás nagyon jó kapcsolati szilárdságot ad. A szegmenselemek szilárdsága pedig 2,3-szor volt nagyobb, mint a kontroll mintáké.

Az USA-ban egy vontatásra szánt, legénység nélküli előfeszített beton óceánjáró tankhajó terveit készítették el [De Puy (1976)]. Az egyik tervváltozat szerint a polimerrel impregnált betont azért tartották alkalmasnak, mivel olyan előre gyár-



tott szegmensekből akarták felépíteni, amelyek az impregnálást lehetővé teszik. A polimerrel impregnált betonváltozat teljes terhelés esetén 1,2 m-rel csökkenti a merülést. Egy hozzávetőleges közgazdasági elemzés kimutatta, hogy a polimerrel impregnált betonhajó költségei kedvezők.

Folyami hidak alapozásához *előrefeszített* hengercölöpöket használnak. A polimerrel impregnált beton nagyobb szilárdsága és tartóssága lehetővé teszi a falvastagság csökkentését. Az eredeti cölöp 1,4 m átmérőjű és 13 cm falvastagságú. A tömegcsökkentés eredményeként kevesebb lenne a kezelési probléma, jobban ellenállna a fagyásnak, olvadásnak és a jég koptató hatásának.

*Bazsenov* és társai (1975) azzal a problémával, hogy a beton szulfát-, illetve fagyállóságát lényegesen megjavítsák, már régóta foglalkoztak. A beton pórusainak telítésére bitumenes és epoxi-keverékeket, különböző petrokémiai termékeket és más anyagokat használtak fel. Ezek a kísérletek legfeljebb egy 20–30%-os szilárdságnövekedést eredményeztek. Azt, hogy nem kaptak nagyobb eredményt, azzal lehet magyarázni, hogy a felhasznált gyantáknak igen nagy volt a kezdeti viszkozitása. A telítéshez azokat fel kellett melegíteni, és valamilyen vízben vagy oldószerben oldani. Azokkal az ott felhasznált módszerekkel nem sikerült a legkisebb pórusokat is telíteni, amelyekből pedig a legnagyobb mértékben függ az anyag szilárdsága és más tulajdonságai. A szilárdulás során ezen telítő vegyületek oldószerrel elpárologtak, és maguk után pórusokat hagytak.

A polimerrel impregnált betonnal kapcsolatos kezdeti kísérletek nem hozták meg a várt eredményt, mert a monomer a polimerizálás előtt kihajtódott a betonból.

A telítés minőségét nemcsak a polimertartalom határozza meg, hanem függ a polimernek a betonban való eloszlásától is. A folyékony monomer nem képes a nagy pórusokban teljesen megmaradni, ezért ezeken a helyeken üregek maradnak, a víz-záróság vizsgálatakor repedések és szivárgások keletkeznek. Ezért a jó minőségű impregnált betoncsövek előállításának egyik *előfeltétele a kis pórusú, egyenmű, tömör vázszerkezet* [*Babuskin* és társai (1975)].

*Japánban* [*Dikeou* (1975)] 1975-ben három gyárban állítottak elő előfeszített tartógerendákat, paneleket, ivóvíz- és szennyvíz-elvezető csöveket. Ilyeneket szándékoztak felhasználni korrózióálló acél helyettesítésére kénsavgyárban. Építettek PIB szivattyúalapot, csatornaelemeket, nagy feszültségű vezeték védelmére, víz alatti étterem ablakkereteit, fűtött úttestpaneleket (jobb hővezető, mint az aszfalt).

### 12.7.7. Biztonságtechnikai és tűzvédelmi szempontok

A biztonságtechnikai intézkedések betartása nagyon fontos. Ezeket egyrészt a gyártó és forgalmazó cégek adják meg, másrészt megtalálhatók az irodalomban [*De Puy* (1976)].

A legtöbb monomer visszataszító szagú, továbbá különböző mértékben illékony és mérgező. Az MMA monomer gyúlékony folyadék, amely közepesen tűz- és rob-



banásveszélyes, és csak igen kis mértékben mérgező. Az MMA-val kapcsolatos munkálatok biztonsági előírásai között szerepel a tűzforrások eltávolítása, a berendezések villamos földelése, a megfelelő szellőztetés és a légtér vegyszertartalmának ellenőrzése, a kezelőszemélyzet védőöltözettel való ellátása, vészöblítők és lefolyók létesítése, a véletlenül kiömlő monomer kezelésére szolgáló, a környezetvédelem szempontjából szükséges felszerelések. A berendezések készülhetnek rozsdamentes acélból, lágyacélból, üvegből vagy alumíniumból. A monomer nem érintkezhet rézzel, gumival vagy rozsdás felülettel, illetőleg bármely olyan anyaggal, amely a polimerizációt befolyásolhatja.

Az MMA-t általában inhibitorral szállítják, hogy megakadályozzák a kezelés és a tárolás során fellépő polimerizációt. Az inhibitor vagy hidrokinon (HQ), vagy hidrokinon-monometil-éter (MEHQ). Az inhibitor illanása idő előtti polimerizáció okozója lehet. Ha a polimerizáció nagy mennyiségű monomerben indul meg, az exoterm hőfejlődés igen nagy, amely gyorsítja a reakciót, s végül ellenőrizhetetlen lesz. Elég hő fejlődik ahhoz, hogy a monomer felforrjon, ennek következtében a tartály szétrepedhet, és tűz vagy robbanás következhet be. Az Interstate Commerce Commission javaslata szerint a monomer annyi inhibitorra kell hogy tartalmazzon, amely nem fogy el 30 napos 54°C hőmérsékleten való tárolás alatt. Az inhibitor hatékonysága az oxigén jelenlététől függ. A monomert ezért inert atmoszféra helyett száraz levegőben kell tárolni. Az inhibitor-tartalom idővel csökken, ezért koncentrációját rendszeresen ellenőrizni kell. A koncentráció ellenőrzésére például HQ esetében jodometriás, HQ és MEHQ esetében kolorimetriás és spektrofotometriás módszer használható, vagy a koncentráció az állandó hőmérsékletű fürdőben standard módon katalizált minták polimerizációs exoterm csúcsának eléréséhez szükséges idő megállapítása segítségével ellenőrizhető. Az inhibitor-tartalmat a szükségletnek megfelelően pótolni kell.

A katalizált monomer használata különös figyelmet igényel a kezelési és tárolási hőmérséklet szempontjából, továbbá rendszeresen ellenőrizni kell az inhibitor-tartalmat.

A katalizátor azon túl, hogy hatékony legyen, *legyen vegyszerekkel és szennyezőanyagokkal szemben semleges és ellenállóképes*. A tapasztalat szerint [De Puy (1976)] terc-butilazo-izobutiro-nitrillel katalizált monomer hűtve hosszabb ideig is stabil marad, ha az inhibitor- és az oxigéntartalom változatlan. A t-butilazo-vegyületekről az a vélemény, hogy nem hajlamosak indukált bomlásra. Az a tény, hogy a katalizált monomer tárolható, lehetővé teszi a monomernek impregnálásra való ismételt felhasználását.

Mivel az ultraibolya sugár erőteljesen megindítja a polimerizációt, ezért a monomert *védni kell a napsugárzástól és a fluoreszcens fénytől*.

Nagyüzemi méretű impregnálás esetén időnként szükségessé válhat a monomereknek mint hulladékoknak az eltávolítása. Ennek összhangban kell lennie a környezetvédelmi és biztonsági előírásokkal. Erre két lehetőség kínálkozik. az egyik



a megfelelő berendezésekben végrehajtott elégetés, a másik pedig polimerré átalakítva hulladékként való eltávolítás.

A polimertartalmú betonok tűzállósága vitatott probléma. A vizsgálatok szerint a polimerrel impregnált betonok táplálják az égést, és égnek a láng eltávolítása után is. Legnagyobb részük igen erősen füstöl és kellemetlen szagú. A végzett vizsgálatok szerint az anyag éghetősége kevésbé fontos, mint a tűz hatására fellépő szilárdságcsökkenés. A polimerbetonok a tűzben teljesen tönkremennek, míg a polimerrel impregnált betonok a szilárdságukból sokat veszítenek. Emiatt a polimert tartalmazó betonok stabilitása és biztonsága veszély forrása lehet. Összehasonlítva a cementbetonokkal és a szálerősítésű betonokkal, megállapíthatjuk, hogy a legtöbb polimer tönkremenetele a hő hatására már olyan hőmérsékleten bekövetkezik, amely a tűz hőmérsékleténél lényegesen kisebb, ezáltal az alkalmazási terület leszűkül, és a tűzveszélyes szerkezetekhez való használatukat további vizsgálatoknak kell megelőzniük.

Az alagúttám- és bélésrendszer kutatásával foglalkozó program [De Puy (1976)] magába foglalta a hőmérséklet hatásának a vizsgálatát is. Kimutatták, hogy az MMA-val impregnált beton 260°C hőmérsékleten veszít ugyan szilárdságából, de lehűléskor visszanyeri azt. A polimer gyúlékonysága igen kicsi, minimális füst képződik, az égéstermékek nem jelentenek komoly veszélyt az egészségre. Az alagutakban keletkező tüzek következtében kialakuló nem stacionárius hőmérsékleti gradiens a bélésben a környező talaj hűtőhatása miatt hirtelen csökken. Kivételes alagúttűz esetén a bélés maximális hőmérsékletét 349°C-nak számították.

### 12.7.8. Összefoglalás

A polimernek a cementkő, illetve cementhabarcs tulajdonságaira gyakorolt hatása elsősorban a cementpép-fázisban okozott hatások következménye, és nem a pépadalékanyag határfelületének a megváltozásáé. A polimer megnöveli a cementkő egységnyi térfogatában lévő szilárd anyag mennyiségét, és egyidejűleg csökkenti a pórusok és mikropedések feszültségkoncentráló hatását. Valószínűleg a pórusokban lévő polimer tulajdonsága a legfontosabb az egyes polimerek hatékonysága szempontjából. Ezek a tulajdonságok azonban nem minden esetben tükrözik vissza a tiszta állapotban tapasztalható tulajdonságokat, és attól is függenek, hogy a polimerizálást milyen módszerrel érjük el. A polimer szerkezetének a vizsgálatára az infravörös spektroszkópiát, a telítés teljességének és minőségének a vizsgálatára a lumineszcenciás defektoszkópot tartják a legalkalmasabbnak [Bazsenov és társai (1975)]

A polimerrel impregnált beton olyan új szerkezeti anyag, amely homogén, rendkívül rugalmas, vízzáró, ennél fogva nagymértékben ellenáll a külső és belső hatásoknak, továbbá nagy a szilárdsága, viszonylagosan nagy a nyújthatósága és kicsi



a kúszása. Tehát elsősorban olyan helyeken alkalmazható, ahol ezek az előnyös tulajdonságok egyben követelmények. Legfontosabb jellegzetessége az, hogy a polimer a beton pórusait lezárja, ennek következtében a betont a fagyással, az olvadással, a vegyi hatásokkal, a sók és vegyszerek behatolásával, a koptatással szemben igen nagy ellenálló képességűvé alakítja át. Ezáltal lehetővé válik, hogy új és meglévő betonok rongálódás elleni védelmét hídpályákon, magas vezetősű utakon, járdákon, sav- és lúgálló ipari padozatokon, sótelenítő berendezések medencéiben, betoncsövekben, oszlopokon és vízi védművekben polimerizációval oldjuk meg. Új előnyt jelent az, hogy a meglévő, megrongálódott betont tartósan meg lehet védeni olyan helyen, ahol a karbantartás vagy új szerkezetek létesítése a meghibásodás után a költségek miatt lehetetlen. Előnyös olyan helyen is, ahol rendkívül hosszú élettartamú betonra van szükség.

Az impregnálás különös előnye az, hogy csökkennek a karbantartási költségek, mivel a pórusok lezárása és a nagy szilárdság miatt csökken a beton repedezettsége, rongálódása.

A polimerrel való impregnálás megdrágítja a készítményeket, és a nagyobb szilárdság eléréséhez több polimerre van szükség. Ezek a polimerek legalább 2–3-szor drágábbak a kiinduló betonnál. Az összehasonlító számítások azonban azt mutatják, hogy bizonyos termékekhez és szerkezetekhez mégis gazdaságosan használhatjuk fel az impregnált betont. Itt figyelemmel kell lennünk arra, hogy az impregnált betont tartalmazó szerkezetek élettartama megnő, ami mind műszaki, mint gazdaságossági szempontból fontos mutató.

Amerikai kísérletek szerint [Schorn (1976)], ha cementbeton elemeket polimerrel impregnált betonná alakítanak át, akkor a költségek mintegy megkétszereződnek. Ez elsősorban a berendezéssel és az előállítási folyamattal magyarázható. A nagy költségek csak akkor térülnek meg, ha az így előállított betonnak nemcsak egy tulajdonságát, például a nyomószilárdságát hasznosítjuk, hanem több tulajdonságát is, például korrózióállóságát, tömörségét stb. A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy a polimerrel impregnált beton alkalmazása elsősorban a csupán speciális igényeket kielégítő kisméretű előre gyártott elemek készítése során előnyös, ilyenek például az útépitési szegélykövek, ahol az olvasztósók miatt igen nagy szilárdságra van szükség. A gazdaságosság fokozása növelhető a nem teljes, hanem a részleges telítés által. Például az előre gyártott paneleket, tübbingeket, tartályokat nem teljes keresztmetszetükben, hanem csak felületükön telítik.

## 12.8. Az autoklávolt beton

Az 1950-es években, az Építéstudományi Intézetben és a II. sz. Hídépítéstani Tanszéken folytak autoklávóvási kísérletek. A továbbiakban a tanszéki kísérletek eredményeit foglalom össze.



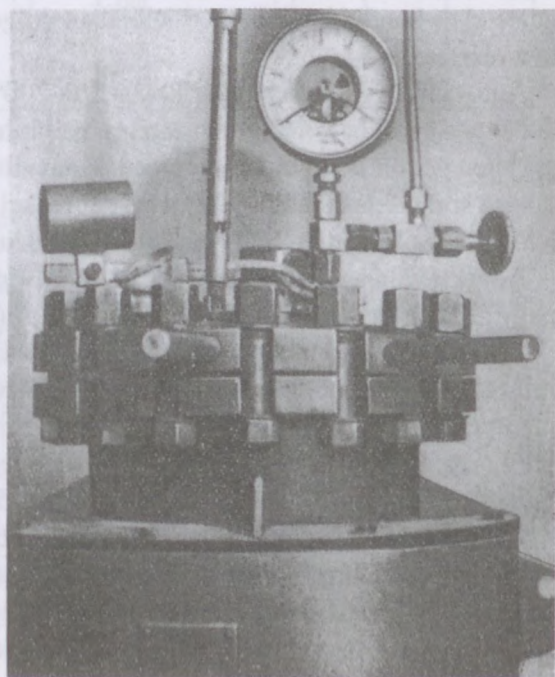
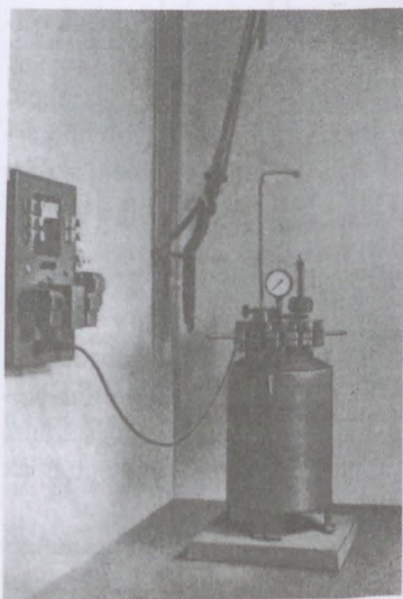
Első lépésben tisztáztuk az autokláválás munkakörülményét [Adonyi–Balázs–Kilián (1953)]

Ebben a munkában a gőzölés előtti pihentetés, a vasforma, a felfűtés és hűtés sebességének a hatását vizsgáltuk. A vizsgálatokhoz cementdús habarcstesteket készítettünk (60% cement+ 40% homok), annak a tapasztalatnak alapján, hogy ilyen testeken a munkafeltételek cementre jellemző hatása, illetőleg az e hatások közötti összefüggések jobban tanulmányozhatók, mint viszonylag kis cementadagolású betontesteken.

A kísérletekhez 50 literes autoklávot alkalmaztunk (12.2. fénykép). Az autoklávot villamos árammal fűtöttük. A hőmérsékletet nyomásméréssel, termoelemmel és higanyos hőmérővel ellenőriztük. A termoelem a hőmérséklet pontos tartását is lehetővé tette. Az autoklávot szükség esetén két óra alatt is fel tudtuk fűteni 170–200°C-ra. Ez lehetővé tette az optimális felfűtési idő tanulmányozását. A próbatestekhez Duna-homokot használtunk.

A kísérletekhez felhasznált cementek

- tatabányai 600-as portlandcement,
- alit cement (700-as),
- béalápátfalvai 500-as kohósalak-portlandcement (klinker 76%, kohósalak 15%, puzzolán 5%, gipszkő 4%).



12.2. fénykép. Az autokláv



A kísérletekhez a felsorolt háromféle cementtel 7,07 cm élhosszúságú kockákat készítettünk. Egyenletes volt a felfűtés és a lehűtés. A gőzölés hőmérséklete 176°C, a gőzölési idő 8 óra volt. Vizsgáltuk a gőzölés előtti pihentetés és az autokláv felfűtési, illetőleg lehűtési idő hatását, valamint a kettő összefüggését. Vizsgáltuk továbbá azt a kérdést, hogy vasformában vagy anélkül célszerű-e gőzölni a testeket.

A kísérletek azt bizonyítják, hogy tiszta portlandcement és alitcement esetén vasformában gőzölve a testeket, nincs szükség gőzölés előtti pihentetésre. Forma nélkül gőzölt testeknél viszont ahhoz, hogy azonos szilárdságot kapjunk, mint a formában gőzölt testekkel, legalább 6 óráig tartó pihentetésre van szükség.

Bélapátfalvai 500-as kohósalak-portlandcementnél van optimális pihentetési idő. Ettől eltérő pihentetés esetén nyomás alatti gőzölésből eredő szilárdságtöbbletet csak erősen csökkent mértékben lehet elérni. Heterogén cementek gőzölésekor (ha e célra felhasználásuk egyáltalán indokolt) tehát a munkafeltételek igen szigorú betartása elengedhetetlenül szükséges. A felfűtési idő optimuma 7,07 cm élhosszúságú kockák gőzölésekor 4–5 óra.

A hűtési idő növelése szilárdságnövekedést eredményez.

A felfűtési idő csökkentésével, ha a pihentetési időt kielégítő módon növeljük, az elérhető szilárdság nem csökken, ami azt jelenti, hogy a pihentetési idő és a felfűtési idő együttes változtatásával rugalmasan ki lehet elégíteni az üzemszervezés által támasztott változó követelményeket. A többi kísérletet már *Kilián József* végezte el és kandidátusi disszertációjában dolgozta fel. A továbbiakban ebből vettünk részleteket.

Autokláválás a beton szilárdítása 176–200°C hőmérsékletű telített gőztérben. Az autoklávált beton a természetesen szilárduló, vagy 100°C-nál kisebb hőmérsékleten gőzölt betonokkal szembeni előnyeit azáltal nyeri, hogy a cement szilárdulása során felszabaduló  $\text{Ca(OH)}_2$ -dal reakcióba lép a betonba adagolt – megfelelő fajlagos felületű –  $\text{SiO}_2$ -dús anyag (például kvarcliszt).

Autokláválással is sikerült nagy szilárdságú betonokat készíteni. Sőt az igen nagy szilárdságú betonok előállítása is lehetséges ezzel a technológiával.

*Kilián* (1963) kimutatta, hogy az autokláválás során több  $\text{Ca(OH)}_2$  szabadul fel, mint a természetes szilárdulás esetén. 6 órás autokláválás alatt a hazai portlandcementpépből 14–16%  $\text{Ca(OH)}_2$  szabadul fel, ami kb. 75%-os hidratációmértéknek felel meg. Ugyanakkor a kb. 20°C hőmérsékleten szilárduló, azonos cementpépek hidratációmértéke 2 hónapos korban csak kb. 50%-os volt.

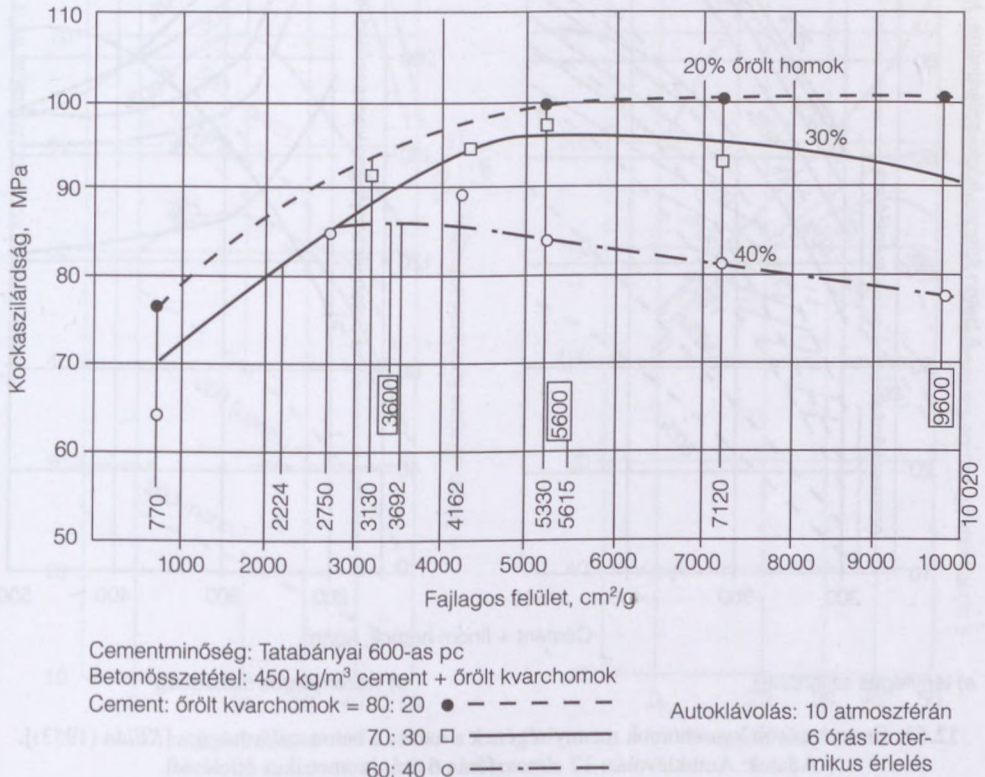
Bár a nagyobb hidratációmértékhez nagyobb szilárdságnak is kellett volna tartoznia, az autoklávált cementpép szilárdsága csak kétharmada volt a természetesen szilárdulóénak. Ezt a jelenséget *Kilián* azzal magyarázta, hogy az autokláválás során nagyobb méretű  $\text{Ca(OH)}_2$  kristályok keletkeznek, mint természetes szilárdulásuk során és ezek rontják a cementkő szövetszerkezetét.

A kutatók általában feltételezik, hogy a nagy  $\text{SiO}_2$  tartalmú autoklávált betonban a cement hidratációja az elsődleges folyamat, melyet a mészben gazdag CSH-gél



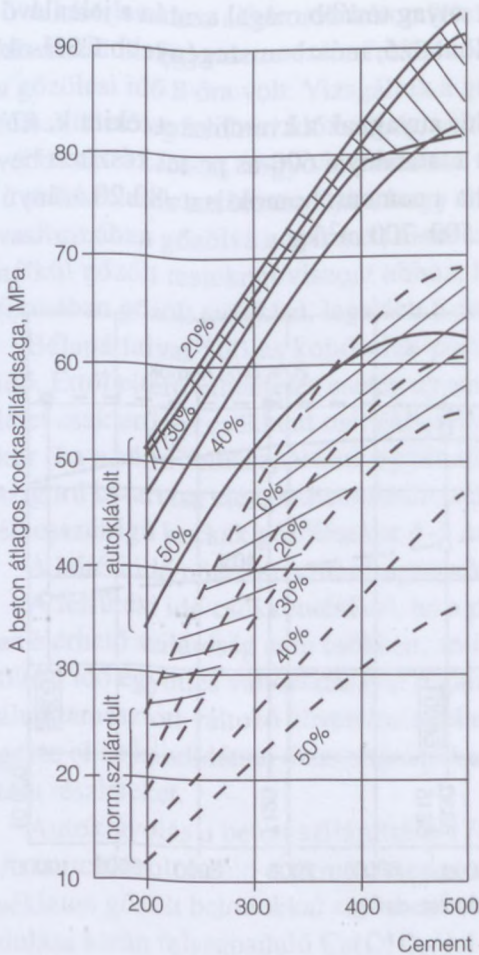
és  $\text{Ca(OH)}_2$  keletkezése jellemez. Mindkét anyag tovább reagál azután a jelenlévő  $\text{SiO}_2$ -dal és  $\text{Ca}:\text{SiO}_2$  aránytól függően különböző, mészben szegényebb CSH-ok keletkeznek.

Az autoklávóláshoz legfontosabb kovadús anyagnak a kvarclisztet tekintik. *Kilián* (1953) kísérletei (12.62. ábra) szerint a tatabányai 600-as pc-tel készített beton szilárdsága akkor volt a legnagyobb, ha a cement: homokliszt=80:20 arányú volt. A kvarcliszt célszerű fajlagos felülete 500–700  $\text{m}^2/\text{kg}$ .

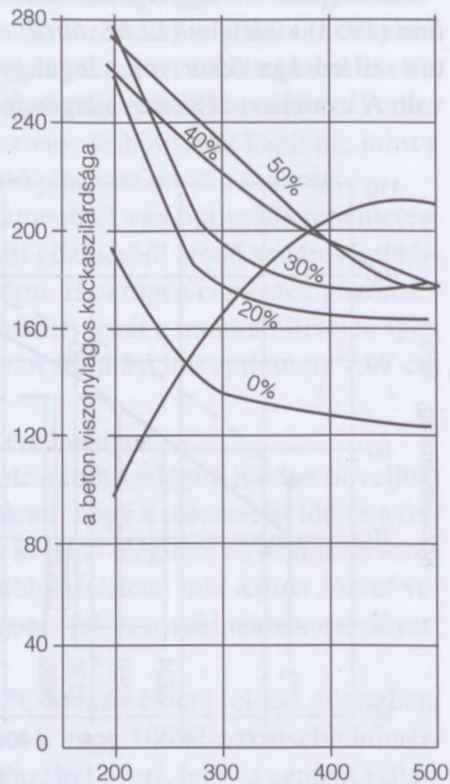


12.62. ábra. A kvarchomok őrlésfinomságának hatása a beton átlagos nyomószilárdságára [Kilián (1953)]

Az autoklávolt betonban a cementet és a kvarclisztet együtt kell kötőanyagként tekinteni. *Kilián* tatabányai 600 pc-tel különböző kötőanyag-tartalommal a 12.63. és 12.64. ábrán bemutatott szilárdságokat érte el. Az ábrákon mind a kötőanyag-tartalom, mind az abban lévő kvarcliszt mennyiségének hatása a szilárdságra jól látható. A kvarcliszt nélküli természetesen szilárduló betont érdemes összehasonlítani a kvarclisztet tartalmazó autoklávolt betonnal. A beton szilárdsága lényegesen függ a cement fajtájától. A cement  $\text{MgO}$ -tartalma ne legyen 3%-nál, szabad  $\text{CaO}$ -tartalma



a) tényleges szilárdság



b) viszonylagos szilárdság

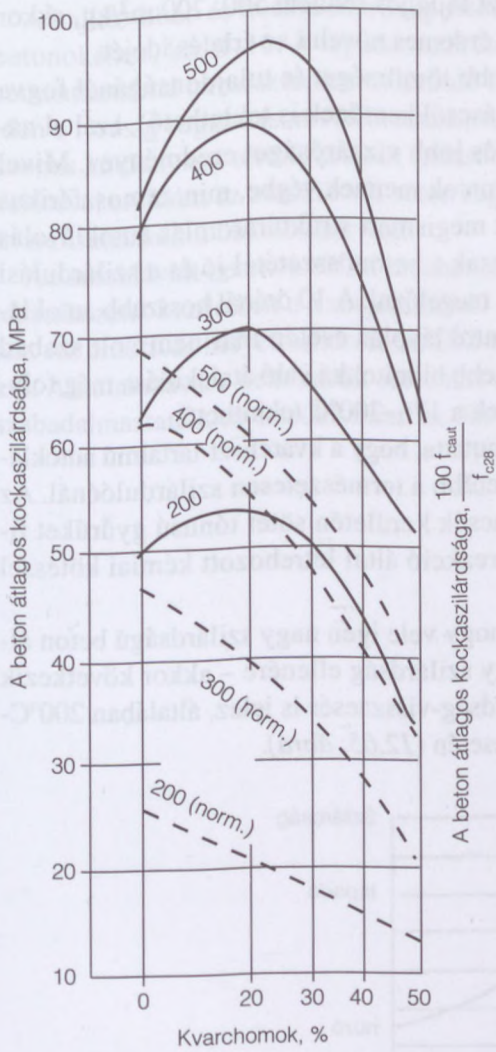
**12.63. ábra.** Az őrölt kvarchomok mennyiségének a hatása a beton szilárdságára [Kilián (1953)].

Adatok: Autokláválás: 12 atmoszférán 6 órás izometrikus érleléssel.

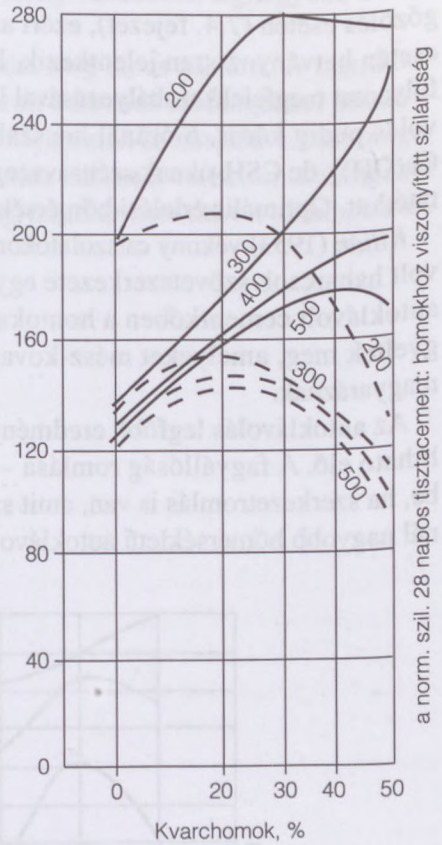
Cementminőség: Tatabányai 600-as pc. Cement+őrölt kvarchomok adagolás 200–500 kg/m<sup>3</sup>, ezen belül az őrölt homok 0–20–30–40–50% (lásd a diagramokra írt számok). Az őrölt kvarchomok fajlagos felülete: 5231 cm<sup>2</sup>/g. A természetesen szilárduló betont 28 napos korban vizsgálták.

1%-nál több. Legcélszerűbb fajlagos felület 350–400 m<sup>2</sup>/kg. A vízigényt a cement+homoklisztre kell vonatkoztatni, de ez csak 1–2%-kal nagyobb, ha a homokliszt fajlagos felülete kb. 500 m<sup>2</sup>/kg. Az adalékanyagra ugyanazok a szabályok vonatkoznak, mint a természetesen szilárduló betonokra. Kvarc adalékanyag esetén az adalékanyag szerepe a mész-kovászav reakcióban elhanyagolható. Agyag-iszap-szennyeződésre az autoklávolt beton érzéketlenebb a természetesen szilárdulónál. Valószínű, hogy az agyagásványok is részt vesznek a reakcióban. Az izotermikus





a) Tényleges szilárdság



b) Viszonylagos szilárdság

a norm. szil. 28 napos tiszta cement: homokhoz viszonyított szilárdság

**12.64. ábra.** A kötőanyag őrlött kvarchomok tartalmának a hatása a beton tényleges és viszonylagos szilárdságára [a szám a kötőanyagot (kvarcliszt, cement) jelenti], [Kilián (1953)].

Adatok: Autokláválás: 12 atmoszférán 6 órás izometrikus érleléssel.

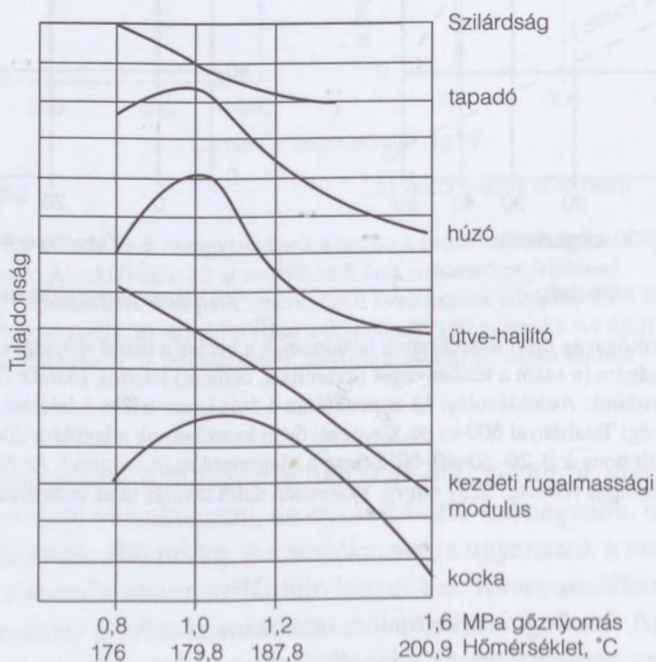
Cementminőség: Tatabányai 600-as pc. Cement+őrlött kvarchomok adagolása 200–500 kg/m<sup>3</sup>, ezen belül az őrlött homok 0–20–30–40–50% (lásd a diagramokra írt számok). Az őrlött kvarchomok fajlagos felülete: 5231 cm<sup>2</sup>/g. Közvetlen autokláválás után vizsgálva.

érlelés optimális tartama, ha a homokliszt fajlagos felülete 500–700 m<sup>2</sup>/kg, akkor 4 óra. Durvább homoklisztet alkalmazva érdemes növelni az érlelés idejét.

A nagyobb mértékű hidratáció nagyobb tömörséget (e tulajdonságánál fogva nemcsak a tapadásnövelőnek, de porozitáscsökkentőnek is tekinthető), ezáltal nagyobb szilárdságot, kisebb vízfelvételt és jobb vízzáróságot eredményez. Mivel autokláválás során hasonló fizikai folyamatok mennek végbe, mint atmoszférikus gőzölés esetén (7.4. fejezet), ezért az ott megismert struktúraromlás autokláválás esetén hatványozottan jelentkezik. Ezt csak a betonösszetétel jó és a szilárdulási folyamat megfelelő szabályozásával lehet megelőzni. A 10 óránál hosszabb autokláválás pedig káros. 6 óránál hosszabb autokláválás esetén már nem volt szabad Ca(OH)<sub>2</sub>, de CSH-oknak szénsavszegényebb hidrátokká való átalakulása még folytatódott. Optimális érlelési hőmérsékletnek a 176–200°C tekinthető.

Kilián (1953) vékony csiszolatokon kimutatta, hogy a kvarcliszt-tartalmú autoklávolt habarcsok szövetszerkezete egyöntetűbb a természetesen szilárdulóénál. Az autoklávolt cementkőben a homokszemcsék kerületén sötét tónusú gyűrűket figyeltek meg, amelyeket mészkovav reakció által létrehozott kémiai kötással magyaráznak.

Az autokláválás legfőbb eredménye, hogy vele igen nagy szilárdságú beton állítható elő. A fagyállóság romlása – nagy szilárdság ellenére – akkor következik be, ha szerkezetromlás is van, amit szilárdság-visszaesés is jelez, általában 200°C-nál nagyobb hőmérsékletű autokláválás esetén (12.65. ábra).



12.65. ábra. A betontulajdonságok változásának jellege az autokláválási gőznyomás függvényében [Kilián (1953)]



A hajlító-húzó és kockaszilárdság viszonya hasonló a természetesen szilárduló betonokéhoz, kb. 0–10. A tapadószilárdság 40–60%-kal kisebb, mint az azonos cementtartalmú természetesen szilárduló betonoké. Az autoklávolt betonok közelítően a törésig rugalmasan viselkednek, rugalmassági modulusok kisebb, mint az azonos kötőanyagú természetesen szilárduló betonoké. Az izotermikus érlelés növelésével csökken az autoklávolt beton rugalmassági modulusa, legnagyobb a 20% kvarclisztartalmú betonoknak volt.

Az autoklávolt betonok törési mechanizmusára még nincs adatunk. A metró tartószerkezetét kezdetben a Szovjetunióból vásárolt öntöttvas tübbingekkel készítették. Az öntöttvas helyettesítésére az ÉTI-ben kidolgozták az autoklávolt tübbingeket. Alkalmazására nem került sor, mert az ahhoz használt vasbeton tübbingeket szabadalmaztatták és olcsóbb mind az öntöttvas, mind az autoklávolt tübbingeknél.

# 13. A beton húzószilárdsága

[Balázs (1974)]

## 13.1. Bevezetés

1960–1990 között szerző egyik fő kutatási területe volt.

E fejezetben a beton húzószilárdságával foglalkozó kísérleteinket ismertettük. A felhasználási terület, amelyet a kísérletek átfogtak: útbeton, vízepítési beton, ipari betonpadozat, előre gyártott beton- és vasbeton szerkezetek.

A beton húzószilárdságát befolyásoló tényezők közül vizsgáltuk a következőket: cementfajta, cementtartalom, a cement őrlési finomsága, a beton természetes szilárdulása és gőzérlelése, a homokfajta és homoktartalom, a durva adalékanyag fajtája, legnagyobb szemnagysága, szemmegoszlása, a víz-cement tényező és a betonkonzisztencia.

Az elsődlegesen vizsgált betontulajdonság a beton húzószilárdsága volt, nevezetesen: a tiszta húzószilárdság, hajlító-húzó szilárdság, henger-hasító-húzó szilárdság, illetve hasábhasító-húzó szilárdság. Minden esetben vizsgáltuk a beton nyomószilárdságát is, de ennek csak egy részét ismertettük.

Jelen tanulmányban csak saját kísérleteink leírását és eredményét közöljük.

A próbatestek alakjának, terhelésüknek és a szilárdságuk számításának módját a 12.17. ábra szemlélteti. A próbatestek méretei eltérőek voltak, ezért azt fejezetként megadjuk.

## 13.2. A cementfajta hatása a beton húzószilárdságára

A kutatás során a 13.1.–13.2. táblázatban feltüntetett adatokkal jellemzett 1, 2, 6 és 7 jelű cementtel kísérleteztünk. Állandónak tekintettük a betonösszetételt. A cementtartalom minden esetben  $450 \text{ kg/m}^3$ , a víz-cement tényező 0,36, a beton-



13.1. táblázat. A kísérleti cementek kémiai összetétele

Sor- szám	Cement megnevezése és jele	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	Izz. vesz %
1.	N jelű (bélapátfalvai S 54)	21,71	4,85	6,65	62,73	1,17	1,93	0,21	0,21	0,65
2.	S jelű (bélapátfalvai S 54)	22,98	5,19	6,81	62,23	1,01	1,15	0,24	0,26	0,41
3.	Bé 500 (bélapátfalvai 500-as)	20,06	6,10	3,83	64,28	1,73	1,98	-	-	1,44
4.	V 300 (váci 300-as kohósalak pc.)	30,40	9,10	1,76	46,08	6,58	1,91	-	-	1,61
5.	V 500-as (váci 500-as kohósalak pc.)									
6.	V 600-as (váci 600-as kohósalak pc.)	20,54	5,83	3,12	64,03	1,19	2,37	-	-	2,00
7.	V 500-as (váci 500-as kohósalak pc.)	24,40	6,55	2,55	59,42	2,00	2,02	-	-	2,20
8.	V 600-as (váci 600-as portlandcement)	19,10	6,44	3,44	63,70	3,88	2,73	-	-	-
9.	V 600-as (váci 600-as utánőrölt cement)									
A 8. jelűével egyeztet meg.										
10.	T 600 (tatabányai 600-as pc.)	20,2	6,20	2,81	63,24	4,20	1,89	-	-	1,17
11.	V 600-as (váci 600-as portlandcement)	21,53	7,18	2,89	60,40	2,21	2,34	-	-	1,08
12.	V 600-as (váci 600-as portlandcement)									
13.	Ber. 500 (beremendi 500-as pc.)	23,49	5,57	2,31	62,33	1,67	1,82	0,29	0,49	1,42
14.	V 600-as (váci 600-as portlandcement)	18,97	4,58	3,60	64,11	1,24	3,42	-	-	-
15.	L (lábatlami többcéllű portlandcement)									

13.2. táblázat. A kísérletekhez felhasznált cementek képlékeny (kb. DIN szerinti) habarcsvizsgálattal meghatározott szilárdsága

Sor- szám	Cement jele	Nyomószilárdság, MPa						Hajlító-húzó szilárdság, MPa					
		2	7	28	91	182	2	7	28	91	182		
		<b>n a p o s k o r b a n</b>											
1.	N	9,0	22,9	32,8	48,0	49,8	2,89	5,19	8,97	9,28	9,44		
2.	S	5,1	18,7	26,4	48,5	58,5	0,80	4,06	7,64	8,27	8,66		
3.	Bé 500	8,6	18,5	39,0 (38)	49,6	54,3	3,06	5,53	7,37 (38)	8,77	10,96		
4.	V 300	3,0	5,3	16,7	30,7	41,2	0,84	2,14	5,30	7,98	7,49		
5.	V 500	7,8	21,5	37,7	42,5	47,2	2,85	5,57	8,15	8,34	9,16		
8.	V 600	14,5	34,0	47,0	49,5	7,5 (1)	3,40	6,20	7,60	8,20	1,80 (1)		
9.	V 600	27,2 (3)	37,4	47,9	12,1 (1)		4,83 (3)	6,60	7,30	2,52 (1)			
11.	V 600	9,6	25,4	46,7	50,7	56,1 (163)	2,65	5,03	8,70	8,83	11,1 (163)		
12.	V 600	12,6	33,6	44,1	-	-	2,81	6,08	7,80	-	-		
15.	L	27,5 (3)	40,2	56,5			5,19 (3)	5,98	7,68				

Zárójelben a habarcs tényleges korát adtuk meg.



konzisztencia gyengén képlékeny volt. Adalékanyagul osztályozott és szárított dunai homokos kavicsot (kb. 90%-a kvarc) használtunk, szemmegoszlása, határoló görbéinek jellemzői:

Lyukbőrség mm	Áthullott anyag tömegszázaléka
0,2	2–3
0,5	9–14
1	22–25
2,5	38–41
5	53–55
10	78–80
15	92–96
20	100

A betont 100 literes habarcskeverőgépben kevertük és kézi erővel döngöltük. Kísérletenként 12-12 db 7,07×7,07×25 cm-es hasábot készítettünk. Minden cementtel vizsgáltuk a természetes szilárdulás és a gőzölés hatását. A gőzölés során a pihentetés 2–3 óra, felfűtés 2 óra, gőzölés 70 °C hőmérsékleten 6 óra, a lehűtés lassú volt. A próbatestekből 3–3-at 24, 48 órás, 7 és 28 napos korban vizsgáltunk meg. A 24 órás próbatesteket a sablonból kivéve vizsgáltuk. A többi próbatestet a kizsaluzás után azonnal vízbe helyeztük és közvetlenül a vizsgálat előtt vettük ki. A tárolóvíz hőmérséklete 20–22 °C volt. A próbatesteket először 21 cm támaszközön központos erővel elhajlítottuk, majd a próbatestek két-két fél darabján – 50 cm<sup>2</sup>-es nyomólappal terhelve – meghatároztuk a nyomószilárdságot (testszilárdság).

A kísérletet ugyanezekkel a 2 rétegű papírzsákokban tárolt cementekkel 1 hónappal később megismételtük.

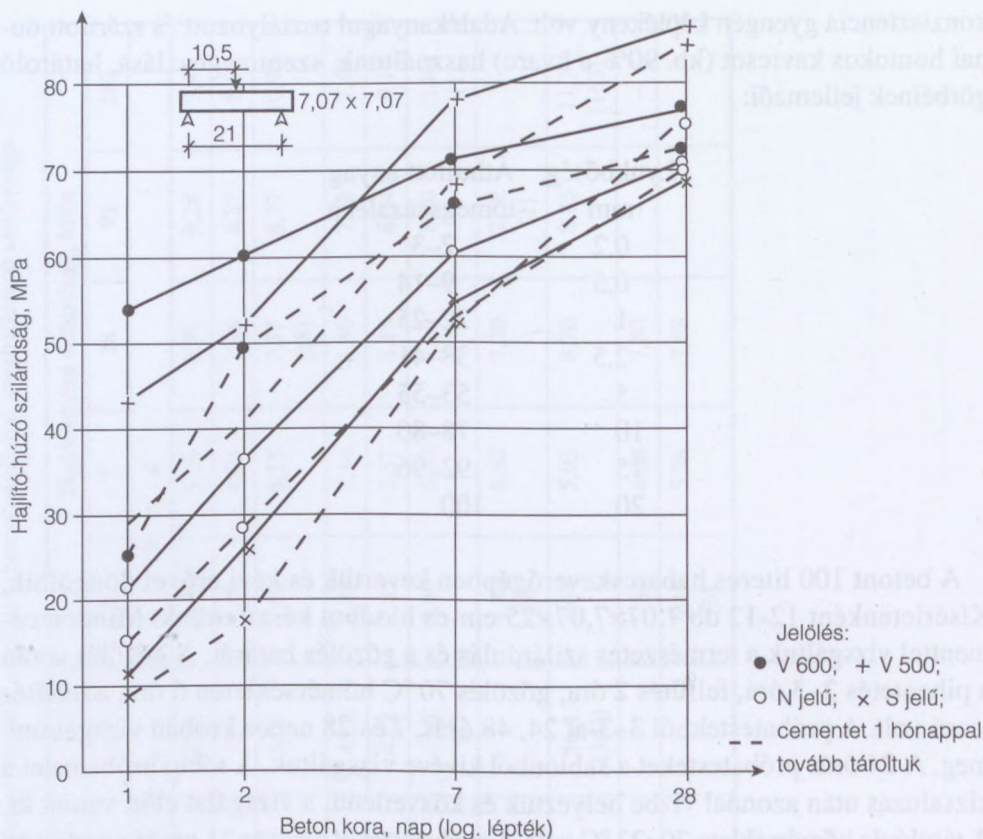
A természetes szilárduló betonok hajlító-húzó szilárdságának időbeni alakulását a 13.1. ábrán, a gőzölt betonokét a 13.2. ábrán tüntettük fel.

A kísérletből levont következtetések:

a) A gőzölés határfokát általában a 24 órás korú gőzölt beton és a 28 napos korú természetes szilárduló beton szilárdságának a viszonyszámával szokás jellemezni. E célból szerkesztettük meg a 13.3–13.6. ábrákat, amelyekben a hajlító-húzó szilárdságot a friss cementtel készített, természetes szilárduló beton 28 napos hajlító-húzó szilárdságához viszonyítottuk. E viszonyszámot más módon a 13.3. táblázatban tüntettük fel. (A zárójeles értékek 1 hónapon át papírzsákokban tárolt cementtel készített betonra vonatkoznak. Ez esetben a gőzölés határfokát is e cementekkel készített 28 napos betonok szilárdságával számítottuk.)

A gőzölés határfoka a következő tényezőktől függ:

– A cementfajtától, annak ásványi összetételétől. A nagy  $\beta$ C<sub>2</sub>S tartalmú cementeké lényegesen kisebb, mint a nagyobb fajlagos felületű, nagyobb C<sub>3</sub>S-tartalmú váci 600-as cementé.

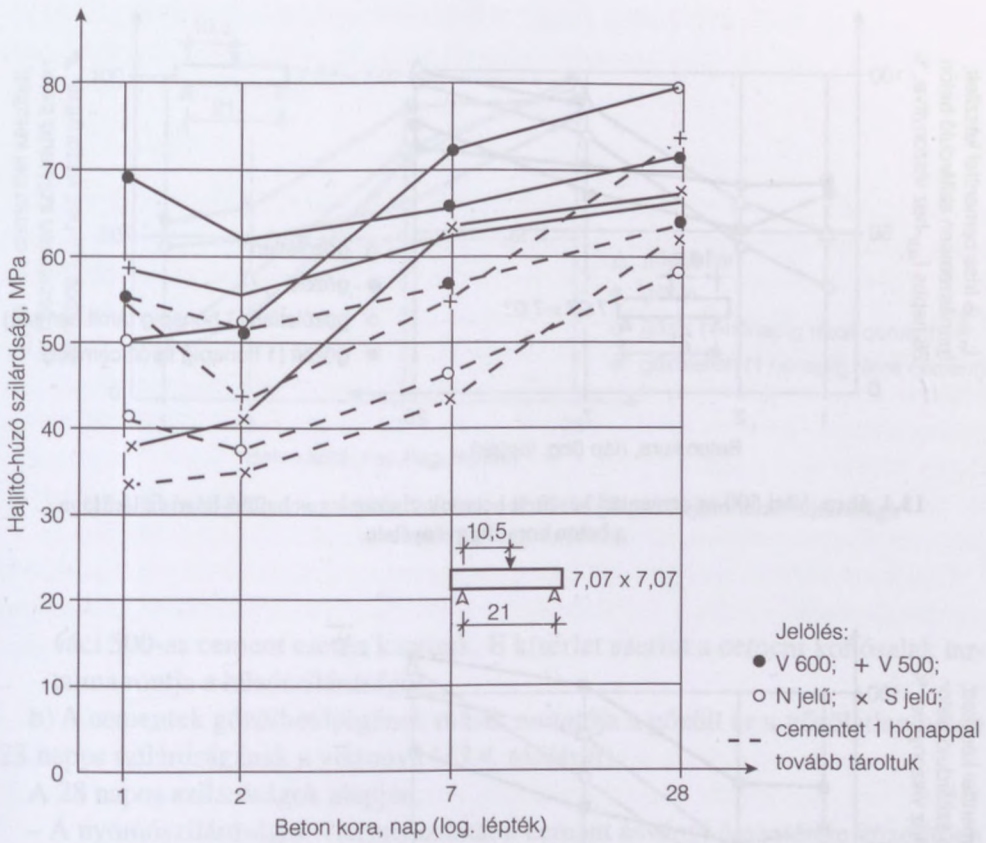


13.1. ábra. Különböző cementekkel készített természetesen szilárduló betonok hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.

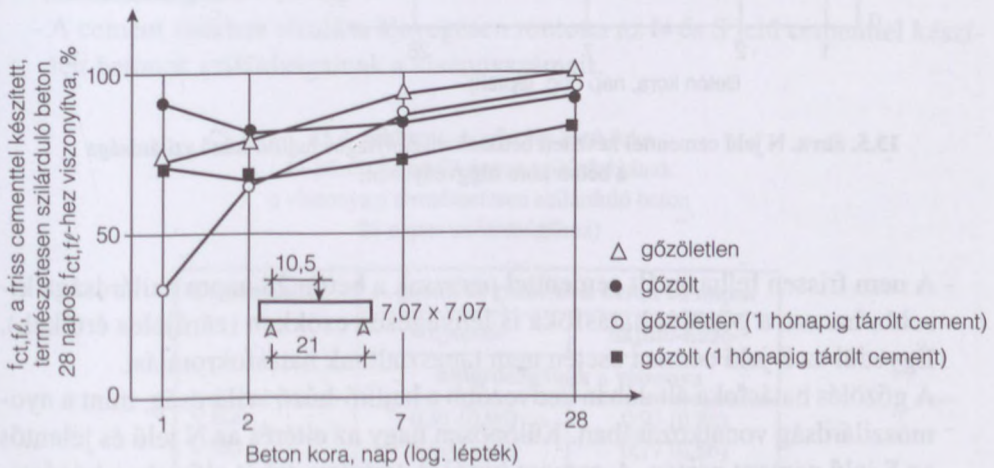
13.3. táblázat. A gőzölés hatásfoka (a gőzölt beton 1 napos szilárdságának a viszonya a természetesen szilárduló beton 28 napos szilárdságához)

Cementfajta	A gőzölés hatásfoka a	
	testszilárdság	hajlító-húzó-szilárdság
	alapján	
V 600	0,80 (0,67)	0,90 (0,75)
V500	0,81 (0,67)	0,66 (0,64)
N	0,44 (0,39)	0,70 (0,49)
S	0,37 (0,47)	0,54 (0,53)

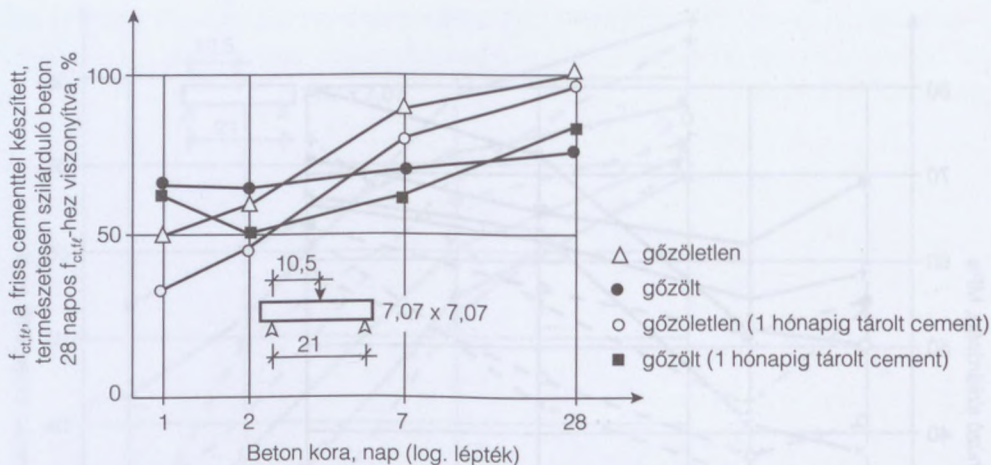




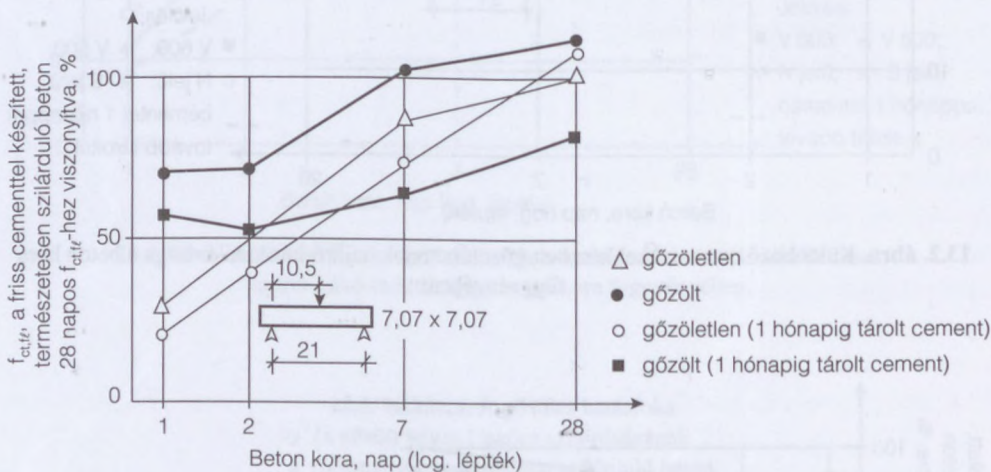
13.2. ábra. Különböző cementekkel készített gőzölt betonok hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.



13.3. ábra. Váci 600-as cementtel készített betonok viszonylagos hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.



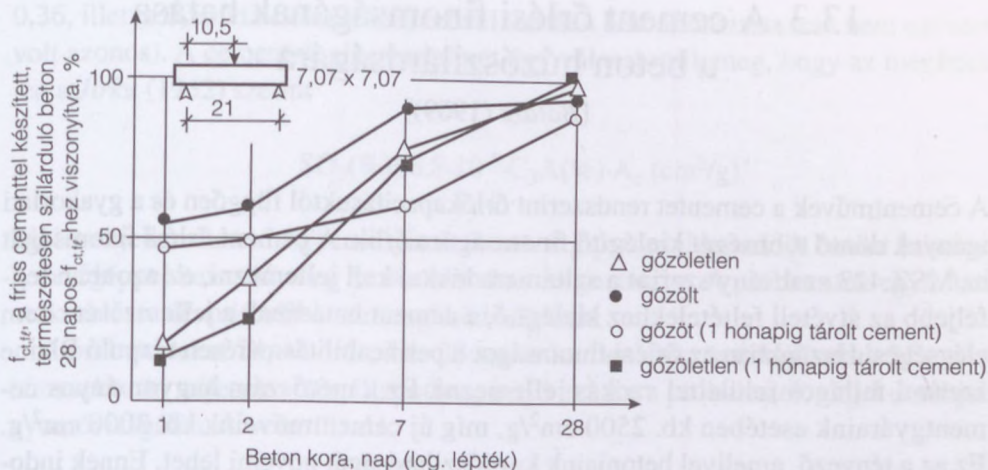
13.4. ábra. Váci 500-as cementtel készített betonok viszonylagos hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.



13.5. ábra. N jelű cementtel készített betonok viszonylagos hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.

- A nem frissen felhasznált cementtel nemcsak a beton 28 napos szilárdsága kisebb, hanem a gőzölés határfoka is lényegesen csökken (zárójeles értékek). Egyedül az S jelű cement esetén nem tapasztaltunk határfokromlást.
- A gőzölés határfoka általában kedvezőbb a hajlító-húzó szilárdság, mint a nyomószilárdság vonatkozásában. Különösen nagy az eltérés az N jelű és jelentős az S jelű cement esetén. A cement kis  $C_3A$  tartalma tehát előnyös a húzószilárdság szempontjából. Kisebb határfokot csak a 25% kohósalakot tartalmazó





13.6. ábra. S jelű cementtel készített betonok viszonylagos hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.

váci 500-as cement esetén kaptunk. E kísérlet szerint a cement kohósalak tartalma rontja a húzószilárdságot.

b) A cementek gőzölhetőségének másik mutatója a gőzölt és a gőzöletlen beton 28 napos szilárdságának a viszonya (13.4. táblázat).

A 28 napos szilárdságok alapján:

- A nyomószilárdságok viszonzszámát a cement ásványi összetétele közelítően fordítva befolyásolja, mint az a) alatti esetben.
- A hajlító-húzó szilárdságok viszonzszáma vagy egyező a nyomószilárdságokéval, vagy annál kisebb. A gőzölés utáni szilárdulás üteme tehát más a kétféle szilárdságnál.
- A cement zsákban tárolása lényegesen rontotta az N és S jelű cementtel készített betonok szilárdságainak a viszonzszámait.

13.4. táblázat. A gőzölés hatásfoka (a gőzölt beton 28 napos szilárdságának a viszonya a természetesen szilárduló beton 28 napos szilárdságához)

Cementfajta	A gőzölt és gőzöletlen beton 28 napos	
	nyomó-	hajlító-húzó-
	szilárdságának a viszonya	
V 600	0,91 (0,96)	0,93 (0,88)
V500	1,00 (1,02)	0,77 (0,86)
N	1,00 (0,81)	1,12 (0,90)
S	1,04 (0,83)	0,97 (0,76)

### 13.3. A cement őrlési finomságának hatása a beton húzószilárdságára

[Balázs (1969)]

A cementművek a cementet rendszerint őrlőkapacitásuktól függően és a gyakorlati igények döntő többségét kielégítő finomságúra őrlik. A cement őrlési finomságát az MSZ 423 szabvány szerint a szitamaradékkal kell jellemezni, ez azonban legfeljebb az átvételi feltételekhez kielégítő, a cement hatásának a jellemzésére nem elégséges. Hazánkban az őrlési finomságot a permeabilitásmérésen alapuló Blaine szerinti fajlagos felülettel szokás jellemezni. Ez a mérőszám hagyományos cementgyáraink esetében kb. 2500 cm<sup>2</sup>/g, míg új cementműveink kb. 3000 cm<sup>2</sup>/g. Ez az a tényező, amellyel betonjaink kezdőszilárdságát növelni lehet. Ennek indoka az a törvényszerűség, hogy a kémiai reakciók az anyag felületén játszódnak le, tehát annál gyorsabban szilárdul a cement, minél nagyobb a fajlagos felülete.

Ebből kiindulva végeztünk 1968-ban kísérleteket a Beton- és Vasbetonipari Művek megbízásából [Balázs (1969)] azzal a céllal, hogy a cement őrlési finomságának a beton kezdeti hajlító-húzó és nyomószilárdságára gyakorolt hatását meghatározzuk.

A kísérlet során a 13.5. táblázatban feltüntetett jellemzőjű cementekkel és a 13.2. fejezetben ismertetett adalékanyaggal 50 cm<sup>2</sup> keresztmetszeti területű, 25 cm hosszú betonhasábokat készítettünk 450, illetve 300 kg/m<sup>3</sup> cementtartalommal,

13.5. táblázat. A kísérlethez használt cementek tulajdonságai

Tulajdonság		Klinkerben	A cement jele			
			I	II	III	V
C <sub>3</sub> S	%	50,3	48,5	47,8	47,0	45,4
β C <sub>2</sub> S	%	26,8	25,9	25,5	25,0	24,2
C <sub>3</sub> A	%	12,1	11,7	11,5	11,3	10,9
C <sub>4</sub> AF	%	8,7	8,4	8,5	8,1	7,8
MgO	%	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
CaSO <sub>4</sub>	%	0,7	3,8	5,4	7,0	10,1
Sűrűség	g/cm <sup>3</sup>	–	3,056	–	2,961	2,917
Fajlagos felület						
Blaine szerint	cm <sup>2</sup> /g	–	2250	2260	4280	6250
Kötésvíz	%	–	28,6	31,3	41,0	38,0
Kötés kezdete		–	2 <sup>h</sup> 55'	3 <sup>h</sup> 30'	4 <sup>h</sup> 10'	2 <sup>h</sup> 45'
Kötés vége		–	4 <sup>h</sup> 20'	5 <sup>h</sup> 35'	5 <sup>h</sup> 35'	4 <sup>h</sup> 05'
Szilárdság,	MP		a földnedves habarcsvizsgálattal			
nyomó	2 napos		25,4	29,0	31,1	58,5
	28 napos		54,9	62,7	86,0	86,3
húzó	2 napos		2,42	2,54	3,15	3,98
	28 napos		3,88	4,30	4,22	5,41



0,36, illetve 0,50 víz-cement tényezővel (tehát a betonkonzisztencia nem egészen volt azonos). A cementek gipsztartalmát úgy választottuk meg, hogy az megfelelően a *Jirku* (1952) szerint

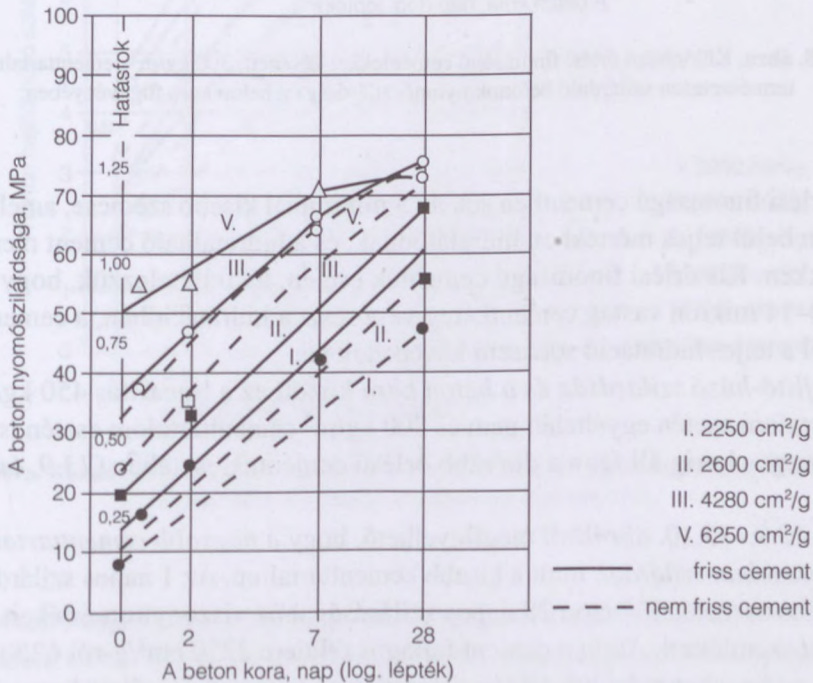
$$SO_3(\%) = 6,8 \cdot 10^{-5} \cdot C_3A(\%) \cdot A_c \text{ (cm}^2/\text{g)}$$

képlettel jellemezhető, egyensúlyinak nevezett gipsztartalomnak. A betont habarcskeverőgéppel kevertük meg és rázóasztalon dolgoztuk be. A próbatestek egyöntetű utókezelését állandó vízbentartással biztosítottuk.

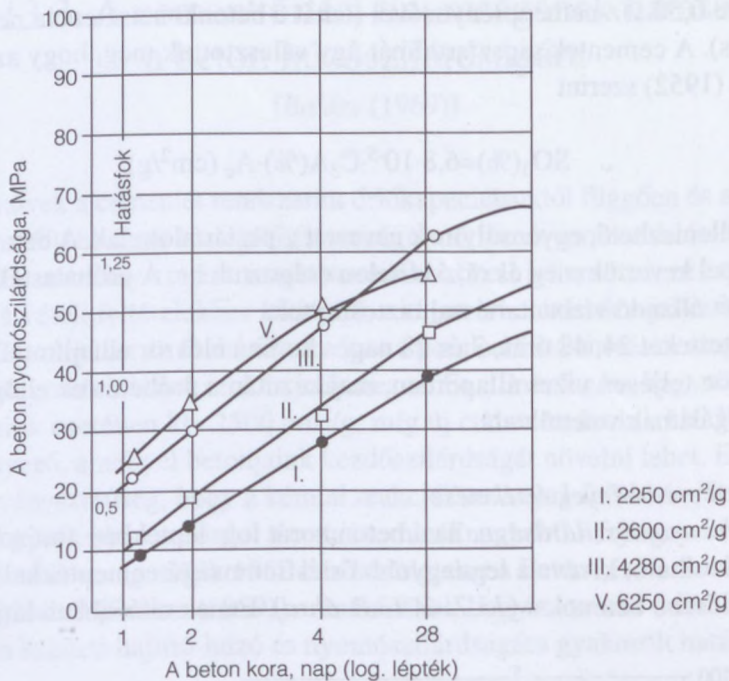
A próbatesteket 24, 48 órás, 7 és 28 napos korban először elhajlítottuk 21 cm-es támaszközön teljesen vizes állapotban, majd ezután a próbatestek eltört darabjait nyomóvizsgálatnak vetettük alá.

### A kísérleti eredmények értékelése

a) *A beton nyomószilárdsága*, ha a beton korát log. léptékben ábrázoljuk, egyenlősen ábrázolható, kivéve a legnagyobb őrlésfinomságú cementekkel készített 7 naposnál idősebb betonokat (13.7. és 13.8. ábra). Ennek okát abban látjuk, hogy a



13.7. ábra. Különböző őrlési finomságú cementekkel készített, 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú, természetesen szilárduló betonok nyomószilárdsága a beton kora függvényében.



13.8. ábra. Különböző őrlési finomságú cementekkel készített, 300 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú, természetesen szilárduló betonok nyomószilárdsága a beton kora függvényében.

nagy őrlési finomságú cementben sok az 5 mikronnál kisebb szemcse, amelyek rövid időn belül teljes mértékben hidratálódnak, és a hidratálható cement mennyisége csökken. Kis őrlési finomságú cementek esetén, ha feltételezzük, hogy legfeljebb 10–14 mikron vastag cementkéreg vesz részt a hidratációban, a cement nagy részénél a teljes hidratáció sohasem következik be.

A hajlító-húzó szilárdság és a beton kora között ez a linearitás 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom esetén egyáltalán nem és 300 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom esetén is legfeljebb 7 napos korig áll fenn a durvább őrlésű cementek esetében (13.9. és 13.10. ábra).

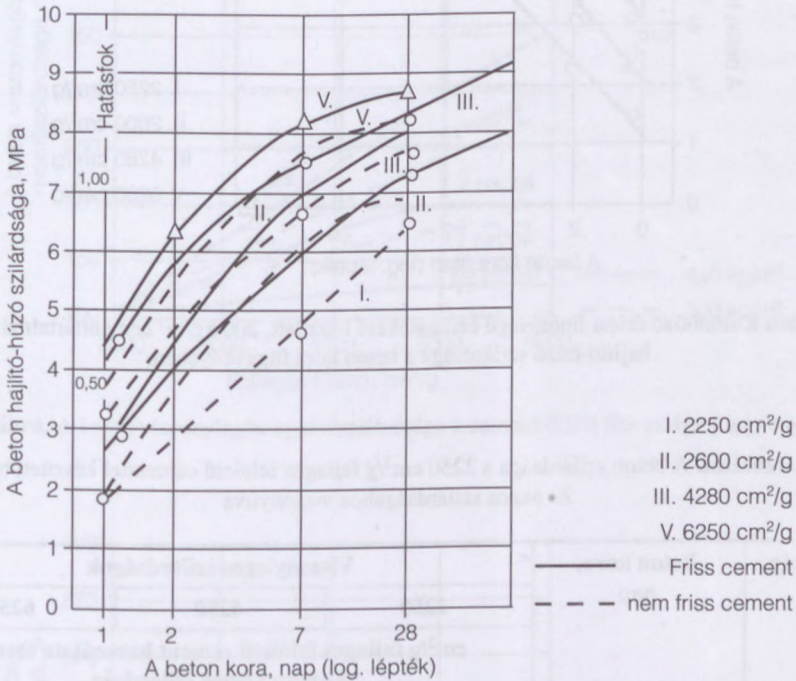
b) A 13.9.–13.10. ábrákból megfigyelhető, hogy a nagyobb cementtartalmú beton gyorsabban szilárdul, mint a kisebb cementtartalmú. Az 1 napos szilárdságnak az azonos összetételű beton 28 napos szilárdságához viszonyított értékeit a 13.6. táblázat szemlélteti. Amíg a cement fajlagos felülete 2250 cm<sup>2</sup>/g-ról 6250 cm<sup>2</sup>/g-ra nőtt, addig a beton hajlító-húzó szilárdsága az azonos összetételű beton 1 napos hajlító-húzó szilárdsága, a 28 napos hajlító-húzó szilárdságához viszonyítva nőtt

450 kg/m <sup>3</sup> esetén	0,36-ről	0,53-ra,
300 kg/m <sup>3</sup> esetén	0,20-ről	0,48-ra



13.6. táblázat. A beton 1 napos szilárdsága 28 napos szilárdságához viszonyítva

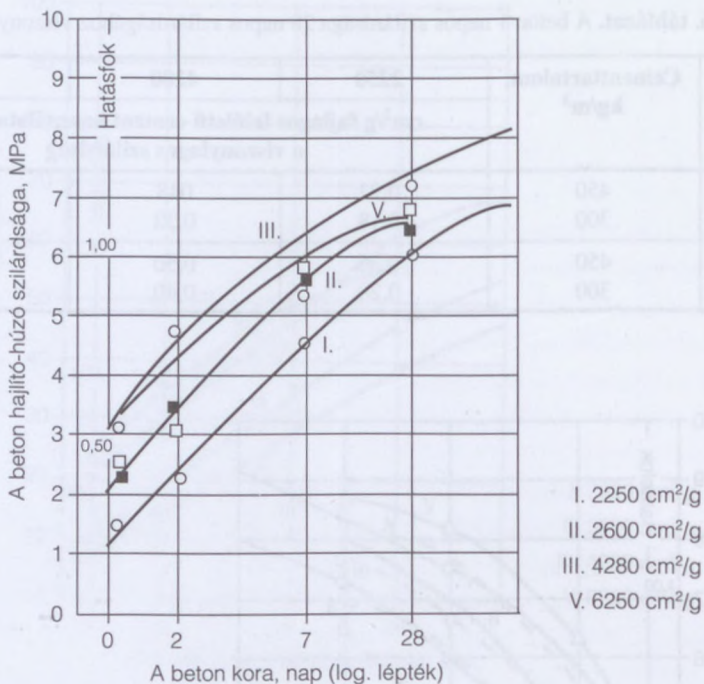
Szilárdság	Cementtartalom, kg/m <sup>3</sup>	2250	4280	6250
		cm <sup>2</sup> /g fajlagos felületű cement használata esetén a viszonylagos szilárdság		
Nyomó	450	0,22	0,48	0,74
	300	0,18	0,32	0,40
Hajlító-húzó	450	0,36	0,50	0,53
	300	0,20	0,40	0,48



13.9. ábra. Különböző őrlési finomságú cementekkel készített 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú betonok hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.

Helyesebb képet kapunk azonban akkor, ha a szilárdságokat a 2250 cm<sup>2</sup>/g fajlagos felületű cementtel készített beton 28 napos szilárdságához viszonyítjuk, mert hiszen a finomabbra őrlött cement ehhez képest jelent javulást. A természetesen szilárduló beton szilárdulásának így értelmezett hatásfokát 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom esetére a 13.7. táblázat szemlélteti.

A táblázat adatai szerint, ha figyelembe vesszük is, hogy a nagyobb őrlési finomságú cementek nagyobb vízigényűek, és így azonos víz-cement tényező ese-



13.10. ábra Különböző őrlési finomságú cementekkel készített, 300 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú betonok hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.

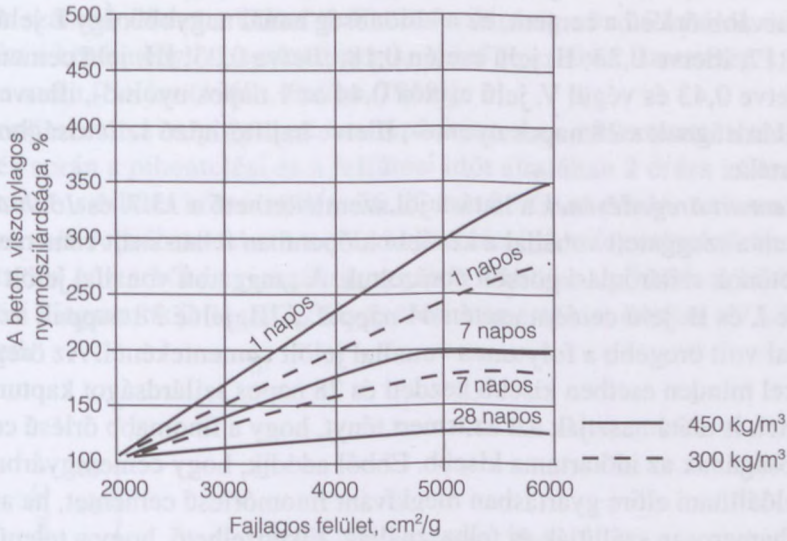
13.7. táblázat. A beton szilárdsága a 2250 cm<sup>2</sup>/g fajlagos felületű cementtel készített beton 28 napos szilárdságához viszonyítva

Szilárdság	Beton kora, nap	Viszonylagos szilárdságok		
		2250	4280	6250
		cm <sup>2</sup> /g fajlagos felületű cement használata esetén a viszonylagos szilárdság		
Nyomó	1	0,22	0,65	0,89
	2	0,41	0,78	0,92
	7	0,72	1,10	1,19
	28	1,00	1,24	1,20
Hajlító-húzó	1	0,35	0,62	0,64
	2	0,56	0,81	0,87
	7	0,83	1,03	1,12
	28	1,00	1,14	1,20

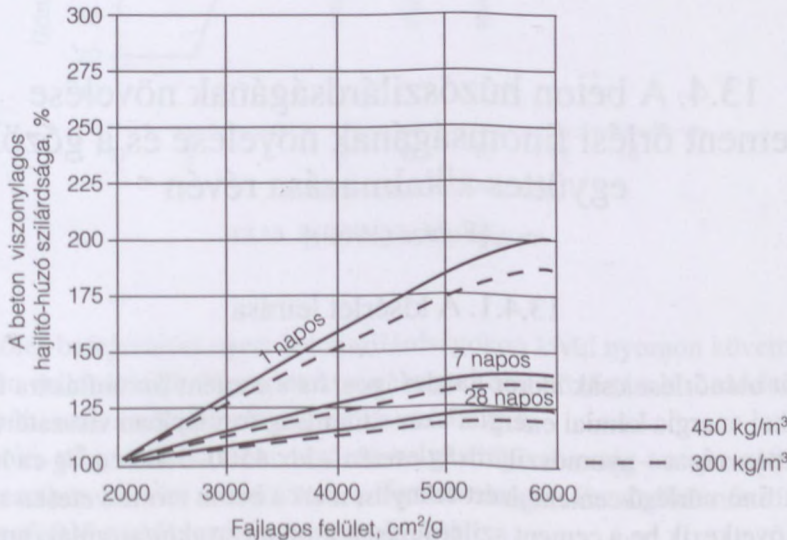
tén konzisztenciájuk kissé a földnedves felé tér el, annyira megnő a beton kezdeti szilárdsága, hogy egyes termékek esetén a gőzölés elhagyható. Ebbe a csoportba elsősorban a gyártás után azonnal kiszaluzható elemek sorolhatók.



c) A cement őrlési finomságának a hatását jól szemlélteti a 13.11. és 13.12. ábrára, amelyen a szilárdságokat a 2000 cm<sup>2</sup>/g fajlagos felületű cement szilárdságához viszonyítottuk. Az ábrák szerint az őrlési finomság szilárdságra gyakorolt hatása a kezdeti időszakban a legnagyobb (ez éppen az előre gyártás szempontjából fontos) és később csökken. 28 napos korra csak 20–50% többletszilárdság adódik. Az őrlésfinomság növekedésének lényegesen nagyobb a nyomó-, mint a húzószilárd-



13.11. ábra. A beton viszonylagos nyomószilárdsága a cement őrlési finomsága függvényében.



13.12. ábra. A beton viszonylagos hajlító-húzó szilárdsága a cement őrlési finomsága függvényében.

ságra gyakorolt hatása. Kb. azonos, gyengén képlékeny betonkonzisztenciát feltételezve  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén –  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$  fajlagos felület mellett – a nyomószilárdság 1 napos korban 3,5-szeresre, míg a hajlító-húzó szilárdság csak kétszeresére nő. Még 7 napos korban is kétszeres nyomószilárdságot várhatunk. Végül ezek az ábrák is mutatják, hogy előnyösebben érvényesül a finomőrlés hatása a nagyobb cementtartalmú betonokban.

d) A beton húzószilárdsága kezdetben gyorsabban nő, mint a nyomószilárdsága. Minél durvább őrlésű a cement, ez a különbség annál nagyobb. Így I. jelű cement esetén 0,17, illetve 0,28; II. jelű esetén 0,18, illetve 0,23; III. jelű cement esetén 0,34, illetve 0,43 és végül V. jelű esetén 0,44 az 1 napos nyomó-, illetve hajlító-húzó szilárdságnak a 28 napos nyomó-, illetve hajlító-húzó szilárdsághoz viszonyított értéke.

e) A cement öregedésének a hatása jól szemléltethető a 13.7. és 13.9. ábrákon, amelyeken a szaggatott vonallal a későbbi időpontban felhasznált cementekkel készített betonok szilárdulási görbéit ábrázoltuk. A szaggatott vonallal jelölt betonok cementje I. és II. jelű cement esetén 44 nappal, a III. jelűé 38 nappal, az V. jelűé 10 nappal volt öregebb a folytonos vonallal jelölt cementekénél. Az öregebb cementekkel minden esetben kisebb kezdeti és 28 napos szilárdságot kaptunk. Ezek a kísérletek is alátámasztják azt az ismert tényt, hogy a finomabb őrlésű cementek tárolhatóságának az időtartama kisebb. Ebből adódik, hogy cementgyárban akkor szabad előállítani előre gyártásban megkívánt finomőrlésű cementet, ha azt az őrlés után hamarosan szállítják és felhasználják. Elképzelhető, hogy a telepített üzemekben oldják meg a cement utánőrlését, ahol annyit őrlőnének, amennyit azonnal fel is használnak.

Az utánőrlés sokkal olcsóbb lenne nedves őrléssel (9. fejezet.)

## 13.4. A beton húzószilárdságának növelése a cement őrlési finomságának növelése és a gőzölés együttes alkalmazása révén

[Balázs (1969)]

### 13.4.1. A kísérlet leírása

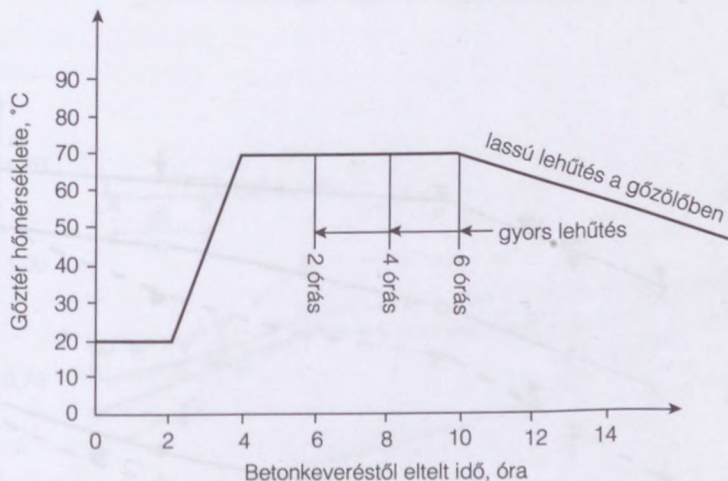
A cement utánőrlése csak akkor gazdaságos, ha a cement finomítására fordított mechanikai energia kémiai energia, azaz szilárdság formájában visszatérül. Ezt a cementfinomságot – nyomószilárdság esetén – kb.  $4500\text{--}5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ -ra lehet becsülni. A finomőrlésű cement azért előnyös, mert a beton természetesen szilárdul és nem következik be a cement szilárdulásakor olyan struktúraromlás, amellyel a hőszilárdítás alkalmazásakor általában számolni kell.



A finomabb őrlésű cement használatakor figyelembe kell venni a zsugorodás és a hőhatás kisebb mértékű növekedését. Az utánőrléskor szükség van bizonyos többlet gipszkezelésre is. Megjegyezzük, hogy a megnövelt gipszadagolással sem következett be káros duzzadás.

A cement őrlési finomságának a növelésével azonban nem tudjuk legtöbb esetben a betonszilárdítással szemben támasztott egyre nagyobb igényeket kielégíteni. Ha viszont más technológiákkal együtt alkalmazzuk, akkor szabályozott technológia esetén számítani lehet a különböző kezdőszilárdság-növelő hatások összegződésére. Ezt a körülményt vizsgáltuk meg az előző fejezetben ismertetett kísérletek folytatása során [Balázs (1969), Balázs (1968)].

A betonösszetétel megegyezett az előző fejezetben ismertetett összetétellel. A gőzölés során a pihentetési és a felfűtési időt általában 2 órára választottuk. Az izotermikus érlelés hőmérséklete 70, illetve 85°C, az érlelés tartama 2, 4, illetve 6 óra volt. A próbatesteket a tervezett gőzölési idő befejeztével részben azonnal kivettük a gőztérből és vizsgáltuk, részben a betont a gőztérben hűtöttük le. A gőzölési diagramok jellegét 70°C gőzölési hőmérséklet esetére a 13.13. ábra szemlélteti.



13.13. ábra. A gőzölési diagram.

A gőzölés befejeztével nyert betonszilárdságokon kívül nyomon követtük a gőzölt beton szilárdulását 28 napos korig, hogy különböző tárolási módok esetén megállapíthassuk a várható utószilárdulás mértékét is.

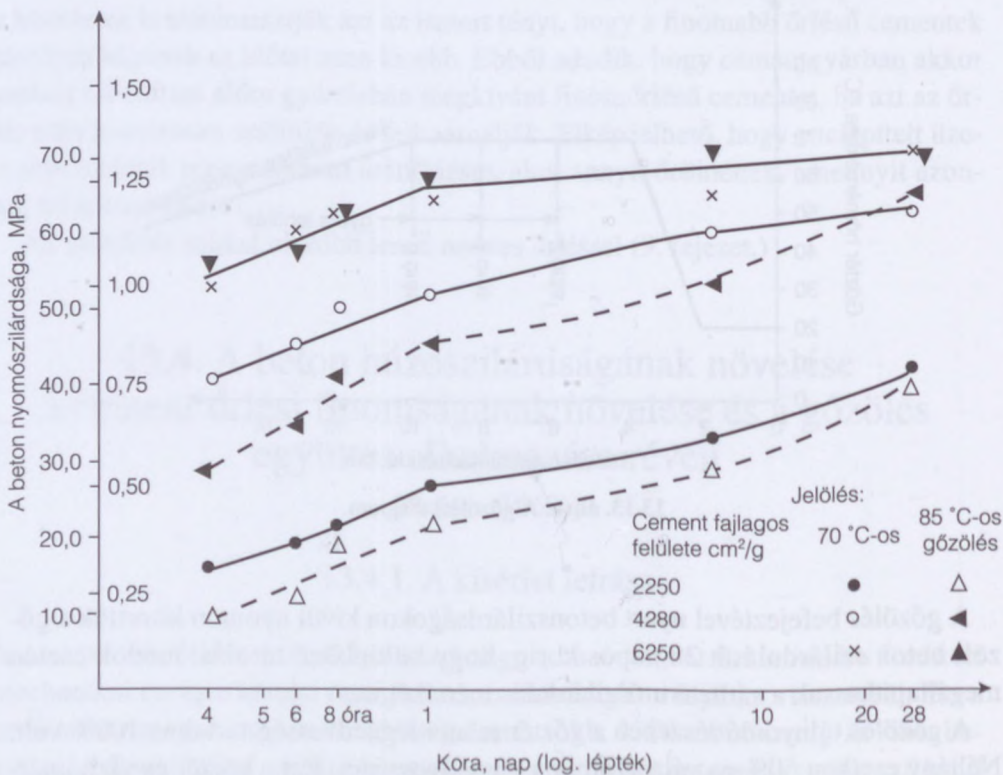
A gőzölés túlnyomó részében a gőztér relatív légnedvesség-tartalma 100% volt. Néhány esetben 60%-ra választottuk a légnedvességet. Ezt a gőztér és vízhőmérséklet megfelelő szabályozásával értük el.

Egyes kísérletek során változtattuk a víz-cement tényezőt, más kísérletek esetében a cement gipszkőtartalmát. A próbatestek mérete, készítésének, tárolásának és vizsgálatának a módja a 13.2. fejezetben ismertetettel egyezett meg.

### 13.4.2. A gőzlés és az őrlésfinomság növelésének együttes hatása a kísérlet tükrében

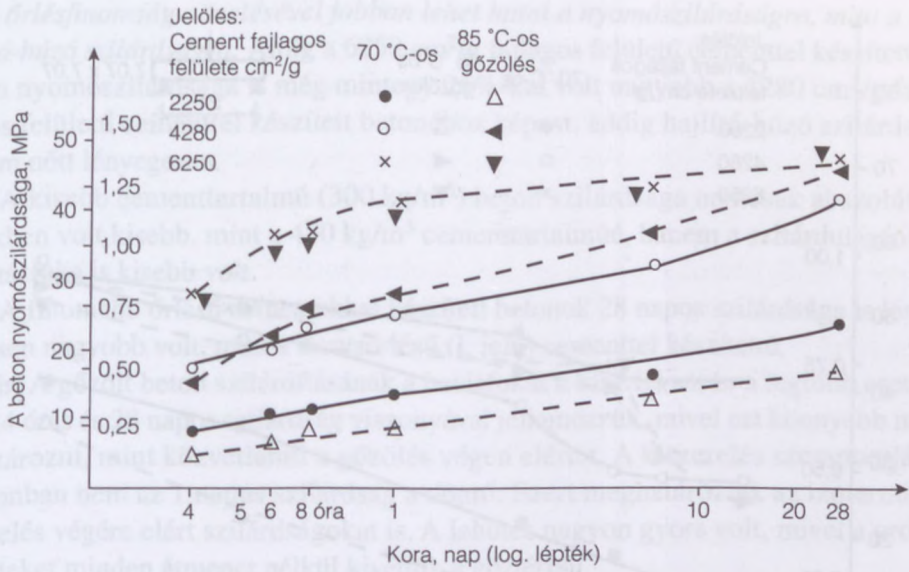
a) A betongőzlés hatékonyságát a természetesen szilárduló beton 28 napos szilárdságához viszonyított szilárdságokkal (hatásfok) szokás jellemezni. Az értékelés során összehasonlító alpnak a természetesen szilárduló, mindvégig vízben tárolt, legdurvább őrlésű cementtel készített betonok 28 napos nyomó-, illetve hajlító-húzó szilárdságát tekintettük, amely  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén 53, illetve 7,0,  $300 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén 34,7, illetve 5,8 MPa volt.

Ennek alapulvételével szerkesztettük meg a 13.14–13.17. ábrákat. Például az ábrán feltüntetett 6 órás betonkor 2 órás pihentetést, 2 órás felfűtést és 4 órás izotermikus érlelést jelent. A 24 órás és idősebb korú betonokat 4, illetve 6 órán át gőzöltük.

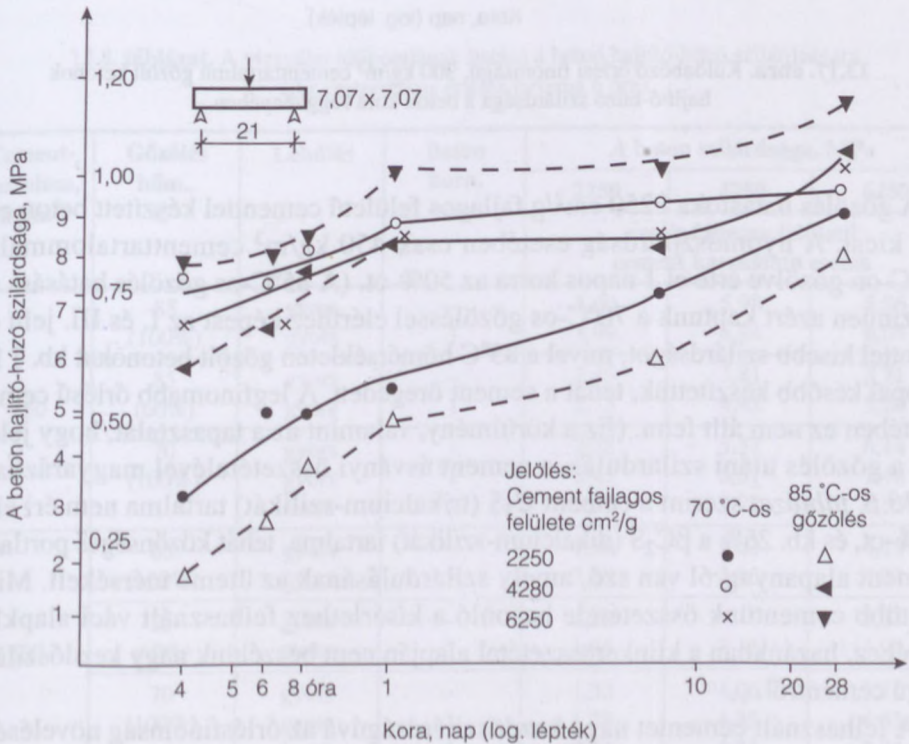


13.14. ábra. Különböző őrlési finomságú,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú gőzölt betonok nyomószilárdsága a beton kora függvényében.

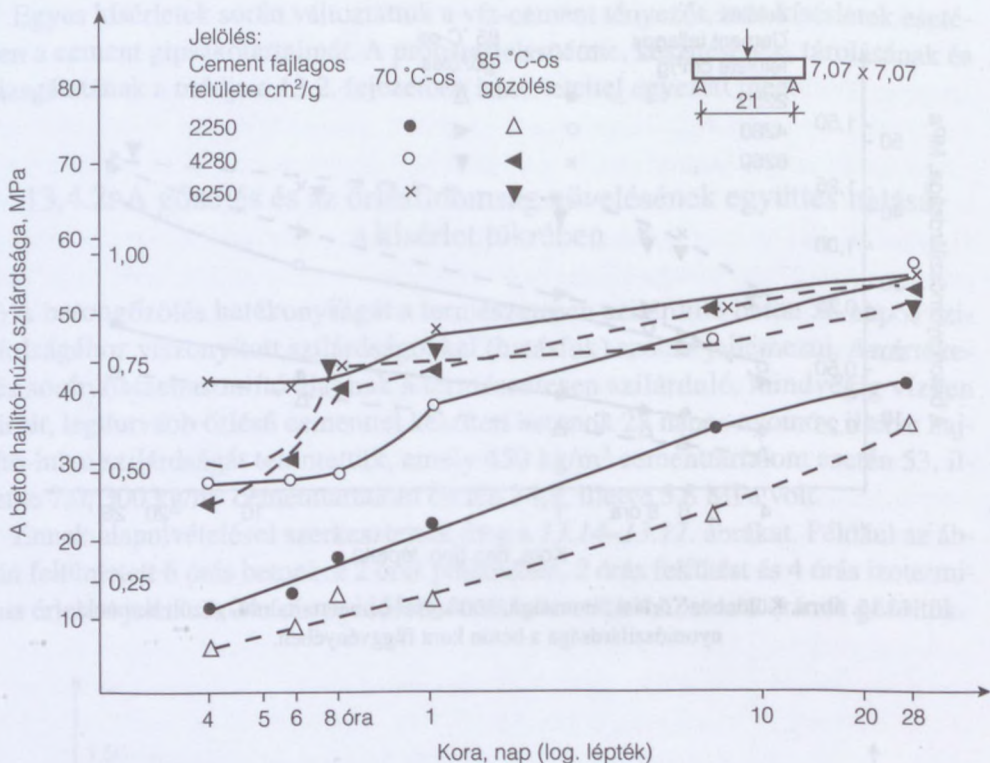




13.15. ábra. Különböző őrlési finomságú, 300 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú, gőzölt betonok nyomószilárdsága a beton kora függvényében.



13.16. ábra. Különböző őrlési finomságú, 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú gőzölt betonok hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.



13.17. ábra. Különböző őrlési finomságú, 300 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú gőzölt betonok hajlító-húzó szilárdsága a beton kora függvényében.

A gőzölés határfoka 2250 cm<sup>2</sup>/g fajlagos felületű cementtel készített beton esetén kicsi. A nyomószilárdság esetében csak 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalommal és 70°C-on gőzölve érte el 1 napos kora az 50%-ot. (A 85°C-os gőzölés hatására valószínűen azért kaptunk a 70°C-os gőzöléssel elérhető képest az I. és III. jelű cementtel kisebb szilárdságot, mivel a 85°C hőmérsékleten gőzölt betonokat kb. 1 hónappal később készítettük, tehát a cement öregedett. A legfinomabb őrlésű cement esetében ez nem állt fenn. (Ez a körülmény, valamint az a tapasztalat, hogy jelentős a gőzölés utáni szilárdulás, a cement ásványi összetételével magyarázható. A 13.6. táblázat szerint a cement C<sub>3</sub>S (trikalcium-szilikát) tartalma nem éri el az 50%-ot, és kb. 25% a βC<sub>2</sub>S (dikalcium-szilikát) tartalma, tehát közönséges portlandcement alapanyagról van szó, amely szilárdulásának az üteme mérsékelt. Mivel legtöbb cementünk összetétele hasonló a kísérlethez felhasznált váci alapklinkeréhez, hazánkban a klinkerösszetétel alapján nem beszélünk nagy kezdőszilárdságú cementről.

A felhasznált cementet nagy kezdőszilárdságúvá az őrlésfinomság növelésével tettük. Amint arra már a természetes szilárduló beton tárgyalásakor rámutattunk,



az őrlésfinomság növelésével jobban lehet hatni a nyomószilárdságra, mint a hajlító-húzó szilárdságra. Amíg a 6250 cm<sup>2</sup>/g fajlagos felületű cementtel készített beton nyomószilárdsága is még mintegy 25%-kal volt nagyobb a 4280 cm<sup>2</sup>/g fajlagos felületű cementtel készített betonéhoz képest, addig hajlító-húzó szilárdsága nem nőtt lényegesen.

A kisebb cementtartalmú (300 kg/m<sup>3</sup>) beton szilárdsága nemcsak abszolút értékben volt kisebb, mint a 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmúé, hanem a szilárdulásának a határfoka is kisebb volt.

A finomabb őrlésű cementekkel készített betonok 28 napos szilárdsága is lényegesen nagyobb volt, mint a durvaőrlésű (I. jelű) cementtel készítetté.

b) A gőzölt beton szilárdításának a határfokát a kísérlet során a legtöbb esetben a 24 órás és 28 napos szilárdság viszonyával jellemezzük, mivel ezt könnyebb meghatározni, mint közvetlenül a gőzölés végén elértet. A kiszerelés szempontjából azonban nem az 1 napos szilárdság a döntő. Ezért meghatároztuk az izotermikus érlelés végére elért szilárdságokat is. A lehűtés nagyon gyors volt, mivel a próbatesteket minden átmenet nélkül kivettük a gőztérből.

A kísérlet során csak a 6 órás izotermikus érlelés hatását tudtuk összehasonlítani, mivel csak azt vizsgáltuk 1 napos korban is. Néhány esetben vizsgáltuk még lassú lehűtést, ami nagyobb órafokszámot is jelent.

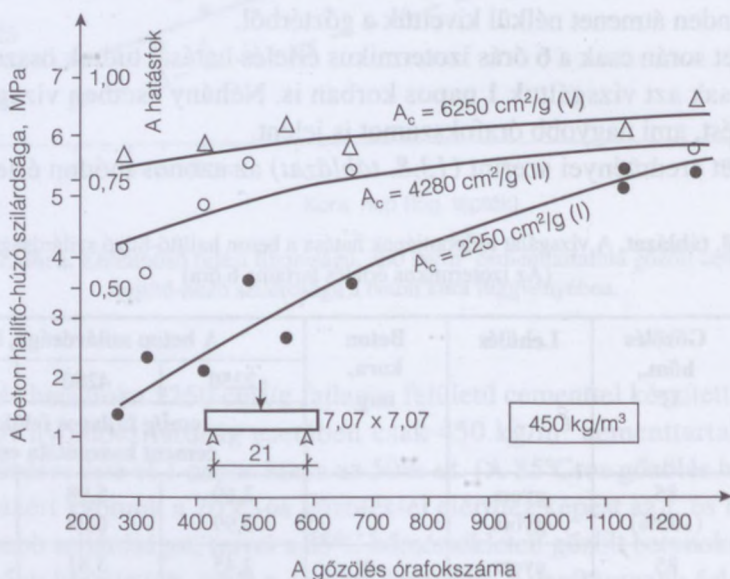
A kísérlet eredményei szerint (13.8. táblázat) az azonos módon érlelt, de nem

13.8. táblázat. A vizsgálat időpontjának hatása a beton hajlító-húzó szilárdságára  
(Az izotermikus érlelés tartama 6 óra)

Cement-tartalom, kg/m <sup>3</sup>	Gőzölés hőm., C°	Lehűlés	Beton kora, nap	A beton szilárdsága, MPa		
				2250	4280	6250
				cm <sup>2</sup> /g fajlagos felületű cement használata esetén		
450	85 (100%)	gyors	–	3,60	5,98	5,86
		gyors	1	3,99	6,24	6,04
	85 (60%)	gyors	–	2,45	3,81	5,71
		gyors	1	2,73	4,43	5,20
	70 (100%)	gyors	–	2,78	5,57	6,14
		gyors lassú	1 1	3,45 5,57	6,01 5,72	7,48 6,53
300	85 (100%)	gyors	–	1,80	2,83	4,15
		gyors	1	2,20	3,86	4,84
	85 (60%)	gyors	–	1,50	–	3,01
		gyors	1	1,66	3,16	3,94
	70 (100%)	gyors	–	1,32	4,06	3,11
		gyors lassú	1 1	1,28 2,54	4,35 4,33	4,63 3,94

közvetlenül az izotermikus érlelés befejeztével, hanem 24 óras korban vizsgált próbatetek hajlító-húzó szilárdsága 5–20%-kal volt nagyobb a gőzölés befejeztével vizsgált próbatetekénél. Márpedig gőzölt elemek mozgatása, szállítása és a feszítés szempontjából közvetlenül a gőzölés befejeztével elért szilárdság lesz mértékadó. Tehát az *olyan kísérletek eredményének a gyakorlati felhasználása során, amelyeknél csak az egynapos szilárdságokat adták meg, az értékeket csökkentve kell figyelembe venni.*

c) A gőzölés hatását szokás a *gőzölés órafokszámával jellemezni.* A könnyebb áttekinthetőség kedvéért a 13.18–13.19. ábrákon tüntettük fel. Órafokszámon a beton megkeverésétől a szilárdság megállapításáig eltelt időtartamra felrajzolt betonhőmérsékleti diagram  $0^{\circ}\text{C}$  feletti területét értettük. A kísérleti eredmények közé rajzolt kiegyenlítő vonalak világosan megmutatják a gőzölési időtartam hatásának a tendenciáját. Míg a durvább őrlésű cementek hosszabb szilárdítása révén lényegesen nő a nyomó- és hajlító-húzó szilárdság egyaránt, addig a  $6250\text{ cm}^2/\text{g}$  fajla-

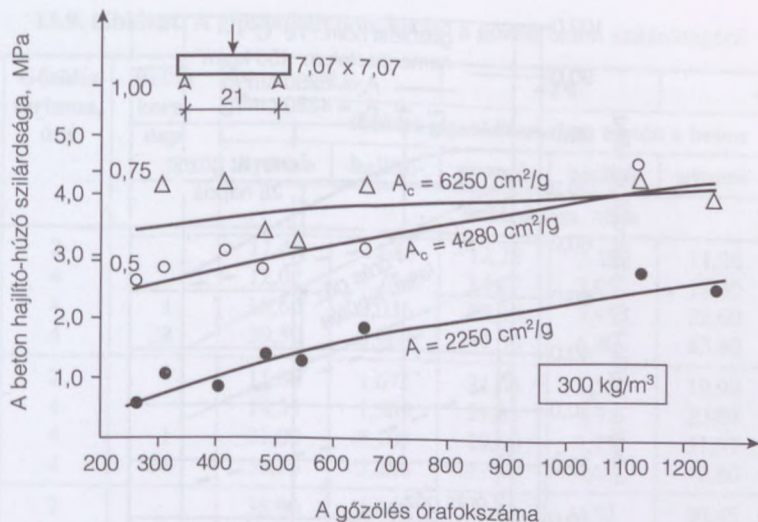


13.18. ábra. Különböző őrlési finomságú,  $450\text{ kg}/\text{m}^3$  cementtartalmú betonok hajlító-húzó szilárdsága a gőzölés órafokszáma függvényében.

gos felületű cementtel készített beton hosszú gőzölésének nincsen értelme, mivel a gőzölési időtartam megnyújtása nem jelent lényeges szilárdságnövekedést. Különösen vonatkozik ez a megállapítás a hajlító-húzó szilárdságra  $4280$  és  $6250\text{ cm}^2/\text{g}$  fajlagos felületű cementtel készített betonok esetén.

A víz-cement tényező és a nyomószilárdság között a szokásos képletekkel (Bolomey, Abrams, Graf, Ujhelyi) kifejezhető összefüggés felállítható. A hajlító-





13.19. ábra. Különböző őrlési finomságú, 300 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú betonok hajlító-húzó szilárdsága a gőzölés órafokszáma függvényében.

húzó szilárdság hasonló mértékben csökken a víz-cement tényező növekedésével, de 28 napos korra a víz-cement tényező változása okozta szilárdságkülönbség (nem abszolút értékben) kisebb, mint a nyomószilárdság esetén (13.20. és 13.21. ábra). Mivel a gőzölt betonok esetében is ugyanazok a vegyi folyamatok játszódnak le, mint a természetes szilárdulás esetében, a víz-cement tényező növelésének a betonszilárdságra gyakorolt csökkentő hatása is hasonló. Sőt a gőzölés esetén a víz-cement tényező növelésének még egy káros hatása is jelentkezhet. Ugyanis igen gyors felfűtés esetén a beton pórusait kitöltő víznek a betonénál sokkal nagyobb hőtágulása miatt a zsaluzatlan betonfelületek feltáskásodhatnak. Ez esetben a beton víz-cement tényezőjét mindenképpen célszerű a lehető minimálisra leszorítani.

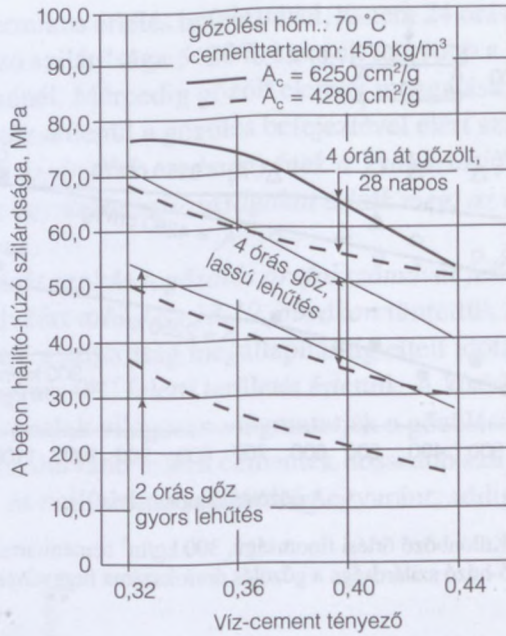
d) A különböző kutatók az utóbbi időben nagy jelentőséget tulajdonítanak a *cement gipszkőtartalmának*. Míg a gipszduzzadás elkerülése érdekében cement-szabványaink a gipszkő mennyiségét korlátozzák, addig mások csak akkor tartják veszélyesnek, ha az a cement C<sub>3</sub>A-tartalmával nincs egyensúlyban. Jirku (1962) szerint a cementhez adagolt gipszkőmennyiséget

$$\text{SO}_3(\%) = 6,8 \cdot 10^{-5} \cdot \text{C}_3\text{A}(\%) \cdot A_c$$

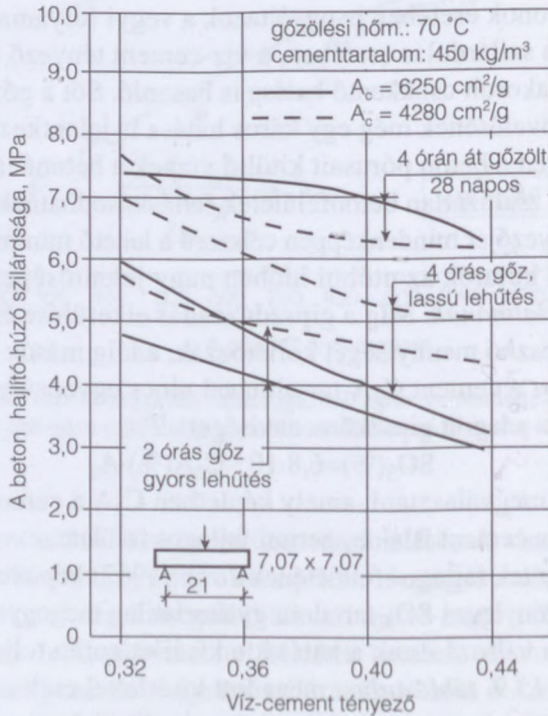
képlet szerint kell megválasztani, amely képletben C<sub>3</sub>A a cement trikalcium-aluminát tartalma, A<sub>c</sub> a cement Blaine szerinti fajlagos felülete.

A kísérleti cementek fajlagos felületének Jirku (1962) képlete szerint megfelelő SO<sub>3</sub>-tartalom és a tényleges SO<sub>3</sub>-tartalom gyakorlatilag megegyezett.

A gipsztartalom változásának a hatását e kísérlet során teljes részletességgel nem vizsgáltuk. A 13.9. táblázatban megadott kísérlettel csak arra szándékoztunk rámutatni, hogy a kísérlet során általában adagolt gipszkőmennyiségnek 1–3%-os



13.20. ábra. A víz-cement tényező változásának hatása a 70 °C hőmérsékleten gőzölt, különböző őrlési finomságú cementekkel készített betonok nyomószilárdságára.



13.21. ábra. A víz-cement tényező változásának hatása a 70 °C hőmérsékleten gőzölt, különböző őrlési finomságú cementekkel készített betonok hajlító-húzó szilárdságára



13.9. táblázat. A gipszkőtartalom hatása a gőzölt beton szilárdságára

Cement jele	Gőzölés tartama, óra	Beton kora, nap	+1%		+2%		+3%	
			többlet gipszkőtartalom esetén a beton					
			nyomó-	hajlító-	nyomó-	hajlító-	nyomó-	hajlító-
			szilárdsága, MPa					
I	2		11,43	1,655	12,22	2,252	11,26	2,38
	4		12,08	1,754	14,57	2,05	12,30	2,37
	4	1	19,60	3,036	25,30	3,958	22,60	3,79
	4	28	39,50	5,960	47,50	6,30	43,80	6,13
I	2		11,80	1,672	21,05	3,53	19,90	3,33
	4		14,33	1,505	21,33	2,93	22,04	2,66
	4	1	21,00	3,103	29,60	3,75	31,97	4,06
	4	28	36,30	5,280	47,40	6,69	42,80	5,25
III	2		35,90	4,650	32,80	4,52	30,45	4,54
	4		36,75	4,770	35,20	4,181	35,00	4,69
	4	1	52,00	6,330	51,00	5,38	47,70	5,78
	4	28	69,00	7,390	70,30	7,60	69,90	5,69
III	2		36,20	4,510	43,10	5,55	36,40	3,62
	4		39,10	4,590	43,90	4,906	35,90	3,07
	4	1	69,70	5,340	59,30	4,98	50,90	5,34
	4	28	64,00	6,620	69,50	7,87	62,10	7,30
V	2		51,20	5,620	46,20	5,55	46,20	5,33
	4		50,10	5,070	48,40	4,77	47,60	5,24
	4	1	63,50	6,295	64,00	5,806	61,70	6,32
	4	28	75,10	7,470	72,40	7,409	73,10	7,08
V	2		43,20	5,380	52,50	5,05	50,90	5,01
	4		45,90	4,680	53,60	5,46	53,10	4,86
	4	1	57,40	5,430	66,60	5,74	63,40	6,13
	4	28	69,50	7,320	74,90	7,32	72,70	7,53

növelése milyen mértékben hat a 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú gőzölt beton szilárdságára. Valamennyi cement (őrlésfinomságát tekintve) esetében mindig a 85°C-os izotermikus érlelést és gyors lehűlést alkalmaztunk.

A gipszkőtartalomnak kb. 2%-os (SO<sub>3</sub>-ban kifejezve kb. 1%-os) növelésével értük el a legkedvezőbb húzó- és nyomószilárdságot minden őrlésfinomságú cementtel. Mindebből tehát az látszik, hogy az őrlésfinomság növelésével a cement gipszkőtartalmát is növelni lehet a *Jirku* (1962) által megadott határig, mert még kissé afölött kaptuk a szilárdsági optimumot. Ugyancsak nem tapasztaltuk, hogy a gipsztartalom-növelés miatt ún. gipszduzzadás következett volna be.

e) A beton gőzölés utáni szilárdulása az előre gyártó ipart elsősorban azért érdekli, mert ettől lényegesen függ a tárolótér kihasználhatósága. A 13.10.–13.12. táblázatból a következőket állapítottuk meg:

**13.10. táblázat.** 85 °C hőmérsékleten gőzölt betonok 1, 7 és 28 napos szilárdsága a természetesen szilárduló, I. jelű cementtel készített beton 28 napos szilárdságához viszonyítva. (Gőzölés relatív légnedvesség-tartalma 100%, a lehűtés gyors, a gőzölés tartama 6 óra.)

Cement- mennyiség, kg/m <sup>3</sup>	Szilárdság	Beton kora, nap	Kezelés módja	A viszonylagos szilárdság		
				I	III	V
				jelű cement használata esetén		
450	nyomó	1	–	0,51	0,98	1,25
		7	víz	0,64	1,15	1,25
		7	1 ó. víz	0,55	–	1,32
		28	víz	0,80	1,20	0,35
		28	1 ó víz	0,48	1,28	1,38
300	nyomó	1	–	0,39	0,73	1,20
		7	víz	0,47	0,92	1,17
		7	1 ó. víz	0,43	–	1,28
		28	víz	0,70	1,22	1,39
		28	1 ó víz	0,63	1,12	1,39
450	hajlító-húzó	1	–	0,57	0,89	0,86
		7	víz	0,75	1,05	0,84
		7	1 ó. víz	0,59	–	0,88
		28	víz	0,93	0,94	1,02
		28	1 ó víz	0,69	0,94	1,03
300	hajlító-húzó	1	–	0,38	0,67	0,83
		7	víz	0,62	0,68	0,76
		7	1 ó. víz	0,41	–	0,79
		28	víz	0,73	0,98	0,97
		28	1 ó víz	0,54	0,80	0,98

Ha 1-nek vesszük az I. jelű természetesen szilárduló beton 28 napos szilárdságát, akkor a kísérlet adatai szerint az 1 napos kor után a betonszilárdulás függ a cement mennyiségétől és őrlési finomságától, a kísérlet végén a kamra lassú, illetve gyors lehűtésétől, az utókezelés módjától és a beton korától.

f) *Kisebb cementtartalommal nagyobbra adódott az utószilárdulás.* Durvább őrlésű cement többet szilárdulhatott még. Gőzölés közben a finomabb őrlésű cement finomabb része valószínűen teljes keresztmetszetében hidratált és kevesebb maradt a szilárdulni képes belső mag. Így az utókezelés eltérő volta is kevésbé jelentkezett a finomőrlésű cement használatakor. Az 1 órás vizes utókezeléssel mindig kisebb szilárdságot kaptunk, mint teljes vizes utókezeléssel. Különösen vonatkozott ez a hajlító-húzó szilárdságra. Az eltérés 28 napos korban 10–20%-os volt. Különösen a durvább őrlésű cement használatakor érződött a hirtelen lehűtés kedvezőtlen hatása. A 70°C hőmérsékleten gőzölt beton gyorsabban utószilárdult, mint a 85°C-on gőzölt, annyival, hogy a szilárdságkülönbség 28 napos korra gyakorlatilag megszűnt.



**13.11. táblázat.** 70 °C hőmérsékleten gőzölt betonok 1, 7 és 28 napos szilárdsága a természetesen szilárduló, I. jelű cementtel készített beton 28 napos szilárdságához viszonyítva. (Gőztér relatív légnedvesség-tartalma 100%, a lehűtés gyors, a gőzölés tartama 6 óra volt.)

Cement- mennyiség, kg/m <sup>3</sup>	Szilárdság	Beton kora, nap	Kezelés módja	A viszonylagos szilárdság		
				I	III	V
				jelű cement használata esetén		
450	nyomó	1	–	0,42	0,87	1,27
		7	víz	0,56	1,03	1,35
		7	1 ó. víz	0,54	1,03	1,28
		28	víz	0,78	1,26	1,22
		28	1 ó víz	0,65	1,18	1,22
300	nyomó	1	–	0,25	0,81	0,84
		7	víz	0,38	1,07	1,06
		7	1 ó. víz	0,31	1,06	1,13
		28	víz	0,50	1,39	1,18
		28	1 ó víz	0,39	1,28	1,12
450	hajlító-húzó	1	–	0,49	0,86	1,07
		7	víz	0,56	0,86	1,01
		7	1 ó. víz	0,54	0,85	0,96
		28	víz	0,84	1,05	1,15
		28	1 ó víz	0,71	0,88	1,01
300	hajlító-húzó	1	–	0,22	0,75	0,80
		7	víz	0,41	0,91	0,79
		7	1 ó. víz	0,29	0,86	0,87
		28	víz	0,63	1,04	0,95
		28	1 ó víz	0,42	0,88	0,92

g) A gőztér relatív légnedvesség-tartalmának a hatását a 13.13. táblázat szemlélteti. A 13.13. és a 13.10. táblázat összehasonlításából megállapíthatjuk, hogyha a gőztér relatív légnedvességtartalma 100% helyett csak 60%, akkor a gőzölés utáni szilárdság kisebb lesz és a hajlító-húzószilárdság elmaradása nagyobb mérvű, mint a nyomószilárdságé, továbbá nagyobb a durva őrlésű cementé, mint a finom-őrlésűé. Ebben az esetben nagyobb hatása mutatkozott az 1 órás vizes kezelésnek, mint 100% relatív légnedvesség esetén. A tartós vizes utókezelés hatására a szilárdulás valamivel gyorsabb, mint a 100% relatív légnedvességű térben gőzölt betoné, de túlnyomórészt még 28 napos korban is szilárdságelmaradás mutatkozik.

**13.12. táblázat.** 70 °C hőmérsékleten gőzölt betonok 1, 7 és 28 napos szilárdsága a természetesen szilárduló, I. jelű cementtel készített beton 28 napos szilárdságához viszonyítva. (Gőztér relatív légnedvesség-tartalma 100%, gőzölés tartama 6 óra, a lehűtés lassú volt.)

Cement- mennyiség, kg/m <sup>3</sup>	Szilárdság	Beton kora, nap	Kezelés módja	A viszonylagos szilárdság		
				I	III	V
				jelű cement használata esetén		
450	nyomó	1	–	0,63	1,08	1,36
		7	víz	0,69	1,08	–
		7	1 ó. víz	0,90	1,27	–
		7	szabad	0,80	1,28	–
		28	víz	0,91	1,26	1,31
		28	1 ó víz	0,86	1,36	1,30
		28	szabad	0,87	1,37	1,24
300	nyomó	1	–	0,35	1,04	1,11
		7	víz	0,45	1,20	–
		7	1 ó. víz	0,56	1,18	–
		7	szabad	0,55	1,16	–
		28	víz	0,67	1,47	1,39
		28	1 ó víz	0,59	1,26	1,15
		28	szabad	0,53	1,27	1,11
450	hajlító-húzó	1	–	0,79	0,82	0,94
		7	víz	0,73	0,90	–
		7	1 ó víz	0,88	0,99	–
		7	szabad	0,84	0,96	–
		28	víz	0,98	0,99	1,35
		28	1 ó víz	0,96	0,96	1,06
		28	szabad	0,90	0,84	1,18
300	hajlító-húzó	1	–	0,44	0,75	0,68
		7	víz	0,52	0,97	–
		7	1 ó víz	0,60	0,98	–
		7	szabad	0,66	0,86	–
		28	víz	0,72	1,11	0,95
		28	1 ó víz	0,65	0,96	1,06
		28	szabad	0,53	0,87	1,01



**13.13. táblázat.** 85 °C hőmérsékleten gőzölt betonok 1, 7 és 28 napos szilárdsága a természetesen szilárduló, I. jelű cementtel készített beton 28 napos szilárdságához viszonyítva. (Gőztér relatív légnedvesség-tartalma 60%, a gőzölés tartama 6 óra, a lehűtés gyors volt.)

Cement-mennyiség, kg/m <sup>3</sup>	Szilárdság	Beton kora, nap	Kezelés módja	A viszonylagos szilárdság		
				I	III	V
				jelű cement használata esetén		
450	nyomó	1	–	0,40	0,78	0,88
		7	víz	0,54	0,90	1,21
		7	1 ó. víz	0,50	–	1,27
		28	víz	0,76	1,15	1,24
		28	1 ó víz	0,59	1,01	1,41
300	nyomó	1	–	0,31	0,70	0,92
		7	víz	0,42	0,92	1,27
		7	1 ó. víz	0,40	0,87	1,22
		28	víz	0,59	1,41	1,46
		28	1 ó víz	0,50	1,01	1,39
450	hajlító-húzó	1	–	0,39	0,63	0,74
		7	víz	0,64	0,83	0,88
		7	1 ó. víz	0,58	–	0,94
		28	víz	0,85	0,90	0,85
		28	1 ó víz	0,65	0,87	1,20
300	hajlító-húzó	1	–	0,29	0,55	0,68
		7	víz	0,50	0,78	0,78
		7	1 ó. víz	0,39	0,55	0,85
		28	víz	0,64	0,95	1,00
		28	1 ó víz	0,55	0,69	1,06

## 13.5. Egyrétegű ipari betonpadozat optimális összetételének keresése

[Balázs (1969)]

### 13.5.1. A kísérlet leírása

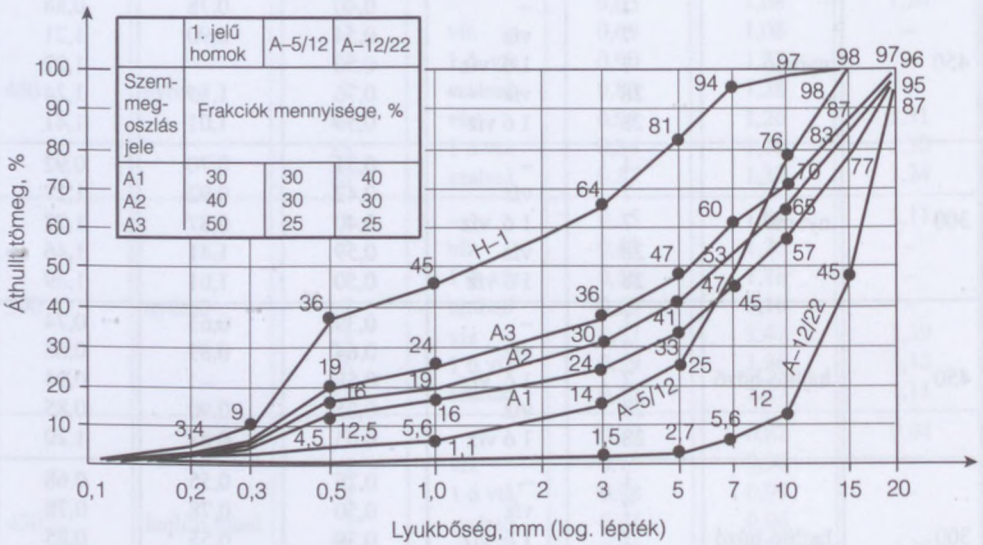
A 23. sz. Állami Építőipari Vállalat [Balázs (1969)], illetve az Építéstudományi Intézet [Balázs (1969)] megbízásából azzal a céllal végeztünk kísérletet, hogy a rendelkezésre álló anyagok és eszközök figyelembevételével keressük az egyrétegű ipari betonpadozat optimális összetételét. Feltétel volt, hogy az adalékanyag legnagyobb szemnagysága lehetőleg ne legyen 20 mm-nél nagyobb. Mivel az ipari betonpadozattal szemben támasztott egyik fő követelmény a beton hajlító-húzó szilárdsága, ezért a kísérletek alkalmasak arra, hogy a cementfajta, a cementtarta-

lom, az adalékanyag fajtája és szemmegoszlása, a víz-cement tényező és a beton hajlító-húzó szilárdsága közötti összefüggést vizsgáljuk.

A kísérlet során a 13.1. és 13.3. táblázatban a 6. sorszámú váci 600-as portlandcementet, illetve a 7. sorszámú váci 500-as kohósalak portlandcementet használtuk.

A kísérlet során felhasznált adalékanyagok:

a) A 13.22. ábrán feltüntetett H-1 jelű 0/5 mm-es homok, továbbá NZ 5/12 és NZ 12/22 mm szemmagyságú szobi andezit;



13.22. ábra. Andezitbetonok adalékanyag-frakcióinak és a betonok adalékkeverékének szemmegoszlási görbéi.

b) A csepeli osztályozóból nyert H-2 jelű 0/3 és 3/5 mm-es homok, továbbá 5/15 és 15/30 mm-es dunai kavics, melyeknek szemmegoszlási görbéit a 13.23. ábra mutatja.;

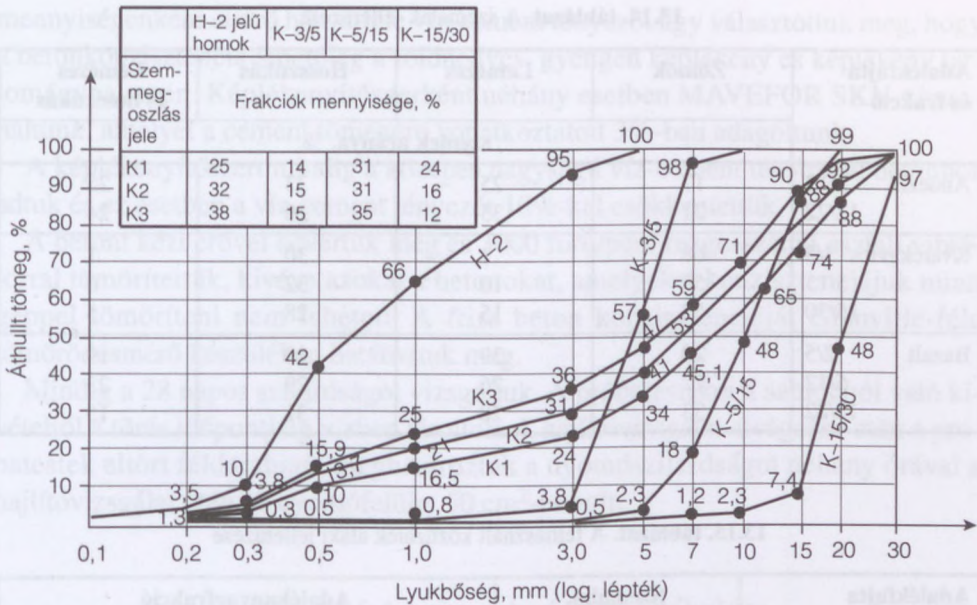
c) A 13.24. ábrán feltüntetett H-2 jelű homok, továbbá a zalahalápi bazaltbányából származó NZ 2/5, NZ 5/12 mm szemmagyságú nemeszúzalék.

A homokok finomrészének a szemmegoszlását szedimentálással is megvizsgáltuk.

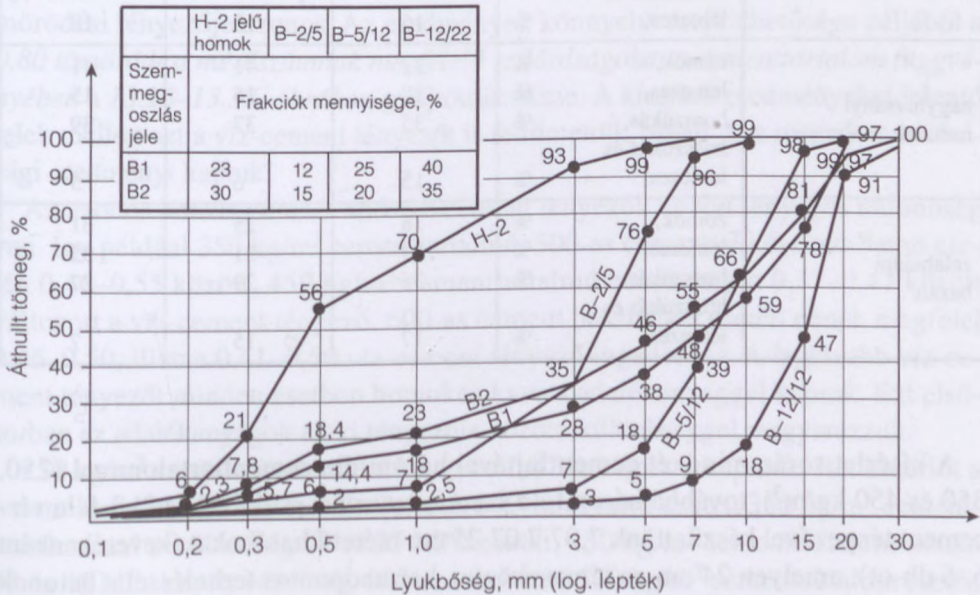
A szemalak jellemzésére az MSZ 4713 szabvány szerinti alak tényezőt használtuk. Értékeit összefoglalóan a 13.14. és 13.15. táblázat tartalmazza.

Alaki tényező szempontjából a legkedvezőbb a dunai homokos kavics, mert a legtöbb, azaz 50%-nál több zömök szemet tartalmaz. A bazalt és andezit frakciók csak kb. 20%-nyi része zömök, a lemezes, a hosszúkás, valamint a lemezes és hosszúkás rész az adalékban közel egyenletesen oszlott meg. Tehát a kísérlet során felhasznált adalékanyagok közül betontechnológiai szempontból a dunai kavics a legkedvezőbb, míg az andezit és bazalt valamivel kedvezőtlenebb.





13.23. ábra. Kavicsbetonok adalékanyag-frakcióinak és a betonok adalékkeverékének szemmegoszlási görbéi.



13.24. ábra. Bazaltbetonok adalékanyag-frakcióinak és a betonok adalékkeverékének szemmegoszlási görbéi.

13.14. táblázat. A szemalak jellemzése

Adalékfajta és frakció	Zömök	Lemezes	Hosszúkás	Lemezes és hosszúkás
	szemek aránya, %			
Andezit 5/12 12/22	17	25	33	25
	21	35	20	24
Kvarckavics 3/5 5/15 15/30	68	1	30	1
	58	10	32	0
	52	15	28	5
Bazalt 2/5 5/12 12/22	20	39	22	19
	22	26	29	23
	33	20	31	15

13.15. táblázat. A felhasznált kőzúzalék alaki jellemzése

Adalékfajta	Szemalak megnevezése		Adalékanyagfrakció		
			5/12	12/22	22/40
szobi andezit	zömök,	%	22	33	19
	lemezes,	%	28	22	39
	hosszúkás,	%	34	35	24
	hosszúkás és lemezes,	%	16	10	18
nagyharsányi mészkő	zömök,	%	32	41	41
	lemezes,	%	18	16	15
	hosszúkás,	%	35	37	39
	hosszúkás és lemezes,	%	15	6	5
zalahalápi bazalt	zömök,	%	18	25	31
	lemezes,	%	29	31	35
	hosszúkás,	%	36	29	27
	hosszúkás és lemezes,	%	17	15	7

A kísérlet során mindkét cementfajtaival háromféle cementtartalommal (250, 350 és 450 kg/m<sup>3</sup>), továbbá háromféle szemmegoszlási görbével és 2–3-féle vízcement tényezővel készítettünk 7,07·7,07·25 cm méretű hasábokat (keverékenként 6–6 db-ot), amelyen 24 cm-es támaszközön, harmadpontos terheléssel a betonok 28 napos hajlító-húzó szilárdságát meghatároztuk. Az adalékanyagot minden esetben kiszárítottuk. A szemmegoszlási görbéket úgy törekedtünk meghatározni mindhárom esetben, hogy az azonos sorszámúak az adalékanyag fajtájától függetlenül azonosak legyenek. A görbéket a 13.22–13.24. ábrán tüntettük fel. A cement-



mennyiségenként eltérő háromféle víz-cement tényezőt úgy választottuk meg, hogy a betonkonzisztencia lehetőleg a földnedves, gyengén képlékeny és képlékeny tartományba essen. Képlékenyítőszerként néhány esetben MAVEFOR SKN-t használtunk, amelyet a cement tömegére vonatkoztatott 3%-ban adagoltunk.

A képlékenyítőszert mindig a közepes nagyságú víz-cement tényezőjű betonhoz adtuk és ez esetben a víz-cement tényezőt 10%-kal csökkentettük.

A betont kézi erővel kevertük meg és 3000 ford/perc rezgésszámú asztali vibrátorral tömörítettük, kivéve azokat a betonokat, amelyeket konzisztenciájuk miatt géppel tömöríteni nem lehetett. A friss beton konzisztenciáját Glanville-féle tömörödésmérő készüléken határoztuk meg.

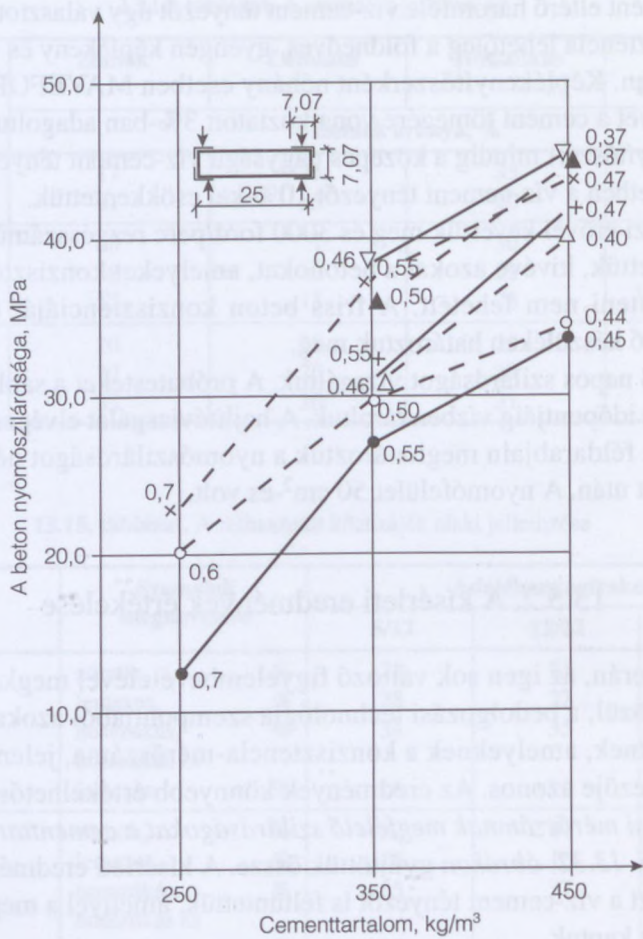
Mindig a 28 napos szilárdságot vizsgáltuk. A próbatesteket a sablonból való kivételről a törés időpontjáig vízben tároltuk. A hajlítóvizsgálat elvégzése után a próbatestek eltört féldarabjain meghatároztuk a nyomószilárdságot néhány órával a hajlítóvizsgálat után. A nyomófelület  $50 \text{ cm}^2$ -es volt.

### 13.5.2. A kísérleti eredmények értékelése

a) A kísérlet során, az igen sok változó figyelembevételével megkapott kísérleti eredmények közül, a bedolgozási technológia szempontjából azokat tekinthetjük egyenértékűeknek, amelyeknek a konzisztencia-mérőszáma, jelen esetben a tömörödési tényezője azonos. Az eredmények könnyebb értékelhetősége céljából a *0,80 tömörödési mérőszámnak megfelelő szilárdságokat a cementtartalom függvényében a 13.25–13.32. ábrákon* gyűjtöttük össze. A kísérleti eredményeket jelentő jelek mellett azt a víz-cement tényezőt is feltüntettük, amellyel a megadott szilárdsági eredményt kaptuk.

Az azonos konzisztenciát adó víz-cement tényezők között lényeges különbség van. Így például  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú, 500-as cementtel készített beton esetén 0,46–0,55 között,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú beton esetén 0,37–0,47 között változott a víz-cement tényező. 600-as cement használata esetén ennek megfelelő 0,46–0,50, illetve 0,41–0,50 víz-cement tényező ingadozása. A legkisebb víz-cement tényezőt minden esetben homokos kavics adalékanyaggal kaptuk. Ezt elsősorban az adalékanyagok alakító tényezője közötti különbséggel magyarázzuk.

$250 \text{ kg/m}^3$  cementtartalommal kis nyomószilárdságokat kaptunk. Rendszerint a betont sem lehetett kellően tömöríteni. 500-as cement esetén  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalommal a szilárdság 27 és 35 MPa között,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén 33 és 45 MPa között változott. 600-as cementtel  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén 34–45,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtel 40 és 50  $\text{N/mm}^2$  szilárdságot kaptunk. A legkisebb szilárdságokat minden esetben andezit adalékanyaggal értük el. A legnagyobb szilárdságokat bazalt, illetve homokos kavics adalékanyaggal általában akkor kaptuk, amidőn az adalékanyag szemmegoszlási görbéje 2. jelű volt.

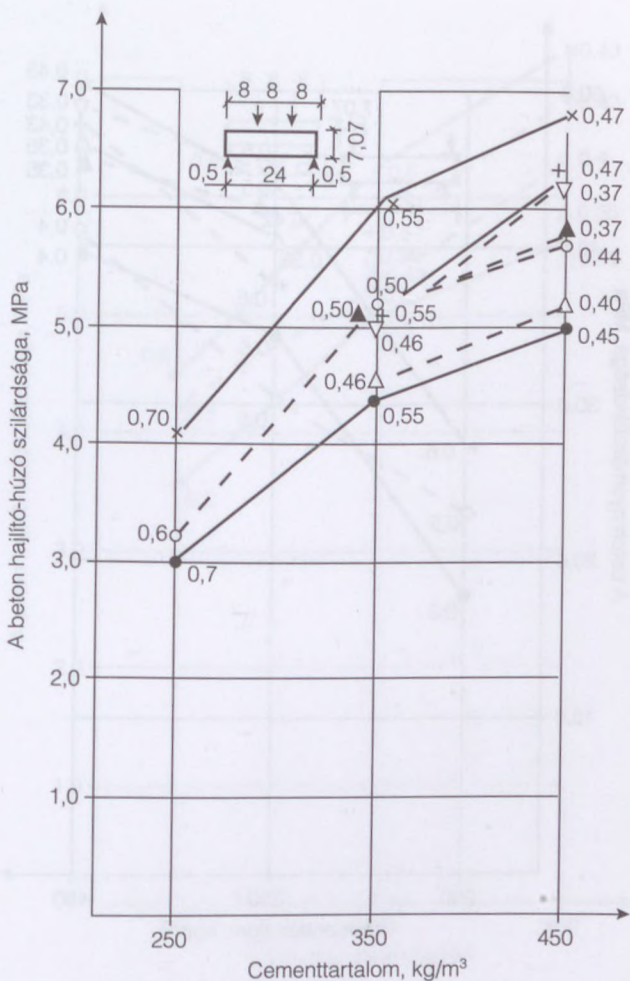


Jelölés:

- — A1 jelű adalékanyag
- - - - A2 jelű adalékanyag
- + — B1 jelű adalékanyag
- × - - - B2 jelű adalékanyag
- △ - - - K1 jelű adalékanyag
- ▽ — K2 jelű adalékanyag
- ▲ - - - K3 jelű adalékanyag

13.25. ábra. A váci 550-es kohósalak-portlandcementtel készített betonok nyomószilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési tényező kb. 0,80).

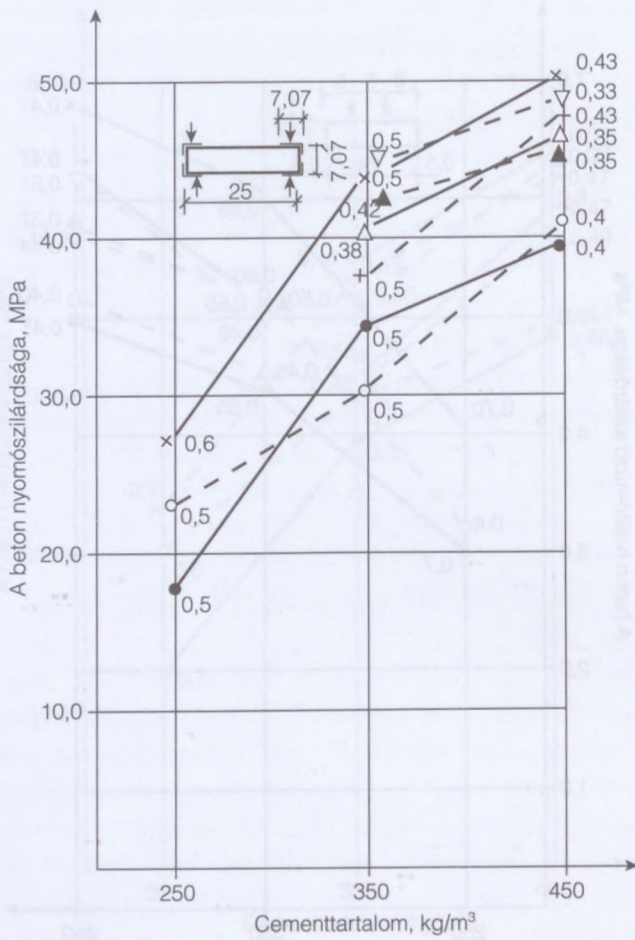




Jelölés:

- — A1 jelű adalékanyag
- - - - A2 jelű adalékanyag
- + — B1 jelű adalékanyag
- x — B2 jelű adalékanyag
- Δ - - - K1 jelű adalékanyag
- ▽ - - - K2 jelű adalékanyag
- ▲ - - - K3 jelű adalékanyag

13.26. ábra. A váci 500-as kohósalak-portlandcementtel készített betonok hajlító-húzó szilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési tényező kb. 0,80).

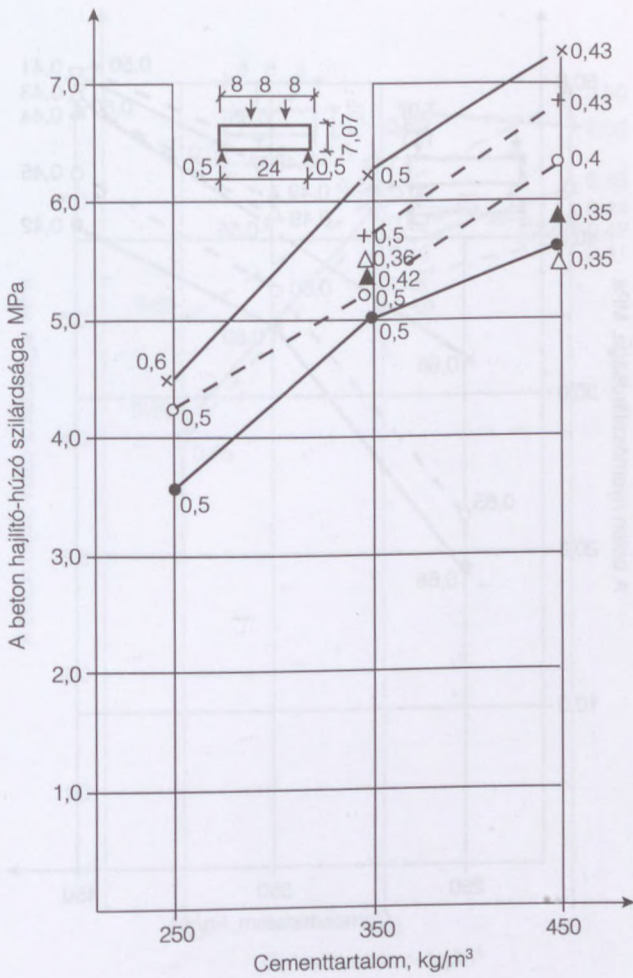


Jelölés:

- — A1 jelű adalékanyag
- - - - A2 jelű adalékanyag
- + - - - B1 jelű adalékanyag
- × — B2 jelű adalékanyag
- △ — K1 jelű adalékanyag
- ▽ - - - K2 jelű adalékanyag
- ▲ - - - K3 jelű adalékanyag

13.27. ábra. Váci 600-as portlandcementtel készített betonok nyomószilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési tényező kb. 0,80).

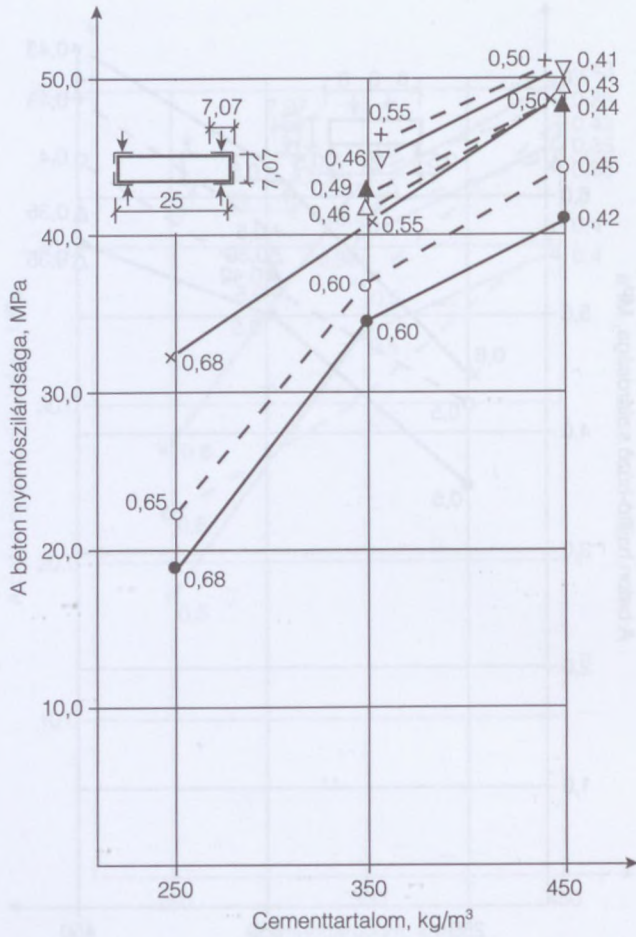




Jelölés:

- — A1 jelű adalékanyag
- - - - A2 jelű adalékanyag
- + - - - B1 jelű adalékanyag
- x — B2 jelű adalékanyag
- △ — K1 jelű adalékanyag
- ▽ - - - K2 jelű adalékanyag
- ▲ — K3 jelű adalékanyag

13.28. ábra. Váci 600-as portlandcementtel készített betonok hajlító-húzó szilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési tényező kb. 0,80).

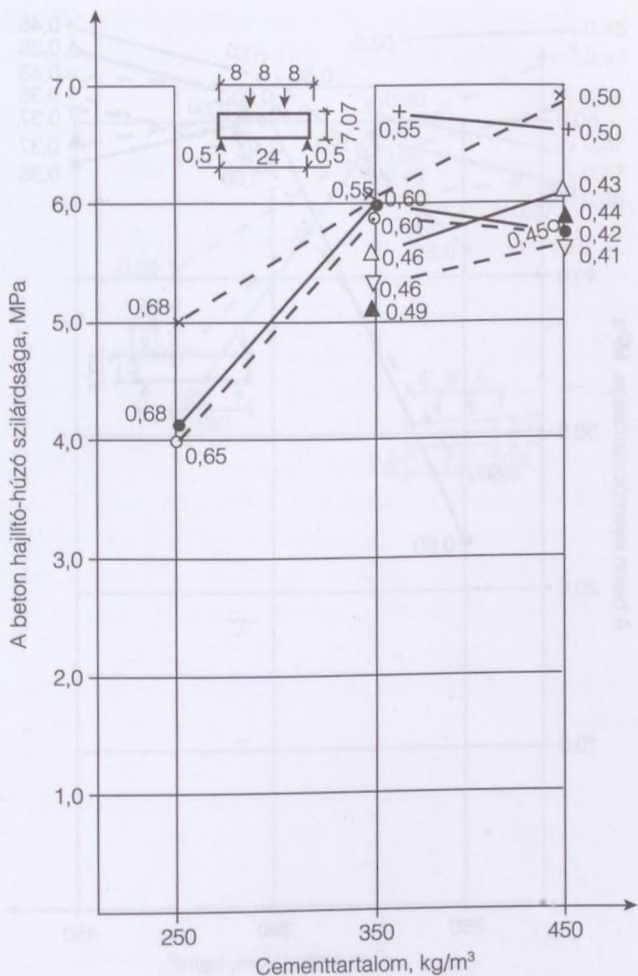


Jelölés:

- — A1 jelű adalékanyag
- - - - A2 jelű adalékanyag
- + - - - B1 jelű adalékanyag
- × — B2 jelű adalékanyag
- △ - - - K1 jelű adalékanyag
- ▽ — K2 jelű adalékanyag
- ▲ - - - K3 jelű adalékanyag

13.29. ábra. A váci 500-as kohósalak-portlandcementtel készített betonok nyomószilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési tényező kb. 0,70).

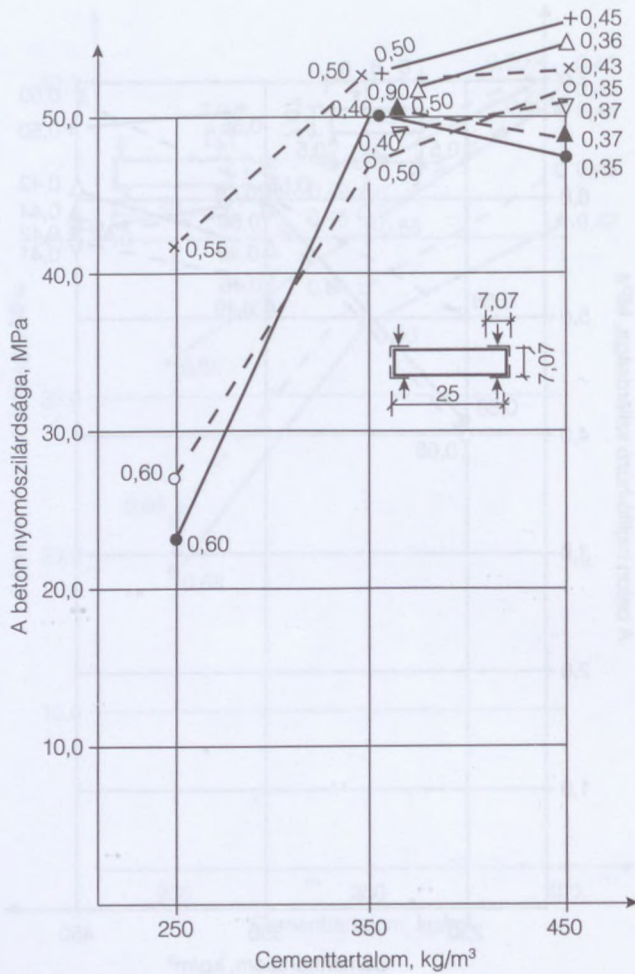




Jelölés:

- — A1 jelű adalékanyag
- - - - A2 jelű adalékanyag
- + — B1 jelű adalékanyag
- x - - - B2 jelű adalékanyag
- Δ — K1 jelű adalékanyag
- ▽ - - - K2 jelű adalékanyag
- ▲ - - - K3 jelű adalékanyag

13.30. ábra. A váci 500-as kohósalak-portlandcementtel készített betonok hajlító-húzó szilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési tényező kb. 0,70).

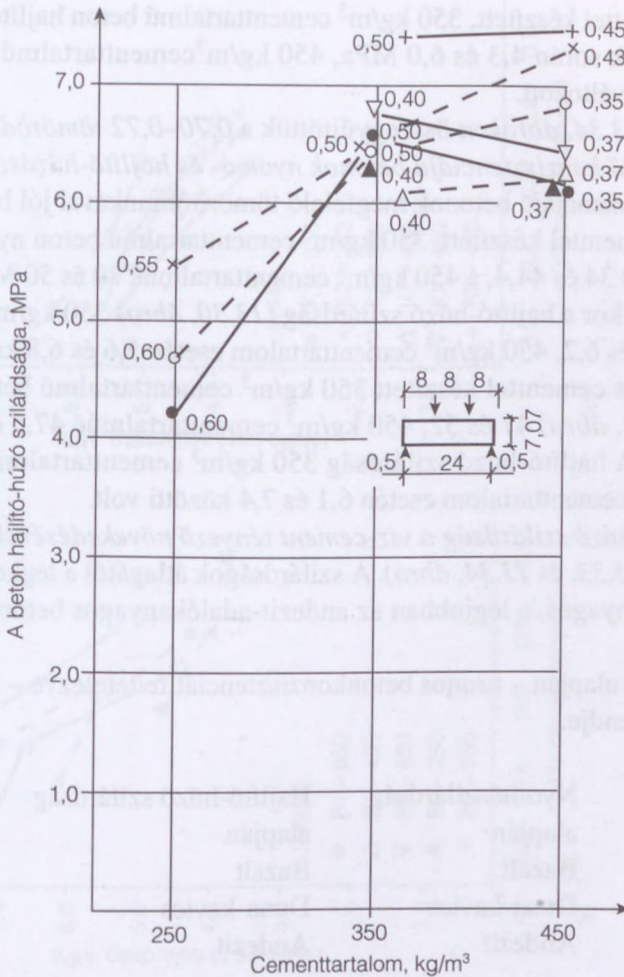


Jelölés:

- — A1 jelű adalékanyag
- - - - A2 jelű adalékanyag
- + — B1 jelű adalékanyag
- × - - - B2 jelű adalékanyag
- △ — K1 jelű adalékanyag
- ▽ - - - K2 jelű adalékanyag
- ▲ - - - K3 jelű adalékanyag

13.31. ábra. Váci 600-as portlandcementtel készített betonok nyomószilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési tényező kb. 0,70).





Jelölés:

- — A1 jelű adalékanyag
- - - - A2 jelű adalékanyag
- + — B1 jelű adalékanyag
- × - - - B2 jelű adalékanyag
- △ — K1 jelű adalékanyag
- ▽ - - - K2 jelű adalékanyag
- ▲ - - - K3 jelű adalékanyag

13.32. ábra. Váci 600-as portlandcementtel készített betonok hajlító-húzó szilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési tényező kb. 0,70).

500-as cementtel készített,  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú beton hajlító-húzószilárdsága a kísérletek során 4,3 és 6,0 MPa,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú betoné 5,0 és 6,6 MPa között változott.

b) A 13.33–13.34. ábrákon összegyűjtöttük a 0,70–0,72 tömörödési mérőszámmal jellemezhető konzisztenciájú betonok nyomó- és hajlító-húzószilárdságait is. Az ilyen konzisztenciájú betonok megfelelő tömörítőmunkával jól bedolgozhatók. Váci 500-as cementtel készített,  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú beton nyomószilárdsága (13.29. ábra) 34 és 44,4, a  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmúé 40 és 50 MPa között változott. Ugyanakkor a hajlító-húzó szilárdság (13.30. ábra)  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén 5,0 és 6,2,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén 5,6 és 6,8 közötti volt.

A váci 600-as cementtel készített  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú beton nyomószilárdsága (13.31. ábra) 47 és 52,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmúé 47,5 és 56 MPa között változott. A hajlító-húzó szilárdság  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén 6,0 és 7,3,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalom esetén 6,1 és 7,4 közötti volt.

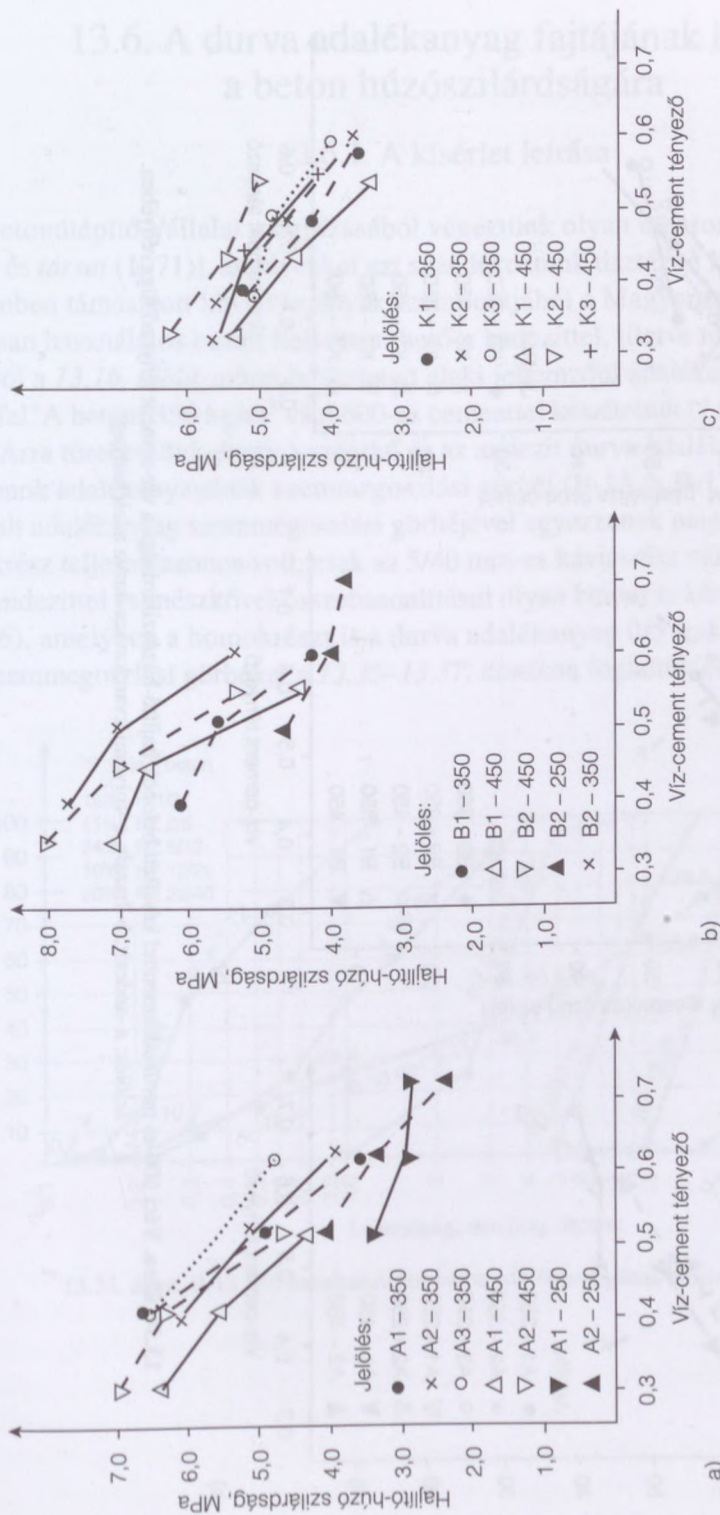
c) A hajlító-húzó szilárdság a víz-cement tényező növekedésével közel lineárisan csökkent (13.33. és 13.34. ábra). A szilárdságok átlagától a legkevésbé a kvarc-kavics-adalékanyag, a legjobban az andezit-adalékanyag betonok szilárdsága tért el.

E kiértékelés alapján – azonos betonkonzisztenciát feltételezve – az adalékanyagok jósági sorrendje:

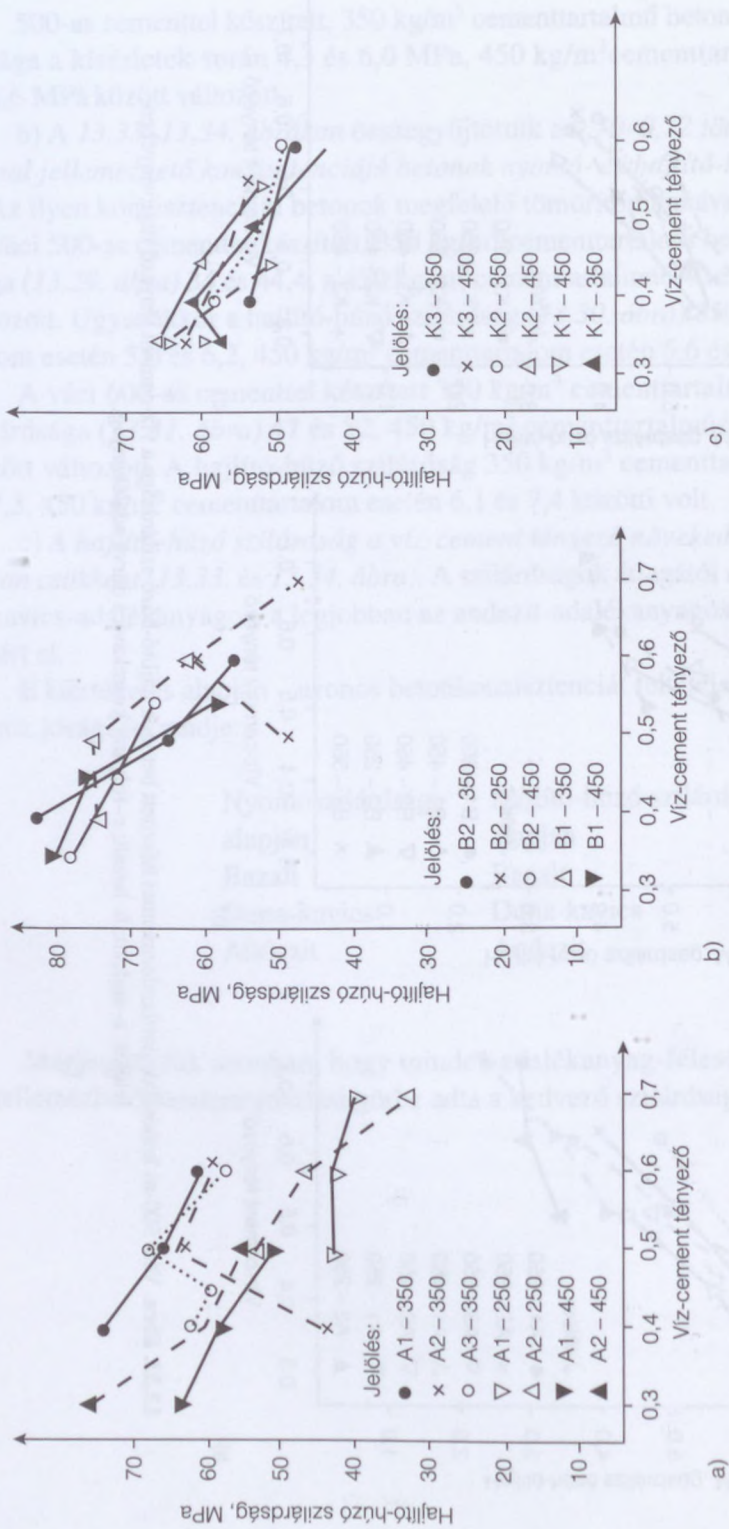
Nyomószilárdság alapján	Hajlító-húzó szilárdság alapján
Bazalt	Bazalt
Duna-kavics	Duna-kavics
Andezit	Andezit

Megjegyezzük azonban, hogy minden adalékanyag-féleség esetén a 2. jelűvel jellemezhető szemmegoszlási görbe adta a kedvező szilárdságokat.





**13.33. ábra.** Váci 500-as kohósalak-portlandcementtel készített betonok hajlító-húzó szilárdsága a víz-cement tényező függvényében. Jelölés: a–andezit; b–bazalt; c–folyami kvarckavics durva adalékanyag.



**13.34. ábra.** Váci 600-as portlandcementtel készített betonok hajlító-húzószilárdsága a víz-cement tényező függvényében. Jelölés: a—andezit; b—bazalt; c—folyami kvarckavics durva adalékanyag.

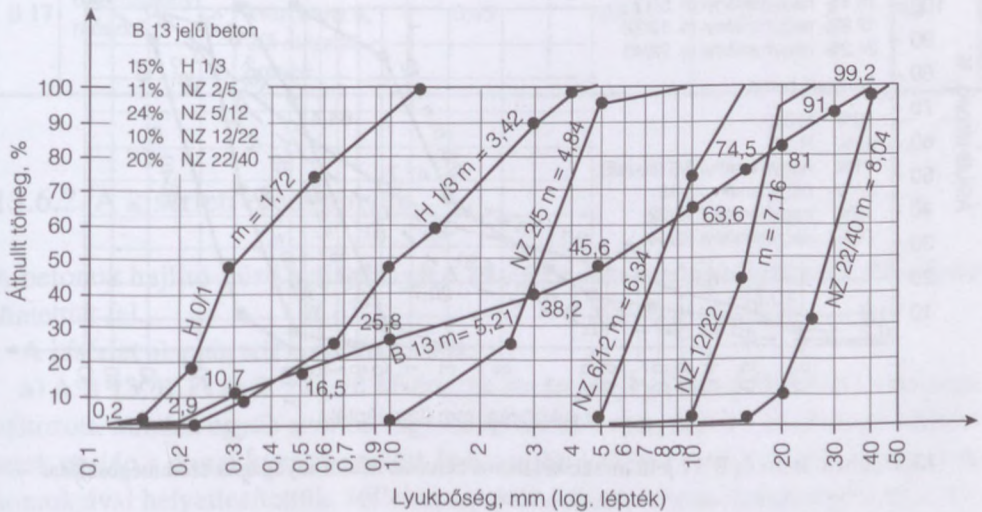


## 13.6. A durva adalékanyag fajtájának hatása a beton húzószilárdságára

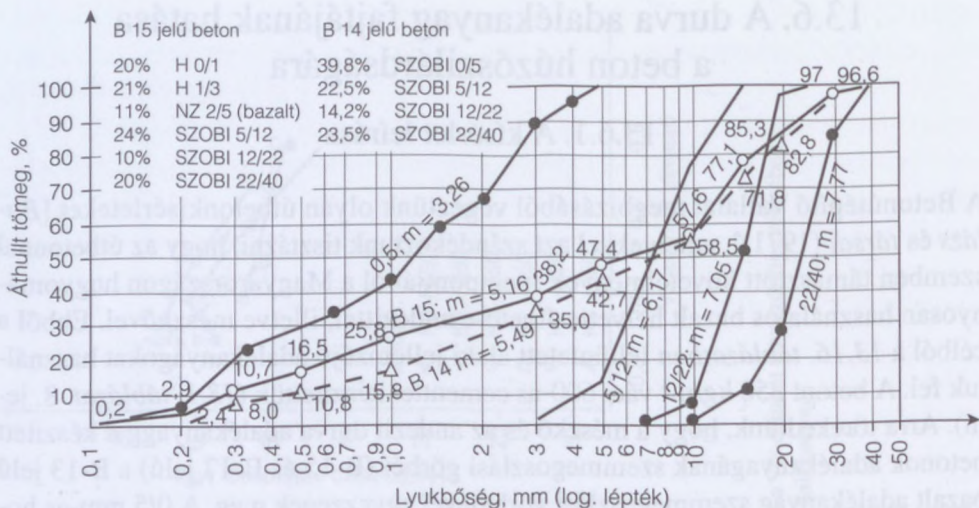
### 13.6.1. A kísérlet leírása

A Betonútépítő Vállalat megbízásából végeztünk olyan útbetonkísérleteket [Balázs és társai (1971)], amelyekkel azt szándékoztunk tisztázni, hogy az útbetonnal szemben támasztott követelmények szempontjából a Magyarországon hagyományosan használatos bazalt helyettesíthető-e andezittel, illetve mészkővel. Ebből a célból a 13.16. táblázatban feltüntetett alaki jellemzőjű adalékanyagokat használtuk fel. A betont  $350 \text{ kg/m}^3$  váci 600-as cementtel készítettük (13.1. táblázat. 8. jelelű). Arra törekedtünk, hogy a mészkő és az andezit durva adalékanyaggal készített betonok adalékanyagának szemmegoszlási görbéi (B-15 és B-17 jelű) a B-13 jelű bazalt adalékanyag szemmegoszlási görbéjével egyezzenek meg. A 0/5 mm-es homokrész teljesen azonos volt, csak az 5/40 mm-es kavicsrész változott.

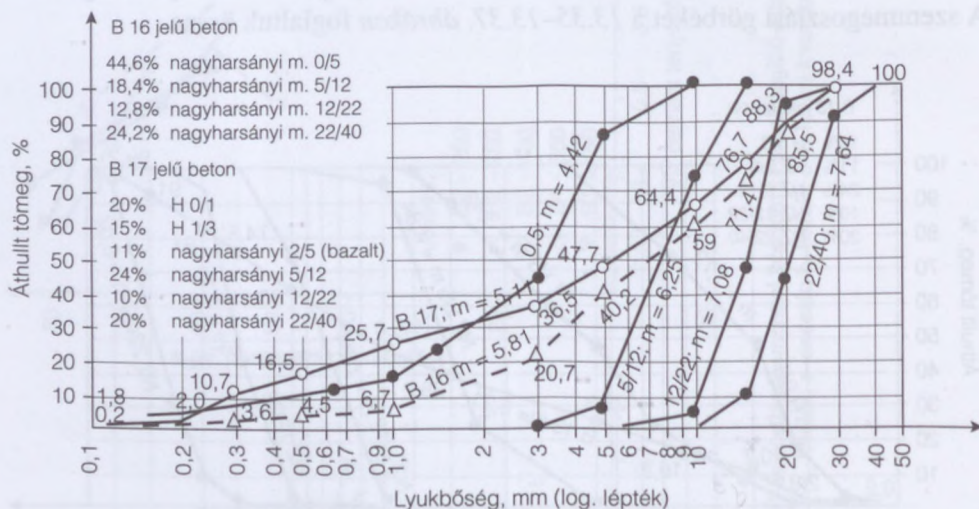
Andezittel és mészkővel összehasonlításul olyan betont is készítettünk (B-14 és B-16), amelyben a homokrészt is a durva adalékanyag 0/5 frakciója szolgáltatta. A szemmegoszlási görbéket a 13.35–13.37. ábrákon foglaltuk össze.



13.35. ábra. B-13 jelű bazaltadalékos beton adalékanyagának szemmegoszlása.



13.36. ábra. B-14 és B-15 jelű andezitadalékos betonok adalékanyagának szemmegoszlása.



13.37. ábra. B-16 és B-17 jelű mészkőadalékos betonok adalékanyagának szemmegoszlása.

Valamennyi beton esetében a konzisztencia azonosságára törekedtünk. A friss beton jellemzőit (víz-cement tényező, tömörödési mérőszám, testsűrűség) a 13.16. táblázatban tüntettük fel.



13.16. táblázat. A betonösszetétel és a friss beton jellemzői

Jele	5 mm-nél		Víz-cement tényező	Tömörödési tényező	Friss beton testsűrűsége, kg/m <sup>3</sup>	Vibrálás tartama, másodperc
	nagyobb	kisebb				
	adalékanyagfajta					
B 13	zalahalápi bazalt	H 0/1 és H 1/3 osztályozott kvarchomok, NZ 2/5 bazalthomok	0,455	0,82	2506	40
B 14	szobi andezit	0/5 andezit homok	0,6	0,81	2375	40
B 15	szobi andezit	H 0/1 és H 1/3 osztályozott kvarchomok, NZ 2/5 bazalthomok	0,465	0,80	2465	40
B 16	nagyharsányi mészkő	0/5 mészkő-homok	0,465	0,80	2501	40
B 17	nagyharsányi mészkő	H 0/1 és H 1/3 osztályozott kvarchomok, 2/5 mészkő-homok	0,45	0,82	2501	40

### 13.6.2. A kísérleti eredmények

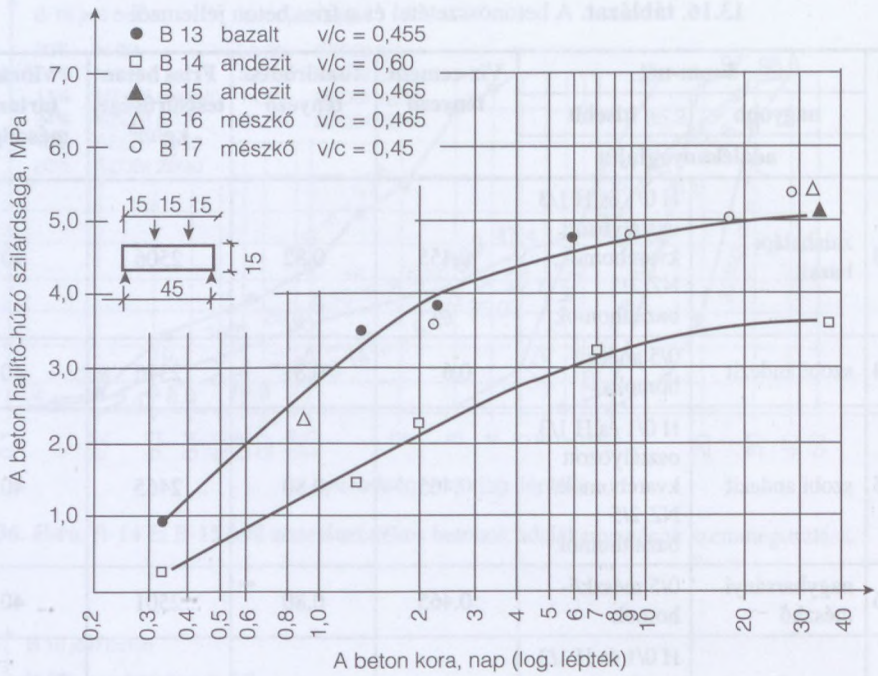
A betonok hajlító-húzó szilárdságát a 13.38., nyomószilárdságát a 13.39. ábrán tüntettük fel.

A kísérlet alapján tett megállapítások:

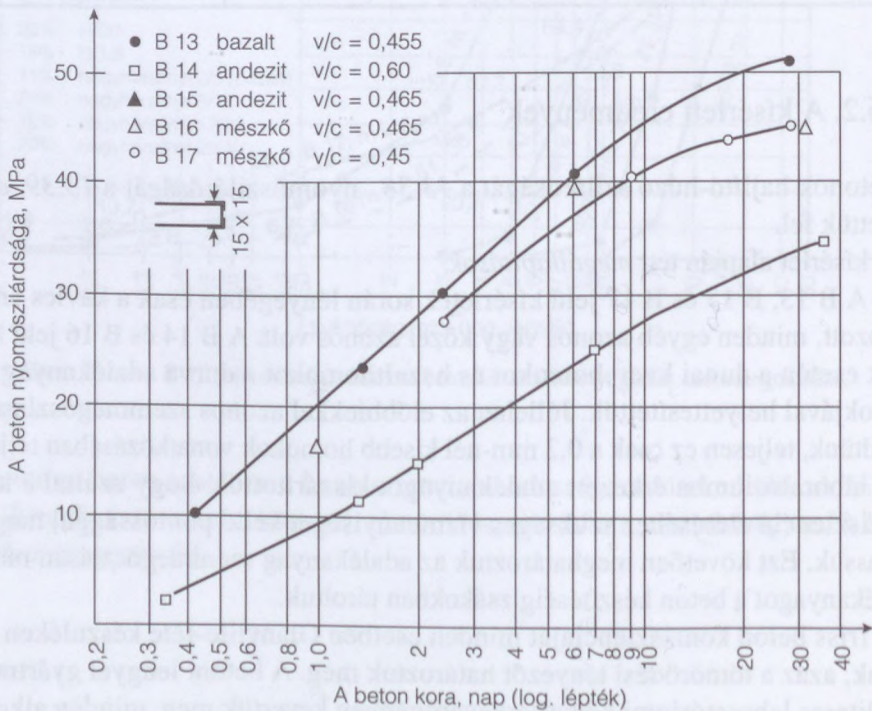
a) A B 13, B 15 és B 17 jelű kísérletek során lényegében csak a kavics anyaga változott, minden egyéb azonos vagy közel azonos volt. A B 14 és B 16 jelű kísérletek esetén a dunai kvarchomokot és bazalthomokot a durva adalékanyag saját homokjával helyettesítettük. Jóllehet az előbbiekkal azonos szemmegoszlásra törekedtünk, teljesen ez csak a 0,2 mm-nél kisebb homokok vonatkozásában teljesült.

A laboratóriumba érkezett adalékanyagot kiszárítottuk, hogy ezáltal a kívánt konzisztencia eléréséhez szükséges vízmennyiséget kellő pontossággal megállapíthassuk. Ezt követően meghatároztuk az adalékanyag szemmegoszlását, majd az adalékanyagot a beton készítéséig zsákokban tároltuk.

A friss beton konzisztenciáját minden esetben Glanville-féle készüléken vizsgáltuk, azaz a tömörödési tényezőt határoztuk meg. A betont lengyel gyártmányú 100 literes laboratóriumi kényszerkeverőgépben kevertük meg, minden alkotóré-



13.38. ábra. A betonok hajlító-húzó szilárdsága.



13.39. ábra. A betonok nyomószilárdsága.



szét tömeg szerint adagolva. A bedolgozást RZ-4 típusú rázóasztalon végeztük úgy, hogy a sablonokat a rázóasztalhoz rögzítettük. A bedolgozás során az azonos konzisztenciájú keverékekhez azonos tömörítési időt választottunk.

A próbatesteket kiformázásig a bedolgozás helyén tároltuk, majd azt követően a vizsgálat időpontjáig az utókezelést állandó hőmérsékletű térben, nedves jutavásson takarással hajtottuk végre.

A próbatestek vizsgálatát a kiformázás után azonnal (kb. 8 óras korban) megkezdjük, majd 1, 2, 7 és 28 napos korban folytattuk.

A hajlító-húzó szilárdság vizsgálatához 15·15·50 cm méretű hasábokat készítünk, melyeket 45 cm támaszközön harmadpontos erővel hajlítottunk el. A próbatestek eltört darabjain meghatároztuk a testszilárdságot (nyomószilárdság) 225 cm<sup>2</sup> nagyságú nyomólap segítségével.

A betonok kockaszilárdsága 20 cm élhosszú kockán 28–40 napos korban:

Jele	Adalékfajta	Kockaszilárdság MPa
B 13	Bazalt	54,6
B 14	Andezit (saját homokkal)	42,3
B 15	Andezit	57,9
B 16	Mészkeő (saját homokkal)	50,2
B 17	Mészkeő	55,7

Tehát a durva adalékanyag (kavics) fajtája a kockaszilárdságot észrevehetően nem befolyásolta. Lényegesen eltért ettől az andezithomokkal és mészkeőhomokkal készített betonok kockaszilárdsága. Ennek okát elsősorban abban látjuk, hogy több 0,1 mm alatti finomhomokot tartalmaztak, továbbá nem volt tiszta a zúzotthomok. Andezithomok használata esetén lényegesen megnőtt a beton vízigénye is.

Hasonlóan a többi szilárdságot tekintve is messze elmaradt a B 14 jelű beton szilárdsága a többiétől. A továbbiakban tehát csak a többi négy beton szilárdságát hasonlítjuk össze.

b) A B 13 jelű bazaltbetonnal mint durva adalékanyaggal készített beton szilárdsága időben a következő volt (diagramból leolvasott értékek):

Beton kora	Hajlító-húzó szilárdság, %	Testszilárdság, %
8 óra	18	15,7
12 óra	30	23,5
18 óra	50	32,6
24 óra	60	39,0
48 óra	77	55,0
7 nap	93	83,0
28 nap	100	100,0
28 nap, MPa	5,0	51,0

A bazaltbeton hajlító-húzó szilárdságához hasonlítva a mészkőbetonét, fiatal korban annál kisebb volt, 10 napos kortól kezdve azonban azzal megegyezett vagy valamivel nagyobb volt. A B 15 jelű andezitbetonnal csak 28 napos szilárdságunk van, amely mindhárom szilárdságfajta esetén a B 13 jelű bazaltbetonéval egyezett meg. Tehát az a körülmény, hogy a beton 5/40 adalékanyagát azonos szemmegoszlású és közel azonos alakú tulajdonságú bazalt, szobi andezit vagy nagyharsányi mészkő alkotta, a hajlító-húzó szilárdságban nem okozott lényeges különbséget.

### 13.7. A víz-cement tényező változásának a hatása a beton húzószilárdságára a beton kora függvényében

[Balázs és társai (1976)]

A beton készítésekor általában, így az útbeton készítésekor is arra törekednek, hogy a beton konzisztenciáját lehetőleg azonosnak tartsák, vagyis olyanak, amit az adott bedolgozógéppel optimálisan tömöríteni lehet. A gyakorlat szerint azonban ezt a konzisztenciát nem mindig sikerül betartani. Szükséges tehát annak ismerete, hogy a beton húzószilárdsága milyen mértékben változik meg akkor, ha a víz-cement tényező az optimálistól kisebb mértékben eltér. (Ez a körülmény a beton egyéb tulajdonságát is megváltoztatja, ezt azonban e helyen nem tárgyaljuk.)

Ennek a tényezőnek a megvizsgálására a 13.6. fejezetben B 13-mal jelölt betont úgy is elkészítettük, hogy a víz-cement tényezőjét változtattuk. A friss beton jellemzőit a 13.40. ábrán tüntettük fel.

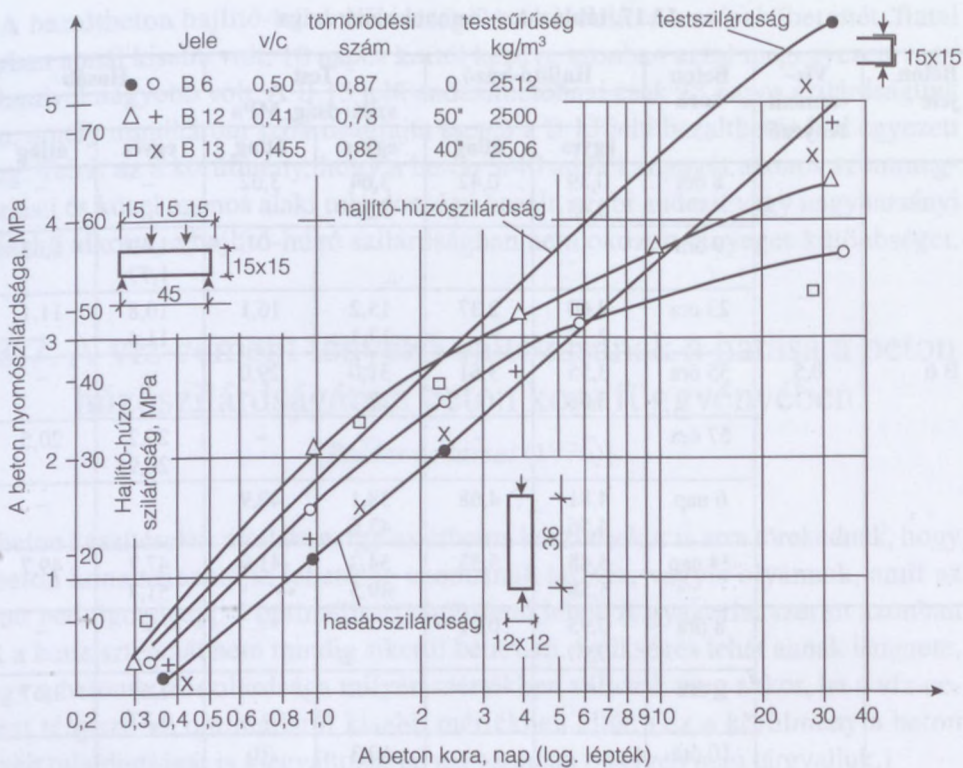
A beton készítése, tárolása és vizsgálata az előző fejezetben ismertetettel egyezett meg.

A beton szilárdsági eredményeit a 13.17. táblázatban adtuk meg. Összehasonlítással az eredményeket a 13.40. ábra is tartalmazza, mely szerint a beton kb. 6 órás kortól kezdve szilárdult, és a 0,50 víz-cement tényezőjű beton hajlító-húzó szilárdsága 0,4–0,5 MPa-lal volt kisebb a 0,41 víz-cement tényezőjű betonénál. A gyakorlatban leginkább számításba vehető B 13 jelű beton hajlító-húzó szilárdsága kezdetben a B 12 jelűével, 7 napos kortól kb. a B 6 jelűével egyezett meg.



13.17. táblázat. A betonok szilárdsága

Beton jele	Víz-cement tényező	Beton kora	Hajlító-húzó		Test		Hasáb			
			szilárdság, MPa						egyes	átlag
			egyes	átlag	egyes	átlag				
B 6	0,5	8 óra	0,39 0,45	0,42	3,64 3,59	3,62	–	–		
		9 óra	–	–	–	–	1,49 1,77	1,63		
		23 óra	2,60 2,15	2,37	15,2 17,1	16,1	10,8 11,4	11,1		
		55 óra	3,55 3,68	3,61	31,0 27,1	29,0	–	–		
		57 óra	–	–	–	–	20,2 20,9	20,5		
		6 nap	4,81 4,56	4,68	38,1 43,6	40,9	–	–		
		34 nap	5,48 5,58	5,53	54,2 49,5	41,9	47,7 51,7	49,7		
B 13	0,455	8 óra	0,93 0,90	0,91	–	–	–	–		
		9 óra	–	–	–	–	1,57 1,77	1,67		
		10 óra	–	–	10,3 10,0	(0)	–	–		
		32 óra	3,77 3,26	3,52	23,1 24,2	23,6	15,6 15,6	15,6		
		56 óra	3,66 4,14	3,90	27,2 33,5	30,3	20,3 24,4	20,8		
		6 nap	4,89 4,65	4,77	41,0 40,4	40,7	–	–		
		28 nap	5,37 4,71	5,04	50,2 52,0	51,1	45,7 44,2	45,0		
B 12	0,41	7 óra	0,39 0,56	0,48	–	–	–	–		
		9 óra	–	–	–	–	2,22 2,31	2,27		
		10 óra	–	–	7,5 9,2	8,3	7,5 9,2	8,3		
		24 óra	2,83 3,25	3,04	24,2 22,8	23,5	14,2 12,7	13,5		
		4 nap	4,80 4,86	4,83	37,8 42,4	40,1	–	25,3		
		10 nap	5,55 5,35	5,45	50,6 48,6	49,6	47,7 48,1	–		
		32 nap	6,26 6,54	6,40	57,3 51,6	54,5	–	47,9		



13.40. ábra. Különböző víz-cement tényezővel készített bazaltbetonok összetétele és szilárdsága.

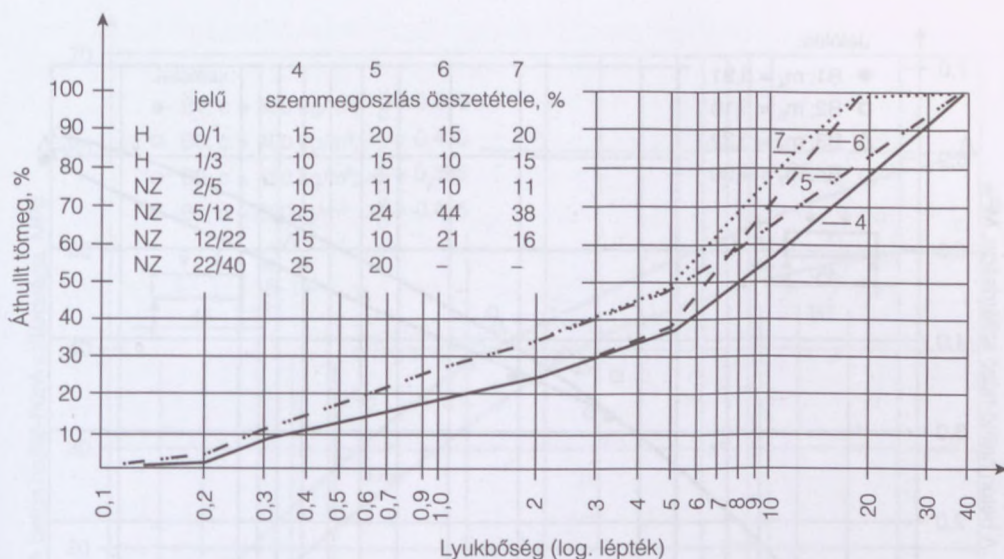
## 13.8. A cement őrlési finomságának és az adalékanyag szemmegoszlásának a hatása a bazaltbeton húzószilárdságára

A KPM Közúti Igazgatóság megbízásából végzett kísérlet során a 13.7. fejezetben B 13-mal jelölt betonösszetételt választottuk kiindulási alapnak, és ehhez képest változtattuk

- a cement őrlési finomságát,
- a cementtartalmat,
- az adalékanyag szemmegoszlását
- és egy esetben a betonkonzisztenciát.

A cement jellemzőit a 13.3. táblázatban (8 és 9. jelű), az adalékanyag homok és bazalt frakcióinak a szemmegoszlását a 13.35. ábrán adtuk meg. Ezeknek az adalékanyag-frakcióknak a felhasználásával készültek a 13.41. ábrán 4–7 jellel ellátott szemmegoszlási görbék. Az ábrán az egyes frakciók keverési arányát szintén feltüntettük.





13.41. ábra. A kísérleti betonok adalékanyagának szemmegoszlása.

Egyébként arra törekedtünk, hogy a tömörödési mérőszámmal jellemezhető betonkonzisztencia közel azonos, a tömörödési szám 0,8 legyen.

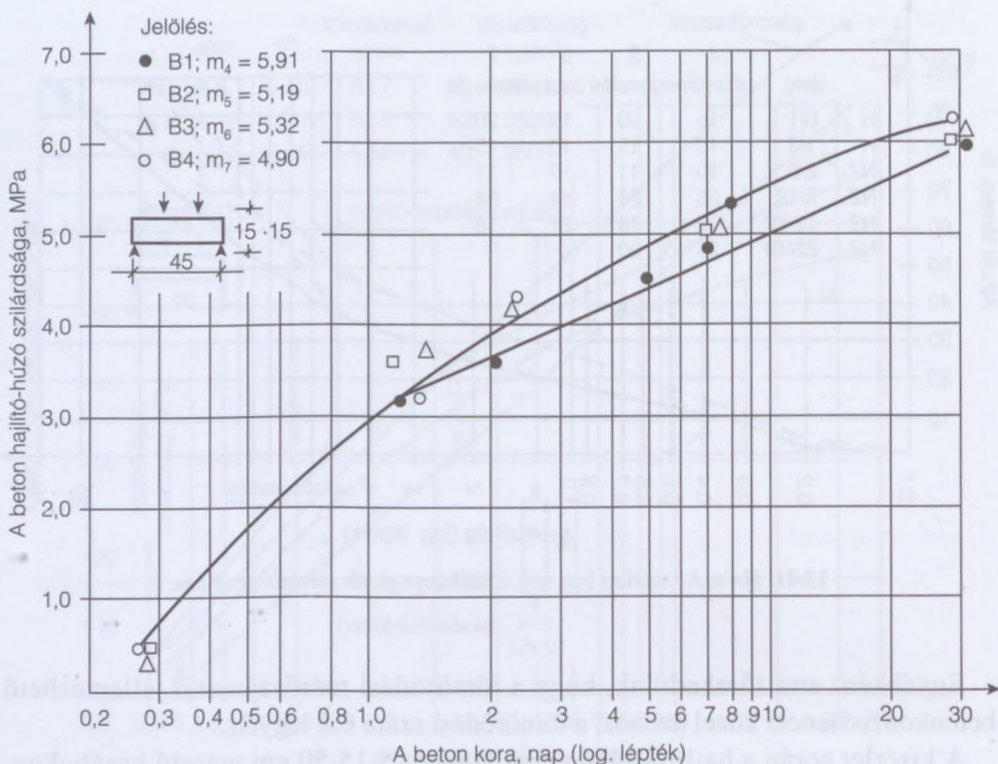
A kísérlet során a hajlító-húzó szilárdságot 15·15·50 cm méretű hasábokon, 45 cm fesztáv alkalmazásával, harmadpontosan terhelve határoztuk meg.

A beton összetételét és a friss beton jellemzőit a 13.18. táblázat tartalmazza. A beton készítése és tárolása megegyezett a 13.6. fejezetben leírttal.

A hajlító-húzó szilárdsági eredményeket a 13.42–13.44. ábrákon tüntettük fel. Az eredményeket a következők szerint értékeljük.

13.18. táblázat. A betonok összetétele és a friss beton jellemzői

Jele	Cement		Adalék- anyag jele	Víz- -cement tényező	Tömörö- dési szám	Friss beton test- sűrűsége, kg/m <sup>3</sup>	Vibrálás tartama, másod- perc
	fajlagos felülete, cm <sup>2</sup> /g	menyisége, kg/m <sup>3</sup>					
B 1	2980	350	4	0,455	0,79	2515	40
B 2	2980	350	5	0,435	0,80	2505	40
B 3	2980	350	6	0,445	0,76	2506	40
B 4	2980	350	7	0,445	0,76	2506	40
B 5	2980	350	5	0,408	0,72	2506	50
B 7	2980	300	5	0,500	0,78	2509	40
B 8	2980	400	5	0,430	0,80	2508	40
B 9	2980	450	5	0,395	0,79	2508	40
B 10	5000	350	5	0,435	0,70	2505	50
B 11	5000	350	5	0,408	0,66	2502	50



13.42. ábra. Az adalékanyag szemmegoszlásának hatása a beton hajlító-húzó szilárdságára.

a) Az adalékanyag szemmegoszlásának a hatása

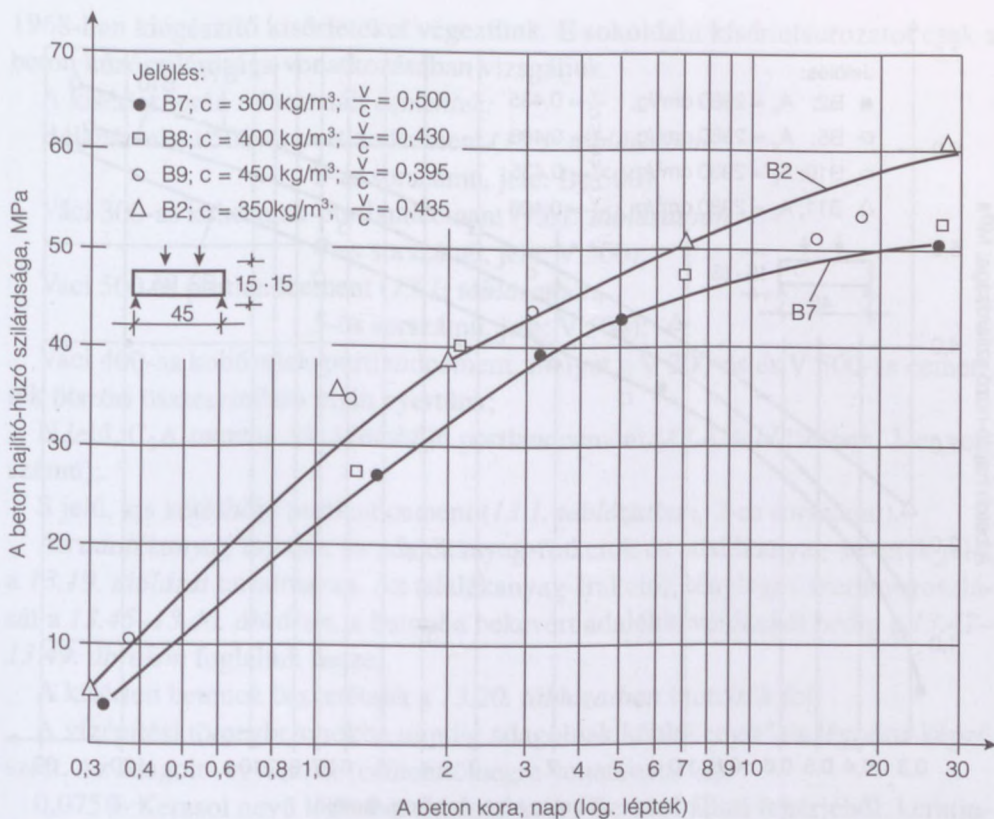
A beton 30 napos kockaszilárdságára a következő értékeket kaptuk:

Beton jele	Szemmegoszlás oszlás jele	$d_{max}$ mm	Abrams-modulus	Kockaszilárdság MPa
B 1	4	40	5,49	60,8
B 2	5	40	5,19	57,1
B 3	6	22	5,32	55,6
B 4	7	22	4,90	55,9

Tehát az a körülmény, hogy a  $d_{max}=40$  mm-ről 22 mm-re csökkent, a 20 cm élhosszú kockán megállapított kockaszilárdságnak (4 érték átlaga) 5–10%-os csökkenését eredményezte.

Ugyanakkor a beton hajlító-húzó szilárdsága (13.42. ábrán 3 szilárdság átlaga) szempontjából kedvezőbb, ha a homoktartalom (4 mm-nél kisebb adalékanyag) 35% helyett 46%, továbbá, ha  $d_{max}$  40 mm-ről 22 mm-re csökkent, tehát ha elhagyjuk az NZ 22/40 frakciót.



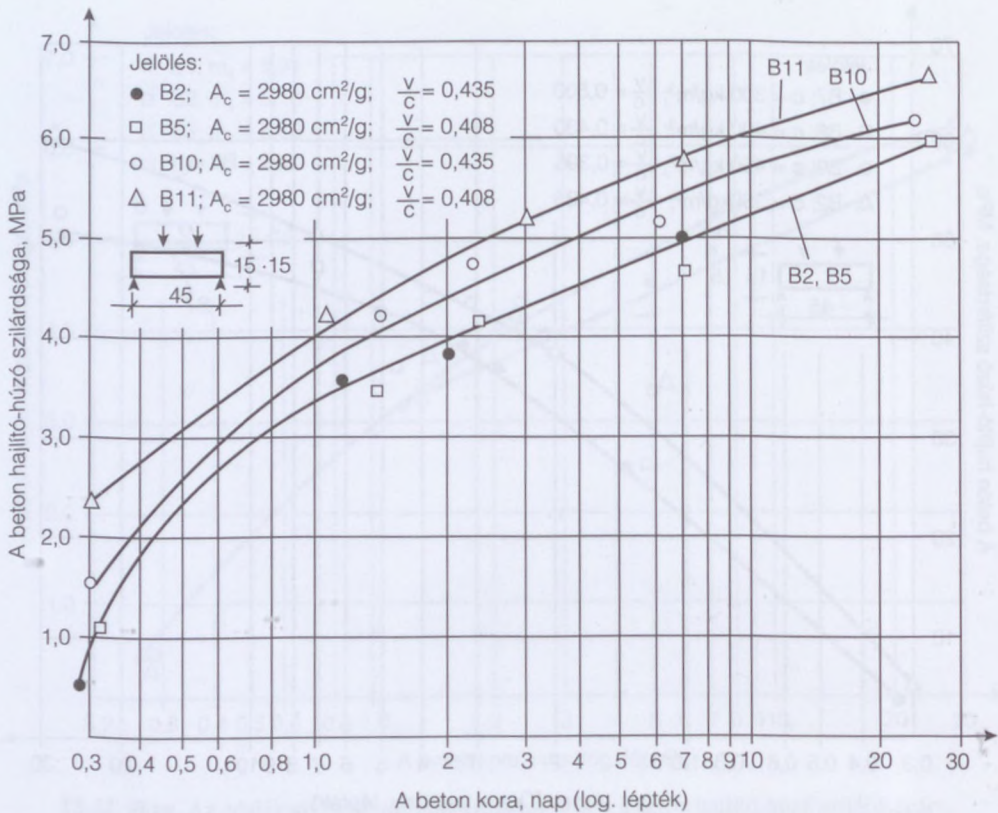


13.43. ábra. A cementtartalom változásának hatása a beton hajlító-húzó szilárdságának időbeni alakulására.

b) A cementtartalom változásának a hatása

A 13.43. ábra szerint a legkisebb hajlító-húzó szilárdságot  $300 \text{ kg/m}^3$  cementtel kaptuk. E között és  $350 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú beton hajlító-húzó szilárdsága között általában  $0,5 \text{ MPa}$ , 28 napos korban közel  $10 \text{ MPa}$  különbséget kaptunk. A  $400$  és  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalommal a kezdeti időszakban kb. ugyanakkora szilárdságot kaptunk, mint  $350 \text{ kg/m}^3$ -rel, de 28 napos korra  $0,4\text{--}0,5 \text{ N/mm}^2$ -nyi eltérés adódott.

c) A cement őrlési finomságának a hatását a 13.44. ábra szemlélteti. Az a körülmény, hogy a cement őrlési finomsága kb.  $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$  helyett  $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ , elsősorban a korai, néhány órás szilárdságban érezteti hatását. Ez pedig részben azal is magyarázható, hogy a nagyobb őrlési finomság esetén a kötési idő is előbb befejeződik.



13.44. ábra. A cement őrlési finomságának és a víz-cement tényezőnek a hatása a beton húzószilárdsága időbeni alakulására.

## 13.9. Vízépítési betonkísérletek nagyszemű adalékanyaggal

[Erdélyi-Balázs (1966)]

### 13.9.1. A kísérlet leírása

1967-ben a Vízügyi Építő Vállalat megbízásából – a Tisza II. vízlépcső betontechnológiai munkálatainak előkészítése céljából – betontechnológiai kísérleteket végeztünk nagyszemű adalékanyaggal [Erdélyi-Balázs (1966)]. A cél a legkedvezőbb (műszaki és gazdasági szempontból) betonösszetétel meghatározása megadott alapanyagokból

kopásálló és fagyálló kéregbeton,  
kisebb szilárdságú magbeton részére.

A kiindulási feltételek az 1967. évi kutatások tartama alatt módosultak és így



1968-ban kiegészítő kísérleteket végeztünk. E sokoldalú kísérletsorozatot csak a beton húzószilárdsága vonatkozásában vizsgáljuk.

A kísérlet során felhasznált *cementek*:

Bélapátvalvai 500-as portlandcement (13.1. táblázatban,  
3-as sorszámú, jele: Be 500);

Váci 300-as kohósalak-portlandcement (13.1. táblázatban,  
4-es sorszámú, jele: V 300);

Váci 500-as portlandcement (13.1. táblázatban,  
5-ös sorszámú, jele: V 500);

Váci 400-as kohósalak-portlandcement, melyet a V 300-as és V 500-as cementek ötszöri összeszítalása útján nyertünk;

N jelű, C<sub>3</sub>A-mentes, kis kötéshőjű portlandcement (13.1. táblázatban, 1-es sorszámú);

S jelű, kis kötéshőjű portlandcement (13.1. táblázatban, 2-es sorszámú).

Az *adalékanyag* fajtáját, az adalékanyag-frakciók és adalékanyag-keverék jelét a 13.19. táblázat tartalmazza. Az adalékanyag-frakciók tényleges szemmegoszlását a 13.45–13.46. ábrákon, a betonba bekevert adalékkeverékekét pedig a 13.47–13.49. ábrákon foglaltuk össze.

A kísérleti betonok összetételét a 13.20. táblázatban tüntettük fel.

A vízépítési tömegbetonokba mindig adagolnak képlékenyítő és légpórusképző szert. Az adagolt *vegyszerek* (cementtömegre vonatkoztatva):

0,075% Kerasol nevű légbuborékképző szer (Kerasol állati fehérjéből, keratinból, alkáliás lebontással és semlegesítő, valamint stabilizáló anyagok hozzáadásával készített folyékony termék), és hozzáadva 0,225% Plastol nevű képlékenyítő szer (a Plastol a cellulózgyártás melléktermékeként keletkező szulfitlúgból tisztítás, semlegesítés és sűrítés útján előállított folyékony termék).

A tömegbetonok összetételét táblázatok segítségével úgy terveztük meg, hogy a beton földnedves és a légpórustartalom a friss betonban kb. 2,5% legyen.

Húzószilárdság ellenőrzésére az alábbi próbatesteket készítettük:

a) 4 db Ø 30/45 cm méretű hengert a 91 napos hengerhasító-húzószilárdság meghatározására (3–6 és 13 jelű betonnal, nagy szemek is benne vannak),

b) 8 db 20×20×70 cm-es hasábot a 28 és 90 napos hajlító-húzó és hasáphasító-húzószilárdság meghatározására (3–6 és 13 jelű betonnal, nagy szemek is benne vannak),

c) 15 db Ø15/30 hengert, a 28, 90 és 180 napos hengerhasító-húzószilárdság meghatározására,

d) 6 db 15×15×70 cm-es hasábot a 28 és 90 napos hajlító-húzó és hasáphasító-húzószilárdság meghatározására,

e) 3 db piskóta alakú próbatestet a tiszta húzószilárdság meghatározására.

A c), d) és e) jelű próbatestek készítése során az 50 mm-nél nagyobb kavicsokat a friss betontól szemre, kézzel kiválogattuk és a rátapadt habarccsal együtt ki-



13.19. táblázat. Az adalékanyagok jelölése, szemmegoszlása és fajtája

Adalék jele	Fajtája és szemmegoszlása	Adalékanyag-frakció jele	Megjegyzés
a	46% ároktői homokos kavics 20% 15/25 nyékládházi kavics 10% 25/40 nyékládházi kavics 24% 40/65 nyékládházi kavics	1 2 3 4	13.47. ábra
b	43% ároktői homokos kavics 16% 15/25 nyékládházi kavics 21% 25/40 nyékládházi kavics 18% 40/65 nyékládházi kavics	1 2 3 4	13.47. ábra
c	52% ároktői homokos kavics 17% 25/40 nyékládházi kavics 13% 40/65 nyékládházi kavics 18% 65/120 recski zúzottkő	1 3 4 5	13.48. ábra
d	44% ároktői homokos kavics 20% 25/40 nyékládházi kavics 15% 40/60 nyékládházi kavics 21% 65/120 recski zúzottkő	1 3 4 5	13.48. ábra
e	45% ároktői homokos kavics 17% 12/22 recski kavics 18% 22/40 recski kavics 20% 40/65 recski zúzottkő	1 6 7	13.47. ábra
f	6,4% finom korund (1mm alatt) 6,6% durva korund (1mm alatt) 32% nyékládházi homok 1/5 alatt 20% 15/25 nyékládházi kavics 10% 25/40 nyékládházi kavics 25% 40/65 nyékládházi kavics	10 11 9 2 3 4	13.49. ábra
g	30% nyékládházi 0,1/5 17,5% nyékládházi 5/20 20% nyékládházi 10/30 15% nyékládházi 40/100	I II III V	13.49. ábra
h	30% nyékládházi 0,1/5 10% nyékládházi 5/20 20% nyékládházi 10/30 20% nyékládházi 20/60 20% nyékládházi 40/100	I II III IV V	13.49. ábra

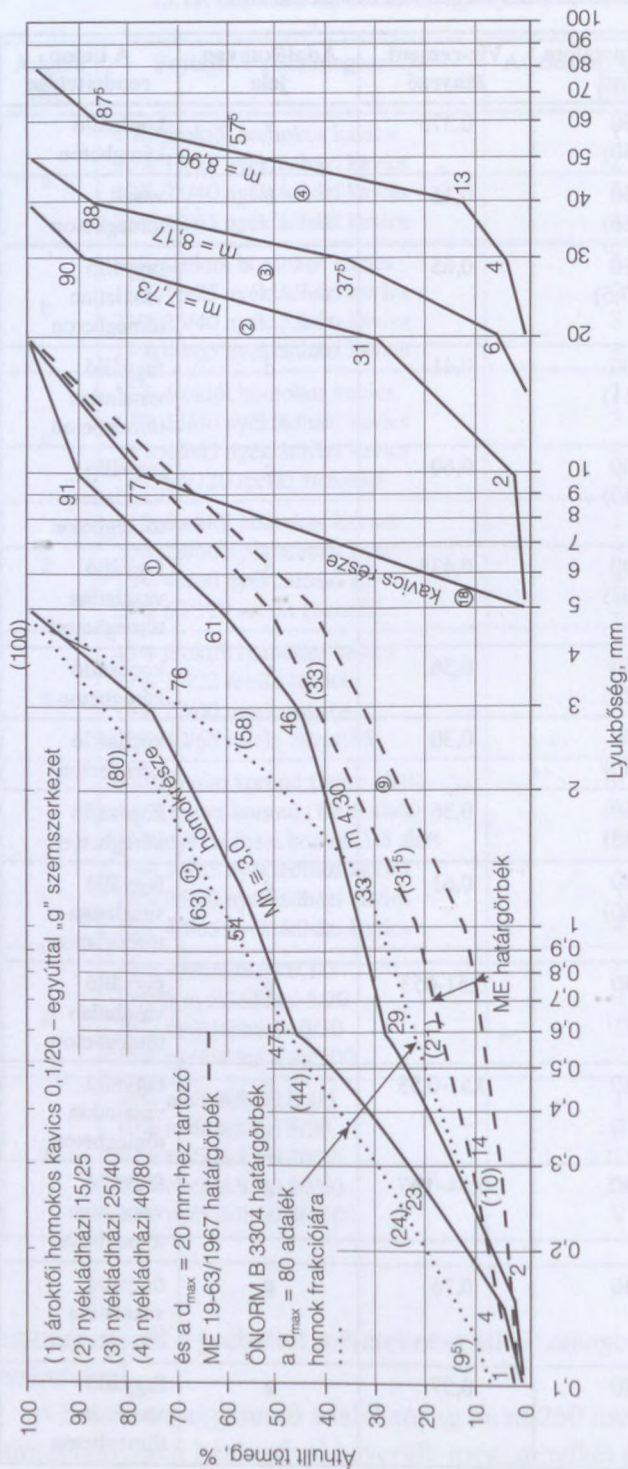
dobtuk, mivel a próbatest méretei nem álltak arányban a nagy adalékanyagsemek méreteivel.

A betont a nagyszemű adalékanyag miatt 250 literes adagokban mind szárazon, mind nedvesen kézi erővel kevertük meg, mindkét esetben négyszer-ötször. A betont kb. 3000 ford/perc tűvibrátorral dolgoztuk be. A hengereket méretre vágott



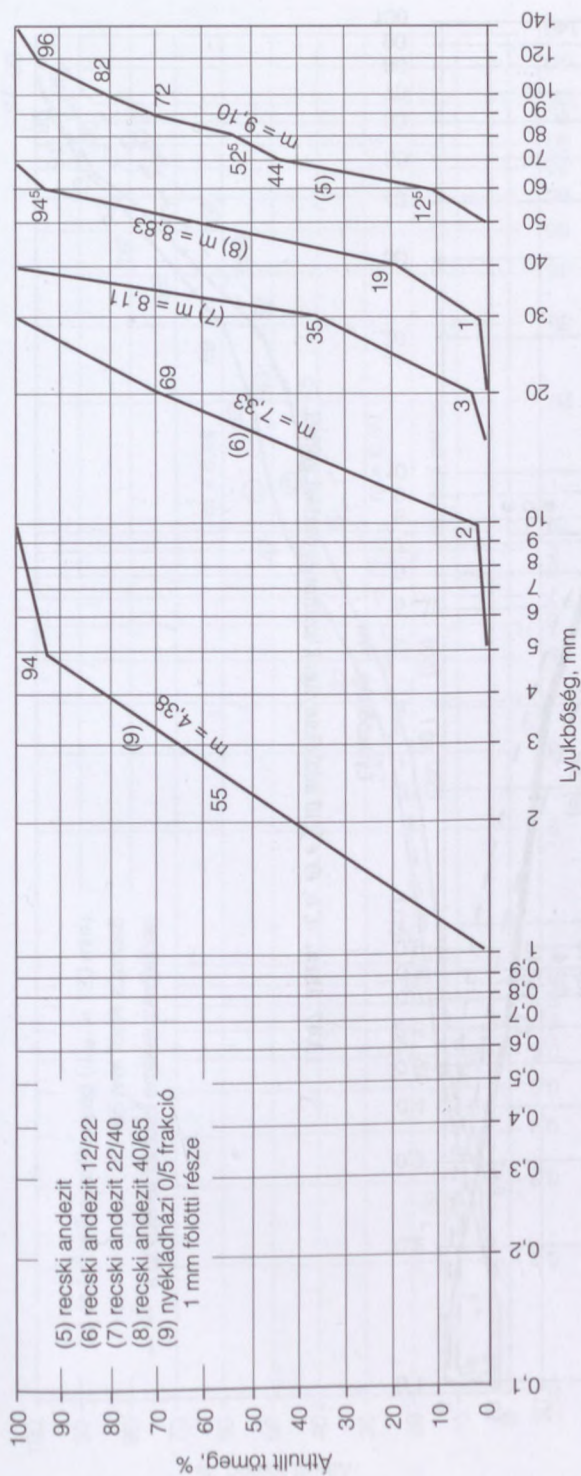
13.20. táblázat. Kísérleti betonok összetétele

Beton jele	Cementfajta	Cementtartalom kg/m <sup>3</sup>	Víz-cement tényező	Adalékanyag jele	A beton rendeltetése
1.	B 500	450 (430)	0,375	a	kopásálló kéregbeton
2.	B 500	250 (266)	0,46	b	vasalt tömegbeton
3.	B 500	180 (187,5)	0,65	c	fagyálló vasalatlan tömegbeton
4.	B 500	300 (311)	0,41	d	fagyálló vasalatlan tömegbeton
5.	V 300	180 (180)	0,60	c	fagyálló vasalatlan tömegbeton
6.	V 300	300 (307)	0,435	d	fagyálló vasalatlan tömegbeton
7.	B 500	450 (425)	0,36	e	kopásálló kéregbeton
8.	B 500	450 (450)	0,30	f	kopásálló kéregbeton
12.	B 500	450 (435)	0,36	a	kopásálló kéregbeton
13.	V 400	180 (180)	0,61	c	fagyálló vasalatlan tömegbeton
1-b	N	180	0,51-0,53	g	fagyálló vasalatlan tömegbeton
1-c	N	180	0,51-0,53	h	fagyálló vasalatlan tömegbeton
2	N	140	0,64-0,67	g	fagyálló vasalatlan tömegbeton
3-v	S	140	0,76	g	fagyálló vasalatlan tömegbeton
4-v	S	180	0,57	g	fagyálló vasalatlan tömegbeton

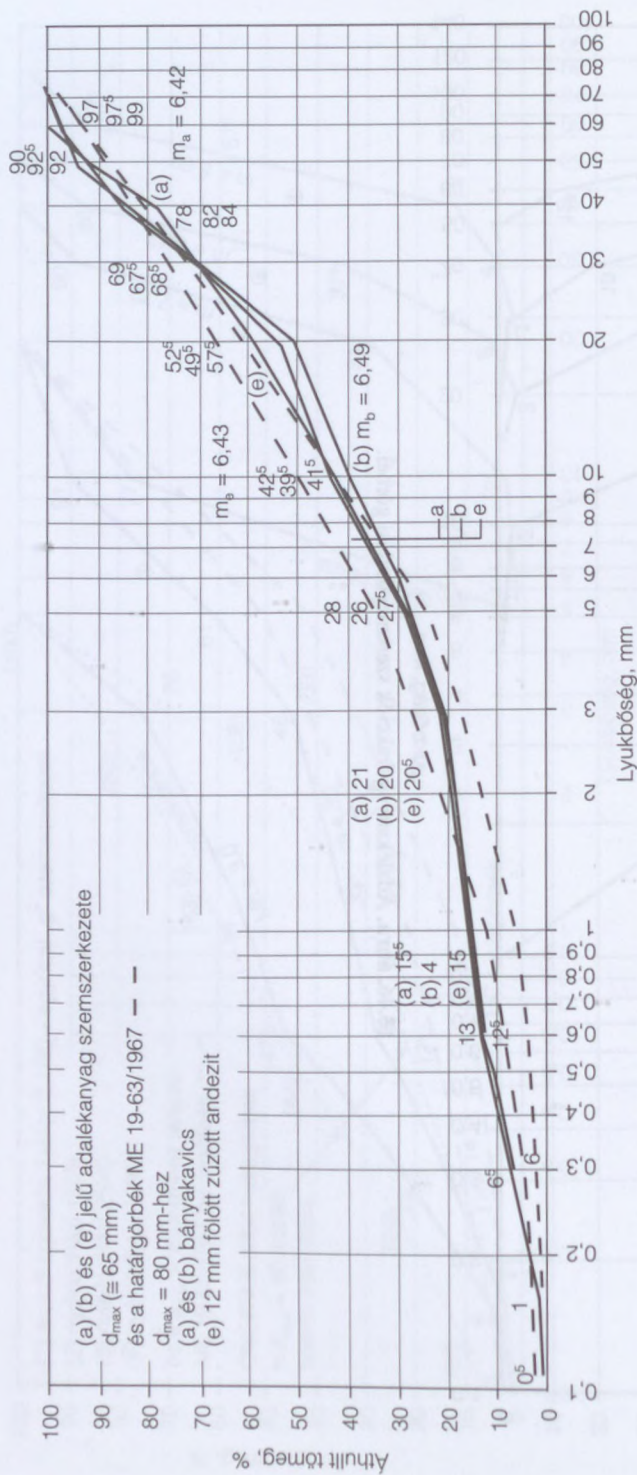


13.45. ábra. Adalékanyag frakciók szemmegoszlási görbéi.



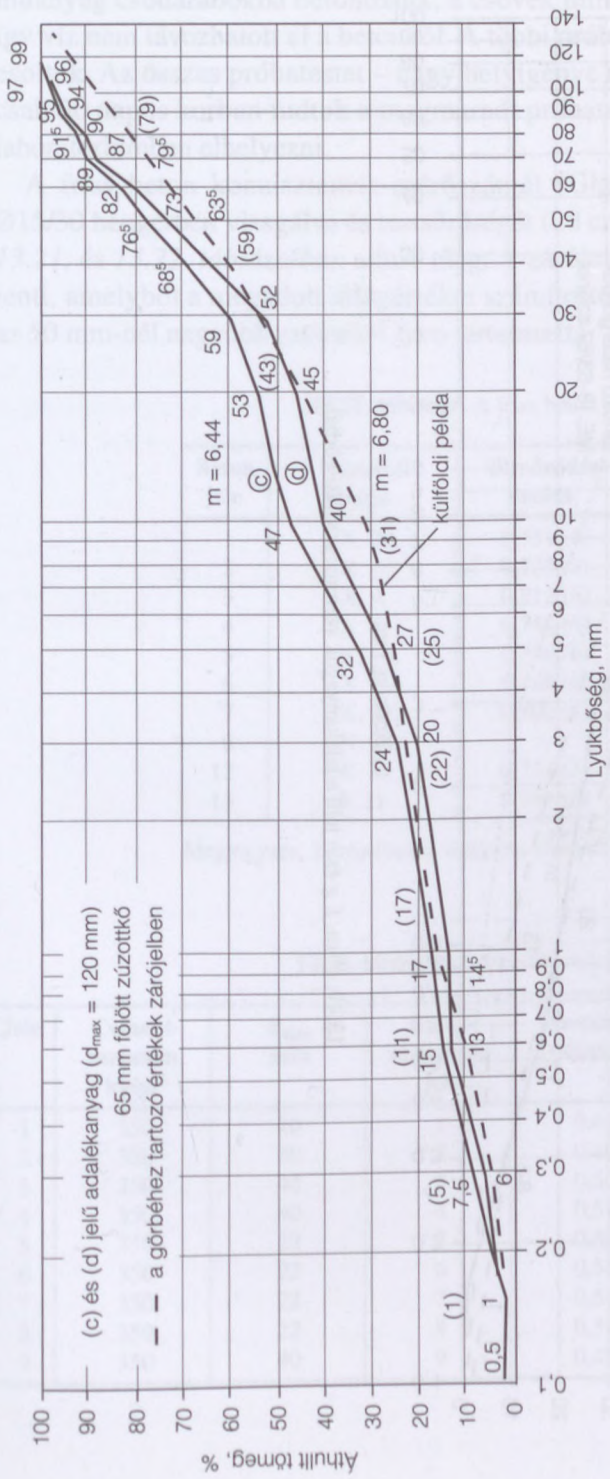


13.46. ábra. Adalékanyag frakciók szemmegoszlási görbéi.

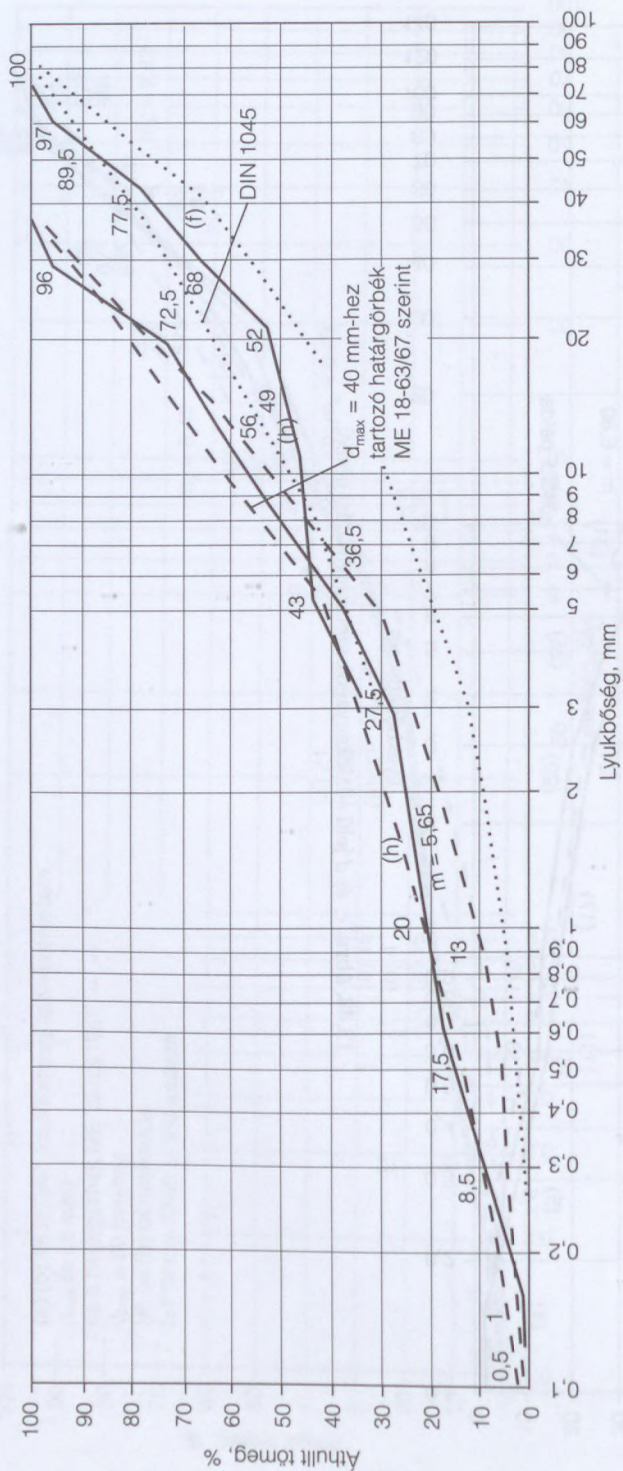


13.47. ábra. a, b, és e jelű adalékanyagok szemmegoszlási görbéi.





13.48. ábra. c, és d jelű adalékanyagok szemmegoszlási görbéi.



13.49. ábra. f, g és h jelű adalékanyagok szemmegoszlási görbéi.



műanyag csődarabokba betonoztuk, a csövek mindkét végét gondosan lezártuk, így víz nem távozhatott el a betonból. A többi próbatestet 2 héten át gondosan lo-csoltuk. Az összes próbatestet – nagy helyigénye miatt – az udvaron tároltuk, és csak 90 napos korban tudtuk a megmaradt próbatesteket kb. 20°C hőmérsékletű laboratóriumban elhelyezni.

A friss beton konzisztencia-mérőszámát (Glanville-féle tömörödési szám) Ø15/30 hengerben vizsgálva és testsűrűségét (20 cm élhosszú kockán vizsgálva) a 13.21. és 13.22. táblázatban adtuk meg. A zárójeles szám a vizsgálat számát je-lenti, amelyből a megadott átlagértéket számítottuk. E vizsgálatok során a beton az 50 mm-nél nagyobb szemeket nem tartalmazta.

13.21. táblázat. A friss beton jellemzői

Beton jele	Készítés napja	Tömörödési szám	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>
1	IX. 28.	0,751 (4)	2465 (3)
2	IX. 29.	0,725 (3)	2510 (2)
3	X. 9.	0,812 (6)	2512 (3)
4	X. 4.	0,745 (6)	2495 (3)
5	X. 13.	0,780 (6)	2482 (6)
6	X. 16.	0,746 (6)	2505 (7)
7	IX. 27.	0,702 (4)	2505 (4)
8	X. 20.	–	2520 (1)
12	X. 2.	0,731 (3)	2500 (3)
13	X.11.	0,766 (6)	2460 (5)

Megjegyzés: Zárójelben a vizsgálat száma.

13.22. táblázat. A friss beton jellemzői

Jele	Cement-tartalom, kg/m <sup>3</sup>	d <sub>max</sub> mm	Szem-megoszlás jele	Víz-cement tényező	Friss beton testsűrűsége, kg/m <sup>3</sup>	Tömörödési szám
1	350	40	1	0,48	2420	0,695
2	350	40	2	0,49	2440	0,690
3	350	40	3	0,50	2400	0,703
4	350	40	4	0,51	2370	0,705
5	350	22	5	0,50	2495	0,680
6	350	22	6	0,54	2460	0,710
7	350	22	7	0,54	2450	0,702
8	350	22	8	0,56	2360	0,715
9	350	40	9	0,48	2490	0,708

A húzószilárdságokat, valamint a kockaszilárdságot a 13.23. táblázatban tüntettük fel. A beton kora oszlopában a felső sor a beton tényleges korát, az alatta lévő zárójeles érték pedig a redukált kort jelenti. Ennek kiszámítását azért tartottuk szükségesnek, mert a tél közepéig a próbatesteket a szabadban tároltuk. A redukált kort Saul alábbi képletével számítottuk:

$$A_{20} = \sum_{i=1}^h \frac{\tau_i + 10}{30} t_i$$

ahol  $\tau_i$  jelenti az átlagos hőmérsékletet  $t_i$  időszak alatt,  $A_{20}$  pedig a 20°C szilárdulási hőmérsékletre átszámított (redukált) betonkort jelenti. A  $\tau_i$  hőmérsékletek az Országos Meteorológiai Intézet által a tárolótérre megadott napi átlaghőmérsékletek,  $t_i$  egy napot jelent,  $h$  pedig a korrekcióba bevont napok számát jelenti.

13.23. táblázat. A beton szilárdsága

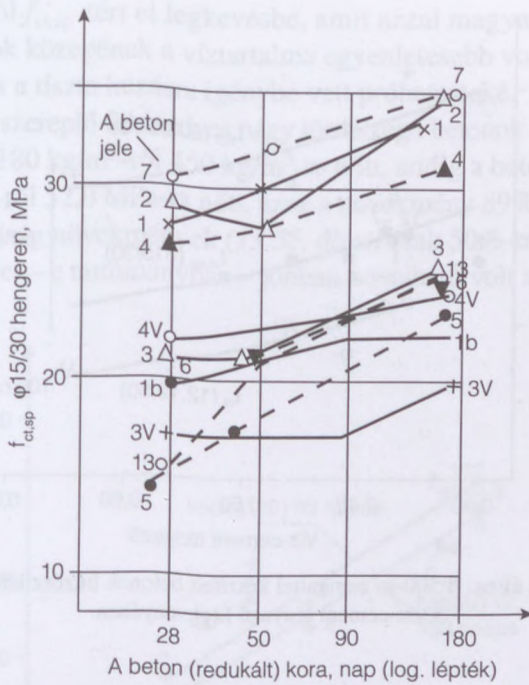
Jele	Kockák testsűrűsége töréskor, kg/m <sup>3</sup>	Kocka-	Hajlító-húzó-
		szilárdság, MPa	
1	2503 (5)	50,9 (5)	6,25 (3)
2	2484 (5)	49,6 (5)	6,40 (3)
3	2420 (5)	44,9 (5)	6,50 (3)
4	2373 (5)	39,4 (5)	5,60 (3)
5	2488 (5)	50,7 (5)	6,50 (3)
6	2464 (5)	48,1 (5)	6,60 (3)
7	2412 (5)	43,5 (5)	6,50 (3)
8	2372 (5)	43,0 (5)	6,00 (3)
9	2499 (5)	43,0 (5)	6,00 (3)

### 13.9.2. Megállapítások a kísérlet alapján

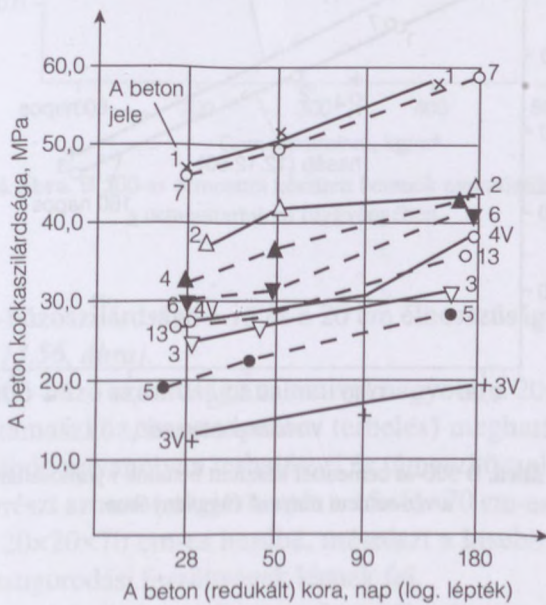
a) Csak a hasító-húzó és a kockaszilárdságot tudjuk ábrázolni a *beton kora* (1–13 jelű betonok esetén redukált kora) *függvényében* (13.50. és 13.51. ábra).  $f_{ct,sp}$  28 napos kortól kezdve a beton redukált kora függvényében közel lineárisan nőtt minden esetben. Míg a beton kockaszilárdsága a cementfajtától függetlenül kb. egyforma mértékben nőtt, addig a V 300 jelű cementtel készített betonok húzószilárdsága nagyobb mértékben nőtt a többi cementtel készítetténél. Az S és N jelű cementekkel készített 28–180 napos betonok szilárdulásának a mértéke sem nagyon tért el a B 500 cementtel készítettétől.

b) A B 500-as cementtel készített betonok húzó- és nyomószilárdságát a víz-cement tényező függvényében a 13.52. és 13.53. ábrákon tüntettük fel. Közel azonos földnedves konzisztencia esetén, amíg a víz-cement tényező 0,3-ról 0,6-ra nőtt,

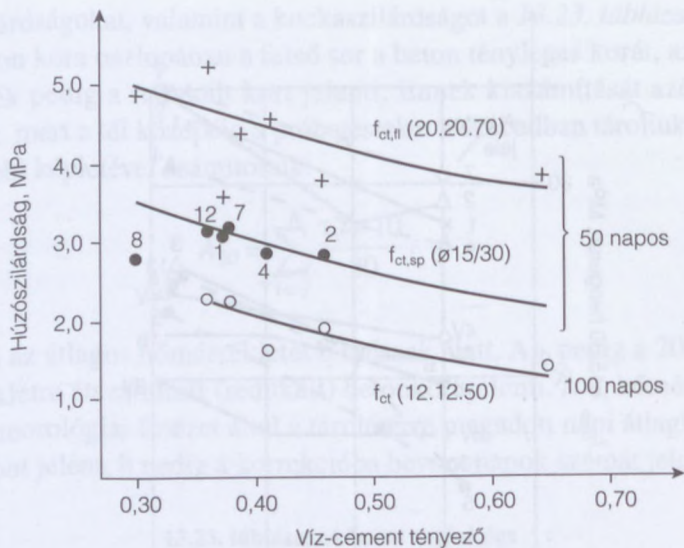




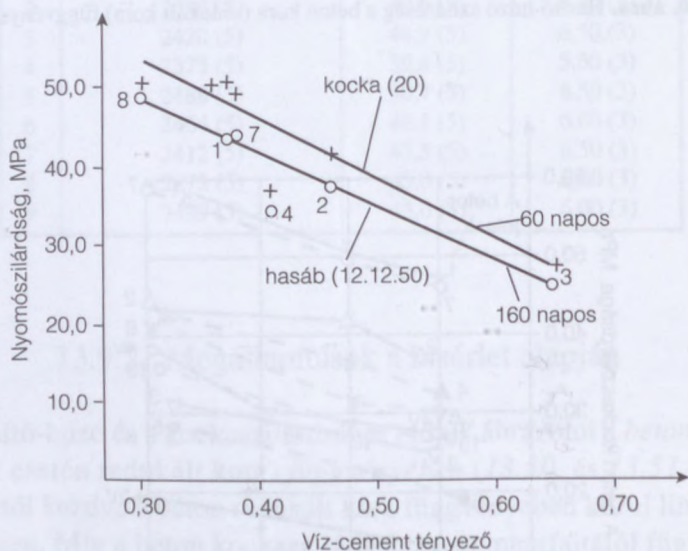
13.50. ábra. Hasító-húzó szilárdság a beton kora (redukált kora) függvényében.



13.51. ábra. Kockaszilárdság a beton kora (redukált kora) függvényében.



13.52. ábra. B 500-as cementtel készített betonok húzószilárdsága a víz-cement tényező függvényében.



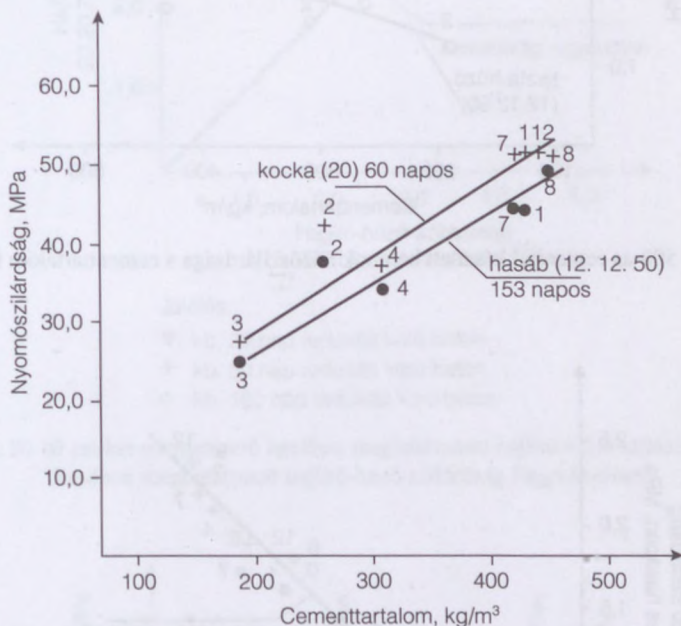
13.53. ábra. B 500-as cementtel készített betonok nyomószilárdsága a víz-cement tényező függvényében.

addig a kockaszilárdság kb. a felére csökkent. Ugyanakkor a húzószilárdság csak kb. kétharmadára csökkent, tehát azonos konzisztencia esetén a nyomószilárdság jobban függ a víz-cement tényezőtől, mint a húzószilárdság. A szilárdságok ki-



egyenlítő vonalától  $f_{ct,sp}$  tért el legkevésbé, amit azzal magyarázunk, hogy a sablonba zárt hengerek közepének a víztartalma egyenletesebb volt, mint a szabadban tárolt gerendáké és a tiszta húzásra igénybe vett próbatesteké.

c) A kísérletben szereplő földnedves nagy tömörségű betonok tartományában amíg a cementtartalom  $180 \text{ kg/m}^3$ -ról  $450 \text{ kg/m}^3$ -re nőtt, addig a beton kockaszilárdsága (13.54. ábra) 27,5-ről 52,0 MPa-ra nőtt, azaz a növekmény 89% volt. Ugyanakkor a hasító-húzó szilárdság növekmények (13.55. ábra) csak 50%-ra tehető. A cementtartalom növelésével – e tartományban – jobban növelhető volt a nyomó-, mint a húzószilárdság.

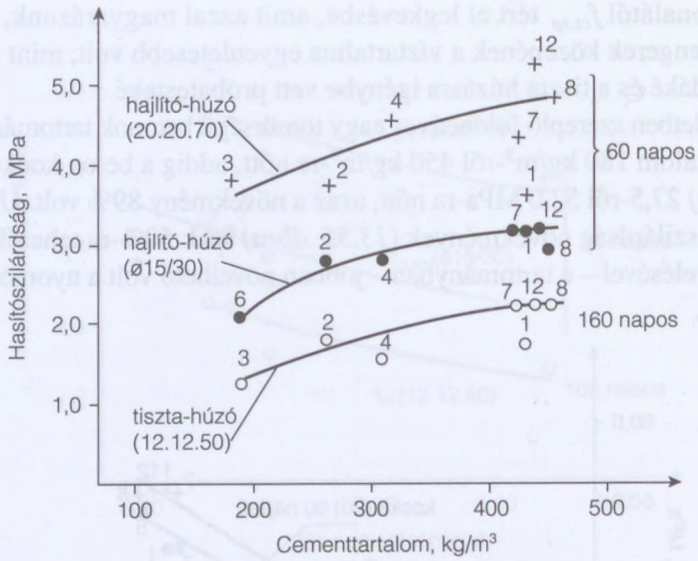


13.54. ábra. B 500-as cementtel készített betonok nyomószilárdsága a cementtartalom függvényében.

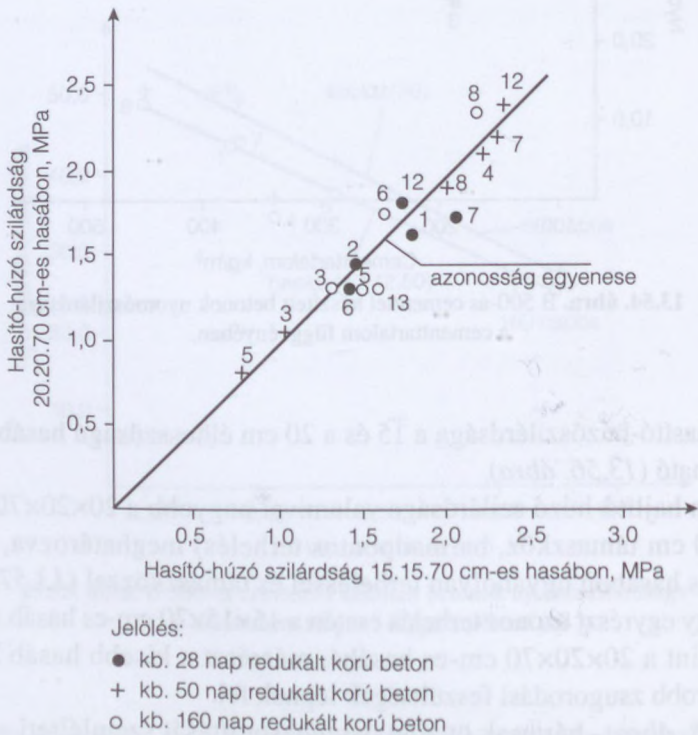
A beton hasító-húzószilárdsága a 15 és a 20 cm élhosszúságú hasábon egyaránt meghatározható (13.56. ábra).

e) A beton hajlító-húzó szilárdsága valamivel nagyobb a  $20 \times 20 \times 70$  cm méretű hasábon (60 cm támaszköz, harmadpontos terhelés) meghatározva, mint a  $15 \times 15 \times 70$  cm-es hasábon ugyanolyan terheléssel és támaszközzel (13.57. ábra). Ennek oka, hogy egyrészt azonos terhelés esetén a  $15 \times 15 \times 70$  cm-es hasáb  $l/a$  viszonya nagyobb, mint a  $20 \times 20 \times 70$  cm-es hasábé, másrészt a kisebb hasáb kiszáradása folytán nagyobb zsugorodási feszültségek lépnek fel.

f) A 13.58. ábra – bár csak öt adat összehasonlítását szemlélteti – arra enged következtetni, hogy az  $\emptyset 15/30$  cm méretű hengeren megállapított  $f_{ct,sp} H_{has}$  kedvezőbb az  $\emptyset 30/45$  cm méretű hengeren meghatározottnál. Ebben valószínűleg a max. adalékanyagsemeknek is szerepe van, melyek a nagyobb hengerben benne voltak, viszont a kisebb hengerbe ezeket nem tettük bele.

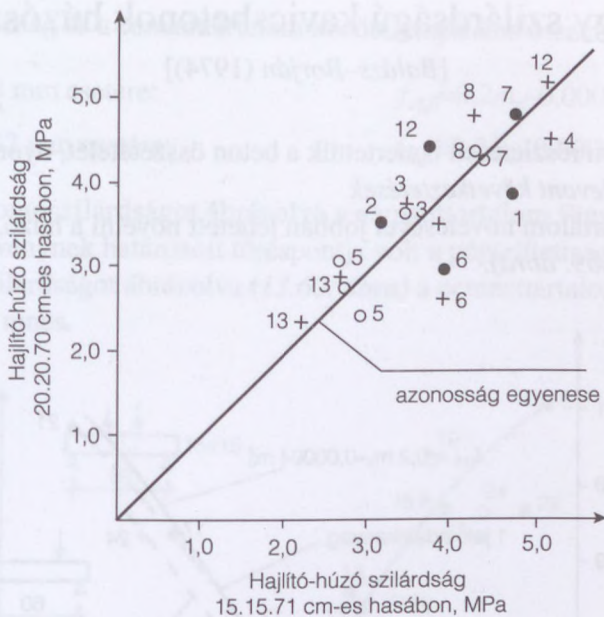


13.55. ábra. B 500-as cementtel készített betonok húzószilárdsága a cementtartalom függvényében.



13.56. ábra. 20-20 cm keresztmetszetű hasábon meghatározott hasító-húzó szilárdság a 15 cm-es hasábon meghatározott hasító-húzó szilárdság függvényében.

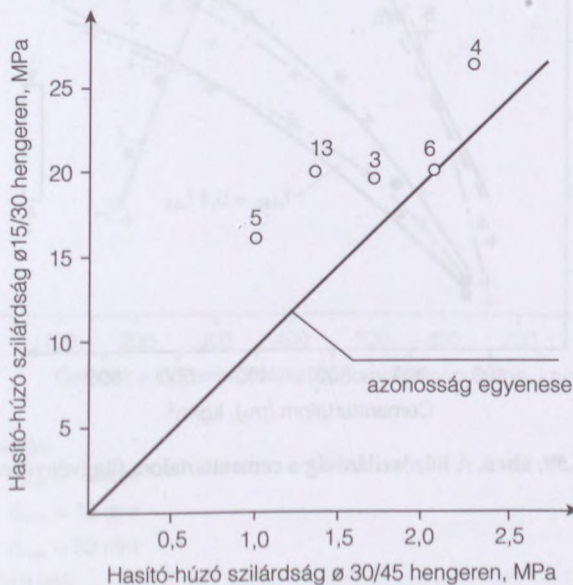




Jelölés:

- kb. 28 nap redukált korú beton
- + kb. 50 nap redukált korú beton
- kb. 160 nap redukált korú beton

**13.57. ábra.** 20-20 cm keresztmetszetű hasábon meghatározott hajlító-húzó szilárdság a 15 cm-es hasábon meghatározott hajlító-húzó szilárdság függvényében.



**13.58. ábra.** Hasító-húzó szilárdság ø 15/30 hengeren hasító-húzó szilárdság ø 30/45 függvényében.

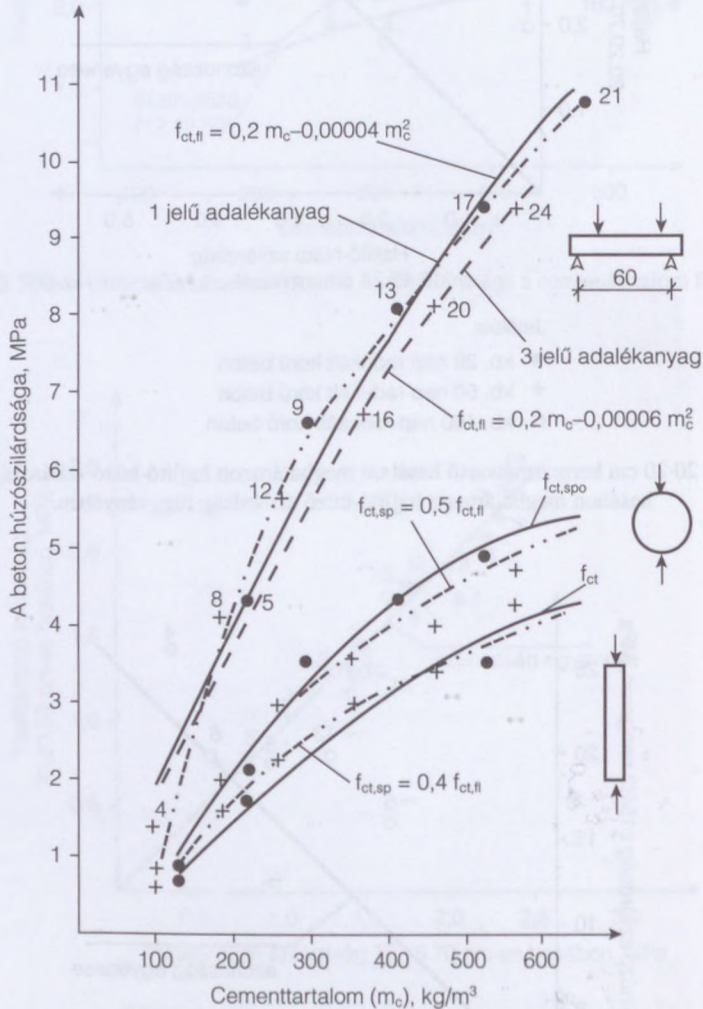
## 13.10. Nagy szilárdságú kavicsbetonok húzószilárdsága

[Balázs–Borján (1974)]

A 12.5 fejezetben részletesen ismertettük a beton összetételét, nyomószilárdságát.

*A kutatásból levont következtetések*

a) A cementtartalom növelésével jobban lehetett növelni a húzó, mint a nyomószilárdságot (13.59. ábra).



13.59. ábra. A húzószilárdság a cementtartalom függvényében.



A húzószilárdság és a cementtartalom között, empirikus összefüggések:

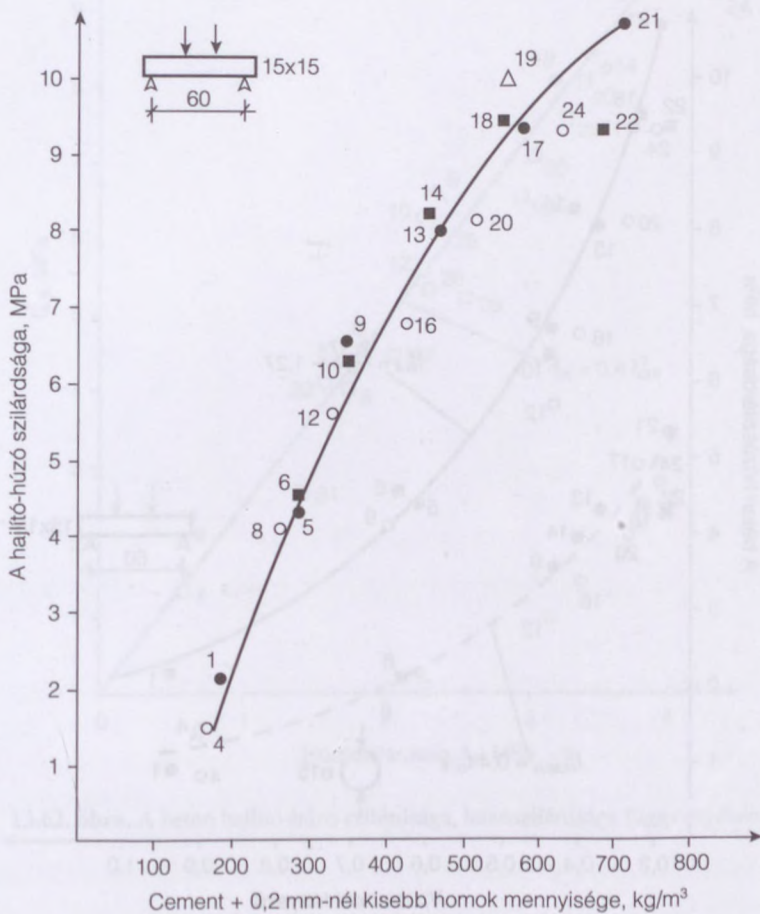
$d_{max}=8$  mm esetére:

$$f_{ct,ft}=0,2m_c-0,00004m_c^2$$

$d_{max}=32$  mm esetére:

$$f_{ct,ft}=0,2m_c-0,00006m_c^2$$

b) Míg a nyomószilárdságot ábrázolva a cementtartalom függvényében, a kiegyenlítő függvénynek határozott töréspontja volt a péptelítettség tartományában, addig a húzószilárdságot ábrázolva (13.60. ábra) a cementtartalom függvényében ilyen töréspont nincs.



Jelölés:

●  $d_{max} = 8$  mm

■  $d_{max} = 16$  mm

○  $d_{max} = 32$  mm

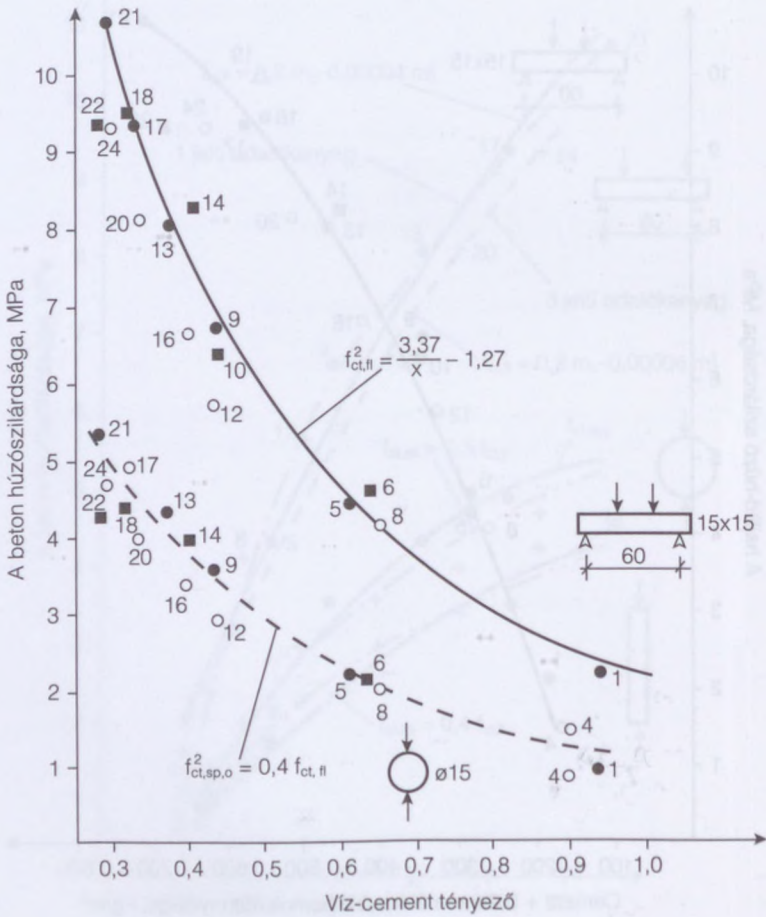
△ 19 jelű

13.60. ábra. A hajlító-húzó szilárdság a cement + 0,25 mm-nél kisebb homok függvényében.

c) A húzószilárdság a víz-cement tényező függvényében (1, 5, 9, 17 és 21 kísérlet eredményei alapján) a legjobban

$$f_{ct,fl} = \frac{3,37}{x} - 1,27$$

hiperbolikus függvénnyel fejezhető ki (13.61. ábra).  $d_{max}=32$  mm esetén ezzel az összefüggéssel meghatározott húzószilárdságnál kisebb értékeket kaptunk, tehát az adalékanyag legnagyobb névleges szemnagysága növelésének a húzószilárdságra csökkentő hatása van.



Jelölés:

- $d_{max} = 8$  mm
- $d_{max} = 16$  mm
- $d_{max} = 32$  mm

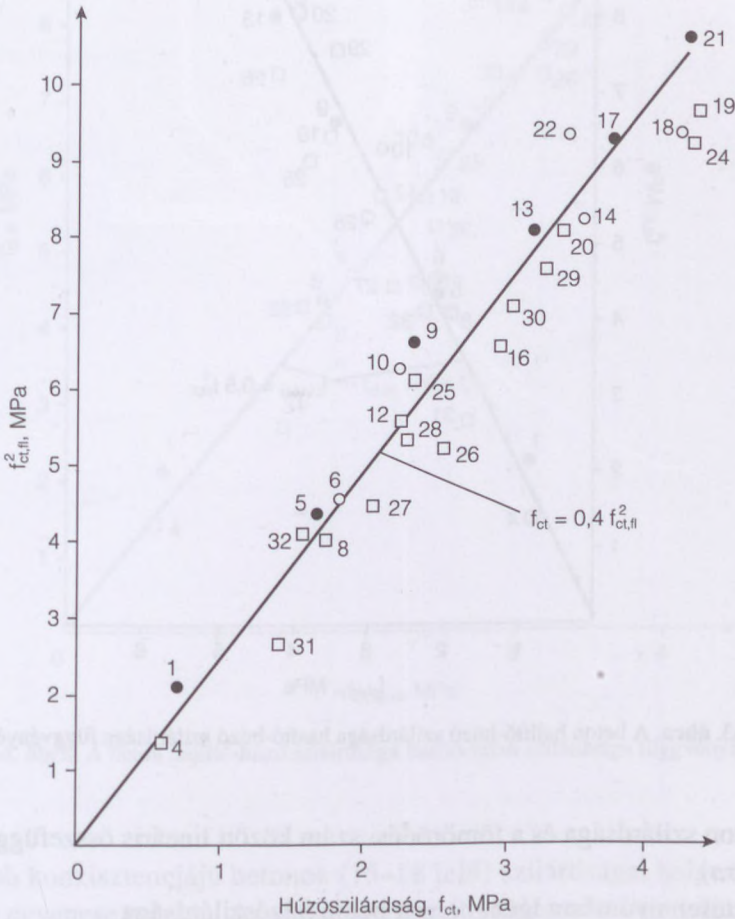
13.61. ábra. A húzószilárdság a víz-cement tényező függvényében.



d) A különböző húzószilárdságok között lineáris összefüggés áll fenn, mely az összes kísérleti eredményre vonatkozóan az alábbi egyenletekkel fejezhető ki (lásd még 13.52. ábrát):

$$f_{ct} = 0,4 f_{ct,fl}^2$$

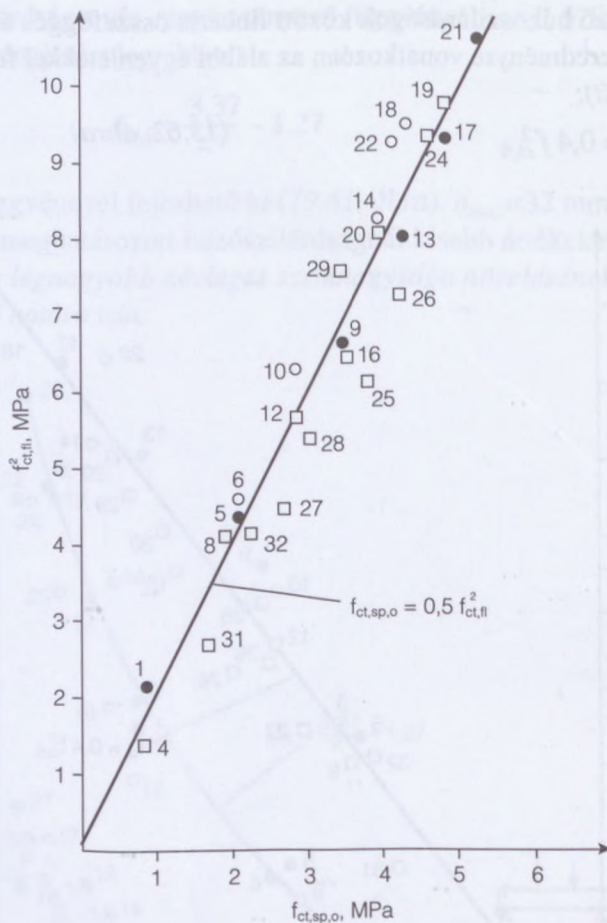
(13.62. ábra)



13.62. ábra. A beton hajlító-húzó szilárdsága, húzószilárdsága függvényében.

$$f_{ct,sp,o} = 0,5 f_{ct,fl}^2 \quad (13.63. \text{ ábra})$$

$$f_{ct,sp} = 0,4 f_{ct,fl}^2 \quad (13.64. \text{ ábra})$$



13.63. ábra. A beton hajlító-húzó szilárdsága hasító-húzó szilárdsága függvényében.

e) A beton szilárdsága és a tömörödési szám között lineáris összefüggés áll fenn (13.65. ábra).

f) Előzetesen nyomásra igénybe vett beton húzószilárdsága

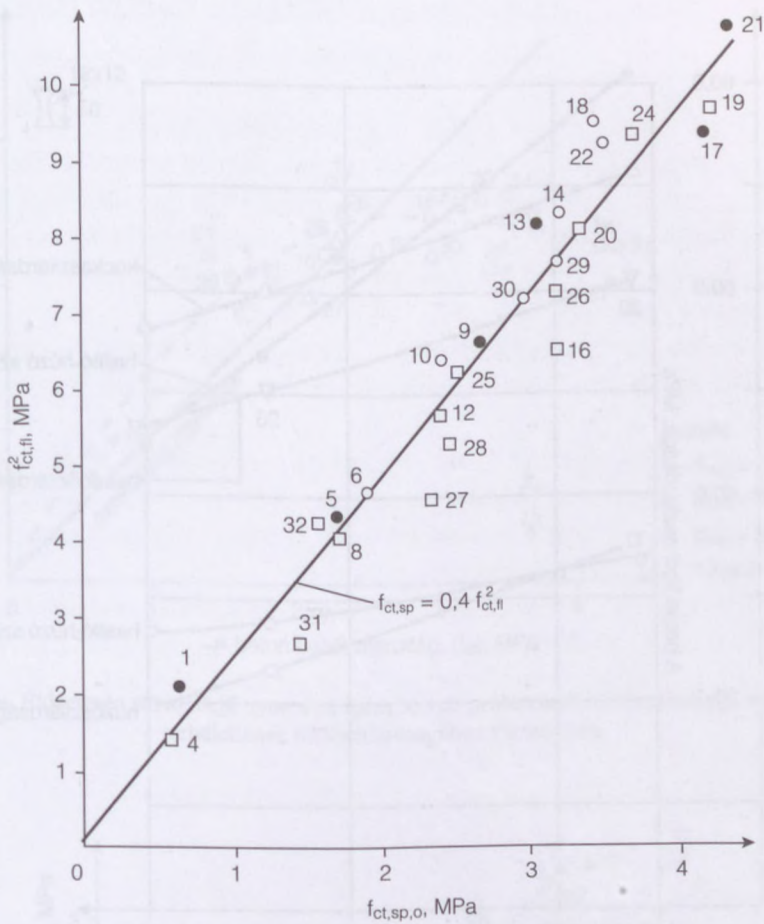
A 13.1 táblázatban megadott összetételű betonokkal készítettünk piskóta alakú próbatesteket (13.1. ábra) is. Ezek egy részét a húzószilárdság vizsgálata előtt központos nyomással terheltük. Az előzetes nyomóterhelés a hasábszilárdság 20–30, kivételesen 40–50%-a volt.

Vizsgálat előtt a próbatesteket 20–25°C hőmérsékletű, kb. 60% relatív légnedvesség-tartalmú szobában tároltuk. Míg az összehasonlító, előzetesen terhelt próbatestek a vizsgálatkor 4–6 hónaposak voltak, ezek kb. 2 hónappal idősebbek. Vizsgálat előtt vízben tároltuk azokat.

A kétféle húzószilárdságot a 13.66. ábrán hasonlítottuk össze.

Közelítéssel a péptelített betonok, valamint a túltelített, de a gyengén képlékeny-



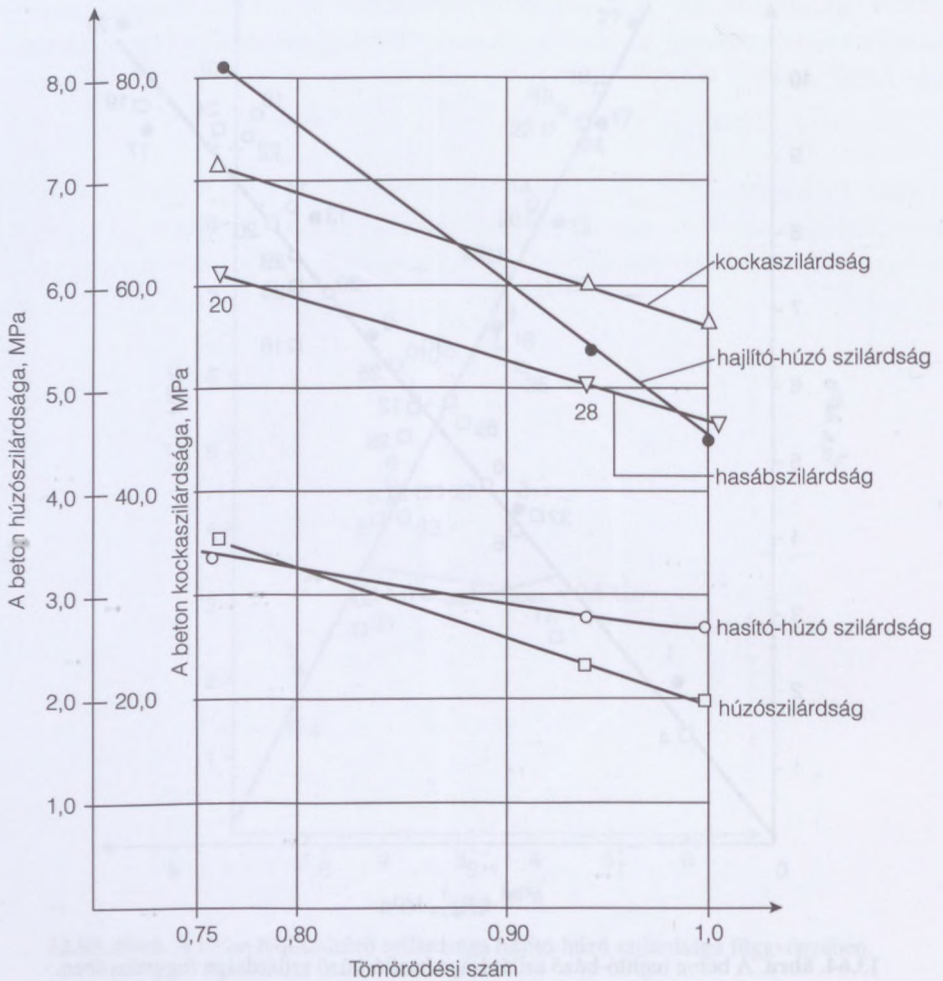


13.64. ábra. A beton hajlító-húzó szilárdsága hasító-húzó szilárdsága függvényében.

nél lágyabb konzisztenciájú betonok (15–18 jelű) szilárdságai helyezkednek az azonosság egyenesé mentén. Az előzetes nyomóterhelés növelte a telített betonok (1–8 jelű), valamint a kb. péptelített, de képlékenynél lágyabb konzisztenciájú betonok (31 és 32 jelű) szilárdságát. Ezek közül az 1, 4, 31 és 32 jelűek a többinél nagyobb előterhelést (35–55%) kaptak. Az is megállapítható, hogy annál jobban eltért az előzetesen terhelte betonok húzószilárdsága az előzetesen terheletlenekétől, minél nagyobb volt a gyengén képlékeny betonok túltelítettségének mértéke. A legnagyobb eltérés igen nagy volt.

#### *Elszakítás után összeragasztott próbatetek húzószilárdsága*

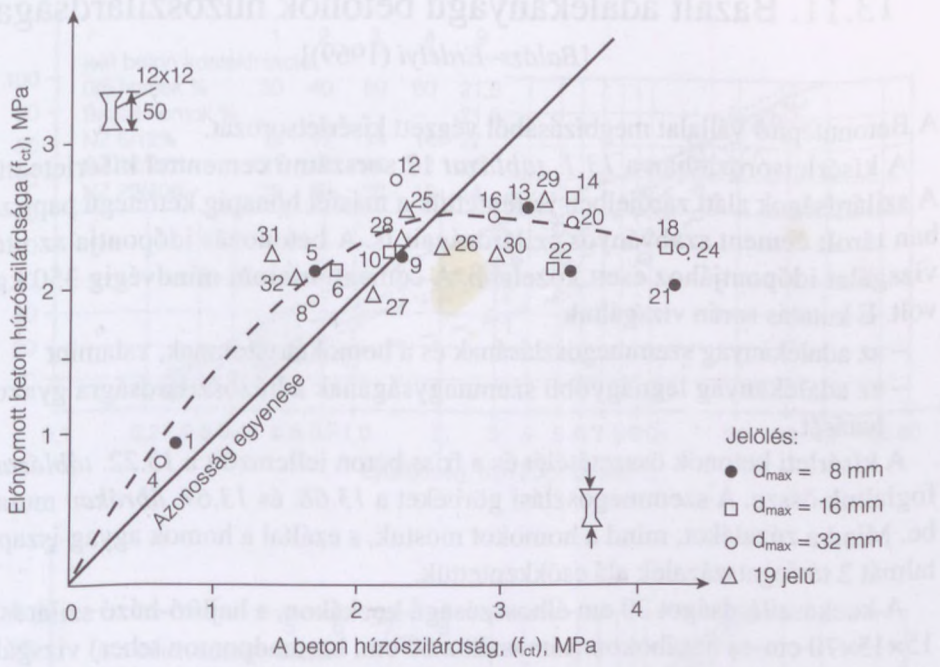
A piskóta alakú, központos húzással elszakított próbatetek közül betonfajtanként általában egyet-egyét epoxigyantával összeragasztottunk, majd azokat 2–3 napos vízben tárolás után vizes állapotban újra elszakítottuk. A 13.67. ábrából



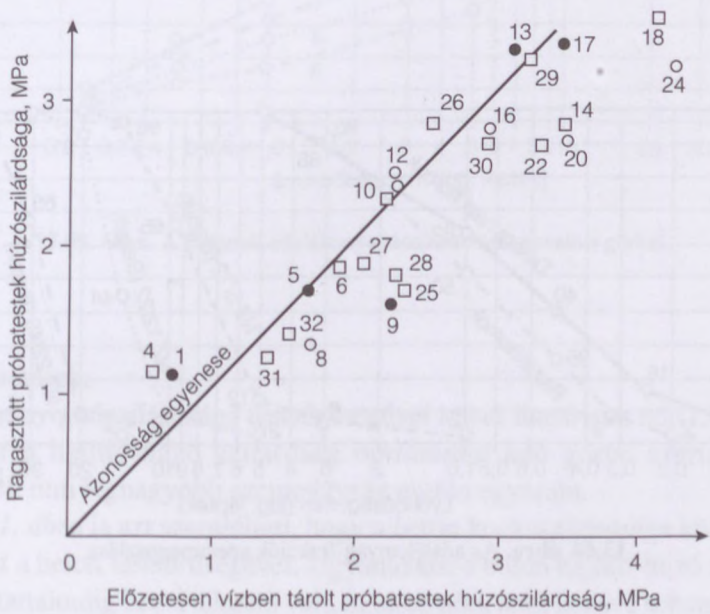
13.65. ábra. A beton szilárdsága a tömörödési szám függvényében (állandó cementtartalom és szemmegoszlás)

látható, hogy az azonos, de kétféleképpen elszakított próbatestek szilárdsága között nincs lineáris összefüggés. Az eltérés elsősorban nem az előzetes terhelésnek vagy annak tudható be, hogy a ragasztott próbatesteket egyszer már szakadásig igénybe vettük, hanem a szakítóvizsgálat előtti nedvesen tartásbeli különbségnek. Ezzel magyarázható, hogy közelítően ellentétes a tendencia, mint a 13.66. ábrán. De ez a nedvesen tartás rövid idejű volt, ami látható a próbatestek átnedvesedésének a mértékéből is.





13.66. ábra. Előzetesen rövid idejű nyomásra igénybe vett próbatetek húzószilárdsága az előzetesen terheletlenek húzószilárdságához viszonyítva.



13.67. ábra. Ragasztott próbatetek húzószilárdsága az eredeti próbatetek húzószilárdsága függvényében

## 13.11. Bazalt adalékanyagú betonok húzószilárdsága

[Balázs-Erdélyi (1969)]

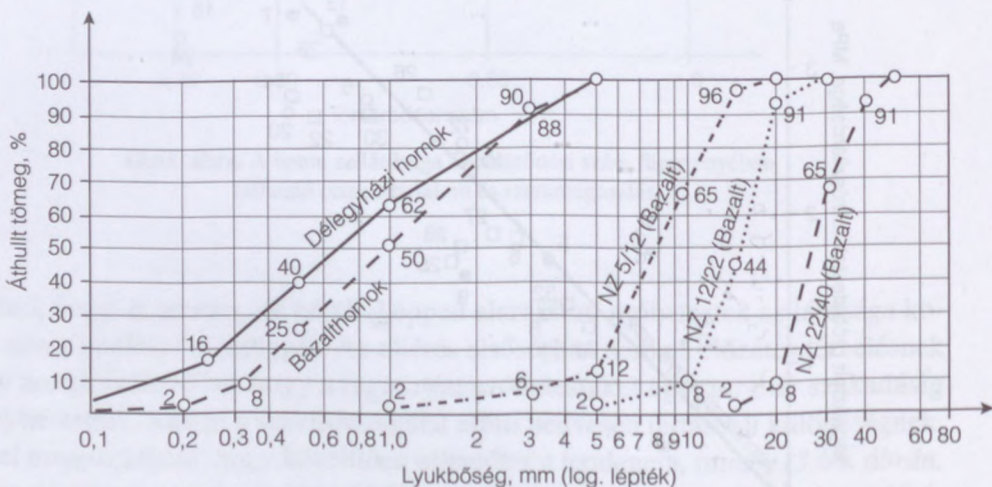
A Betonútépítő Vállalat megbízásából végzett kísérletsorozat.

A kísérletsorozatban a 13.1. táblázat 12 sorszámú cementtel kísérleteztünk. A szilárdságok alatt zárójelben feltüntettük a másfél hónapig kétrétegű papírzsákban tárolt cement szabványos szilárdságait is. A betonozás időpontja az utóbbi vizsgálat időpontjához esett közelebb. A cementtartalom mindvégig  $350 \text{ kg/m}^3$  volt. E kutatás során vizsgáltuk

- az adalékanyag szemmegoszlásának és a homoktartalomnak, valamint
- az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a húzószilárdságra gyakorolt hatását.

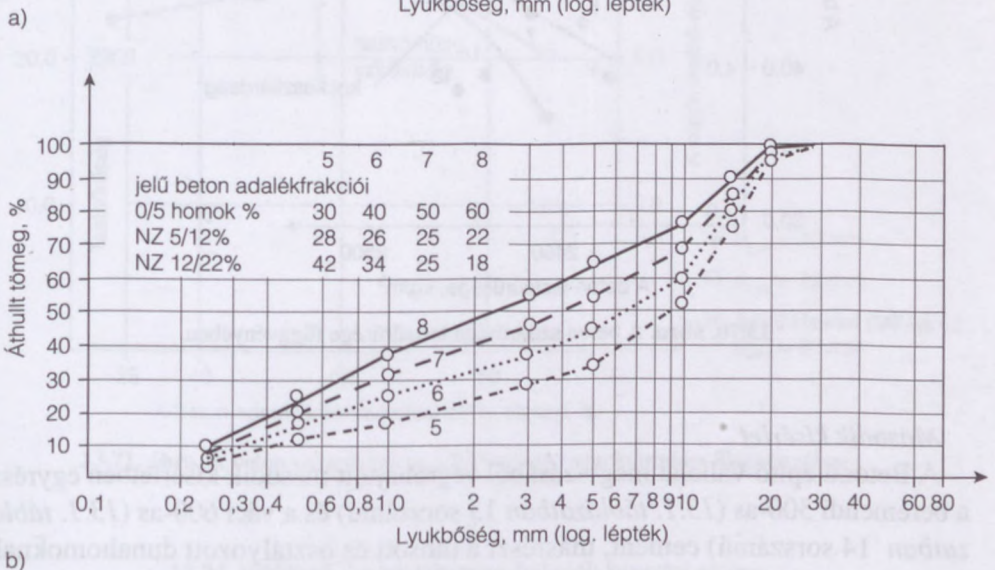
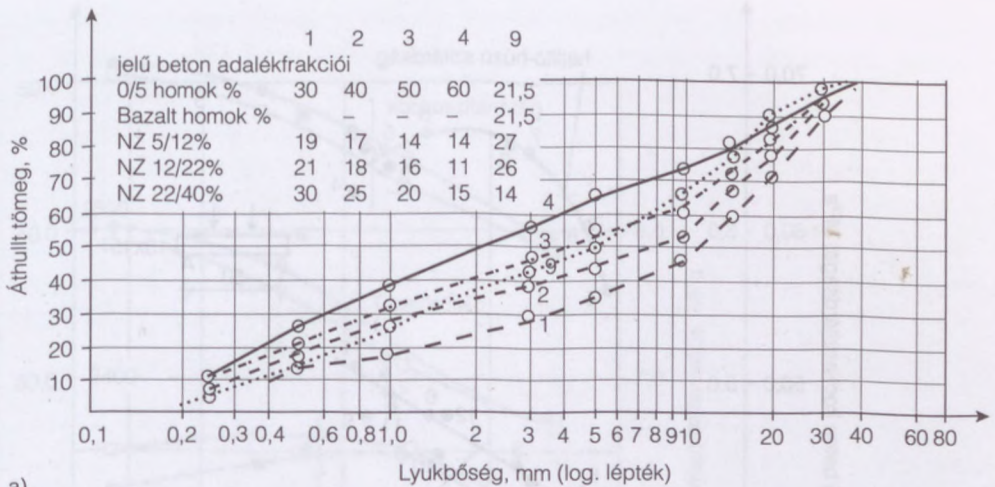
A kísérleti betonok összetételét és a friss beton jellemzőit a 13.22. táblázatban foglaltuk össze. A szemmegoszlási görbéket a 13.68. és 13.69. ábrákon mutatjuk be. Mind a zúzalékot, mind a homokot mostuk, s ezáltal a homok agyag-iszap tartalmát 2 térfogatszázalék alá csökkentettük.

A kockaszilárdságot 20 cm élhosszúságú kockákon, a hajlító-húzó szilárdságot  $15 \times 15 \times 70$  cm-es hasábokon (támaszköz 60 cm, harmadponton teher) vizsgáltuk. A betonokat az előző fejezetben leírt módon készítettük, és 7 napig nedves ruhával letakarva tároltuk. A kockákat légszáraz állapotban törtük, a hasábokat vízzel telített állapotban hajlítottuk. A beton 28 napos (redukált kor) szilárdságát a 13.23. táblázat tartalmazza. Zárójelben a próbatestek számát adtuk meg.



13.68. ábra. Az adalékanyag-frakciók szemmegoszlása.



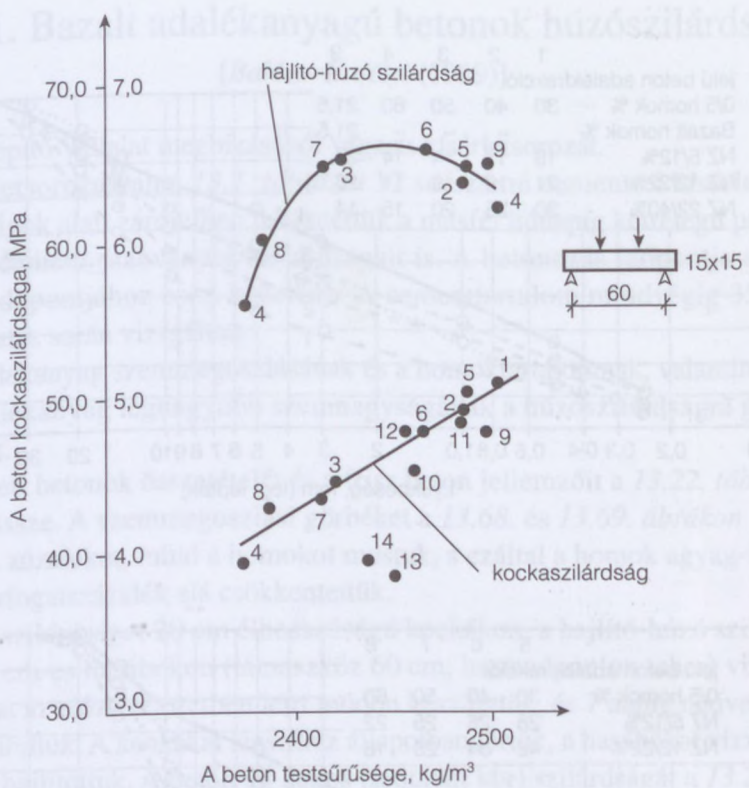


13.69. ábra. A betonok adalékanyagának szemmegoszlási görbéi.

Következtetések:

a) A beton nyomószilárdsága testsűrűségével közel lineárisan nő (13.70. ábra). Ugyanakkor a hajlító-húzó szilárdság optimumot adó görbe szerint változik  $d_{max}=20$  és  $40$  mm legnagyobb szemnagyság esetén egyaránt.

b) A 13.71. ábra is azt szemlélteti, hogy a beton kockaszilárdsága közel arányosan csökkent a beton testsűrűségével. Ugyanakkor a beton hajlító-húzó szilárdsága 54% homoktartalomig közel állandó volt, itt kissé nőtt, attól kezdve rohamosan csökkent. Továbbá a húzószilárdság  $d_{max}=22$  mm, a kockaszilárdság  $d_{max}=40$  mm esetén volt minden esetben nagyobb (5 mm-ig azonosak voltak a szemmegoszlási görbék).



13.70. ábra. A beton szilárdsága testsűrűsége függvényében.

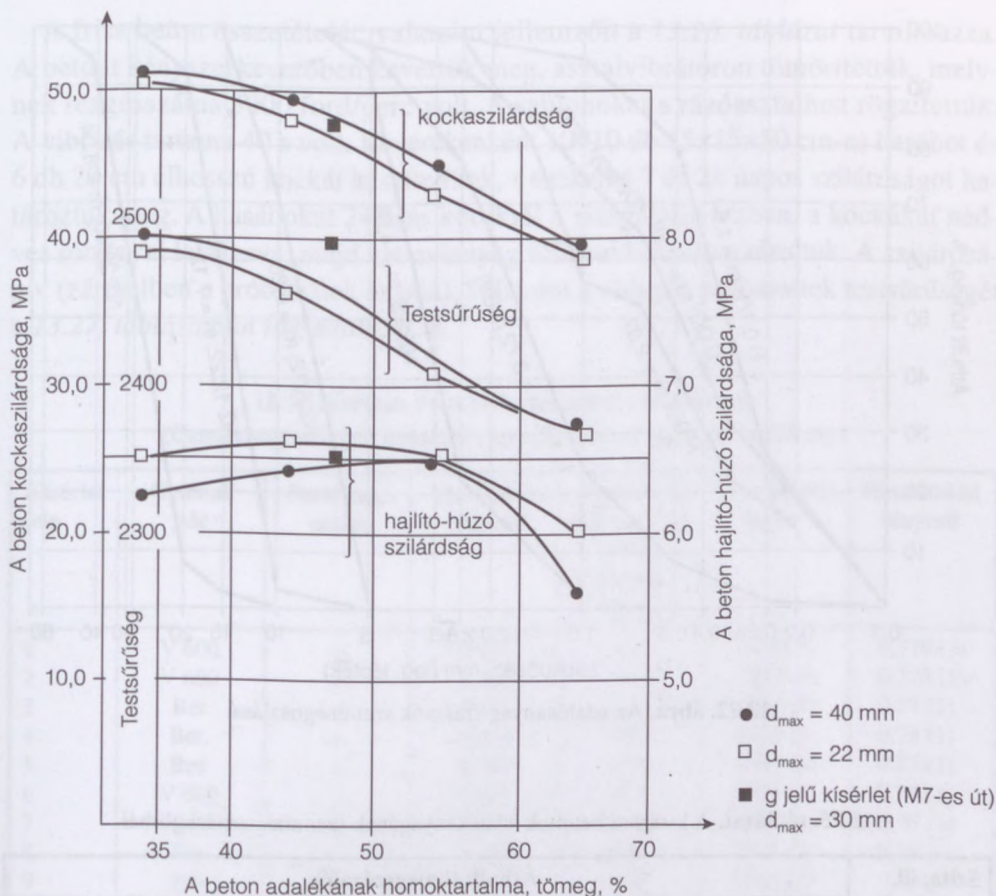
**Második kísérlet**

A Betonútépítő Vállalat megbízásából végrehajtott második kísérletben egyrészt a beremendi 500-as (13.1. táblázatban 13 sorszámú) és a váci 600-as (13.1. táblázatban 14 sorszámú) cement, másrészt a mosott és osztályozott dunahomoknak, valamint a természetes eredetű délegyházai homoknak a beton húzószilárdságára gyakorolt hatását vizsgáltuk. A kísérlethez felhasznált adalékanyagfrakciók:

- H 0/1 vizes osztályozással előállított Duna-homok,
- H 1/3 vizes osztályozással előállított Duna-homok,
- H 0/3 vizes osztályozással előállított Duna-homok,
- D 0/3 délegyházai mosott homok,
- NZ 2/5 uzsabányai bazaltzúzalék,
- NZ 5/12 uzsabányai bazaltzúzalék,
- NZ 12/22 uzsabányai bazalt zúzottkő,
- NZ 22/40 uzsabányai bazalt zúzottkő.

Az adalékanyag-frakciók szemmegoszlási görbéit a 13.72. ábrán tüntettük fel. Az ábrán megadott frakciókat a 13.24. táblázatban feltüntetett arányban kevertük össze, s ezáltal a 13.25. táblázatban megadott hatféle szemmegoszlási görbét nyertük.

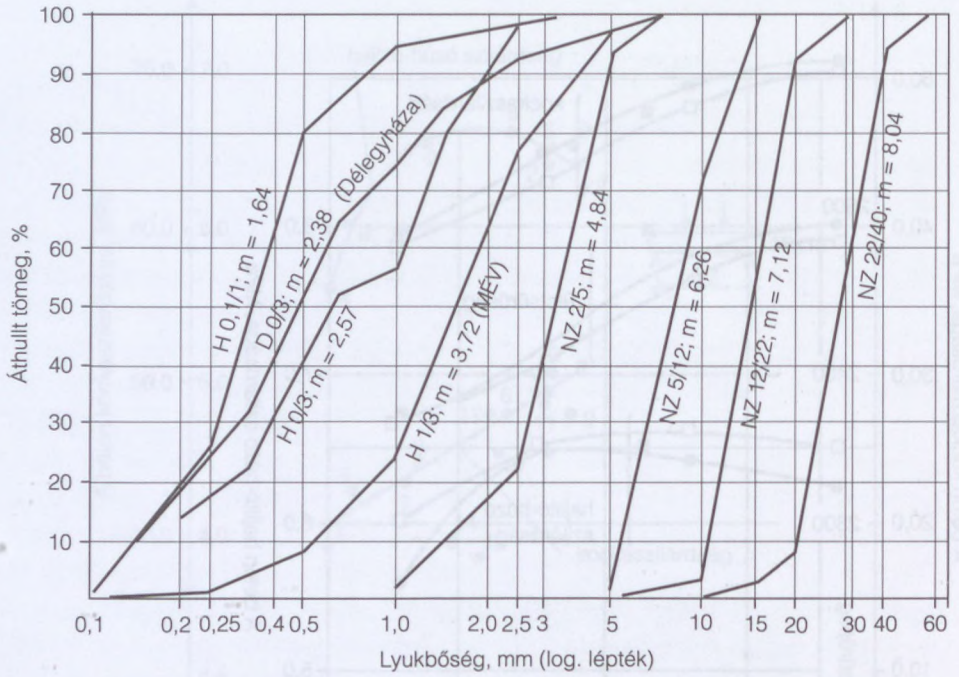




13.71. ábra. A beton szilárdsága az adalékanyag homoktartalma függvényében.

13.24. táblázat. Az adalékanyag-frakciók keverési aránya

Szem- megoszlás jele	H 0/1	H 1/3	H 0/3	D 0/3	NZ 2/5	NZ 5/12	NZ 12/22	NZ 22/40
	adalékanyag-frakciók keverési aránya %							
g				24	20	20	18	18
h			26		18	20	18	18
i	14	12			18	20	18	18
k	20				24	20	18	18
l				26	21	19	17	17
m				23	19	21	18,5	18,5



13.72. ábra. Az adalékanyag-frakciók szemmegoszlása.

13.25. táblázat. A kísérleti betonok adalékanyagának szemmegoszlási görbéi

Szita, ill. rosta lyukbősége, mm	Áthullt tömegszázalék					
	g	h	i	k	l	m
	jelű szemmegoszlás esetén					
0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2
0,2	4,8	3,6	3,4	5,0	5,2	4,6
0,25	8,9	3,7	4,6	6,2	9,6	8,5
0,5	12,8	10,7	12,2	16,1	14,1	12,4
1,0	18,2	15,0	16,4	19,2	19,7	17,5
2,5	26,2	31,8	27,4	25,9	28,2	25,1
5	42,5	43,2	42,9	42,8	45,2	40,7
10			59,0		61,2	57,7
15			72,1		73,6	71,6
20			82,2		83,2	82,0
30			91,7		91,2	91,7
40			99,3		99,3	99,3
50			100		100	100
Finomsági modulus	5,52	5,52	5,53	5,47	5,41	5,60



A friss beton összetételét, valamint jellemzőit a 13.26. táblázat tartalmazza. A betont kényszerkeverőben kevertük meg, asztalvibrátoron tömörítettük, melynek rezgésszáma 3000 ford/perc volt. A sablonokat a rázóasztalhoz rögzítettük. A vibrálás tartama 40 s volt. Keverékenként 10–10 db 15×15×50 cm-es hasábot és 6 db 20 cm élhosszú kockát készítettünk, s ezeken a 7 és 28 napos szilárdságot határoztuk meg. A hasábokat 24 órás koruktól a vizsgálatig vízben, a kockákat nedves ronggyal letakarva, majd azt műanyag fóliával beborítva tároltuk. A szilárdságot (zárójelben a próbatestek száma), valamint a vizsgált próbatestek testsűrűségét a 13.27. táblázatban foglaltuk össze.

13.26. táblázat. Friss beton összetétele és jellemzői  
(Cementtartalom: 350 kg/m<sup>3</sup>; betonkonzisztencia: gyengén képlékeny)

Kísérlet jele	Cement jele	Szemmegoszlás	Víz-cement tényező	Cement és 0,2 mm-nél kisebb homok, kg/m <sup>3</sup>	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>	Tömörödési tényező
1	V 600	g	0,462	444	2508 (3)	0,776 (3)
2	V 600	h	0,462	420	2504 (3)	0,775 (1)
3	Ber	g	0,455	444	2504 (3)	0,77 (1)
4	Ber.	h	0,478	420	2502 (3)	0,78 (1)
5	Ber.	i	0,490	416	2502 (3)	0,77 (1)
6	V 600	i	0,469	416	2509 (3)	0,78 (1)
7	Ber	k	0,453	448	2507 (3)	0,79 (1)
8	Ber	l	0,453	451	2510 (3)	0,79 (1)
9	Ber	m	0,453	440	2516 (3)	0,79 (1)

A kísérletek alapján levont következtetések:

a) A kísérlet során nyert nagy hajlító-húzó szilárdságot, amely a nagy terhelésű és nagy forgalmú betonutak egyik legfontosabb minőségi követelménye, úgy érték el, hogy a betontesteket a törésig vízben tároltuk.

b) Ha a váci 600-as cementtel készített betonok szilárdsági mérőszámait 100-nak vesszük, akkor a beremendi 500-as cementtel a kockaszilárdság 7, illetve 28 napos korban átlagosan ennek 79, illetve 90%-a, a hajlító-húzó szilárdság 88, illetve 94%-a. Nem jelent a szilárdságban – közel azonos szemmegoszlás esetén – számottevő előnyt, ha a H 0/3 jelű dunai homokot vizes osztályozón H 0/1 és H 1/3 frakcióra bontják (4. és 5. jelű, valamint 2 és 6 jelű összehasonlítása).

c) Az a körülmény, hogy a mosott H 0/3 helyett mosott D 0/3 homokot használtunk (1. és 2, valamint 3 és 4 jelű kísérletek összehasonlítása), a beremendi 500-as cement használata során nem mutatott előnyt, V 600 jelű cement használata esetén a húzószilárdságban kb. 8% növekményt eredményezett. A Rheax-berendezéssel



előállított H 0/3 homok valószínűen egyenletesebb minőségű, mint a mosott és kétszer szitált D 0/3 homok. Az előállítási költségek különbsége azonban valószínűen nem áll arányban a szilárdságjavító hatással.

13.27. táblázat. A betonok szilárdsága és testsűrűsége

Beton		Kocka-		Hajlító-húzó-		Hasító-	Testsűrűség- átlag, kg/m <sup>3</sup>
Jel	kora	nap szilárdság, MPa					
		átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	
1	7	42,0 (3)	2,921	5,94 (5)	0,362	–	2520 (3)
	28	48,9 (3)	1,721	7,89 (5)	1,033	–	2533 (3)
2	7	45,8 (3)	1,311	6,42 (5)	0,340	–	2540 (3)
	28	61,7 (3)	0,300	8,54 (5)	1,193	–	2530 (3)
3	7	34,0 (3)	2,921	5,62 (5)	0,147	–	2503 (3)
	28	47,1 (3)		7,77 (5)	0,513	–	2517 (3)
4	7	31,9 (3)	1,124	5,28 (5)		–	2510 (3)
	28	49,2 (3)	1,834	7,34 (5)	0,783	4,60 (15)	2500 (3)
5	7	30,0 (3)	0,520	4,81 (5)	0,414	–	2513 (3)
	28	46,7 (3)	3,081	7,35 (5)	0,528	4,78 (15)	2520 (3)
6	7	40,2 (3)	0,058	5,90 (5)	0,534	–	2520 (3)
	28	54,1 (3)	2,488	8,51 (5)	0,790	4,83 (15)	2516 (3)
7	7	31,8 (3)	1,735	5,71 (5)	0,748	–	2512 (3)
	28	48,3 (3)	1,082	8,12 (5)	0,447	5,29 (15)	2512 (3)
8	7	39,4 (3)	1,572	5,10 (5)	0,522	–	2530 (3)
	28	57,4 (3)	2,858	8,15 (5)	0,625	4,75(15)	2510 (3)
9	7	34,2 (3)	1,082	5,78 (5)	0,425	–	2500 (3)
	28	48,2 (3)	1,102	8,01 (5)	0,637	5,02 (15)	2500 (3)

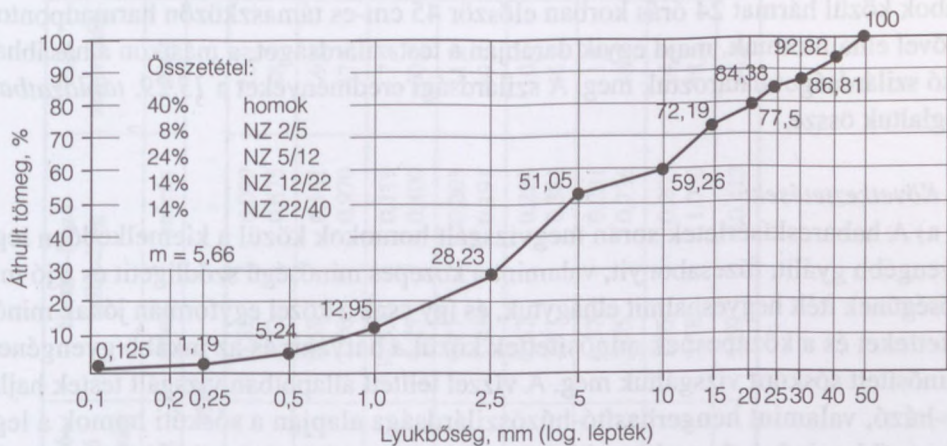
### 13.12. A homokfajta hatása a beton húzószilárdságára

Úgy alakítottuk ki a beton adalékanyagának szemmegoszlási görbéjét, hogy az az útbetonépítésben szokásosat közelítse meg. A bazaltzúzalék összetétele és szemmegoszlása mindig állandó volt, csak a homokfajta változott, és annak a szemmegoszlása igen kis mértékben tért el egymástól. Egy szemmegoszlási görbét a 13.73. ábrán mutatunk be.

A kísérletek során csak a homokfajta változott. A betont lábatlani többcélú cementtel készítettük (13.1. táblázatban 15. sorszámú), cementtartalom 350 kg/m<sup>3</sup> volt. A légbuborékképző szer a cement tömegére vonatkoztatott 0,9% Biberol volt.

Homokfajtánként 6 db 15×15×50 cm-es hasábot és 10 db 20 cm élhosszúságú kockát készítettünk. Géppel azonos ideig kevertük meg és azonos ideig vibráltuk.





13.73. ábra. A beton adalékanyagának szemmegoszlási görbéje füzesabonyi homok esetén.

A konzisztenciát igyekeztünk állandónak tartani. A beton víz-cement tényezőjét és a friss beton jellemzőit a 13.28. táblázatban adtuk meg.

A kockákat és hasábokat 24 órás koruktól kezdve vízben tároltuk. A 6 db kockából 28 napos kora után 15 cm átmérőjű, 20 cm hosszú kockát is csak 100–120 napos korban vizsgáltuk meg. A hat hengerminta közül hármat fokozatosan vízbe-merítéssel újra feltöltöttünk, míg a másik hármat súlyállandóságig szárítottuk. A ha-

13.28. táblázat. A kísérleti betonok összetétele és a friss beton jellemzői

Beton jele	Homokfajta	Víz-cement tényező	Légpórus-tartalom %	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>	Tömörödési mérőszám
1.	Szigetszentmiklósi	0,41	3,8	2490	0,80
2.	Csepeli	0,43	5,2	2490	0,83
3.	Délegyházi	0,46	4,2	2470	0,79
4.	Hatvani	0,43	4,6	2460	0,80
5.	Sóskúti	0,49	3,5	2470	0,80
6.	Nyékládházai	0,44	5,6	2450	0,82
7.	Dunai	0,40	7,5	2500	0,84
8.	Marosi	0,43	6,2	2440	0,81
				2440	0,60

sábok közül hármat 24 órás korban először 45 cm-es támaszközön harmadpontos erővel elhajlítottunk, majd egyik darabján a testszilárdságot, a másikon a hasábható szilárdságot határoztuk meg. A szilárdsági eredményeket a 13.29. táblázatban foglaltuk össze.

*Következtetések:*

a) A habarcskísérletek során megvizsgált homokok közül a kiemelkedően leggyengébb gyálit, füzesabonyit, valamint a közepes minőségű sződligetit és a jó minőségűnek ítélt hegyeshalmit elhagytuk, és így csak a közel egyformán jónak minősítettek és a közepesnek minősítettek közül a hatvanit és az inkább gyengének minősített sóskútit vizsgáltuk meg. A vízzel telített állapotban vizsgált testek hajlító-húzó, valamint hengerhasító-húzószilárdsága alapján a sóskúti homok a leggyengébb minőségű, azt követi a délegyházai homok, míg a többi közel egyenlő szilárdságú betont eredményezett.

A 24 órás hajlító-húzó szilárdság a beton 130–140 napos hajlító-húzó szilárdságának a 28–30%-a.

A vízzel telített állapotban meghatározott hengerhasító-húzószilárdságnak a kiszáritott állapotban meghatározott hengerhasító-húzószilárdsághoz való viszonya:

Homokfajta	Viszonyszám
szigetszentmiklósi	1,08
csepeli	1,02
délegyházai	1,05
hatvani	1,00
sóskúti	0,93
nyékládházai	0,96
dunai	1,17

Általában a vízzel telített beton hasító-húzószilárdsága volt a nagyobb. A dunai homok kiugró viszonzszámától eltekintve a szilárdságok eltérése 10%-on belüli. Mivel pedig a légnedves állapot a vizsgált két állapot közötti, ez a kísérlet is alátámasztotta, hogy a hasítóvizsgálat inkább alkalmas a húzószilárdság vizsgálatára, mint a hajlítóvizsgálat, ha utóbbit nem tudjuk vízzel telített állapotú próbatesteken elvégezni.



13.29. táblázat. A homokfajta hatása a húzószilárdságra

Jele	Homokfajta	Kora nap	Testsűrűség		Kockaszilárdság		Hajlító- -húzó szilárdság	Hasító-húzó szilárdság		Test- szilárdság
			átlag	szórás	átlag	szórás		átlag	szórás	
			kg/m <sup>3</sup>			MPa				
1	Szigetszentmiklósi	1 130	2480	16,32	65,7	1,136	2,43 8,31	0,82 3,72	0,099 0,675	10,9 48,5
2	Csepeli	1 147	2428	5,00	57,2	2,064	2,19 7,82	0,58 2,96	0,161 0,970	9,6 42,5
3	Délegyházi	1 130	2453	20,62	67,7	3,087	1,46 7,98	0,33 4,25	0,119 0,400	7,1 60,1
4	Hatvani	1 133	2448	15,00	66,3	2,255	2,17 8,61	0,77 3,93	0,203 0,191	11,2 49,2
5	Sóskúti	1 150	2413	22,17	50,1	3,249	2,28 7,30	0,67 2,93	0,228 0,381	10,6 46,2
6	Nyékkládházai	1 148	2423	5,00	53,8	4,096	2,31 7,54	0,57 3,75	0,231 0,736	11,5 48,7
7	Dunai	1 154	2474	21,36	59,5	5,916	2,30 7,94	1,05 3,58	0,205 1,030	14,4 58,2
11	Marosi	136	2425	-	62,6	-	8,46	3,69	0,413	46,9

## 13.13. A beton húzószilárdságának a vizsgálata a kis szilárdságú kőzetekkel

[Erdélyi–Balázs–Horváth (1968)]

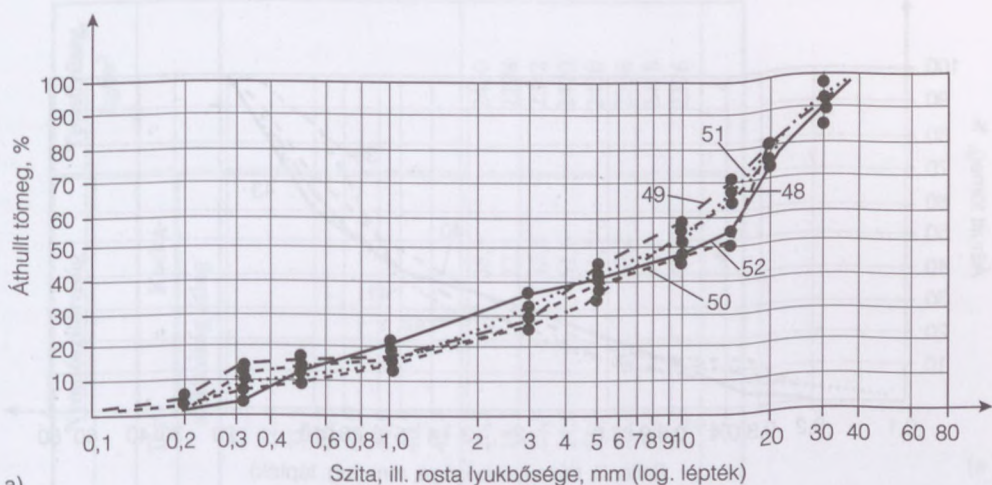
Ebben a fejezetben azokról a kis szilárdságú kőzetekkel végzett betonkísérletekről számolunk be, amelyeket az Országos Vízügyi Hivatal megbízásából végeztünk. 20, illetve 40 mm legnagyobb szemmagyságú adalékanyaggal készítettünk betonet. A kísérlet tervét és a friss beton konzisztencia-mérőszámát a 13.30. táblázat tartalmazza. Az adalékanyagok szemmegoszlását a 13.74. és 13.75. ábrákon tüntettük fel. Minden esetben  $350 \text{ kg/m}^3$  tatabányai 600-as cementet adagoltunk. A víz-cement tényezőt a betonból vett kiszárított minta víztartalmából utólag számítottuk. A testsűrűséget a tömörödésmérés során  $\varnothing 15/30$  cm méretű hengermintákon határoztuk meg. A kísérlet során betonfajtánként  $d_{max}=20$  mm esetén 6 db  $7,0 \times 7,0 \times 25$  cm méretű hasábot,  $d_{max}=40$  mm esetén 3 db  $15 \times 15 \times 70$  cm-es hasábot és 4 db 20 cm élhosszúságú kockát készítettünk. Ezenkívül néhány esetben 12·12 cm keresztmetszetű, piskóta alakú hasábokat is előállítottunk a tiszta húzószilárdság vizsgálatára.

A betont kézi erővel, igen gondosan kevertük meg és 3000 ford/perc rázóasztalon tömörítettük. A friss beton konzisztencia-mérőszámát Glanville-készülékben határoztuk meg. Arra törekedtünk, hogy a beton konzisztencia-mérőszáma közel azonos legyen. Ez azonban nem minden esetben sikerült.

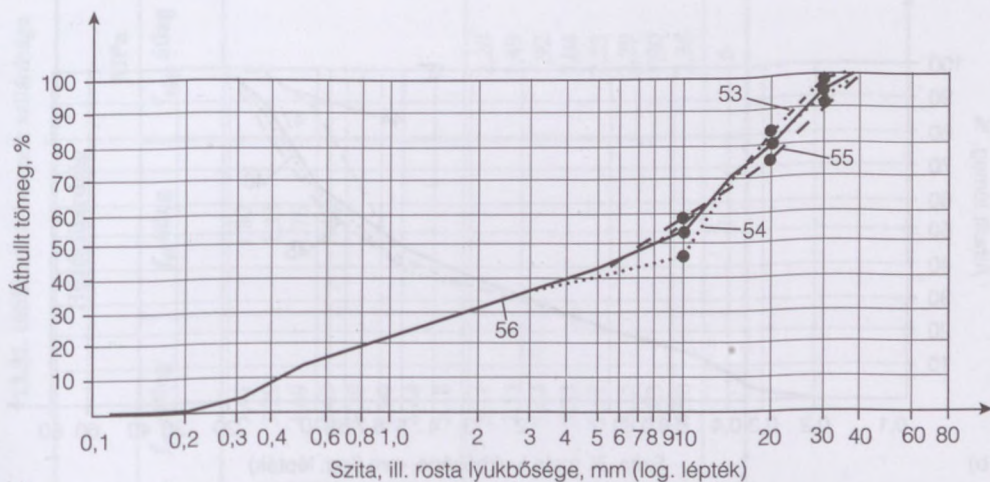
**13.30. táblázat.** A beton összetétele, a friss beton jellemzői

Jel	$d_{max}$ mm	Kavics	Homok	Víz-cement tényező	Tömörödési tényező	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>	Vibrálás tartama, sec
		fajtája					
29	20	dolomit		0,62	0,73	2570	35
41		égett gránit		0,82	0,68	2320	
42		homokkő		0,75	0,70	2400	
43		Duna-kavics	Duna-homok	0,62	0,82	2560	120
44		dolomit	Duna-homok	0,38	0,70	2570	
45		mészke	Duna-homok	0,44	0,74	2480	
46		égett gránit	Duna-homok	0,54	0,72	2500	
47		homokkő	Duna-homok	0,51	0,71	2500	
48		40	dolomit		0,59	0,75	
50	égett gránit		0,71	45			
51	homokkő		0,74	0,71		2500	45
52	Duna-kavics		Duna-homok	0,63	0,76	2550	45
53	dolomit		Duna-homok	0,58	0,72		75
54	mészke		Duna-homok	0,58	0,71		35
55	égett gránit		Duna-homok	0,50	0,74		60
56	homokkő		Duna-homok	0,57	0,74		2560





a)



b)

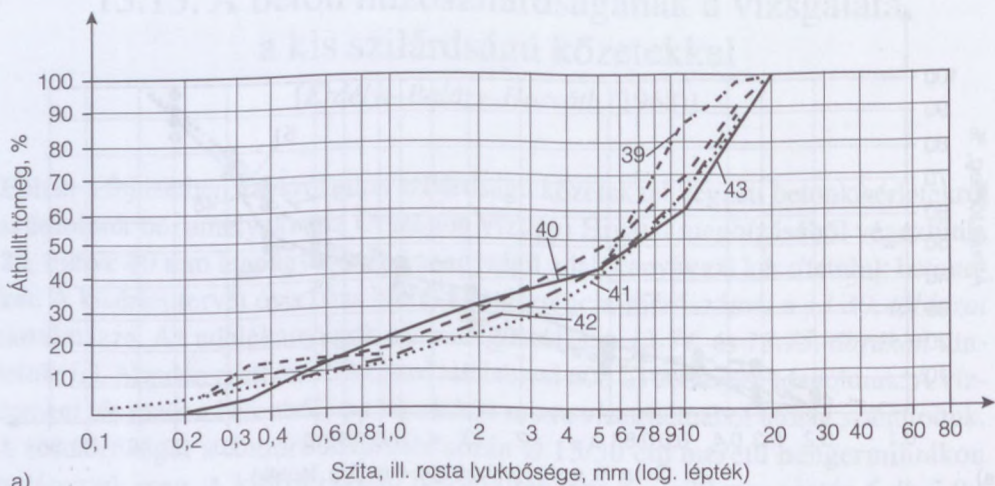
13.74. ábra. 48–56 jelű betonok adalékanyagának a szemmegoszlási görbéi.

A próbatesteket 1 napos koruktól kezdve kb. 18°C hőmérsékletű klímakamrában, nedves ruhával letakarva tároltuk.

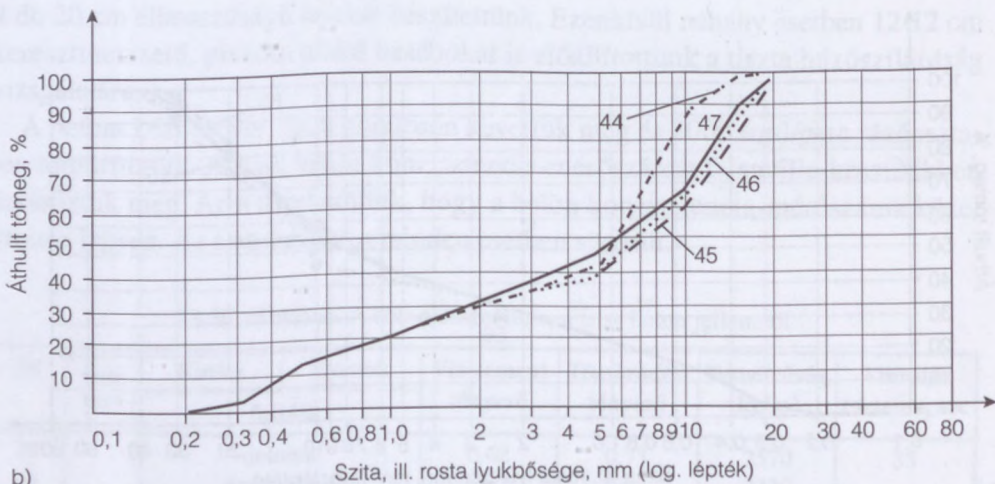
Meghatároztuk a hajlító-húzó szilárdságot (kisebb hasábok esetén 24 cm, nagyobbak esetén 45 cm volt a támaszköz) harmadpontos terheléssel, majd a próbatestek eltört darabjain a nyomószilárdságot (testszilárdság). A kísérleti eredményeket 13.31. táblázatban foglaltuk össze.

Következtetések:

a) Duna-homokkal és különböző durva adalékanyaggal készített beton szilárdsága egy eset kivételével lényegesen kedvezőbb volt, mint ha a homok és a kavics



a)



b)

13.75. ábra. 39–47 jelű betonok adalékanyagának a szemmegoszlási görbéi.

azonos közegből származott (13.76. ábra). Ezáltal még a nagyon gyenge szilárdságot adó égett gránit adalékanyaggal készített beton hajlító-húzó szilárdsága is megjavult. A húzószilárdság szempontjából tehát a homoknak, különösen a homok tisztaságának van fontos szerepe.

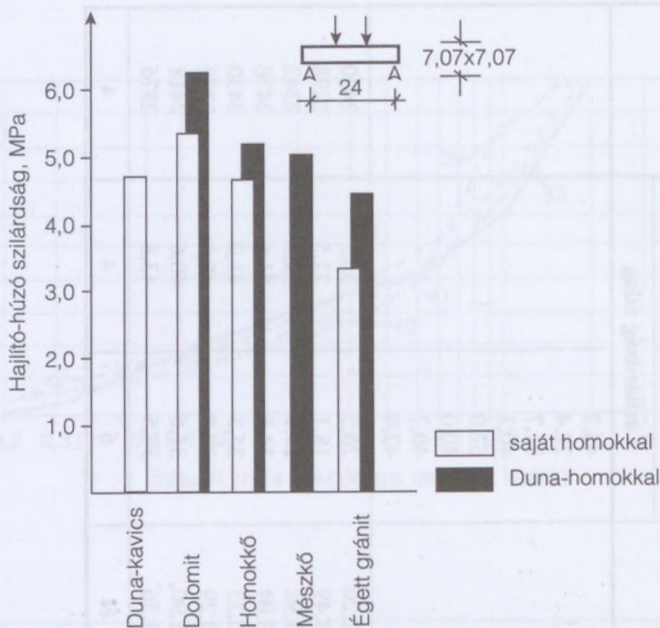
b)  $d_{max} = 20$  mm esetén általában kedvezőbb húzószilárdságot kaptunk, mint  $d_{max} = 40$  mm esetén.

c) A kisebb szilárdságú homokkővel, mészkővel és dolomittal is lehet jó húzószilárdságú betont készíteni, ha a homok megfelelő. (A 13.77. ábrán feltüntetett dolomit adalékanyagossal készített beton húzószilárdsága a többiekétől eltérő konzisztencia miatt lett lényegesen rosszabb, mint  $d_{max} = 20$  mm esetén.)

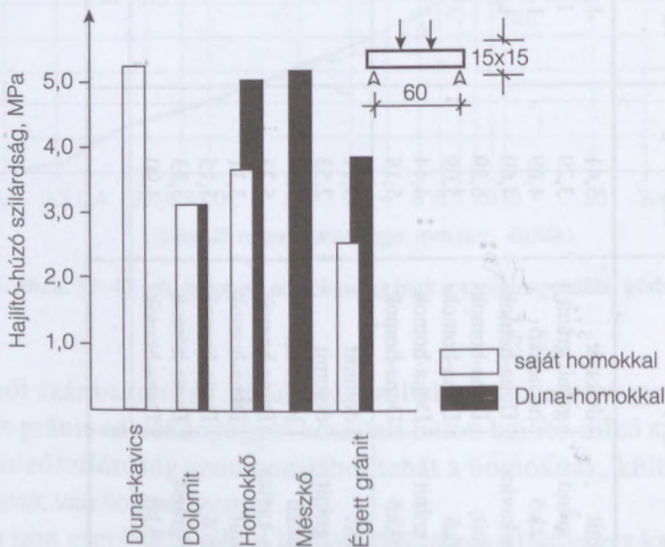


13.31. táblázat. A betonok szilárdsága

Jel	$d_{max}$ , mm	Kavics	Homok fajtája	Húzószilárdság MPa			Nyomószilárdság		Testtűréség, kg/m <sup>3</sup>
				$f_{ct,f}$ átlag	$f_{ct}$ átlag	$f_{ct,sp}$ átlag	Test- szilárdság átlag	Kocka- szilárdság átlag	
43	20	dolomit égett gránit homokkő	dolomit gránit gránit homokkő	5,41 3,29 4,69	1,80 1,11 1,76		45,2 22,4 31,7		
44		Duna-kavics	Duna-homok	4,69	1,42		40,3		
45	20	dolomit	Duna-homok	6,39			62,0		
46		mészke	Duna-homok	5,09			40,0		
47		égett gránit homokkő	Duna-homok Duna-homok	4,44 5,18			40,7 42,4		
48	40	dolomit	dolomit	3,11		2,20	26,5	35,3	2430
50		égett gránit	dolomit	2,53		1,49	18,1	22,5	2298
51		homokkő	homokkő	3,64		1,92	23,9	32,8	2342
52		Duna-kavics	Duna-homok	5,23		3,04	34,6	51,6	2470
53		dolomit	Duna-homok	3,11		2,23	35,3	41,7	2430
54		mészke	Duna-homok	5,15		2,29	30,8	40,2	2338
55		égett gránit	Duna-homok	3,83		1,90	31,6	40,6	2418
56		homokkő	Duna-homok	4,90		2,36	30,5	43,8	2376
Próbatest száma					2	6	6	4	4



13.76. ábra. A homokfajta és a durva adalékanyag fajta hatása a hajlító-húzó szilárdságra  $d_{max}=20$  mm esetén.



13.77. ábra. A homokfajta és a durva adalékanyag fajta hatása a hajlító-húzó szilárdságra  $d_{max}=40$  mm esetén.



## 13.14. Kétrétegű betonok hajlító-húzó szilárdsága

[Horváth (1969)]

Betonutak, de különösen ipari betonpadozatok készítése során gyakran helyeznek a kisebb szilárdságú, illetve kevésbé időálló betonra kopásálló kéregbetont. A 13.13. fejezetben ismertetett betonokkal készítettünk úgy  $20 \times 20 \times 70$  cm-es hasábokat, hogy az első 15 cm-es réteget 48–56 jelű betonokból (kihagyva a kis szilárdságúakat), míg a felső 5 cm-es réteget bazaltbetonból készítettük. A bazaltbeton réteg adalékanyagának legnagyobb névleges szemnagysága 22 mm volt. A 15 cm-es réteg  $300 \text{ kg/m}^3$ , az 5 cm-es  $350 \text{ kg/m}^3$  váci 600-as cementet tartalmazott. Valamennyi beton konzisztenciája közel azonos volt (tömörödési tényező kb. 0,7), csak a bazaltbetont készítettük valamivel képlékenyebbre (tömörödési tényező 0,75), hogy az alsó betonréteg a bedolgozás során fel ne ússzon. Tisztán bazaltbetonból is készítettünk próbatesteket. A készítés során az alsó betonréteggel összedolgoztuk a felső réteget.

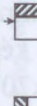
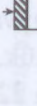

A készítés és a tárolás körülményei a 13.13. fejezetben ismertetettel egyeztek meg. (Eltérés az, hogy a betont kiszárított adalékanyagokkal készítettük, így a víz-cement tényező megnövekedett.) Vizsgáltuk  $20 \times 20 \times 70$  cm-es hasábokon 60 cm-es támaszközzel, harmadpontos erővel a hajlító-húzó szilárdságot úgy, hogy egyszer az egyik, másszor a másik betonréteg volt húzva, továbbá a nyomószilárdságot 20 cm élhosszúságú kockán,  $12 \times 12 \times 36$  cm méretű hasábon, valamint a hajlított hasábok eltört darabjain határoztuk meg.

A friss beton jellemzőit a 13.32. táblázatban, a megszilárdult betonét a 13.33. táblázatban tüntettük fel. A 13.32. táblázatban a jel oszlopában zárójelben a 13.30. táblázat szerint azonos összetételű beton jelét is megadtuk.

13.32. táblázat. Kétrétegű betonok összetétel- és a friss beton jellemzői

Jel	Kavics	Homok	Víz-cement tényező	Tömörödési szám, $\text{kg/m}^3$	Testsűrűség, $\text{kg/m}^3$	Vibrálási idő, sec
	fajtája a 15 cm-es rétegben					
57	dolomit	Duna-homok	0,57	0,76	2498	30
58	dolomit	dolomit	0,69	0,73	2501	
59	égetett gránit	Duna-homok	0,48	0,69	2483	70
60	homokkő	Duna-homok	0,54	0,70	2380	
61	Duna-kavics	Duna-homok	0,47	0,73	2445	50
62	mészkeő	Duna-homok	0,55	0,70	2356	60
63	bazalt	70% Duna-homok + 30% bazalt	0,49	0,74	2503	50
Vizsgálat száma				2	5	6
5 cm-es bazaltbeton réteg			0,52	0,75		

13.33. táblázat. Kétrétegű betonhasábok 28 napos hajlító-núzó szilárdsága





Jele	Alsó rétegben		Átlagos hajlító-núzószilárdság MPa	Vastagabb réteg kocka/hasáb szilárdsága, MPa	Testszilárdság, MPa	
	Kavics	Homok				
fajtája						
57	dolomit	Duna-homok	3,85	40,9	30,8	31,2
58	dolomit	dolomit	3,92	33,8	28,2	27,4
59	égetett gránit	Duna-homok	4,50	42,0	33,6	29,2
60	homokkő	Duna-homok	3,64	44,1	39,0	31,1
61	Duna-kavics	Duna-homok	2,91	43,3	33,6	25,6
62	mészkö	Duna-homok	3,90	45,4	36,9	33,8
63	bazalt	30% bazalt + 70% Duna-homok	4,60	47,3	42,3	37,9
Próbatestek száma			: 2	4	3	2



*Következtetések:*

Anyagtulajdonságonként a 13.34. táblázatban állítottuk fel a jósági sorrendet. Minden tulajdonság szempontjából legkedvezőbb volt, ha mindkét réteg bazaltbetonból készült. Míg az alsó réteg gránit mint durva adalékanyag következett; addig hajlítószilárdság szempontjából az égett gránit volt egyértelműen a második. A további sorrend pedig attól függött, hogy az alsó vagy a felső réteg volt húzott. Ha az alsó réteg volt húzva, akkor a további sorrend: dolomit saját homokkal; mészkő, dolomit, Duna-homokkal; homokkő, Duna-kavics, ha a felső réteg volt húzva, akkor pedig: Duna-kavics, dolomit Duna-homokkal, homokkő, mészkő, dolomit saját homokkal.

**13.34. táblázat.** Az anyagok rangsorolása szilárdságuk alapján  
(A szilárdságok dimenziója MPa)

Tulajdonságok	Sorrend						
	1	2	3	4	5	6	7
$f_{c,cube}$	47,3 (63)	45,4 (62)	44,1 (60)	43,3 (61)	42,0 (59)	40,9 (57)	33,8 (58)
$f_{c,pr}$	42,3 (63)	39,0 (60)	36,9 (62)	33,69 (61)	33,6 (59)	30,8 (57)	28,2 (58)
$f_{cb}$ 	39,6 (63)	32,4 (59)	31,8 (57)	30,5 (62)	27,2 (58)	26,9 (60)	26,9 (61)
$f_{cb}$ 	37,9 (63)	33,8 (62)	31,2 (57)	31,1 (60)	29,2 (59)	27,4 (58)	25,6 (61)
$f_{c,pr} / f_{c,cube}$	0,89 (63)	0,81 (62)	0,88 (60)	0,77 (61)	0,80 (59)	0,75 (57)	0,84 (58)
$f_{ct,fl}$ 	4,60 (63)	45,0 (59)	39,2 (58)	39,0 (62)	38,5 (57)	36,4 (60)	29,1 (61)
$f_{ct,fl} / f_{c,cube}$	0,097	0,107	0,116	0,086	0,094	0,082	0,067
$f_{ct,fl}$ 	50,3 (63)	41,3 (59)	39,6 (61)	35,3 (57)	32,8 (60)	32,5 (62)	31,9 (58)
$f_{ct,fl} / f_{c,cube}$	0,106	0,098	0,092	0,086	0,074	0,072	0,094
$E_o$ Mp/cm <sup>2</sup>	426 (63)	410 (61)	348 (60)	347 (62)	332 (59)	278 (57)	238 (58)

## 13.15. A beton húzási alakváltozási jellemzői rövid idejű terhelésre

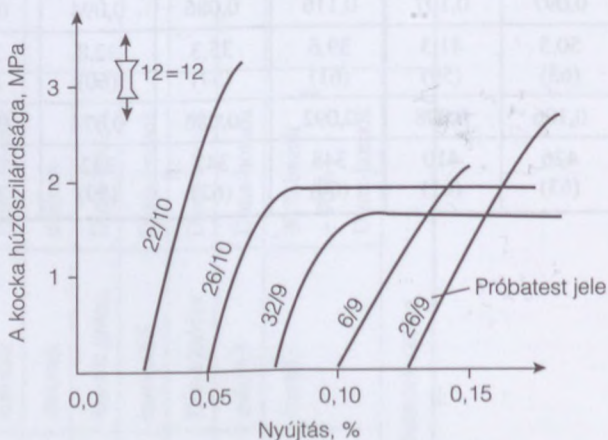
[Balázs (1988)]

A mérnöki gyakorlatban szükség van ugyan a húzási alakváltozási jellemzőkre, de azokat – a vizsgálat nehézségei miatt – alig vizsgálják. A továbbiakban e kutatásaink [Balázs (1985)] eredményeit foglaljuk össze. A húzott próbatest 12×12 cm keresztmetszetű volt.

### 13.15.1. A $\sigma$ – $\epsilon$ diagram jellege

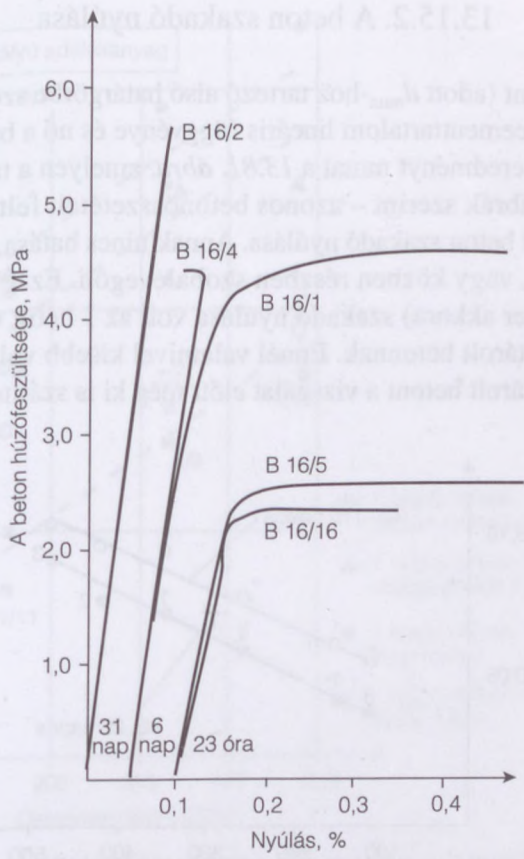
A vizsgált többféle beton húzási  $\sigma$ – $\epsilon$  diagramjainak a vizsgálata alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a beton húzásra rugalmas-képlékeny anyagnak fogható fel. A  $\sigma$ – $\epsilon$  diagramok hosszú, egyenes szakasszal kezdődnek és ez tart a törőerő 60–70%-ig. Ettől kezdve kicsit eltér az egyenestől, majd a beton a törés pillanatában képlékeny tulajdonságot mutat. A betonnak ezt a tulajdonságát azonban csak akkor tudjuk észlelni, ha a szakadás a mérőhosszon belül következik be és a mérőhossz nem hosszú.

A törés pillanatában a beton képlékeny tulajdonságát jól szemlélteti a 13.78. ábra, amelyen kb. 120 napos, a vizsgálat előtt 2 hétig vízben tárolt kvarc-kavicsbetonok  $\sigma$ – $\epsilon$  diagramjaira mutattunk példát (28/10 és 32/g-jelű). A 13.79. ábrán hajlítási húzásból származó  $\sigma$ – $\epsilon$  diagramokat tüntettünk fel. E betonoknak kb. 55–65 m%-a zalahalápi bazaltzúzalék volt. A betont nem vízben, hanem nedves ruhával letakarva tároltuk. A széles körű kísérlet szerint mindazoknak a betonoknak, amelyek mérőhosszon belül szakadtak, nagy volt a képlékeny alakváltozása.



13.78. ábra. Feszültség-nyúlási diagramok tiszta húzásra.



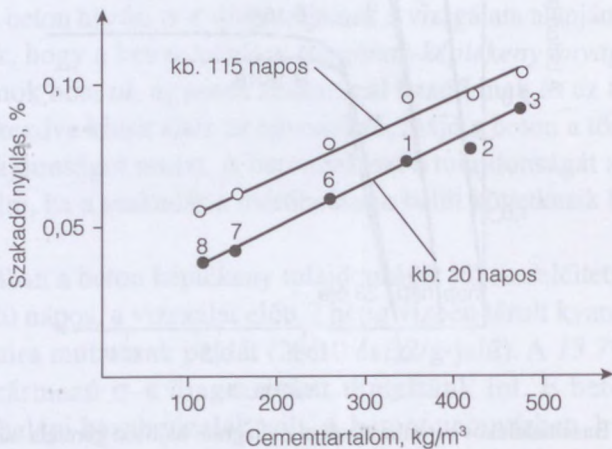


13.79. ábra. Bazaltadalékos betonhasábok  $\sigma$ - $\epsilon$  diagram hajlított gerenda húzott oldalán.

Heilmann és munkatársai (1969) központosan húzott hasábokon képlékeny tartományt nem észleltek. Hajlított gerenda húzott zónájában Halásznál (1968), Heilmann-nál is lehet arra következtetni, hogy a kiszáritott cementkő rugalmas anyagként viselkedett és csak nagyobb légnedvességű térben jelentkeztek a viszkózus tulajdonságok. Mal'cov (1960) szerint a kiszáritott beton mind húzásra, mind nyomásra rugalmas. Vízrel telített állapotban a  $\sigma$ - $\epsilon$  görbének csak rövid egyenes szakasza van és mindkét igénybevételre lényegesen csökken a szilárdsága. Kísérleteink – e kevés irodalmi adattal – csak részben egyeznek. Új eredmény az, hogy a rugalmas képlékeny viselkedés (húzásra) a beton tulajdonsága. A képlékeny szakasz hossza pedig függ a tárolás módjától.

### 13.15.2. A beton szakadó nyúlása

A 13.80. ábra szerint (adott  $d_{max}$ -hoz tartozó alsó határgörbe szerinti adalékanyag) a szakadó nyúlás a cementtartalom lineáris függvénye és nő a beton korával. Ezzel teljesen egybevágó eredményt mutat a 13.81. ábra, amelyen a tárolási mód hatását szemléltettük. Az ábrák szerint – azonos betonösszetételt feltételezve – a legkisebb a vízzel telített beton szakadó nyúlása. Annak nincs hatása, hogy végig vízben tároltuk-e a betont, vagy közben részben szobalevegőn. Ezzel szemben a legnagyobb (közel kétszer akkora) szakadó nyúlása volt az 1 hétig vízben és azt követően szobalevegőn tárolt betonnak. Ennél valamivel kisebb volt a szakadó nyúlás, ha a szobalevegőn tárolt betont a vizsgálat előtt még ki is szárítottuk.



13.80. ábra. Vízben tárolt, azonos konzisztenciájú betonok szakadó nyúlása a cementtartalom függvényében.

### 13.15.3. A kezdeti húzási rugalmassági modulus

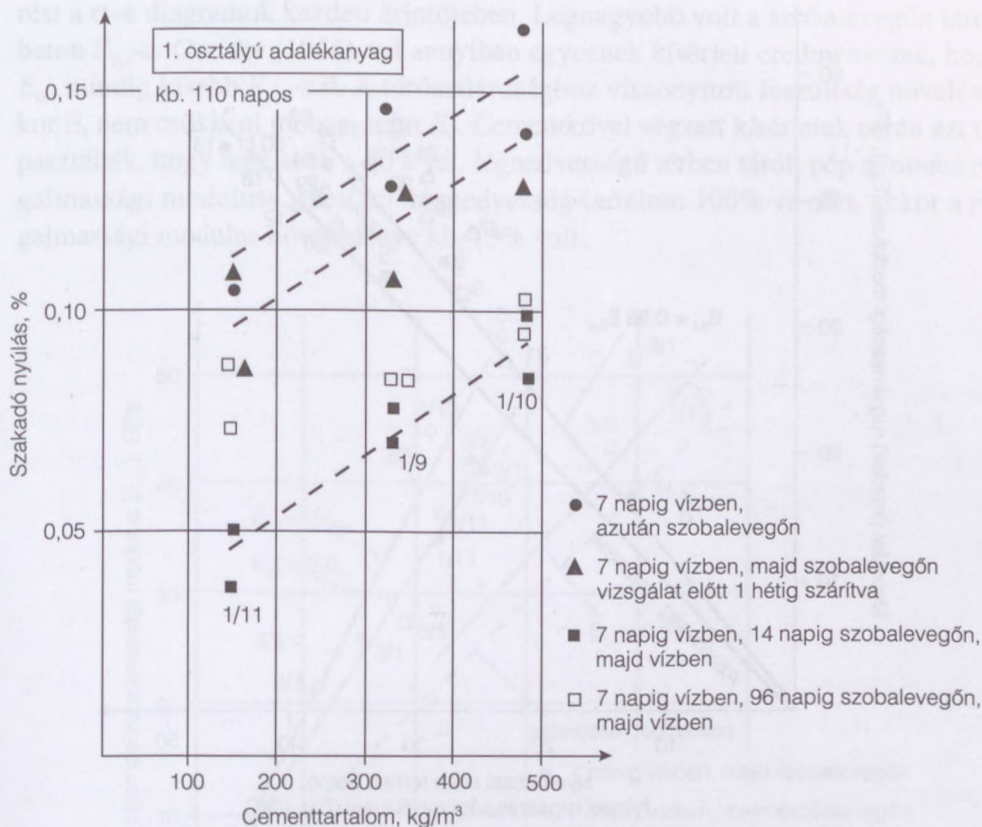
A betonok kezdeti húzási rugalmassági modulusa – azonos tárolási mód esetén – mindig kisebb volt, mint kezdeti nyomási rugalmassági modulusa. Vasbeton szerkezetek méretezése során feltételezhető, hogy

$$E_{o,t} = (0,85-0,90)E_{o,c}$$

Ez a tendencia megítélhető gőzölt betonok rugalmassági modulusai felhasználásával, valamint természetesen szilárduló, vízben tárolt betonokra megszerkesztett 13.82. ábra alapján.

A rugalmassági modulusokat különböző tárolási mód esetén is megvizsgáltuk. A beton kb. 120 napos volt. A tárolási módokban közös volt a 7 napi vízben és azt követő szobalevegőn tárolás. A nyomási rugalmassági modulus is eltért egymástól





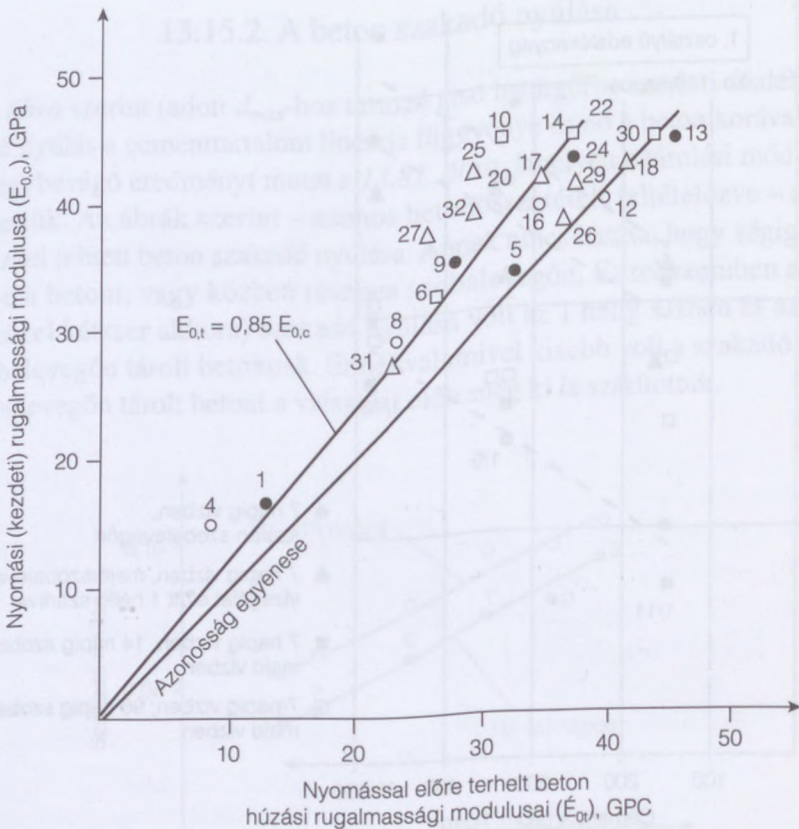
13.81. ábra. A szakadó nyúlás a tárolási mód és a cementtartalom függvényében.

a különböző tárolás esetén. Legnagyobb volt akkor, ha a próbatesteket vizsgálat előtt 1 hétig vízben tároltuk. Általában a legkisebb volt szobalevegőn tárolt beton esetében. Ebben az esetben közelítően fennállt

$$E_0 = \frac{f_{c,cube}}{f_{c,cub+20}} 55 \text{ (GPa)}$$

szabványainkban a rugalmassági modulus számítására megadott összefüggés. A legnagyobb eltérés a vizsgálat előtt vízben tárolt beton rugalmassági modulusához képest 25–30% volt a kb. 150 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú (nagyon pépszegény) beton tartományában. Ha a vizsgálat előtt a betont még ki is szárítottuk, akkor a rugalmassági modulus közbenső nagyságú volt (ettől egy eredmény tért el).

A kezdeti húzási rugalmassági modulusra sokkal jobban hatott a változó nedvességi állapot, mint a nyomáséra. Ez a rugalmassági modulus is *akkor volt a legnagyobb, ha vizsgálat előtt a próbatesteket vízben tároltuk.*



13.82. ábra. A beton nyomási rugalmassági modulusa húzási rugalmassági modulusa függvényében.

Ebben az esetben

$$E_{0,t} = 0,88 E_{0,c}$$

volt. Ha a próbatesteket vizsgálat előtt szobalevegőn tároltuk, akkor az ugyanúgy tárolt próbatestek nyomási rugalmassági modulusához viszonyítva

$$E_{0,t} = 0,60 E_{0,c}$$

összefüggés állt fenn. Ha pedig a próbatesteket a vizsgálat előtt még ki is szárítottuk, akkor még tovább romlott az arány, azaz

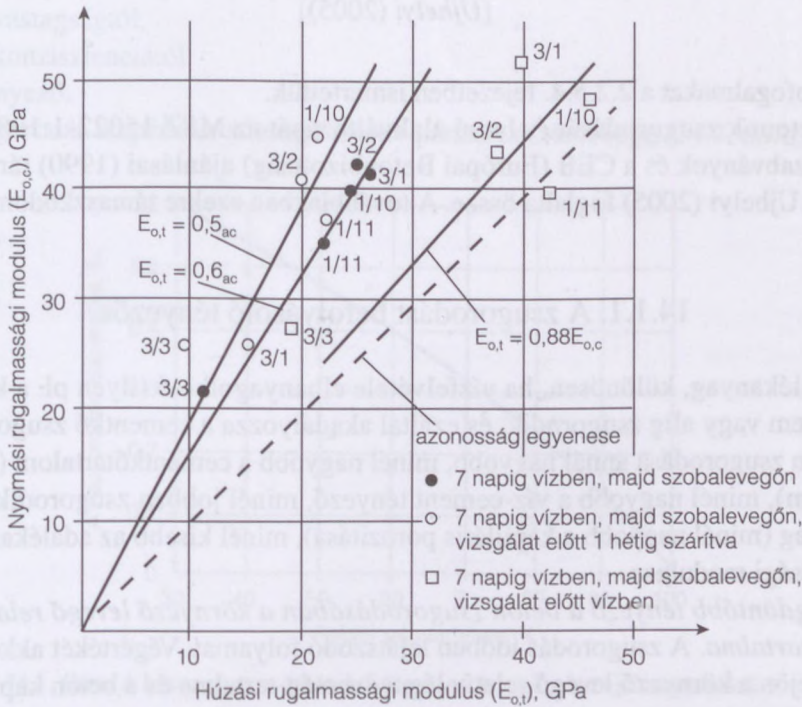
$$E_{0,t} = 0,50 E_{0,c}$$

volt (13.83. ábra). Ha pedig a légszáraz beton nyomási rugalmassági modulusához viszonyítjuk a kiszáritott beton húzási rugalmassági modulusát, az eltérés még nagyobb lesz. A kiszáradás pedig előfordulhat (például vasbeton kéményekben).

A húzási rugalmassági modulusra kevés irodalmi adatot találtunk. Komloš (1969) a különböző tárolási módok hatását vizsgálva nem tapasztalt lényeges elté-



rést a  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagramok kezdeti érintőjében. Legnagyobb volt a szobalevegőn tárolt beton  $E_{o,t}$ -a. *Oszidze* (1965)-vel annyiban egyeznek kísérleti eredményeink, hogy  $E_{o,t}$  mindig kisebb  $E_{o,c}$ -nál. A törőszilárdsághoz viszonyított feszültség növelésekor  $E_t$  nem csökkent jobban, mint  $E_c$ . Cementkővel végzett kísérletek során azt tapasztalták, hogy legkisebb a 40% rel. légnedvességű térben tárolt pép nyomási rugalmassági modulusa. Ha a rel. légnedvesség-tartalom 100%-ra nőtt, akkor a rugalmassági modulus növekménye kb. 15% volt.



13.83. ábra. A húzási rugalmassági modulus a nyomási rugalmassági modulus függvényében.

# 14. A beton zsugorodását és lassú alakváltozását befolyásoló tényezők

## Kis zsugorodású és lassú alakváltozású beton

### 14.1. A befolyásoló tényezők figyelembevétele

[Ujhelyi (2005)]

Az alapfogalmakat a 2.2.5.4. fejezetben ismertettük.

A betonok zsugorodását és lassú alakváltozását az MSZ 15022-1:1986, ENV 2000 szabványok és a CEB (Európai Betonbizottság) ajánlásai (1990) tárgyalják. Ezeket Ujhelyi (2005) foglalta össze. A továbbiakban ezekre támaszkodom.

#### 14.1.1. A zsugorodást befolyásoló tényezők

Az adalékanyag, különösen, ha vízfelvétele elhanyagolható (ilyen pl. a kvarckavics) nem vagy alig zsugorodik, és ezáltal akadályozza a cementkő zsugorodását. A beton zsugorodása annál nagyobb, minél nagyobb a cementkőtartalom (cementtartalom), minél nagyobb a víz-cement tényező, minél jobban zsugorodik az adalékanyag (minél nagyobb a kapilláris porozitása), minél kisebb az adalékanyag rugalmassági modulusa.

*A legfontosabb tényező a beton zsugorodásában a környező levegő relatív nedvességtartalma.* A zsugorodás időben lejátszódó folyamat. Végértékét akkor éri el, ha létrejön a környező levegő relatív légnedvesség-tartalma és a beton kapillárisaiban lévő víz közötti egyensúlyi állapot.

A kiszáradás azonban a felületen kezdődik meg. A külső rétegek zsugorodását gátolják a belső, nem zsugorodó részek. Emiatt a széleken húzás, belül nyomás lép fel. Fiatal beton felületén ezek a húzófeszültségek száradási repedéshez vezethetnek. Tehát a zsugorodás átlagértéke annál kisebb lesz, minél vastagabb a betontest, minél kisebb a felület és térfogat viszonya, és időben is annál később éri el a végértékét. Vékony próbatestek zsugorodása állandó hőmérsékletű és nedvességtartalmú térben 90 nap alatt eléri a végértékét. A végérték pedig annál nagyobb, minél kisebb a levegő relatív nedvességtartalma.

*A zsugorodásnak a kapilláris pórusoktól függő része megfordítható.*



A magyar előírások (MSZ 15022-1:1986) a zsugorodás végértékének figyelembevételével az

$$\varepsilon_{c,sh\infty} = \varepsilon_0 \frac{100 - r}{200 - r} \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot k_4 \cdot k_5$$

képletet ajánlották. A képletben

$\varepsilon_0$  a zsugorodás alapértéke,

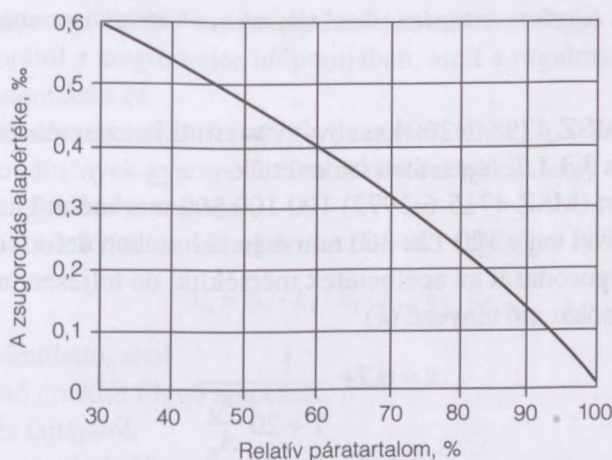
$r$  a levegő relatív páratartalmától,

$k_4$  a vastagságtól,

$k_5$  a konzisztenciától

függő tényező.

A zsugorodás alapértéke a levegő relatív páratartalmától függ (14.1. ábra).



14.1. ábra. A beton zsugorodásának a függése a levegő relatív páratartalmától

$k_4$  a szerkezet keresztmetszetétől (hatásos vastagságától függő) tényező, amely (14.2. ábra)

$$k_4 = 0,7 + \frac{2}{3 (v_{ef} / 150)^2}$$

képletből számítható, ahol

$v_{ef}$  hatásos vastagság,  $\frac{2T}{K}$ ,

$T$  a szerkezeti elem keresztmetszeti területe,  $m^2$ ,

$K$  a szerkezeti elem párologni képes kerülete,  $m$ .

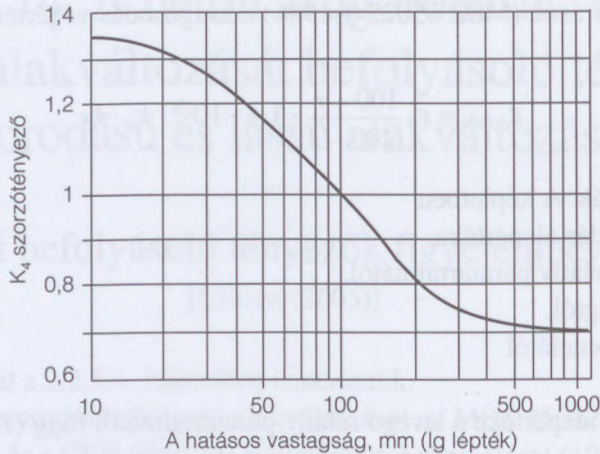
$k_5$  a betonkeverék konzisztenciájától függ,

FN jelű konzisztencia esetén 0,75,

KK jelű konzisztencia esetén 0,85,

K jelű konzisztencia esetén 1,0,

F jelű konzisztencia esetén 1,25.



14.2. ábra. A hatásos vastagságtól függő tényező.  $v_f$  = hatásos lemezvastagság, mm.

A régi és az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti konzisztenciaosztályok összehasonlítását a 3.3.1.7. fejezetben ismertettük.

A zsugorodást (MSZ 4715-6:1972) 100·100·500 mm méretű hasábon Amsler-zsugorodásmérővel vagy 120·120·360 mm méretű hasábon deforméterrel mérik.

Vasbeton zsugorodását az acélbetétek mérséklik, de teljesen megakadályozni nem tudják. A csökkentő tényező ( $k$ )

$$k = 0,7 + \frac{1}{1 + 20 \frac{A_s}{A_c}}$$

ahol

$A_s$  a hosszirányú acélbetétek keresztmetszeti területe, mm<sup>2</sup>,

$A_c$  a betonkeresztmetszet területe, mm<sup>2</sup>.

A zsugorodás meggátlása a tartószerkezetben feszültséget ébreszt. Ha ez nagyobb a beton húzószilárdságánál, akkor a beton megreped. A repedés megelőzése céljából pl. a gyalogjárda betonjába 1–2 m-enként osztóhézagot iktatunk be.

#### 14.1.2. A beton lassú alakváltozását befolyásoló tényezők

A beton zsugorodásának és lassú alakváltozásának a jelentőségét Freyssinet (1936) tisztázta.

Ahogy a lassú alakváltozás jelenségét megismerték, megkezdődtek a kísérletek a befolyásoló tényezők meghatározására. Ezek:

a) A beton összetétele, a szilárd váz szilárdsága, kapilláris pórusrendszere. Minél kevesebb a kapilláris és minél kisebb az átmérője, annál kisebb a lassú alak-



változás. Napjainkban azt mondjuk, hogy legkedvezőbb a minél kisebb víz-cement tényezőjű péptelített beton.

*Glanville* és *Thomas* az angol Építésügyi Kutatóintézetben éveken át végzett kísérletei szerint a lassú alakváltozás lényegesen függ a beton keverési arányától. De míg a beton zsugorodása annál nagyobb, minél kövérebb a beton, azaz minél kisebb a keverési aránya, lassú alakváltozása annál kisebb.

Összefoglalva, a tartó alakváltozása adott időpontban a következő részekből tevődik össze (2. 11. ábra)

- rugalmas alakváltozás a megterhelés időpontjában,
- zsugorodás,
- lassú alakváltozás vagy kúszás.

A lassú alakváltozás egyrészt ugyanazoktól a tényezőktől függ, mint a zsugorodás:

- a beton alkotói,
- a környező levegő relatív nedvességtartalma, másrészt függ,
- a beton korától a megterhelés időpontjában, amit a rugalmas alakváltozással vesznek számításba és
- a tartós terhelés nagyságától ( $\sigma/f_{c,pr}$  viszonytól), ahol  $f_{c,pr}$  a hasábszilárdság.

A kutatási eredmények gyarapodásával arra törekedtek, hogy a kúszási tényező képletében ezt figyelembe vegyék.

Az MSZ 15022-1:1986 szerint a kúszási tényező végértéke

$$\phi_{\infty} = \phi_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$$

kifejezéssel számítható, ahol

$\phi_0$  a minősítő értéktől függő alapérték,

$k_1$  a terhelés fajtájától,

$k_2$  a környezet relatív légnedvesség-tartalmától,

$k_3$  a terhelés kezdetének az időpontjától,

$k_4$  a hatásos vastagságtól,

$k_5$  a konzisztenciától függő tényező ( $k_4$  és  $k_5$  zsugorodásra és kúszásra azonos).

A képletben szerelőd tényezők értelmezése:

$\phi_0$  a beton minősítési szilárdságától függő kúszási alapérték (14.3. ábra).

$$\phi_0 = 4,5 - 2 \cdot \lg f_{ck}$$

$k_1$  a terhelés fajtájától függő szorzótényező, nevezetesen:

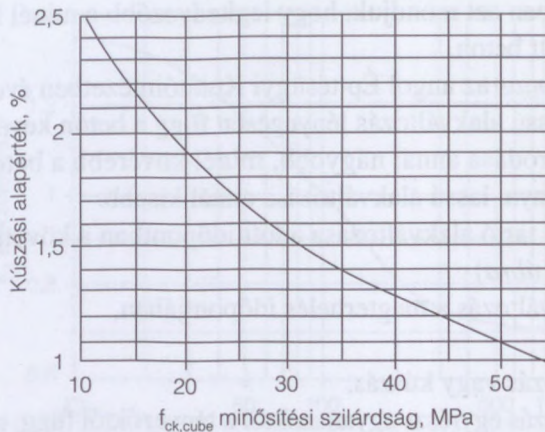
tartós teherre 1,00,

rendkívüli teherre 0,00,

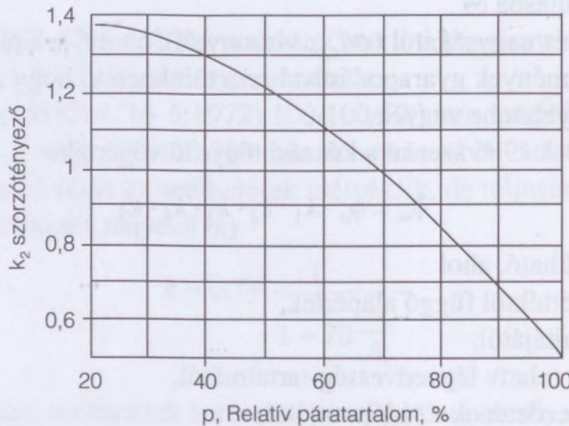
egyéb, nem tartós teherre 0,25,

$k_2$  a levegő relatív páratartalmától függő tényező. Ennek értéke (14.4. ábra)

$$k_2 = 1,365 e^{-(0,02p)^{3,3}}$$



14.3. ábra. A lassú alakváltozás alapértéke a minősítési szilárdság függvényében



14.4. ábra. A  $k_2$  tényező a relatív páratartalom függvényében

A képletből számítva a 100, 70, ill. 40% relatív nedvességhez tartozó értékek sorrendben: 0,5; 1,0; 1,3.

$k_3$  a beton korától függő tényező, amely számítható

$$k_3 = \alpha \cdot [(\lg t) + \beta]$$

képletből, ahol

$t$  a természetesen szilárduló beton kora a terhelés kezdetén (legfeljebb 28 nap), ill. gőzölt beton esetén az azonos érettségű természetesen szilárduló beton kora, nap.

$\alpha$  általában 4,7, de nagy kezdőszilárdságú cementre 2,5,

$\beta$  általában 2,6, de nagy kezdőszilárdságú cementre 1,5

A  $k_3$  szorzótényező a betonok a terhelés kezdetekor elért korától függően a 14.5. ábra szerint alakul.

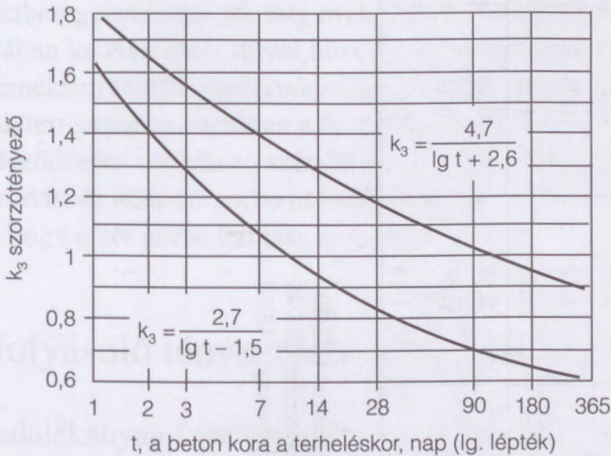


A  $k_4$  hatásos vastagság függvényében a kúszás a 14.6 ábra szerint alakul.

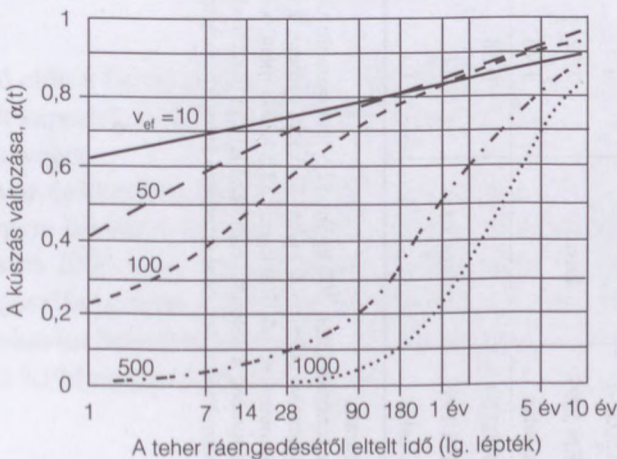
A lassú alakváltozást általában 120-120-360 mm méretű hasábon vagy  $\varnothing 150/300$  mm méretű hengeren deforméterrel vizsgálják.

Ujhelyi (2005) a különböző módszerekkel kiszámította a kúszási és zsugorodási értékeket (14.1. táblázat).

A táblázat szerinti adatok számításakor a kúszás esetén tartós terhelést tételezett fel, 28 napos korban kezdődő teherrel, továbbá  $25 \times 30 \text{ cm}^2$  keresztmetszetű, minden oldalról a környezetnek kitett gerendát, tehát  $v_{ef} = 50 \text{ mm}$ . Valamint 10 db  $\varnothing 24 \text{ mm}$ -es acélbetét, tehát  $A_s : A_a = 0,05$ .



14.5. ábra. A  $k_3$  tényező a beton kora függvényében



14.6. ábra. A lassú alakváltozása a terhelés tartama és a hatásos vastagság függvényében

**14.1. táblázat.** A kúszás és a zsugorodás végértéke különböző számítási módszereinek az összehasonlítása különböző változókra [Ujhelyi (2005)]

Betonösszetétel		A		B		C	
		I	II	I	II	I	II
MSZ 15022-1	kúszás	4,6	3,21	2,49	1,7	1,57	1,06
MSZ EN 1992		3,22	1,93	3,22	1,93	3,22	1,93
CEB ajánlás		1,75	1,09	1,91	1,19	1,19	0,75
MSZ 15022-1	zsugorodás	0,58	0,29	0,58	0,29	0,43	0,21
MSZ EN 1992		0,6	0,33	0,6	0,33	0,6	0,33
CEB ajánlás		1,1	0,5	1,18	0,5	0,7	0,3

Jelmagyarázat:

A jellű betonösszetétel: 300 kg/m<sup>3</sup> 32,5 jellű cement; x = 0,5; K konzisztencia; C25/30

B jellű betonösszetétel: 500 kg/m<sup>3</sup> 32,5 jellű cement; x = 0,4; FN konzisztencia; C35/45

C jellű betonösszetétel: 500 kg/m<sup>3</sup> 32,5 jellű cement; x = 0,3; FN konzisztencia; C45/55

I jellű környezet: a betonnal érintkező levegő páratartalma: 50%

II jellű környezet: a betonnal érintkező levegő páratartalma: 80%



### 14.1.3. A zsugorodás és a kúszás időbeli lefolyása

A zsugorodás és a kúszás időbeni lefolyását a

$$\phi_t = \phi_\infty \left[ 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_v}\right)^n} \right]$$

összefüggéssel lehet számítani. A képletben

$t$  az eltelt idő napokban,  
 $t_v$  és  $n$  a vastagságtól függő tényező.

A kúszás kezdetben gyorsabban nő, míg évek múlva aszimptotához tart.

A kúszás általában kedvezőtlen, mivel növeli a hajlított tartók lehajlását, nyomott vasbeton elemekben feszültségtrendeződés következik be a betonról az acélra, csökken a feszített vasbeton tartóban a feszítőfeszültség. *Dischinger* (1938) a belső erők átrendeződésére vonatkozó számításokat azzal a feltételezéssel végezte el, hogy a zsugorodási és kúszási görbe időbeli alakulása affin. *Balázs* (1963) kiegészítette azzal, hogy a két görbe lefutása nem affin.

## 14.2. A befolyásoló tényezők hatása kísérleteink szerint

### 14.2.1. Az adalékanyag fajtájának a hatása a beton zsugorodására és lassú alakváltozására

[*Balázs–Kilián* (1959), *Balázs* (2004)]

#### 14.2.1.1. Bevezetés

A II. világháború előtt a beton adalékanyag túlnyomórészt a folyami és bányakavics volt. Kivételt képeztek az útbetonok, amelyekhez már akkor is használtak durva bazalt adalékanyagot.

A háború után az építkezések megnövekedett üteme egyre több adalékanyagot kívánt. A Duna egyre kevesebb kavicsot hozott (a Dunára és mellékfolyóira épített duzzasztók hatására 2000-re ez is jórészt megszűnt) magával, és nem volt gazdaságos a szemmegoszlás javítása a dunai hordalékból. Ezért már az 50-es években felmerült a Duna-kavics helyettesítése zúzott adalékanyaggal.

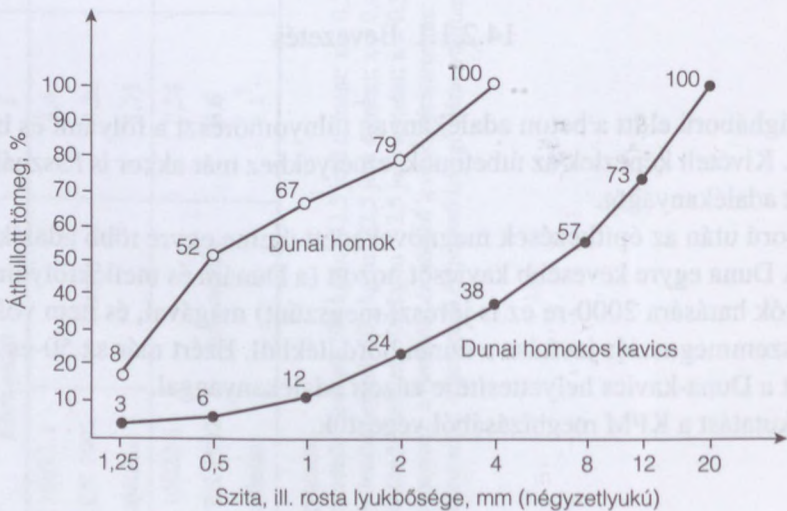
Ezt a kutatást a KPM megbízásából végeztük.

### 14.2.1.2. A kísérlet leírása

A próbatestek anyagára és előállítására vonatkozó adatok a 14.2. táblázatban láthatók. A szemmegoszlási görbéket a 14.7. ábra szemlélteti.

14.2. táblázat. A betonok összetétele és a friss beton átlagos testsűrűsége

Kísérleti test jele	Adalékanyag	Cement-adagolás, kg/m <sup>3</sup>	Víz-cement tényező sec	Bedolgozási idő rázóasztalon, sec	Átlagos testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>
H	dunai homokos kavics	400	0,36	40	2460
M	70% nagyharsányi mészkő, 30% dunai homok	400	0,36	40	2500
D	70% szarvaskői diabáz, 30% dunai homok	400	0,36	40	2570
B	70% badacsonytomaji bazalt, 30% dunai homok	400	0,36	40	2550
B <sub>I</sub>	70% badacsonytomaji bazalt, 30% dunai homok	350	0,36	50	2570
B <sub>II</sub>	70% badacsonytomaji bazalt, 30% dunai homok	480	0,36	30	2510



14.7. ábra. A szemmegoszlási görbék



A cement váci 600-as, a zúzottkő 15/25 mm-es, a beton alig földnedves volt.

A zsugorodást és lassú alakváltozást 12×12×36 cm-es hasábokon mértük. A hasábok mind a négy oldalán a mérőtávolságnak megfelelően mérőbütyköket helyeztünk el. Minden vizsgálatához 2–2 db próbatest készült. A próbatesteken a zsugorodásmérést 24 órás korban kezdtük meg. A kísérleti testeket a laboratórium helyiségeiben tároltuk, ahol bizonyos határok között mind a légnedvesség (50–60%), mind a hőmérséklet (20–23 °C) ingadozott. A lassú alakváltozás vizsgálatánál a terhelést rugós terhelőszerkezettel adtuk a kísérleti testekre. Az alakváltozást 254 mm alap-hosszú Huggenberger-deformméterrel mértük.

A későbbiekben feltüntetett minden mérési pont 2 db kísérleti test négy oldalán észlelt alakváltozás átlagértékét jelenti.

Az alakváltozáson kívül 6–6 db 20 cm élhosszúságú próbakockán a beton koc-kaszilárdságát is megállapítottuk egyrészt a terhelés időpontjában, másrészt a kísérlet befejezésekor.

A különböző adalékanyagú betonok alakváltozási jellemzőinek az összehason-lításánál nélkülözhetetlenek az adalékanyag fizikai és szilárdsági jellemzői. Ennek a vizsgálatára kőzetfajtánként 2–2 db 5×5×15 cm-es hasábot és 3–3 db 5 cm-es élhosszúságú kockát készítettünk.

A kísérletek száma elég kevés általános érvényű törvényszerűségek levonására. Megkíséreljük azonban a gyakorlat számára hasznos következtetések megállapítását.

Az alapkőzetek jellemzőit a 14.3. táblázat szemlélteti. A kezdeti rugalmassági modulus 0–10 MPa terhelés között határoztuk meg. Az adatok kiszárított kőzetek-re vonatkoznak. Vízzel telített bazalt kezdeti rugalmassági modulusa 40,5 MPa volt.

3–3 db kockán, ill. 2–2 hasábon 28 napos korban megállapítottuk a beton koc-ka- ( $f_{c,cube}$ ), illetve hasábszilárdságát ( $f_{c,pr}$ ). Ezenkívül a kísérlet befejeztével az elő-

14.3. táblázat. A durva adalékanyag szilárdsága és rugalmassági modulus

Kőzet anyaga (jele)	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>	Kockaszilárdság, MPa	Hasábszilárdság, MPa	Kezdeti rugalmassági modulus, MPa
Dunai homokos kavics (H)	2630	–	–	–
Nagyharsányi mészkő (M)	2720	150,7	44,5**	50
Szarvaskői diabáz (D)	2850	255,3	168	67
Badacsonytomaji bazalt (B)	2880	326,2	205	46,2

\*\* A mészkő repedezett volta miatt a 15 cm magas hasáb szilárdságára vonatkozó érték igen kicsi. Teljesen ép próbatestek valószínűleg a kőzetre jellemző hasábszilárdságot adnának, vagyis a kockaszilárdság 60–70%-át.



zetesen terheletlen zsgorodási és előzetesen terhelt lassú alakváltozási próbatesten szintén megállapítottuk a hasábszilárdságot, és 3–3 db kockán a kockaszilárdságot. A kapott eredmények átlagértékét a 14.4. táblázatban foglaltuk össze. Zárójelben a beton korát tüntettük fel napokban.

14.4. táblázat. A betonok kocka- és hasábszilárdsága

Sor-szám	Megnevezés	A beton jele						
		H	M	D	B	B <sub>I</sub>	B <sub>II</sub>	
1.	Kockaszilárdság 28 napos korban, MPa	45,8	51,3	53,9	45,5	49,6	51,8	
2.	Kockaszilárdság a kísérlet befejezésekor, MPa	58,0 (285)	60,7 (334)	63,7 (321)	62,0 (314)	63,0 (234)	45,2 (229)	
3.	Hasábszilárdság 28 napos korban, MPa	34,8	32,1	33,9	27,9	32,2	25,8	
4.	A zsgorodási testeken mért hasábszilárdság ( $f_{c,pr}$ ) MPa	20,85 (365)	35,7 (378)	36,4 (364)	23,85 (364)	34,9 (330)	37,5 (329)	
5.	A lassú alakváltozási testeken mért hasábszilárdság ( $f_{c,pr}$ ) MPa	45,3 (372)	40,8 (400)	40,0 (365)	29,8 (385)	35,0 (348)	34,1 (338)	
6.	A kockaszilárdságból $f_{c,cube} = 2/3 f_{c,cube}$ alapján számított hasábszilárdság, MPa	$f_{c,pr}^{28}$	32,1	34,2	35,9	30,3	33,1	34,5
		$f_{c,pr}$	38,6	40,4	42,4	41,3	42,0	30,1
7.	A kockaszilárdságból az ÉTI képlettel számított hasábszilárdság, MPa	$f_{c,pr}^{28}$	30,3	32,2	33,1	30,2	31,7	32,5
		$f_{c,pr}$	34,4	35,3	36,0	35,6	35,9	30,1
8.	Utószilárdulás, %	26,5	18,5	18,5	36,0	27,0	–	
9.	Terhelés alatt bekövetkező szilárdságnövekedés	–	14,5	13,3	25,0	–	–	

Megjegyzés: A zárójeles értékek a vizsgálati kort jelentik, napban.

A táblázatban feltüntettük a kockaszilárdságból a DIN szerint ( $f_{c,pr} = 2/3 f_{c,cube}$  – a táblázat 6. sora), valamint az ÉTI képletével

$$f_{c,pr} = \left[ \frac{70 f_{c,cube}}{60 + f_{c,cube}} \right] \text{ a táblázat 7. sora}$$



számított hasábszilárdságokat is. Ezenkívül kiszámítottuk az utószilárdulásra jellemző szilárdságnövekedést (táblázat 8. sora), és a terhelés hatására bekövetkező szilárdság növekedését is (táblázat 9. sora.)

A 14.4. táblázat adatai alapján a következőket állapítottuk meg:

a) A táblázat 1–5. sorában feltüntetett kocka- és hasábszilárdsági értékek a B<sub>II</sub> jelű kísérleti testeknél mutatnak legnagyobb rendellenességet. Ez valószínűleg azaz magyarázható, hogy a cementadagolás növelése és a víz-cement tényező változtatlanul hagyása miatt a betonkonzisztencia már plasztikusabb volt a földnedvesnél, és ehhez a konzisztenciához a vibrálás túl hosszú ideig tartott.

b) Zúzott adalékanyaggal készített betonok kockaszilárdsága azonos körülmények között nagyobb volt, mint a homokos kavicsal készített betonoké. A növekmény 28 napos korban az M, D, B jelű betonoknál sorrendben 12; 18; 0%-ra, míg kb. 1 év múlva 5; 10; 7%-ra adódott. A B<sub>I</sub> jelű, kisebb cementtartalmú bazaltbeton kockaszilárdsága a nagyobb tömörítő munka következtében nagyobbra adódott a B jelű betonénál.

c) A hasábszilárdság és a kockaszilárdság közötti összefüggés kifejezésére, az általunk vizsgált betonok esetén az ÉTI képlete alkalmasabbnak bizonyult a DIN-ben javasolt képletnél.

d) A B jelű beton utószilárdulása volt a legnagyobb, és az M és D jelű betonoké a legkisebb. Átlagosan mintegy 20% szilárdságnövekedést tapasztaltunk.

e) A tartósan ható nyomófeszültség hatására a beton tömörödött és ez a tömörödés (képlékeny alakváltozás) a beton szilárdságának megnövekedését eredményezte. Ez szorosan összefügg azzal, hogy milyen szilárd a betonváz a megterhelés időpontjában. Az M, D, B jelű hasábok szilárdságának növekedése sorrendben 14,5; 13,3, ill. 25% volt. Ez a növekmény különösen feszített betonszerkezeteinknél befolyásolja előnyösen a tartó biztonságát.

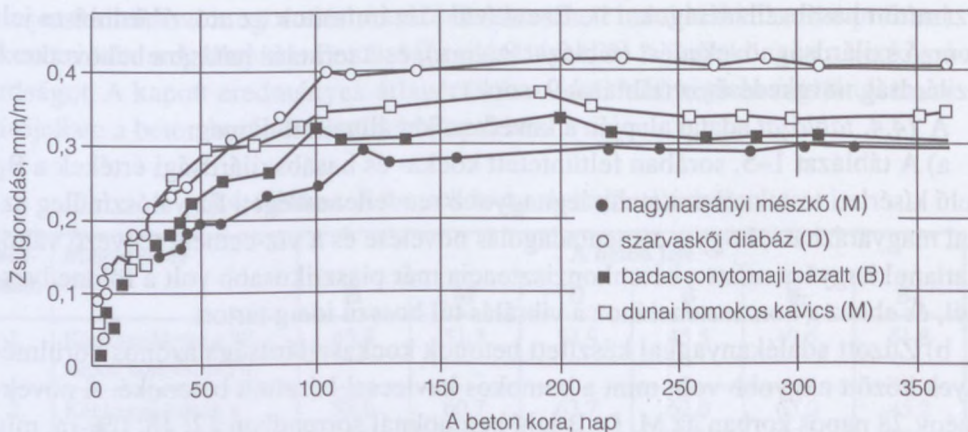
### 14.2.1.3. A betonok zsugorodása

Példaként a H–M–D–B jelű hasábokon mért zsugorodásértékek átlagát a 14.8. ábrán tüntettük fel. A zsugorodásmérésekből az alábbi következtetéseket vonjuk le:

a) Az azonos összetételben és módon készített betonok zsugorodásának végértékét (14. 8. ábra) összehasonlítva, a következő eredményeket kaptuk:

H jelű hasábnál 0,33 m/m	100%,
M jelű hasábnál 0,29 m/m	88%,
D jelű hasábnál 0,40 m/m	121%,
B jelű hasábnál 0,30 m/m	91%.

Eszerint a mészkő és bazalt adalékanyaggal készített betonok – e kísérlet szerint – zsugorodás szempontjából kedvezőbbek, a diabázzal készítették pedig kedvezőtlenebbek a homokos kavics adalékanyaggal készítették betonoknál.



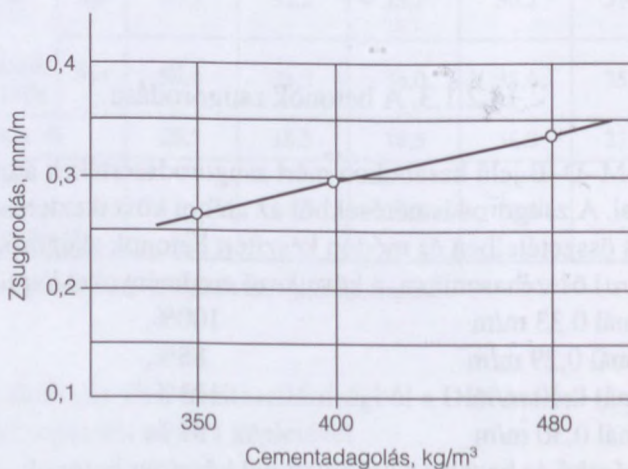
14.8. ábra. A beton zsugorodása a durva adalékanyag fajtája függvényében

A kapott zsugorodásértékeket összehasonlítva az adalékanyagul használt kőzet rugalmassági modulusával, megállapíthatjuk, hogy kísérleteinknél a zsugorodás és a kőzet rugalmassági modulusa között a Graf által megállapított fordított arány nem áll fenn.

b) A bazaltbeton cementtartalmát változtattuk. Bazaltbetonnál a zsugorodás és a cementadagolás között lineáris összefüggés áll fenn. Kísérleteinknél zsugorodási végérték a cementtartalomtól

$$\varepsilon_{c,sh\infty} = 0,08 + 0,00054m_c$$

képlet szerint függ A képletben  $m_c$  a cementadagolás  $\text{kg/m}^3$ -ben (14.9. ábra).

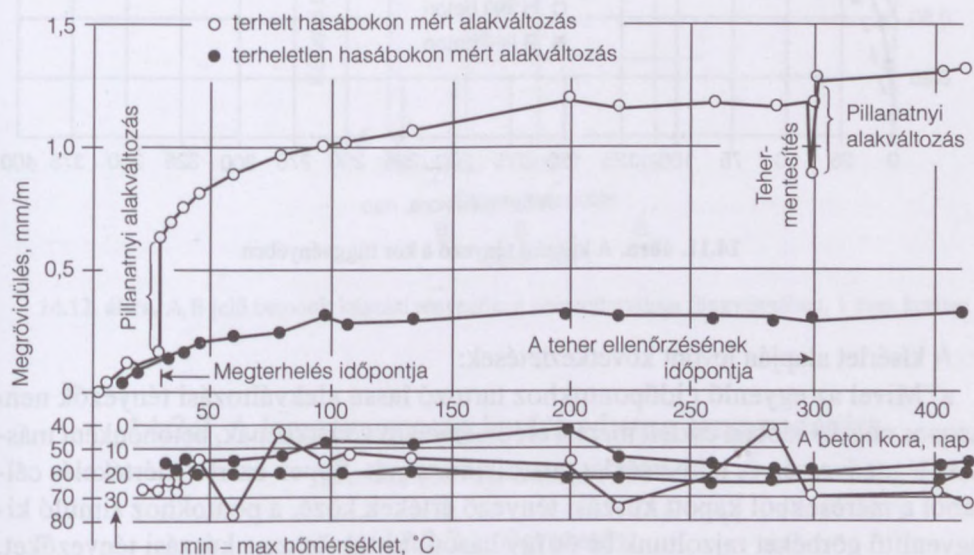


14.9. ábra. Bazalt adalékanyagos beton zsugorodása a cementtartalom függvényében



#### 14.2.1.4. A beton lassú alakváltozása (kúszása)

A lassú alakváltozás mérésére készített hasábokat 28 napos korban terheltek. Példaként a B jelű hasábok alakváltozási ábráit mutatjuk be. A 14.10. ábrán a tárolótérnek a lassú alakváltozás-mérés időpontjában észlelt légnedvesség-tartalmát és a két mérés között fellépő minimum-maximum hőmérsékletét is feltüntették. A lassú alakváltozással egy időben mért zsugorodást szintén ábrázoltuk. A megterhelés időpontjában mért alakváltozást pillanatnyi alakváltozásnak nevezzük. Ez azonban nemcsak a rugalmas alakváltozást tartalmazza, hanem a hasábok terhelésének kezdetétől a mérés befejezéséig (1 perctől 3 percig tartó időben) bekövetkező összes alakváltozást.

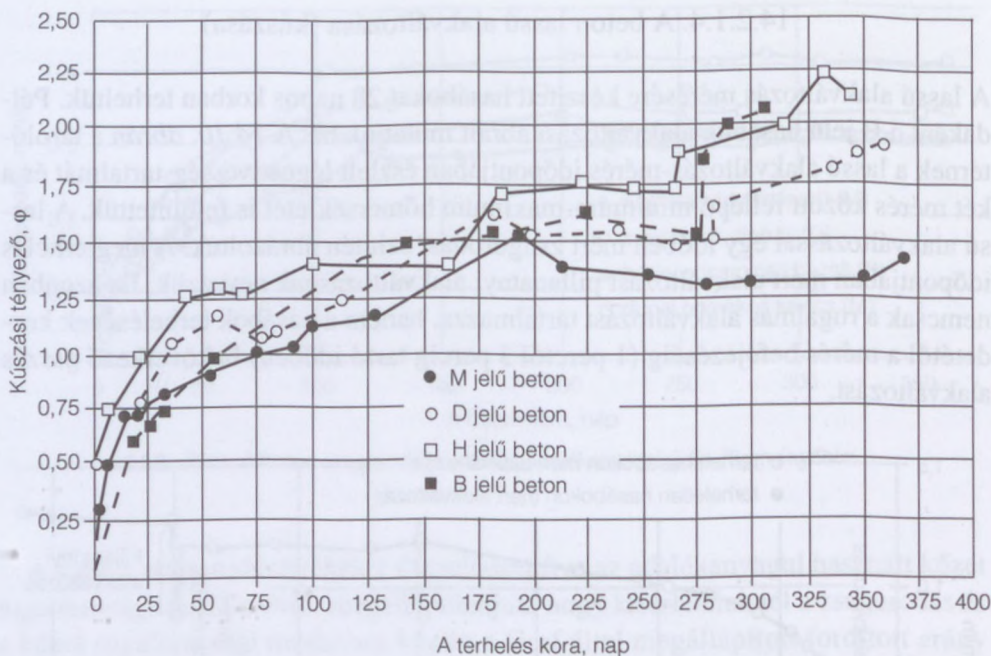


14.10. ábra. A zsugorodás és a lassú alakváltozás a kor függvényében.

A hasábok elkészítése után kb. 8–10 hónap múlva az eredeti 10 MPa egyenletesen megoszló terhelést ellenőriztük. Ezt az ábrákon feltüntettük. Ekkor mértük a tehermentesítéskor és újratehereléskor fellépő alakváltozásokat. Legtöbb esetben a terhelés az ellenőrzés során kisebb volt 10 MPa-nál, úgyhogy az eredeti terhelés visszaállítása miatt a teljes alakváltozási ábrákon kis lépcső keletkezett.

A kúszási tényezőket a 14.11. ábra szerint számítottuk és a különböző adalékanyaggal készített betonok kúszási tényezőjét a 14.11. ábrán tüntettük fel. A mérésekből számított két-két pontot egyenessel kötöttük össze.

A megterhelés és kísérletek befejezése között eltelt idő alatt a lassú alakváltozás nem fejeződött be, úgyhogy ezek a kísérletek nem alkalmasak a kúszási tényező végértékének megállapítására.



14.11. ábra. A kúszási tényező a kor függvényében

A kísérlet alapján levont következtetések:

a) Mivel az egyenlő  $t$  időpontokhoz tartozó lassú alakváltozási tényezők nem azonos naptári időben észlelt mérési eredményekre vonatkoznak, betononként más-más légnedvesség és hőmérséklet tartozik hozzájuk. Éppen ezért a kiértékelés céljából a mérésekből kapott kúszási tényező értékek közé, a pontokhoz simuló kiegyenlítő görbéket rajzoltunk be és így hasonlítottuk össze a kúszási tényezőket.

$t = 350$  napnál

H jelű betonok kúszási tényezője 100%,

M jelű betonok kúszási tényezője 65%,

D jelű betonok kúszási tényezője 85%,

B jelű betonok kúszási tényezője 94%.

Tehát a legnagyobb a homokos kavicsal készült beton kúszási tényezője. A mészkő-adalékanyaggal készített beton kúszási tényezője a homokos kavics betonénak mintegy kétharmada.

Ezenkívül a mészkő-adalékanyaggal készített beton kúszási tényezőjének a függvénye a megterheléstől számított kb. egy év múlva ellaposodik (aszimptotához tart), míg a többi betonnál ez nem tapasztalható.

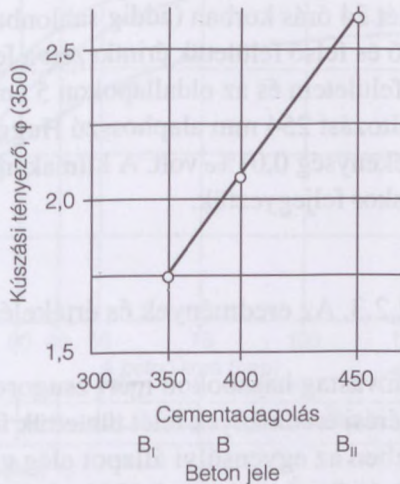
b) Hasonló megfontolás alapján értékeltük a  $t = 350$  napos korú B–B<sub>I</sub>–B<sub>II</sub> jelű betonok kúszási tényezőit.



A cementadagolás és a kúszási tényező közötti összefüggést jó közelítéssel

$$\phi_{350} = -0,54 + 0,00655 \cdot m_c$$

képlet fejezi ki (14.12. ábra). Ebben a képletben  $m_c$  a cementadagolás  $\text{kg/m}^3$ . A képlet csak a vizsgált határok között érvényes.



14.12. ábra. A B jelű betonok kúszási tényezője a cementtartalom függvényében, 1 éves korban

## 14.2.2. A lemezvastagság hatása a beton zsugorodására

[Balázs (1971), Balázs (2004)]

### 14.2.2.1. Bevezetés

A beton zsugorodását általában  $100 \cdot 100 \cdot 500$ , ill.  $120 \cdot 120 \cdot 360$  mm méretű hasábo-  
kon vizsgáljuk. A kísérletek a zsugorodást befolyásoló tényezőkre (kivéve a kör-  
nyező levegő relatív légnedvesség-tartalmát) jól összehasonlítható eredményeket  
adnak. Megépült hidakon végzett zsugorodásmérések azt mutatták, hogy a kísérle-  
ti próbatestekénél vastagabb vasbeton szerkezetekben a kapilláris egyensúly las-  
sabbon jön létre, mint a próbatestekben.

Mivel a kísérletezés időpontjában a vastagságot figyelembe vevő előírás nem  
volt, kísérleteket végeztünk annak megállapítására, hogy a zsugorodás hogyan  
függ a lemez vastagsától.

### 14.2.2.2. A kísérlet

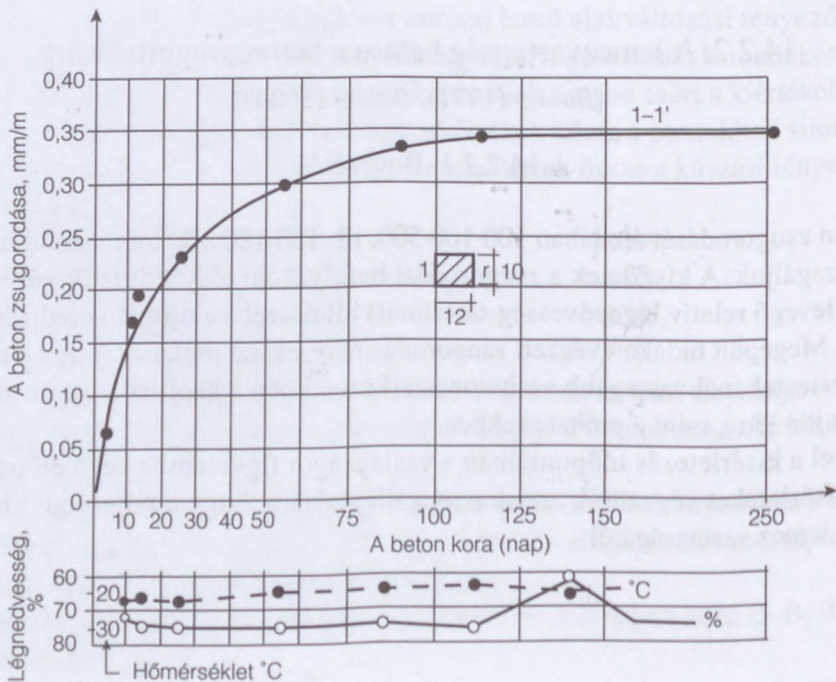
A betont  $400 \text{ kg/m}^3$  tatabányai 600-as cementtel,  $d_{max}=24 \text{ mm}$  legnagyobb szem-nagyságú (négyzetlyukú rostán) osztályozott és mosott dunai homokos kavicssal, gyengén képlékeny konzisztenciával készítettük. A lemezvastagság 100, 200, 300, 400, 500 és 600 mm volt. A próbatestek  $120 \cdot 120 \cdot 360 \text{ mm}$  méretűek voltak. A próbatestek 4 oldalsó felületét 24 órás korban (addig sablonban voltak) légzáró réteggel vontuk be és csak alsó és felső felületük érintkezett a levegővel.

A próbatestek szabad felületein és az oldallapokon 5 cm-enként mérőbütyköket helyeztünk el. Az alakváltozást 254 mm alaphosszú Huggenberger-deformméterrel mértük. A műszerérzékenység  $0,01\%$  volt. A klímakamra hőmérsékletét és páratartalmát minden méréskor feljegyeztük.

### 14.2.2.3. Az eredmények és értékelésük

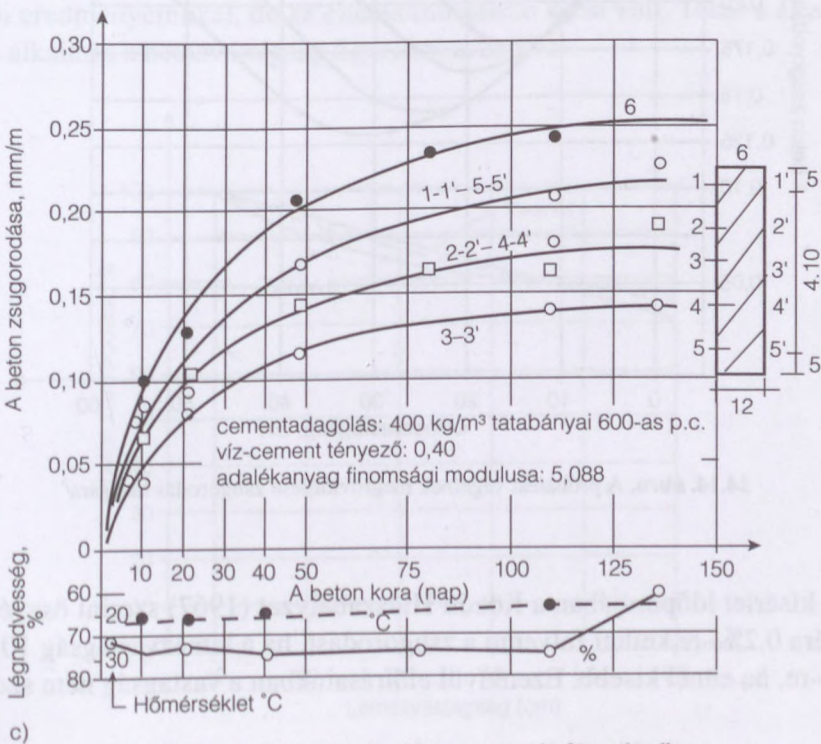
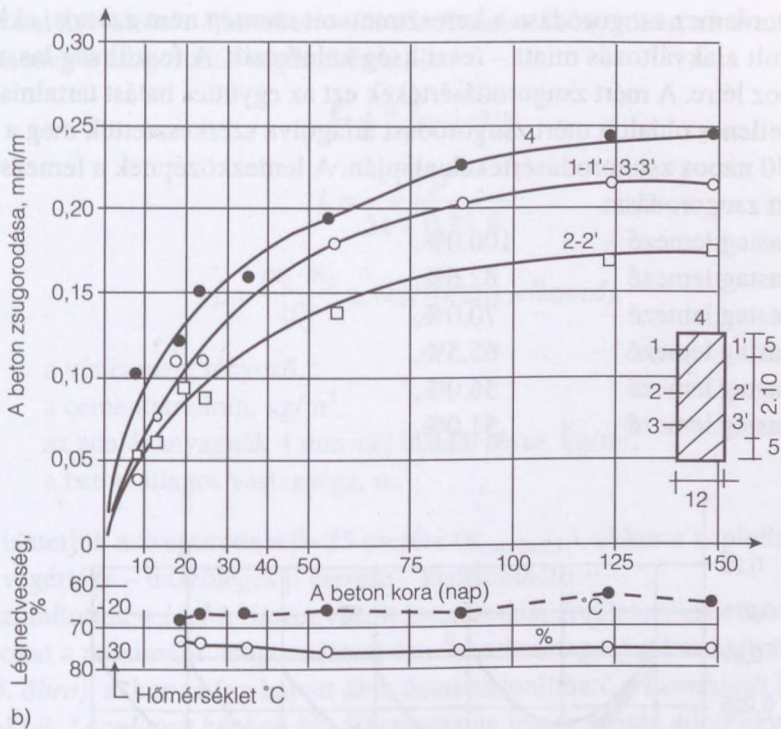
a) A 100, 300 és 500 mm vastag hasábokon mért zsugorodás 14.13. a)–c) ábrán látható. (Az ábrákon a mérési eredmények felét tüntették fel.)

A 10 cm vastag lemezben az egyensúlyi állapot elég gyorsan bekövetkezett, a 150 napos zsugorodás végértéknek tekinthető. Valószínűen a teljes keresztmetszetben azonos zsugorodásértékre lehet számítani. Vastagabb lemezekben a folyamat lassúbb.



a)



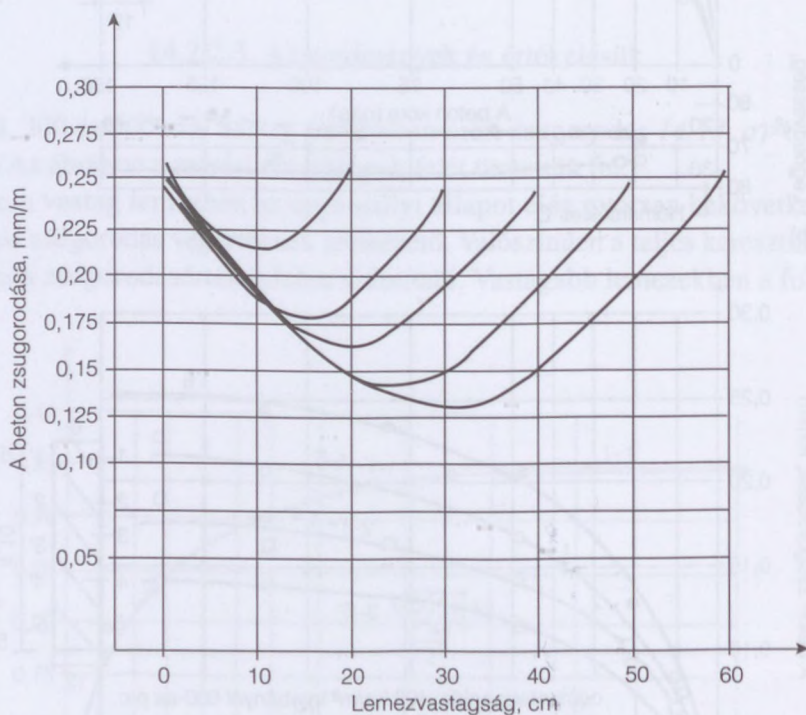


**14.13. ábra** A beton zsugorodása a vastagság függvényében,  
 a) vastagság 10 cm; b) vastagság 30 cm; c) vastagság 50 cm

Ha a betonlemez zsugorodása a keresztmetszet mentén nem azonos, akkor abból – a gátolt alakváltozás miatt – feszültség keletkezik. A feszültség lassú alakváltozást hoz létre. A mért zsugorodásértékek ezt az együttes hatást tartalmazzák.

b) Az átellenes oldalon mért zsugorodást átlagolva szerkesztettük meg a 14.14. ábrán a 150 napos zsugorodásértékek alapján. A lemezközépnek a lemezsélhez viszonyított zsugorodása:

10 cm vastag lemezé	100,0%,
20 cm vastag lemezé	82,6%,
30 cm vastag lemezé	70,0%,
40 cm vastag lemezé	65,5%,
50 cm vastag lemezé	56,0%,
60 cm vastag lemezé	51,0%.



14.14. ábra. A próbatest végeinek megrövidülése zsugorodás hatására

c) A kísérlet időpontjában a Közúti Hídszabályzat (1967) szerint ösvértartók betonjára 0,2‰-re kellett felvenni a zsugorodást, ha a lemezvastagság 10 cm, és 0,25‰-re, ha ennél kisebb. Ezenkívül előírásainkban a vastagság nem szerepelt.



Viszont *Leonhardt: Spannbeton für die Praxis* c. könyvében a következő képletet adta meg a zsugorodás végértékére:

$$\text{ahol } \epsilon_{c,sh} = k_{zs}(\beta = 25),$$

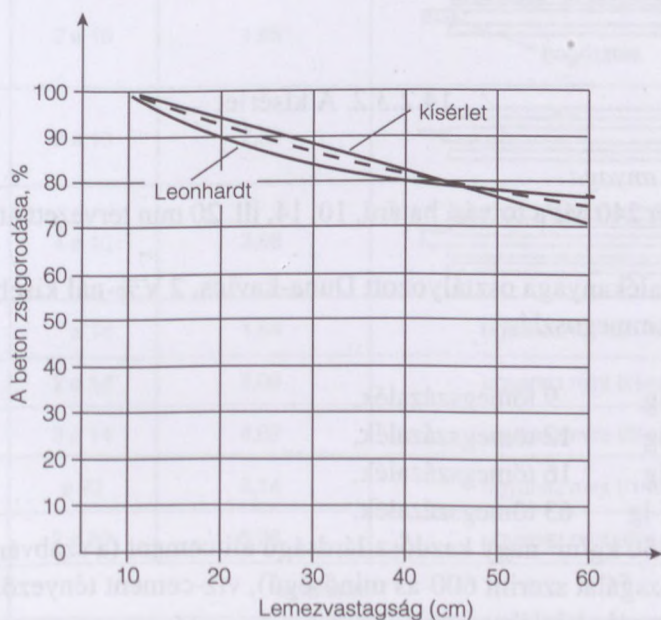
$$k = \frac{8 \beta}{24 + 0,35 \beta},$$

$$\beta = \frac{m_c \cdot m_h}{\sqrt[3]{d}} x, \text{ (szerkezeti jellemző),}$$

- $x$  a víz-cement tényező,
- $m_c$  a cementtartalom,  $\text{kg/m}^3$ ,
- $m_h$  az adalékanyagnak 4 mm-nél kisebb része,  $\text{kg/m}^3$ ,
- $d$  a beton átlagos vastagsága, m.

Ha ismerjük a zsugorodást  $\beta=25$  esetére ( $\epsilon_{c,sh(\beta=25)}$ ), akkor a képletből a zsugorodás végértéke – tetszőleges  $\beta$  esetére – kiszámítható.

Kiszámítottuk a 14.14. ábrán vázolt zsugorodási ábrák területét és viszonyítottuk azokat a maximális zsugorodással és a lemezvastagsággal számított területhez (14.15. ábra), akkor az így kapott ábra összehasonlítható a *Leonhardt* (1955) által javasolttal. *Leonhardt* képlete kb. 50 cm vastag lemez esetén adott egyező értéket mérési eredményeinkkel, de az eltérés mindenütt kicsi volt. Tehát a *Leonhardt*-képlet alkalmas a betonvastagság figyelembevételére.



14.15. ábra. A zsugorodás a lemezvastagság függvényében

### 14.2.3. A vasbeton zsugorodás okozta feszültségei

[Balázs–Kilián (1958)]

#### 14.2.3.1. Bevezetés

Az acélbetétek beépítésével gátoljuk a beton szabad alakváltozását. A betonban húzófeszültség keletkezik, amelyet az acélbetétekben keletkező nyomófeszültség egyensúlyoz.

Központosan és külpontosan vasalt betonelemek zsugorodás okozta kezdeti feszültségeinek a vizsgálatát azért láttuk szükségesnek, mivel az irodalomban csak központosan vasalt oszlopokra találtunk kísérleti adatokat, és az 1952. évi októberi budapesti építési kongresszuson eltérő vélemények alakultak ki a kezdeti feszültségek szerepéről és nagyságáról. Kísérleteinkben olyan feltételeket (kis relatív légnedvesség-tartalom, nagy cementadagolás) hoztunk létre, hogy szélső értékeket kapjunk.

Az alábbi kérdéseket vizsgáltuk:

- A vasalás erősségének (a vasszázaléknak) hatása a vasbeton zsugorodására.
- Az acélbetét helyzetének hatása a kezdeti feszültségek alakulására.
- A tartó alakjának hatása a zsugorodásra.

Korlátolt számú kísérletünk, valamint a kisméretű próbatestek természetesen nem adnak lehetőséget arra, hogy végérvényes törvényszerűséget vonjunk le, de igen alkalmasak a jelenségek megvilágítására és a gyakorló mérnök számára hasznos következtetések levonására.

#### 14.2.3.2. A kísérlet

##### *A próbatestek anyaga*

Az acélbetét 240 MPa folyási határú, 10, 14, ill. 20 mm tervezett átmérőjű folyt-  
acél volt.

A beton adalékanyaga osztályozott Duna-kavics, 2 V%-nál kisebb iszaptartalommal. A szemmegoszlás:

0,0–1 mm-ig	9 tömegszázalék,
1,0–2 mm-ig	12 tömegszázalék,
2,0–4 mm-ig	16 tömegszázalék,
4,0–24 mm-ig	63 tömegszázalék.

A cement 450 kg/m<sup>3</sup> nagy kezdőszilárdságú alitcement (a szabványos földnedves habarcsvizsgálat szerint 600-as minőségű), víz-cement tényező: 0,40, a konzisztencia: gyengén képlékeny volt.

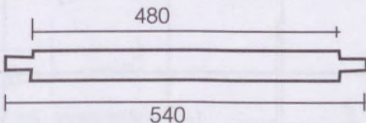
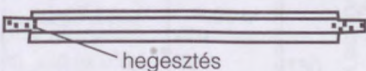




### A kísérlet terve

a) A központosan vasalt hasáb zsugorodásának vizsgálatához 5 db 10×10×50 cm méretű próbatestet készítettünk. Az I–II. jelű, egy-egy 6,9 mm átmérőjű acélbetéttel ( $\mu=0,374\%$ ), III. jelű 1 db 14,2 mm átmérőjű acélbetéttel ( $\mu=1,59\%$ ), a IV. jelű 1 db 20,4 mm átmérőjű acélbetéttel ( $\mu=3,27\%$ ), készült. Az acélbetéteket a hasábok közepére helyeztük. Az V. jelű hasáb vasalatlan volt.

b) A központosan vasalt betontestek zsugorodásának vizsgálatához különböző alakú, változó vaselrendezésű és vasszázalékú hasábokat készítettünk. Az acélbetétek átmérője 10, 14 és 20 mm volt.

A 10×10×50 cm-es betonhasábokban a vasalást az alsó szélről 1,5 cm súlypont-távolságra helyeztük el. Az átmérőt és a mérőbütykök elhelyezését a 14.16. ábrán adtuk meg. A mérőbütyköket mindig az egy sorban elhelyezett acélbetétek súlyvonalába tettük. A beton zsugorodását a vasalással ellentétes oldalon is mértük a betonszéltől 1,0 cm-re elhelyezett mérőbütykökön. A vasalt hasábok betonjának gátolatlan zsugorodását a 10 jelű vasalatlan hasábokon ellenőriztük.

A hasáb jele	Átmérő, mm	Vasszázalék, $\mu$ %	Az acél mérőbütykének elhelyezése
I/1	$\emptyset$ 10	0,84	
I/2	2 $\emptyset$ 10	1,68	
I/3	3 $\emptyset$ 10	2,52	
I/4	4 $\emptyset$ 10	3,36	
II/5	$\emptyset$ 14	1,54	ugyanaz mint I/1-nél
II/6	2 $\emptyset$ 14	3,08	ugyanaz mint I/2-nél
II/7	3 $\emptyset$ 14	4,62	ugyanaz mint I/3-nál
III/8	$\emptyset$ 20	3,14	ugyanaz mint I/1-nél
III/9	2 $\emptyset$ 20	6,28	ugyanaz mint I/2-nél
10	vasalatlan		

14.16. ábra. A zsugorodási próbatestek vasalása

c) A *betonfeszültség keresztmetszetben való eloszlásának tanulmányozására a 14.17. ábrán* látható 11–13 jelű hasábokat készítettük. A 11 és a 12 jelű hasábookban alul helyeztük el az acélbetéteket. Az acélbetéteken, valamint a keresztmetszet szimmetriatengelyében több keresztmetszetben mértük a beton megrövidülését. A 13 jelű hasáboan alul és felül is helyeztünk el acélbetéteket. A hasábook hossza 50 cm, a keresztmetszeti adatok a 14.17. ábrán találhatóak.

A hasáb jele	Átmérő, mm	Vasszázalék, $\mu$ , %	A mérőbűtyök elrendezése, mm	Beton	Acél
				megrövidülés mérésére szolgáló mérőhely jele	
11	$\varnothing$ 14,2	0,79		2,3 és 4	1
12	$\varnothing$ 10,4	0,85		2 és 3	1
13	$\varnothing$ 10,4	1,70		2	1 és 3
14	$\varnothing$ 6,9	0,53		2	1

14.17. ábra. Az acélbetétek elhelyezése a keresztmetszetben

d) Az *alak* (keresztmetszet) hatásának tanulmányozására elsősorban a 14 jelű T-keresztmetszetű hasáb szolgál, de ide sorolhatók a 11, 12 jelű hasábook is.

e) A *beton kockaszilárdsága* időbeli változásának a tanulmányozására, valamint a beton *rugalmassági modulusának a számításához* a vasalt betontestekével azonos anyagból és technológiával 12 db, 20 cm élhosszúságú kockát készítettünk.

#### A próbatestek készítése és tárolása

A kísérleti testek anyagát mind szárazon, mind nedvesen kézi erővel többször átkevertük, majd döngöléssel tömörítettük. Elkészítés után 24 óra múlva zsaluztuk



ki, és ekkor mértük először az alakváltozásokat. Eddig a próbatesteket 100% légnedvességű térben tároltuk. A hasábokat 1 napos koruk után 35% légnedvességű, 20–22°C hőmérsékletű térben tároltuk.

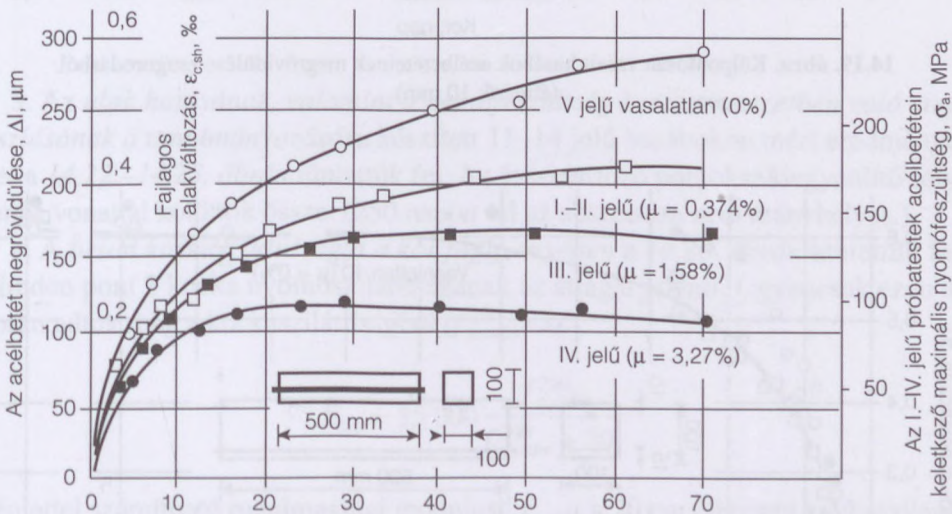
### A mérőműszer

Az elkészített hasábokon acélbetét, illetve beton megrövidülését 540 mm alaphosszúságú Amsler-típusú zsugorodásmérő készülékkel mértük.

### 14.2.3.3. A kísérlet eredményei

Az 50 cm hosszú betonhasábok két végén elhelyezett mérőbűtykök közötti távolság megrövidülését, amely egyben a beton, illetve az acélbetét megrövidülését is jelenti, a továbbiakban a kor függvényében grafikusán ábrázoljuk.

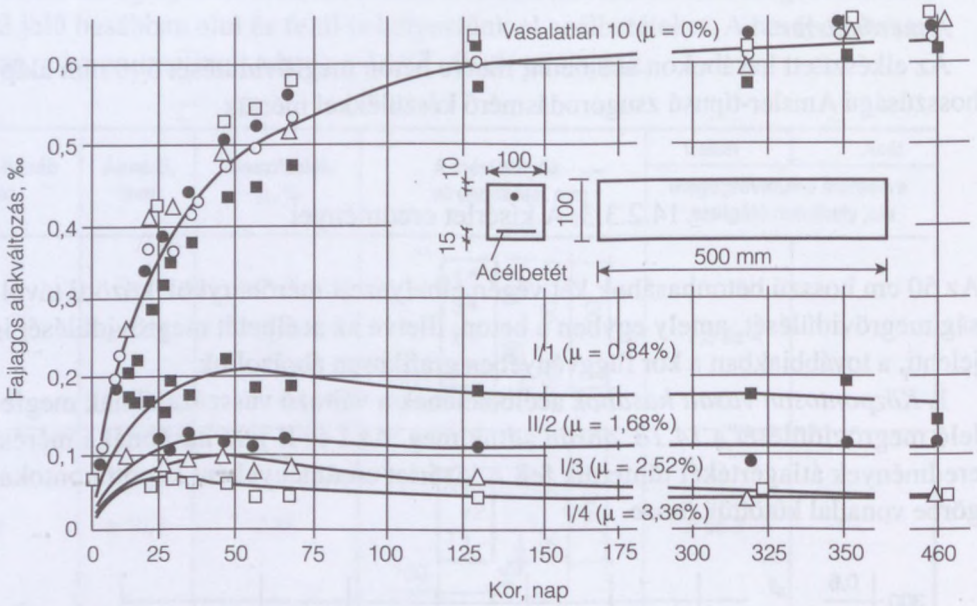
1. *Központosan vasalt hasábok* acélbetétének a változó vasszázaléknak megfelelő megrövidülését a 14.18. ábrán adtuk meg. Az I és II jelű hasábnál a mérési eredmények átlagértékét tüntettük fel. A kísérlet eredményeként kapott pontokat görbe vonallal kötöttük össze.



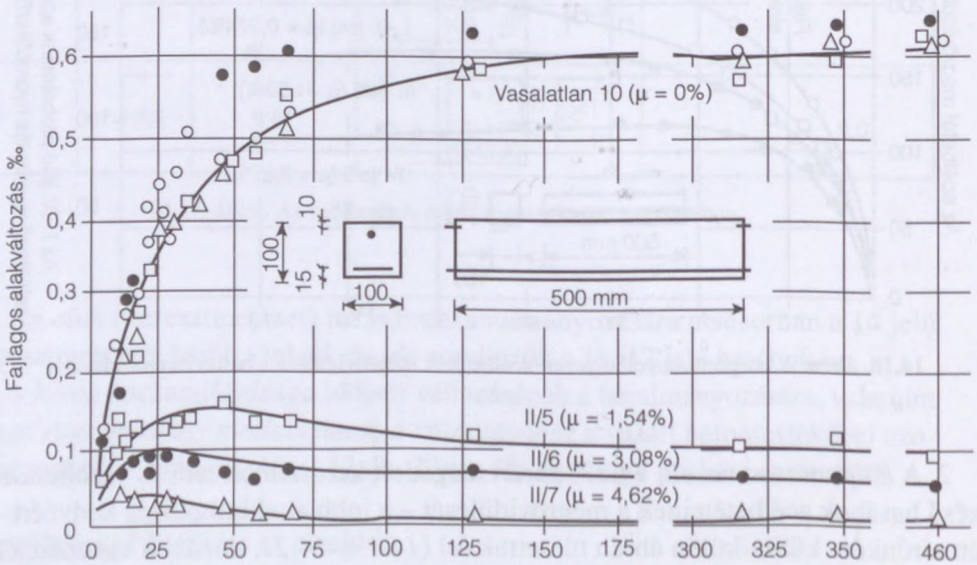
14.18. ábra. A központosan elhelyezett acélbetétek megrövidülése a beton zsugorodásától

2. *A külponosan vasalt, 14.17. ábrán megadott keresztmetszetű és vaselrendezésű hasábok* acélbetéteinek a megrövidülését – a jobb áttekinthetőség kedvéért – átmérőnként külön-külön ábrán tüntettük fel (14.19.–14.21. ábrák) a vasszázalék megadásával. Azonos jellel jelölve a hasábnak a vasalással ellentétes oldalon mért

megrövidülését is ábráztuk, a pontokat folytonos vonallal kötve össze. A tömörebb ábrázolás kedvéért ezeken az ábrákon az abszcisszát két helyen megszakítottuk.

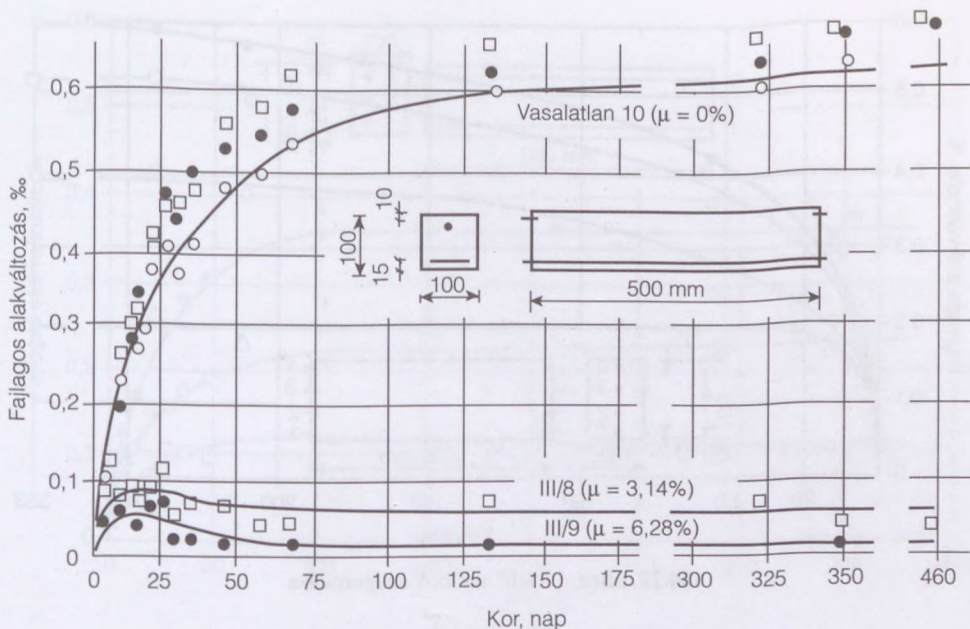


14.19. ábra. Külpontosan vasalt hasábok acélbetéteinek megrövidülése zsugorodásból (átmérő: 10 mm)



14.20. ábra. Külpontosan vasalt hasábok acélbetéteinek megrövidülése zsugorodásból (átmérő: 14 mm)





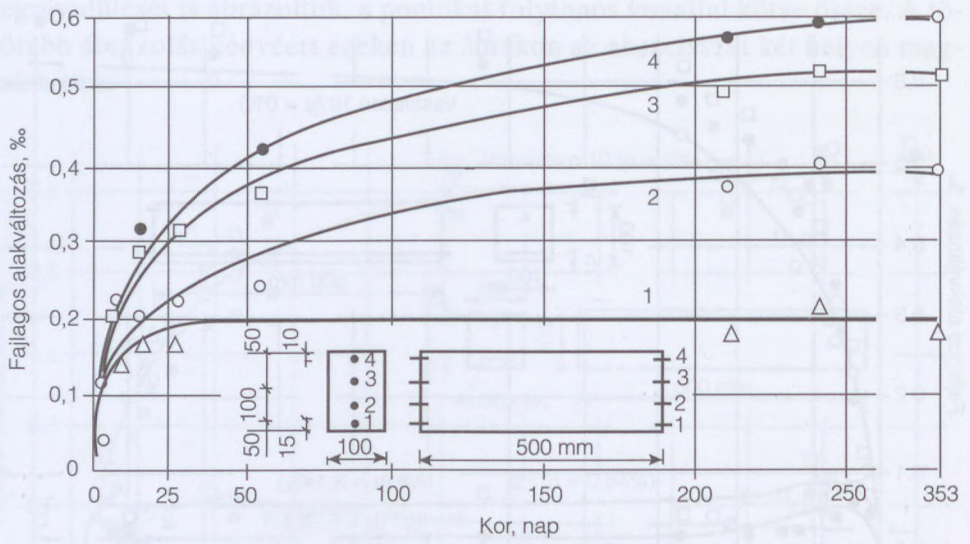
14.21. ábra. Külpontosan vasalt hasábok acélbeteiteinek megrövidülése zsugorodásból (átmérő: 20 mm)

3. Az alak hatásának, valamint a betonfeszültség keresztmetszetben való megoszlásának a tanulmányozására készített 11–14 jelű hasábokon mért eredményeket a 14.22.–14.25. ábrán tüntettük fel. Az összetartozó pontokat kiegyenlítő folytonos vonallal kötöttük össze. (250 napon túl az abszcissa nem arányhelyes.)

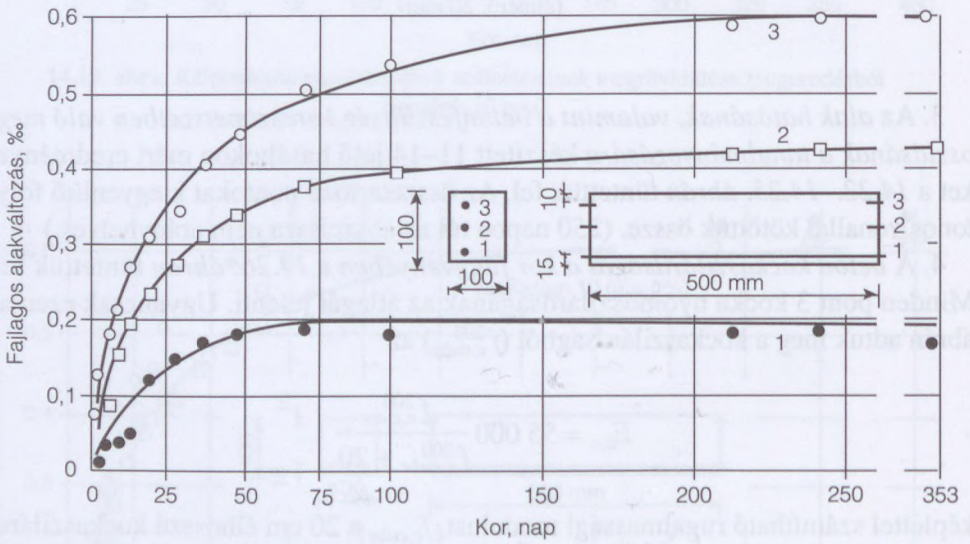
4. A beton kockaszilárdságát a kor függvényében a 14.26. ábrán tüntettük fel. Minden pont 3 kocka nyomószilárdságának az átlagát jelenti. Ugyancsak ezen az ábrán adtuk meg a kockaszilárdságból ( $f_{c,cube}^{200}$ ) az

$$E_{b,o} = 55\,000 \frac{f_{c,cube}^{200}}{f_{c,cube}^{200} + 20}$$

képlettel számítható rugalmassági modulust,  $f_{c,cube}$  a 20 cm élhosszú kockaszilárdságot jelenti.

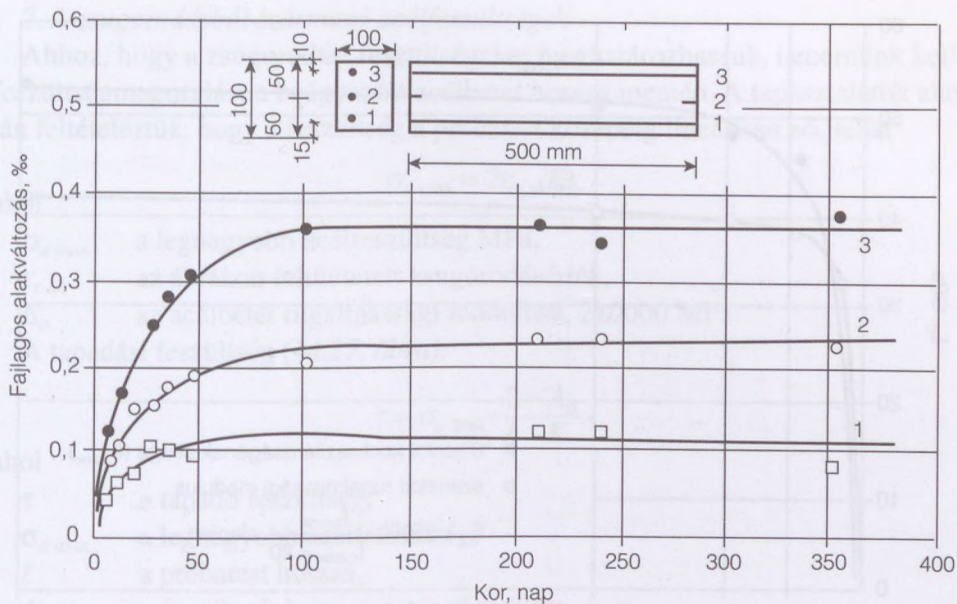


14.22. ábra. 11 jelű hasábok zsugorodása

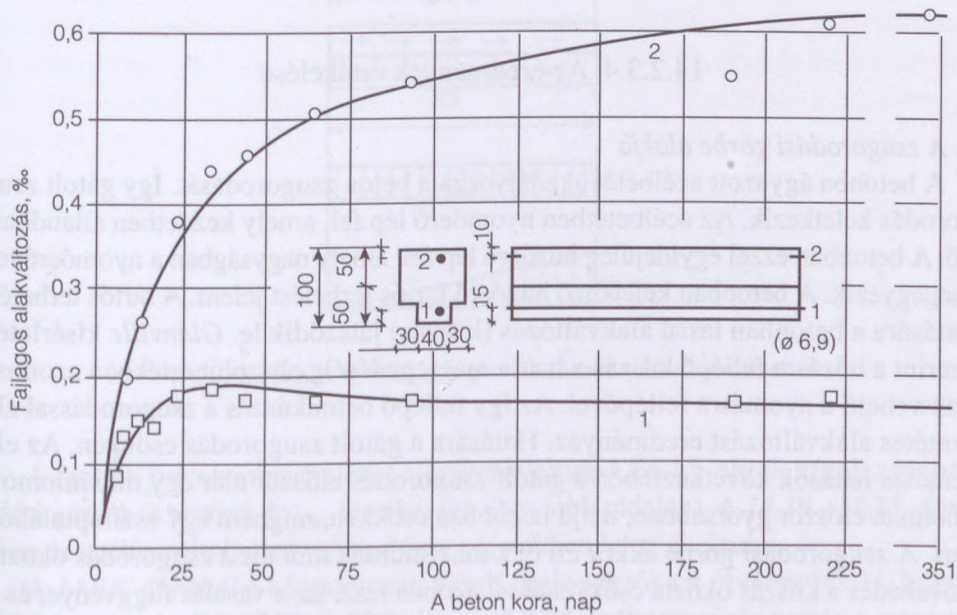


14.23. ábra. 12 jelű hasábok zsugorodása

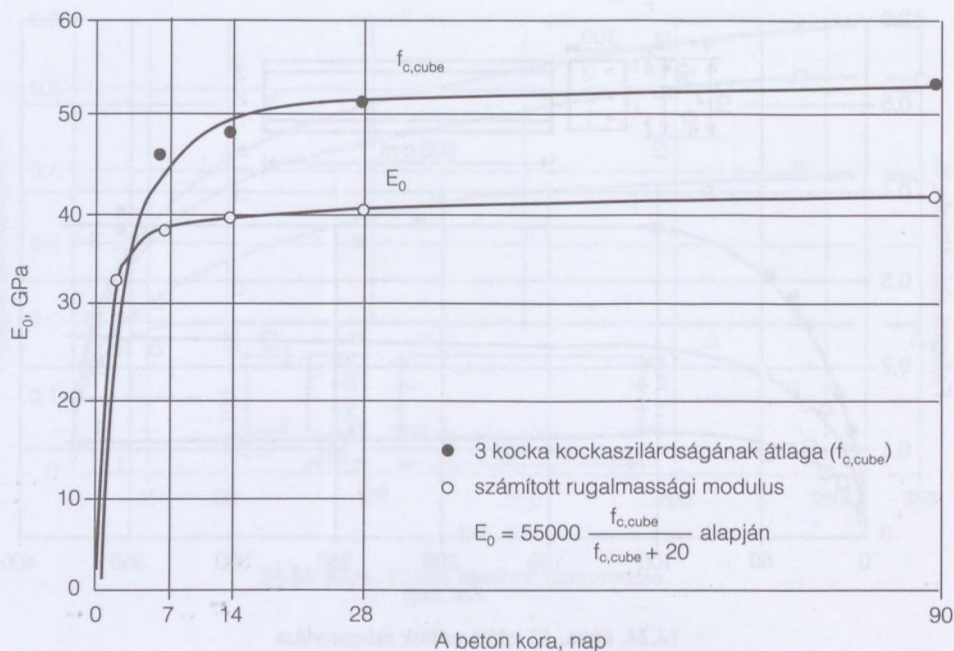




14.24. ábra. 13 jelű hasábok zsugorodása



14.25. ábra. 14 jelű hasábok zsugorodása



14.26. ábra. A beton kockaszilárdsága és számított rugalmassági modulusa a kor függvényében

#### 14.2.3.4. Az eredmények értékelése

##### 1. A zsugorodási görbe alakja

A betonba ágyazott acélbetét akadályozza a beton zsugorodását. Így gátolt zsugorodás keletkezik. Az acélbetétben nyomóerő lép fel, amely kezdetben állandóan nő. A betonban ezzel egyidejűleg húzóerő lép fel, amely nagyságban a nyomóerővel megegyezik. A betonban keletkező húzóerő tartós terhelést jelent. A tartós terhelés hatására a betonban lassú alakváltozás (kúszás) játszódik le. *Glanville* kísérletei szerint a húzásra fellépő kúszás a beton megrepedéséig abszolút értékben azonosnak vehető a nyomásra fellépővel. Az így fellépő betonkúszás a zsugorodással ellentétes alakváltozást eredményez. Hatására a gátolt zsugorodás csökken. Az ellentétes hatások következtében a gátolt zsugorodás először elér egy maximumot, ahonnan először gyorsabban, majd lassabban csökken, mígnem egy aszimptotához tart. A zsugorodási görbe akkor éri el a maximumát, amikor a zsugorodás okozta növekedés a kúszás okozta csökkenéssel azonos lesz. Ez a vasalás függvénye, és a nagyobb vasszalékoknál előbb következik be, mint a kisebbeknél.



## 2. A zsugorodásból származó acélfeszültségek

Ahhoz, hogy a zsugorodási feszültségeket meghatározhassuk, ismernünk kell a feszültségmegoszlást a beágyazott acélbetét hossza mentén. A tapasztalatok alapján feltételeztük, hogy a feszültség a próbatest közepéig lineárisan nő, tehát

$$\sigma_{a \max} = 2\varepsilon_{c,sh} E_a,$$

ahol

$\sigma_{a \max}$  a legnagyobb acélfeszültség MPa,

$\varepsilon_{c,sh}$  az ábrákon feltüntetett zsugorodásérték,

$E_a$  az acélbetét rugalmassági modulusa, 210000 MPa.

A tapadási feszültség (14.27. ábra):

$$\tau = \sigma_{a \max} \cdot \frac{2}{\ell} \cdot \frac{A_a}{K},$$

ahol

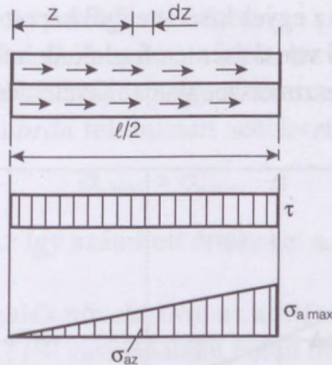
$\tau$  a tapadó feszültség,

$\sigma_{a \max}$  a legnagyobb acélfeszültség,

$\ell$  a próbatest hossza,

$A_a$  az acélbetét keresztmetszeti területe,

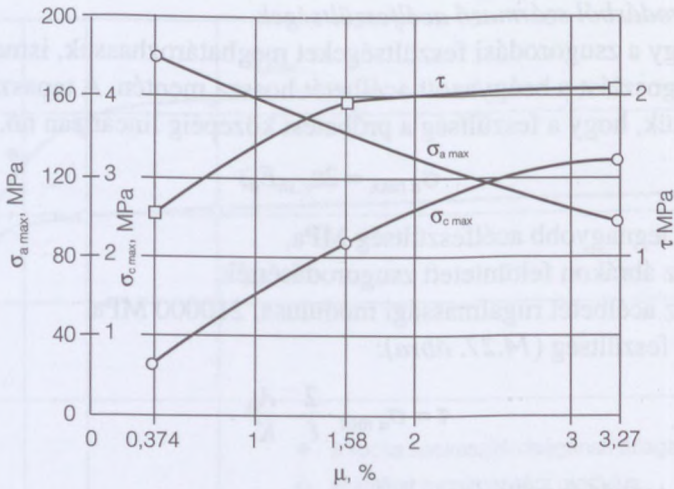
$K$  az acélbetét kerülete.



14.27. ábra. A feszültségmegoszlás állandó  $\tau$  feltételezésével

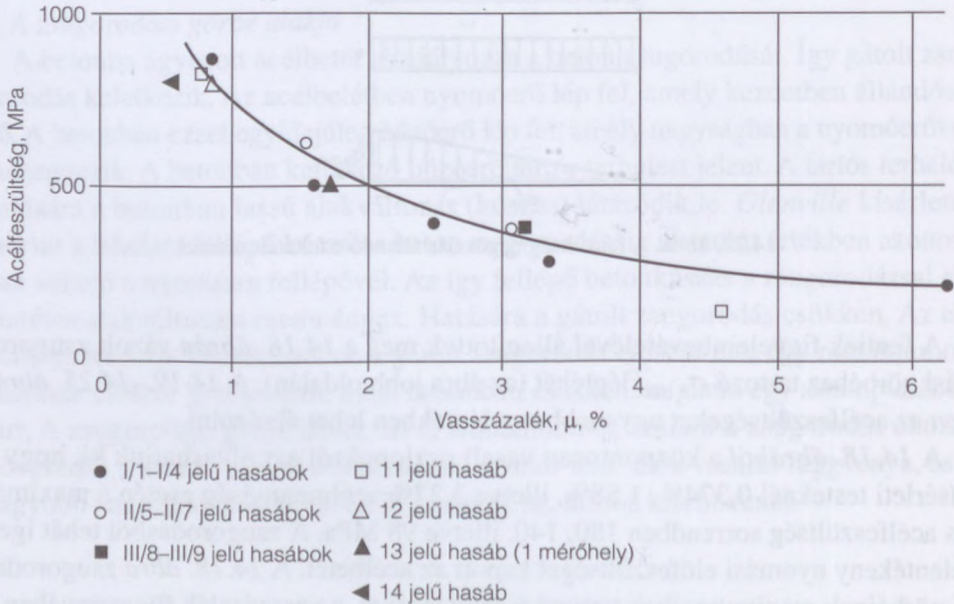
A fentiek figyelembevételével állapítottuk meg a 14.18. ábrán vázolt zsugorodási görbéhez tartozó  $\sigma_{a \max}$  léptékét (az ábra jobb oldalán). A 14.19.–14.25. ábrákon az acélfeszültségeket ugyanebben a léptékben lehet ábrázolni.

A 14.18. ábrából a központosan vasalt oszlopokról azt olvashatjuk ki, hogy a kísérleti testeknél 0,374%, 1,58%, illetve 3,27% acélmennyiség esetén a maximális acélfeszültség sorrendben 180, 140, illetve 98 MPa. A zsugorodásból tehát igen jelentékeny nyomási előfeszültséget kapott az acélbetét. A 14.18. ábra zsugorodási görbéinek maximumaihoz tartozó feszültségeket, a vasszálalék függvényében a 14.28. ábrán is összefoglaltuk.



14.28. ábra. A legnagyobb feszültségek a vasszálalék függvényében

A különösen vasalt hasábok maximális acélfeszültségeit, a vasszálalék függvényében szintén összefoglaltuk a 14.29. ábrán. Megrajzoltuk a kísérletről kapott értékek kiegyenlítő görbéjét is. Az egyes kísérletekből kapott acél feszültségértékek jelen kísérleteinknél a kiegyenlítő vonal mentén foglalnak helyet függetlenül attól, hogy milyen az átmérő vagy a keresztmetszet alakja. Kivételt csak a II/7. hasáb mutatott.



14.29. ábra. Különösen vasalt hasábok maximális acélfeszültségei a vasszálalék függvényében



Vizsgáljuk meg, hogy vasbeton szerkezeteinkben ténylegesen számolni kell-e ilyen nagy zsugorodási acélfeszültség felléptével.

Az acélfeszültség számításánál feltételeztük, hogy a feszültségeloszlás lineáris. Ez a kísérletnél használt rövid testeknél jó közelítés. Ha feltételeznénk azt a szélsőséges esetet, hogy a feszültség  $n$ -ed fokú parabola szerint változik, ahol  $n=\infty$ , akkor a maximális acélfeszültség a számított érték  $\frac{3}{4}$ -e lenne.

Amint a bevezetőben említettük, maximális zsugorodásra törekedtünk, tehát a szélsőséges körülményeket állítottuk elő: az alkalmazott nagy cementadagolás ( $450 \text{ kg/m}^3$ ) csak feszített betonszerkezeteknél fordul elő, a 35% relatív légnedvesség-tartalom pedig nagyon kis érték. Hazánkban a levegő relatív nedvesség-tartalma általában 60% felett szokásos. Ezenkívül a kísérleti test kicsi méreteinél fogva a belsejében a légnedvesség-egyensúly mindenütt gyorsan bekövetkezhetett, míg a gyakorlatban vasbeton építményeinknél – a porozitástól függően – a felülettől távolodva mind lassabban és mind kevésbé következik be. Ezért a nagyobb tömegű beton belsejének a zsugorodása sokkal kisebb, mint a külsejéé. E tényezők következtében a zsugorodás végértéke, amely kísérleteinkben 0,6‰ volt, a gyakorlati esetekben 0,1–0,4‰-ig változik. Ennek megfelelően az acélfeszültség is kisebb lesz.

*A zsugorodásból származó betonfeszültségek*

a) *Központosan vasalt hasábok* esetén – feltételezve, hogy az acélbetét és a beton közötti felületi kötés tökéletes, és hogy a keresztmetszetben a feszültségmegoszlás állandó – a 14.28. ábrán feltüntetett acélfeszültségekhez tartozó betonfeszültségeket a

$$\sigma_{c \max} = \sigma_{a \max} \cdot \mu$$

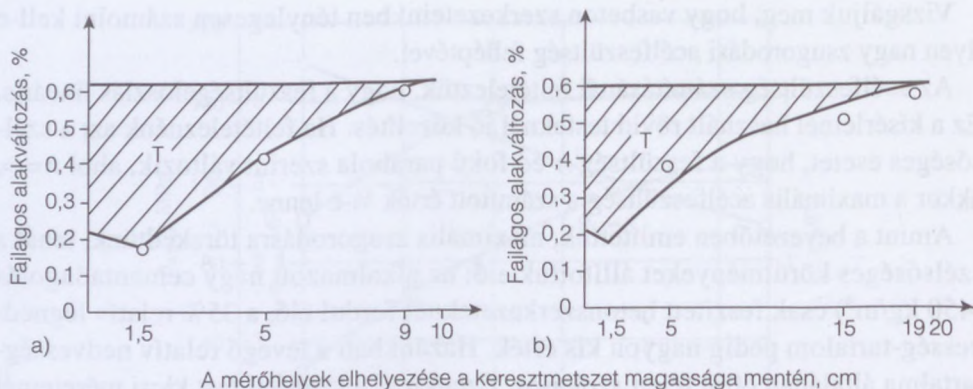
képletből számíthatjuk. Az így számított értékeket a 14.28. ábrán szintén feltüntettük.

Amint látjuk, a vasszázalék növelésével az acélfeszültség csökken, a betonfeszültség ellenben nő. A 3,27% vasszázalékú beton húzófeszültsége 3,2 MPa, ami igen nagy. Minthogy a betonfeszültség arányos az acélfeszültséggel (az előzőekben ismertetetteknek megfelelően) a gyakorlatban előforduló kisebb zsugorodás miatt a feszültség ugyan kisebb, de előfordulhat, hogy a beton megreped.

b) *Külponatosan vasalt hasábok betonfeszültsége. A méret hatása a feszültségeloszlásra.*

A feszültség keresztmetszetbeli megoszlásának tanulmányozására a 12 jelű hasábon két helyen végeztünk méréseket. A 14.23. ábra  $t = 353$  naphoz tartozó mérési eredményeit a keresztmetszet magassága függvényében a 14.24. ábrán tüntettük fel.

Hasonló módon végeztünk méréseket az ugyanilyen széles, de kétszer ilyen magas 11 jelű hasábon. A 14.22. ábrán feltüntetett,  $t = 353$  naphoz tartozó alakváltozási értékeket a keresztmetszet magassága mentén a 14.30. ábrán rajzoltuk fel.



**14.30. ábra.** A betonfeszültség megoszlása a keresztmetszet magassága mentén. a) 12 jelű; b) 11 jelű hasáb

A 14.30. ábrán bevonalkáztuk azt a területet (T), amely a betonban fellépő húzóerővel jó közelítéssel arányos. A két ábra összehasonlításából azt a következtetést vonhatjuk le, hogy míg kisebb magasság esetén a magasság mentén, az acélbetétből kiindulva a feszültség majdnem lineárisan, addig a magasabb hasáb esetén jó közelítéssel másodfokú parabola szerint csökken. Ebből következik, hogy

$$\sigma_{c \max} = \sigma_{a \max} \cdot a \cdot \mu,$$

ahol  $a$  12 jelű hasáb esetén kb. 2, míg a 11 jelű hasábnál kb. 3. Ahogyan nő a tartó magassága, úgy nő az  $a$  értéke is.

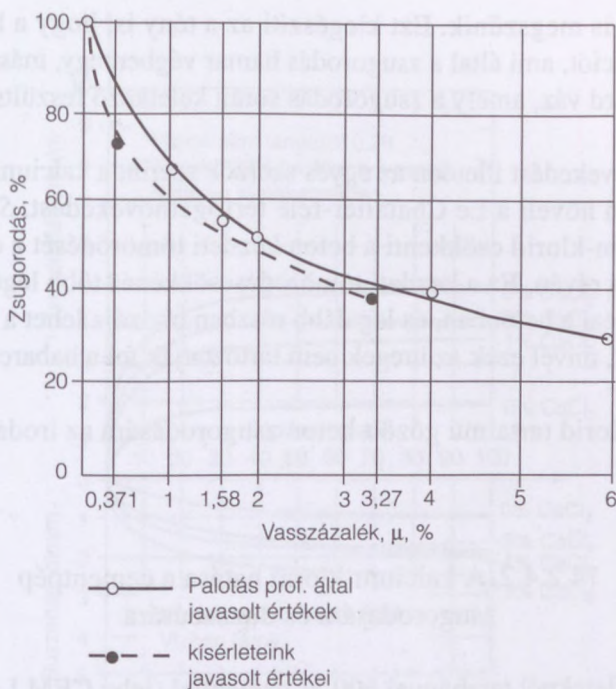
*Központosan vasalt oszlopok maximális zsugorodása a vasszálalék függvényében.*

A 14.18. ábrán kapott zsugorodási értékeket a vasszálalék függvényében viszonyítva a vasalatlan test zsugorodásához, az alábbi értékeket kaptuk:

vasszálalék	százalékos zsugorodás
0	100
0,374	71
1,58	55
3,27	39

A 14.31. ábrán összehasonlításul feltüntettük a zsugorodás fenti értékét, valamint a Palotás (1952) *Minőségi beton* c. könyvében javasolt értékeket. Láthatjuk, hogy a két görbe jó közelítéssel azonosnak tekinthető.





14.31. ábra. Különpontosan vasalt hasábkok zsugorodása a vasszázalék függvényében

#### 14.2.4. A kalcium-klorid hatása a cementpép és a beton zsugorodására

[Balázs(1963), Balázs (2004)]

##### 14.2.4.1. Irodalmi adatok

Kutatásainkat megelőzően a kalcium-klorid hatásával kapcsolatban sok vita folyt a beton zsugorodásáról. A beton és habarcs zsugorodását vizsgálva különböző kutatók, különböző kísérleti feltételek mellett, különböző kalcium-klorid adagolással kísérleteztek, és egy részük úgy találta, hogy a kalcium-klorid növeli a zsugorodást [Calleja Carrete 12 ir. hiv.(1958), Grand Coulée kísérletei (Shideler 1952), Burenin (1956), Kondo–Takeda–Hideshima (1959), Kondo (1957)], másik részük az ellenkezőjét állította [Calleja Carrete 11 ir. hiv. (1958), Yates (Shideler 1952)], és végül voltak, akik szerint a zsugorodás megegyezik a kalcium-klorid nélküli beton zsugorodásával [Calleja Carrete 2 ir.hiv. (1958)], különösen akkor, ha a betont kezdetben pozitív, azután negatív hőmérsékleten tárolták [Burenin (1956), Nekraszov és Piso (1958)].

Akik azt állították, hogy a kalcium-klorid csökkenti, gátolja, kizárja a beton zsugorodását, ezt a jelenséget azzal magyarázták, hogy a vegyszer higroszkopikus tulajdonságainál fogva adszorbeálja és leköti a vizet, ami által a beton repedéské-

zöldési hajlama is megszűnik. Ezt kiegészíti az a tény is, hogy a kalcium-klorid siettet a hidratációt, ami által a zsugorodás hamar végbemegy, másrészt hamar kialakul az a szilárd váz, amely a zsugorodás során keletkező feszültségeket fel tudja venni.

A térfogat-növekedést illetően az egyes szerzők szerint a kalcium-klorid az adagolás arányában növeli a Le Chatalier-féle térfogatnövekedést. *Shideler* (1952) szerint a kalcium-klorid csökkenti a beton kezdeti tömörödését a cement kötésének a gyorsítása révén. Ez a kezdeti tömörödéscsökkenés több légüreg megmaradását eredményezi a betonban, és legalább részben okozója lehet a beton nagyobb zsugorodásának, mivel ezek az üregek nem tartóztatják fel a habarcs normális zsugorodását.

A kalcium-klorid tartalmú gőzölt beton zsugorodására az irodalomban adatot nem találtunk.

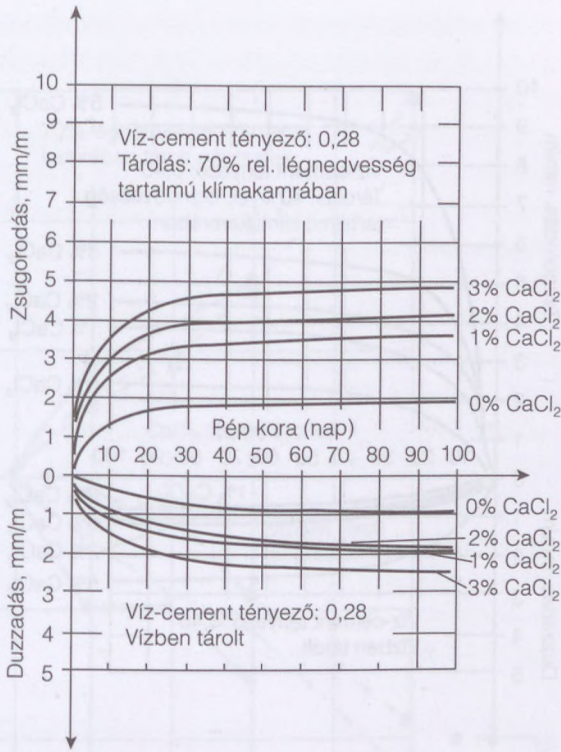
#### 14.2.4.2. A kalcium-klorid hatása a cementpép zsugorodására és duzzadására

Ezeknél a kísérleteknél tatabányai 600-as cementtel (jele: CEM I 42,5) 0, 1, 2, 3, ill. 5% vegytiszta kalcium-klorid tartalommal különböző víz-cement tényezőjű, 4×4×16 cm méretű péptesteket készítettünk és azokat minden utókezelés nélkül 20°C hőmérsékletű, 70% relatív légnedvességtartalmú klímakamrában, ill. vízben tároltuk. Az alakváltozást 12 cm alaphosszú Leitz-mikroszkóppal mértük. Az első mérés időpontját úgy választottuk meg, hogy a próbatest a törés veszélye nélkül a polisztirolhab sablonból kivehető legyen. Ennek megfelelően az első mérés időpontja a pép konzisztenciájától és kalcium-klorid tartalmától függően 6–24 óra között változott.

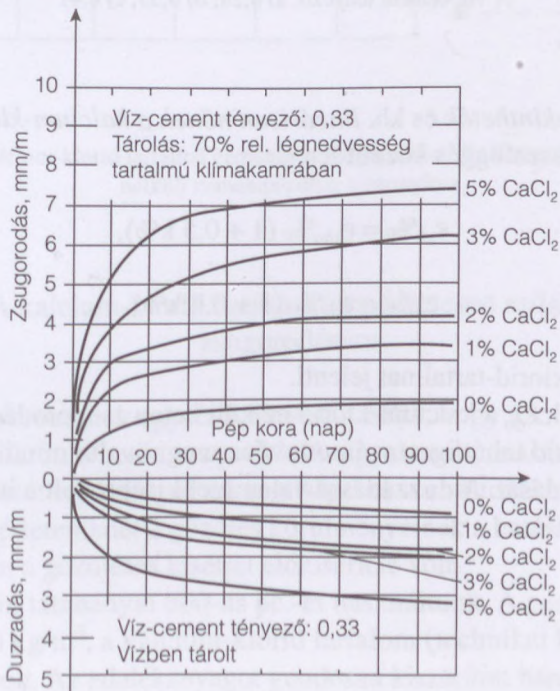
A kísérleti péptestek zsugorodásának, ill. duzzadásának az időbeni lefolyását 100 napos korig a *14.32. ábrán* foglaltuk össze. Az alakváltozás növekedésének a sebessége az első tíz napban igen nagy volt, majd onnan csillapodott és mintegy 50 napos korban az alakváltozás megközelítette végértékét. 50–100 nap közötti időben már alig nőtt.

A 100 napos alakváltozás-értékeket a kalcium-klorid nélküli pép alakváltozásához viszonyítva, a kalcium-klorid-tartalom függvényében a *14.33. ábrán* összesítettük. Az ábra szerint a *viszonylagos alakváltozás-értékek a pép konzisztenciájá-*

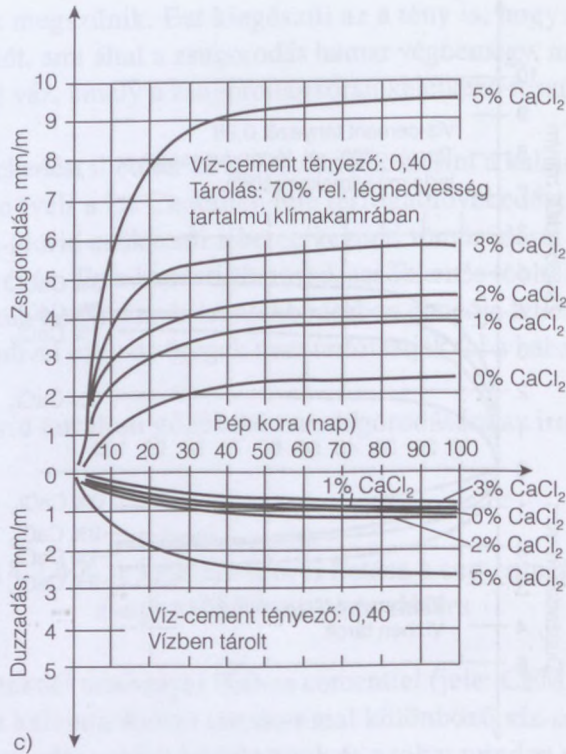




a)



b)



14.32. ábra. Kalcium-klorid tartalmú péptestek zsugorodása, ill. duzzadása a kor függvényében. A víz-cement tényező: a) 0,28; b) 0,33; c) 0,41

tól függetlennek tekinthetők és kb. lineárisan nőnek a kalcium-klorid-tartalom növekedésével. Az összefüggés közelítően a zsugorodásra

$$\epsilon_{sh}\% = \epsilon_{sh0}\% (1 + 0,5 k\%),$$

a duzzadásra

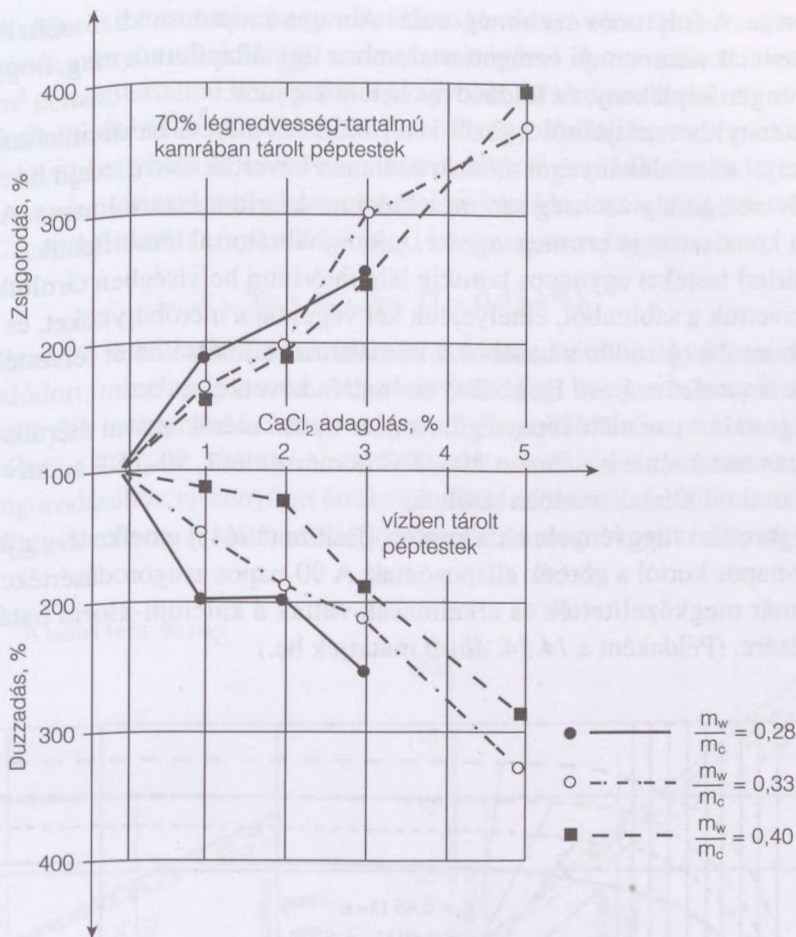
$$\epsilon_d\% = \epsilon_{d0}\% (1 + 0,4 k\%),$$

ahol  $k$  a kalcium-klorid-tartalmat jelenti.

$\epsilon_{sh0}$ , ill.  $\epsilon_{d0}$  a kalcium-klorid nélküli beton zsugorodása, ill. duzzadása.

A kalcium-klorid tehát igen számottevően megnövelte mind a pép zsugorodását, mind a duzzadását. A duzzadásra valamivel kisebb volt a hatása, mint a zsugorodásra.





14.33. ábra. A kalcium-klorid tartalmú cementpép zsugorodása, ill. duzzadása a kalcium-klorid nélküli cementpéphez viszonyítva

#### 14.2.4.3. A kalcium-klorid hatása a természetesen szilárduló beton zsugorodására

Ennek a kísérletsorozatnak egyrészt az volt a célja, hogy a kalcium-kloridnak a természetesen szilárduló beton zsugorodására gyakorolt hatását kimutassuk, másrészt, hogy a kísérlet eredményeinek segítségével – a változók számát csökkentve – a gőzöléses kísérleteinknél a gőzölés körülményeinek a hatására helyezhessük a súlyt. Ez a kísérlet a gőzöléses kísérlet előkísérlete volt.

A kísérlet során tatabányai 600-as pc.-et használtunk. A cementtartalom 200, 300, 375, ill. 450 kg/m<sup>3</sup>, a kalcium-klorid tartalom (technikai kalcium-klorid) 0; 0,5; 1, ill. 1,5% volt. Az adalékanyagot gondosan kiszárított három frakcióból állí-

tottuk össze. A folytonos szemmegoszlás Abrams-modulusa kb. 5 volt. A beton-konzisztenciát valamennyi cementtartalomhoz úgy állapítottuk meg, hogy képlékeny, gyengén képlékeny, és földnedves betont kapjunk.

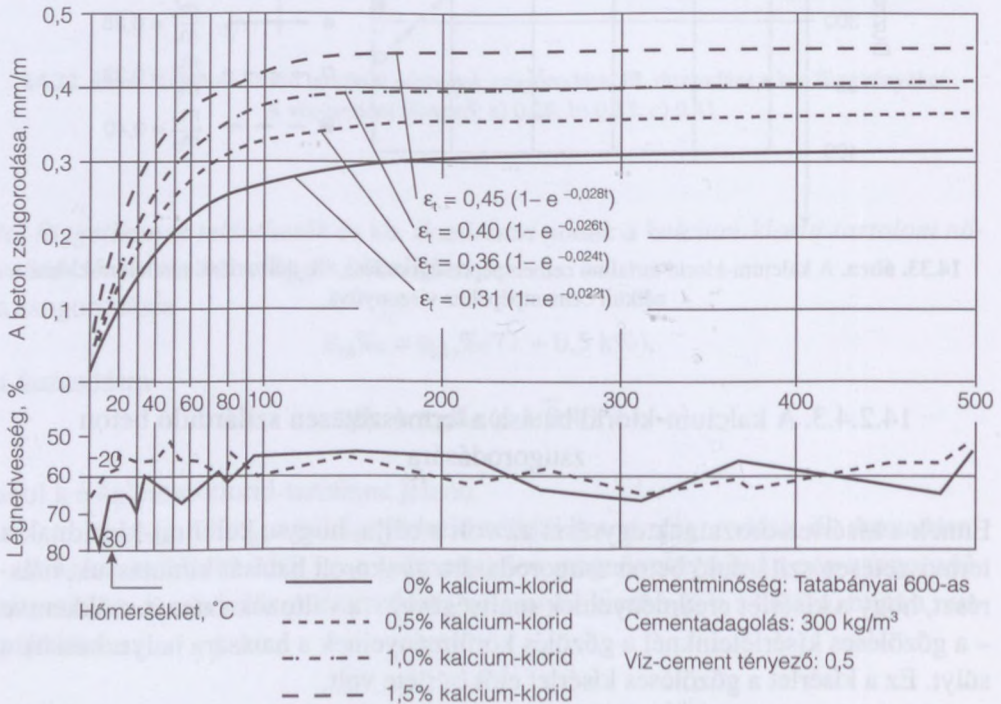
Valamennyi betonfajtából 2–2 db 10×10×50 cm méretű hasábot készítettünk. A cementtel az adalékanyagot először szárazon kevertük össze, majd hozzáadtuk a keverővizet, amely szükség szerint a kalcium-kloridot is tartalmazta. A betont, amikor a konzisztencia ezt megengedte, mindig vibrátorral tömörítettük.

A kísérleti testeket egynapos korukig laboratóriumi helyiségben tároltuk. Ekkor azokat kivettük a sablonból, elhelyeztük két végükön a mérőbütyköket, és levittük a klímakamrába. Amidőn a hasárok a klímakamra hőmérsékletét felvették, akkor végeztük el az első mérést. Ez kb 2–3 óra múlva következett be.

A zsugorodást  $\mu\text{m}$  mérőképeességű, Amsler-típusú mérőkocsival mértük.

A mérés tartamán a hasárok 20–25°C hőmérsékletű, 50–75% relatív légnedvesség-tartalmú klímakamrában tároltuk.

A zsugorodási függvényeknek a kezdeti [Balázs (1961)] emelkedése gyors volt, majd 50-napos kortól a görbék ellaposodtak. A 90-napos zsugorodásértékek a végértéket már megközelítették és alkalmasak voltak a kalcium-klorid hatásának a megítélésére. (Példaként a 14.34. ábrát mutatjuk be.)



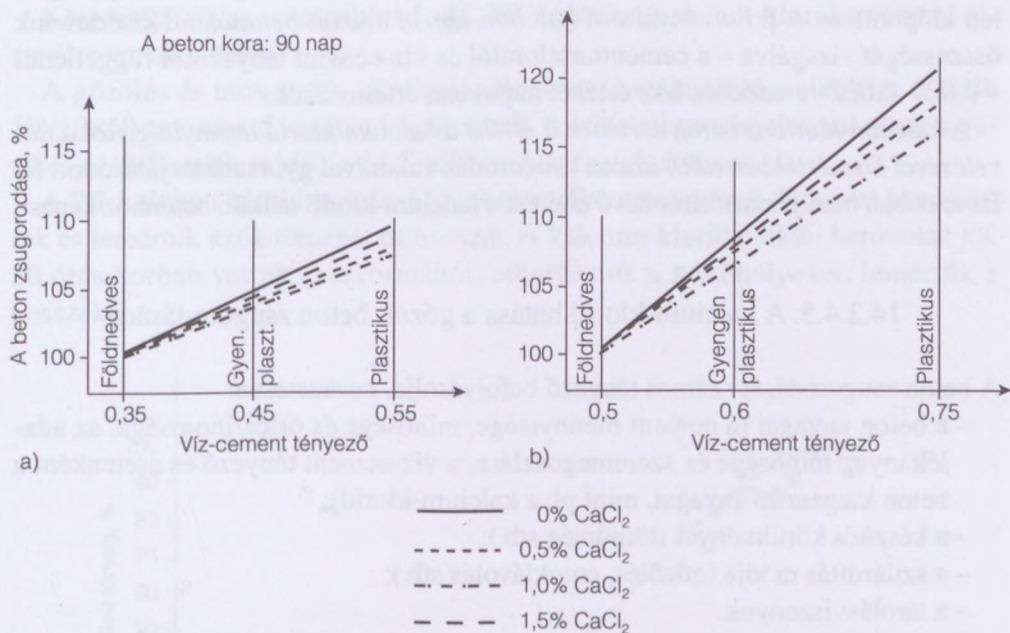
14.34. ábra. A beton zsugorodása a kor és a kalcium-klorid függvényében



Ez a kísérlet is azt mutatja, hogy a *kalcium-klorid növeli a beton zsugorodását*. A növekedés arányos a kalcium-klorid mennyiségével. A százalékos növekedés a 200 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú betonnál a legnagyobb, és a cementtartalom növekedésével mintha kismértékben csökkenne. Azonban gyakorlatilag ez a csökkenés figyelmen kívül hagyható. *A beton cementtartalmától és a konzisztenciájától függetlenül – a vizsgált tartományban – a kalcium-kloridos beton zsugorodása ( $\epsilon_{c,sh}$ ) és a CaCl<sub>2</sub> nélküli beton zsugorodása ( $\epsilon_{sho}$ ) között az összefüggés*

$$\epsilon_{sho} \% = \epsilon_{c,sho} \% \cdot (1 + 0,33 \text{ k}\%).$$

A zsugorodás kalcium-klorid okozta növekedése tehát mintegy harmadával ki-  
sebbre adódott, mint a péptesteké. Végül nézzük meg, hogy ez a növekmény ho-  
gyan viszonylik a zsugorodásnak a víz-cement tényező eltérése okozta változásá-  
hoz. E célból a 300, ill. 375 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú, földnedves konzisztenciájú  
beton zsugorodásához viszonyított értékeit a 14.35. ábrán ábrázoltuk a víz-cement  
tényező függvényében. A kalcium-klorid lényegében nem okozott változást.



14.35. ábra. A kalcium-klorid tartalmú beton zsugorodása a víz-cement tényező függvényében.  
Cementtartalom: a) 375 kg/m<sup>3</sup>; b) 300 kg/m<sup>3</sup>

#### 14.2.4.4. A beton zsugorodásának időbeli alakulása

##### A zsugorodási függvény

A zsugorodási függvény vizsgálatához kb. 500 napos korig végeztünk méréseket azokon a hasábokon, amelyeknek a zsugorodásáról az előzőekben beszámoltunk. E célból a 14.34. ábrán mutattunk be példát. Az ábrák szerint ilyen betonméret és relatív légnedvesség-tartalom esetén a zsugorodás 150 nap körül gyakorlatilag elérte maximumát. Attól kezdve csak a relatív légnedvesség-tartalom változásának megfelelően ingadozott.

Minthogy ez az ingadozás a kalcium-klorid-adagolásától függetlenül mindegyik kísérleti testnél hasonló volt, megrajzoltuk a zsugorodás időbeni lefolyását kifejező függvényeket is. Mind az itt közölt ábrákon, mind az itt nem közölt ábrákon látszik, hogy a *zsugorodási függvény kifejezhető*

$$\varepsilon_{sh}^t = \varepsilon_{sh\infty} (1 - e^{-\beta t})$$

*alakú exponenciális függvénnyel.* A képletben  $\varepsilon_{sh\infty}$  a beton zsugorodása  $t_{\infty}$  végtelen időpontban. A  $\beta$  *hatványkitevő kalcium-klorid nélküli betonoknál* kísérleteink összességét vizsgálva – a cementtartalomtól és víz-cement tényezőtől függetlenül – 0,020–0,022-re adódott, ha  $t$  értékét napokban értelmezzük.

*A kalcium-kloridos beton esetében a értéke a kalcium-klorid mennyiségének a növelésével kismértékben nőtt,* azaz a zsugorodás valamivel gyorsabban játszódott le. Ez azonban nem jelent számottevő eltérést a kalcium-klorid nélküli betonhoz képest.

#### 14.2.4.5. A kalcium-klorid hatása a gőzölt beton zsugorodására

A beton zsugorodását számos tényező befolyásolja, nevezetesen:

- a beton anyagai (a cement mennyisége, minősége és őrlésfinomsága, az adalékanyag minősége és szemmegoszlása, a víz-cement tényező és esetenként a beton kiegészítő anyagai, mint pl. a kalcium-klorid);
- a készítés körülményei (tömörség stb.);
- a szilárdítás módja (gőzölés, autokláválás stb.);
- a tárolásviszonyok.

Ezenkívül van egy tényező, amelyet rendszerint nem vesznek figyelembe, a zsugorodás mértékének a megállapításánál, ez az első mérés időpontja.

A szokványos beton anyagai, a készítés és a tárolás körülményei a gőzölt beton zsugorodását is – feltehetően – hasonló módon befolyásolják, mint a természetesen szilárduló betonét. Jelen fejezetben csak a szilárdítás módjának és az első mérés időpontjának a hatását vizsgáltuk, változó kalcium-klorid tartalommal.

Van még egy kérdés, amelyet ezzel egyidejűen vizsgáltunk, nevezetesen zsugorodik-e a beton gőzölés közben. Ugyanis a gőzölt beton zsugorodásával foglalko-



zó kevés irodalmi utalás szerint a gőzölt beton zsugorodása a gőzöletlen betonénál kisebb. Minthogy a zsugorodásméréseket mindig a gőzölés után kezdik, felmerül a kérdés, hogy nem játszódik-e le már gőzölés közben a zsugorodás egy része. Ha lejátszódik, akkor éppen úgy kihat a belső erőkre, mintha később játszódna le. Hasonlóan nem ismeretes, hogy a gőzölt beton hirtelen lehűtése a gőzölés befejeztével, továbbá az utókezelés hiánya a zsugorodás nagyságában és időbeni lefolyásában milyen változást eredményez.

Minthogy a kérdéskomplexum nagyon szerteágazó, e kísérlet tartamán csak egyféle betont vizsgáltunk és állandónak választottuk a pihentetést, felfűtési időt, valamint az izotermikus érlelés hőmérsékletét.

#### A kísérlet leírása

Cement: 450 kg/m<sup>3</sup> tatabányai 600-as p.c. (jele: CEM I 42,5)

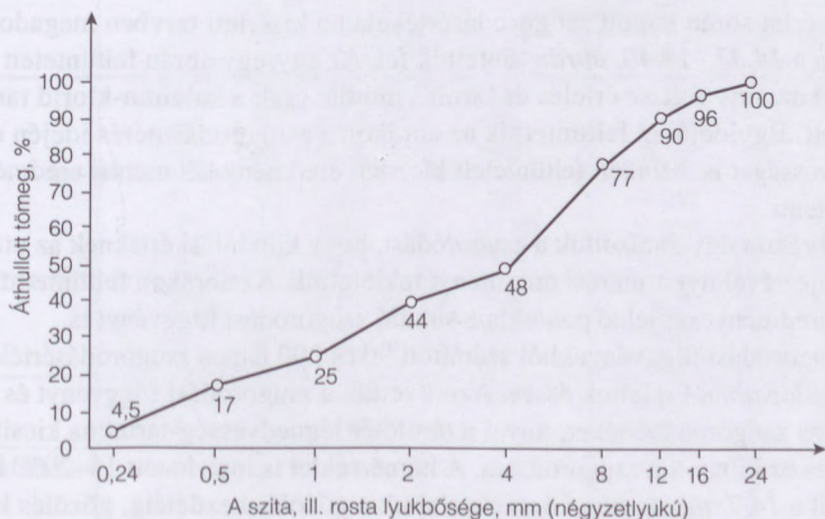
A beton adalékanyaga 3 részre osztályozott Duna-kavics, szemmegoszlása a 14.36. ábrán látható.

Víz-cement tényező: 0,4

Kiegészítő anyag: esetenként 1, ill. 2% technikai kalcium-klorid a cement tömegére vonatkoztatva.

A gőzölés és utókezelés körülményeinek a vizsgálatához esetenként 2–2 db 10×10×50 cm méretű hasábot készítettünk. A kísérleti testek jelét, valamint a gőzölés és utókezelés módját a 14.5. táblázatban foglaltuk össze.

A 2% kalcium-klorid-tartalmú hasábokat elkészítés után 6–8 órával kiszaluztuk és lemértük azok tömegét és hosszát. A kalcium-klorid nélküli betonokat kb. 20 órás korban vettük ki a formából, elhelyeztük a mérőhelyeket, lemértük a hosszakat.



14.36. ábra. Az adalékanyag szemmegoszlása a gőzölési kísérletek során

14.5. táblázat. Zsugorodási kísérletek terve

Jele	CaCl <sub>2</sub> %	Érlelés módja	Gőzölési diagram	Utókezelés
1 9 2	0 1 2	természetes	–	8 napig nedves ruhával letakarva
5 10 6,22	0 1 2	70 °C-on 6 órán át	1	7 napig nedves ruhával letakarva
21 20,19 14	0 1 2	70 °C-on 6 órán át	3	–
27 28	0 2	70 °C-on 2 órán át	3	–

A gőzölést 21–23 órás korban kezdtük azért, hogy gőzölés előtt is lemérhessük a testeket és így a gőzölés közben lejátszódó zsugorodást megállapíthassuk. A 14.4. táblázatban feltüntetett szilárdítás után szintén lemértük a próbatestek tömegét és hosszát. Ezután az előírt utókezelést alkalmaztuk, majd változó páratartalmú laboratóriumi helyiségben tartottuk a próbatesteket mindaddig, amíg az utolsó próbatest is megkapta az előírt utókezelést. Végül klímakamrában helyeztük el a testeket, ahol mind a páratartalom, mind a hőmérséklet közel állandó volt.

A zsugorodást 540 mm alaphosszú Amsler-zsugorodásmérő készülékkel mértük.

#### *A kísérleti eredmények és azok értékelése*

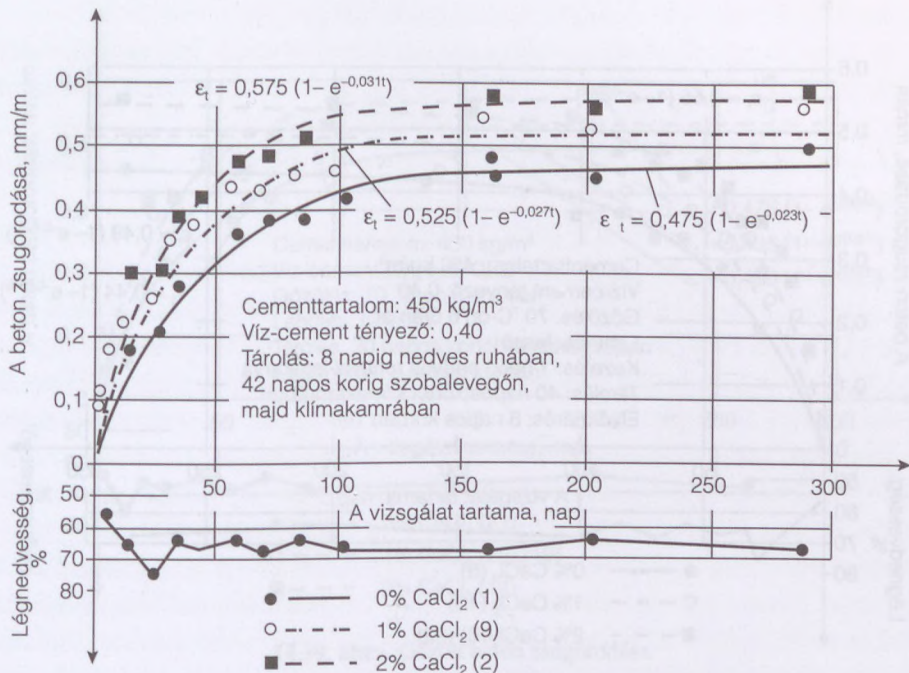
A kísérlet során kapott zsugorodásértékeket a kísérleti tervben megadott sorrendben a 14.37.–14.40. ábrán tüntettük fel. Az egy-egy ábrán feltüntetett kísérleteknél azonos volt az érlelés és tárolás módja, csak a kalcium-klorid tartalom változott. Egyidejűleg feltüntettük az ábrákon a zsugorodásmérés idején észlelt légnedvességet is. Minden feltüntetett kísérleti eredmény két mérési eredmény átlagát jelenti.

Az ábrákon úgy ábrázoltuk a zsugorodást, hogy kiindulási értéknek az utókezelés befejeztével nyert mérési eredményt tekintettük. Az ábrákon feltüntettük a kísérleti eredményeket jelző pontokhoz simuló zsugorodási függvényt is.

A zsugorodási függvényekből számított 90 és 300 napos zsugorodásértékeket a 14.6. táblázatban foglaltuk össze. Azért vettük a zsugorodási függvényt és nem a tényleges zsugorodásértéket, mivel a tárolótér légnedvesség-tartalma kicsit ingadozott és ez kihatott a zsugorodásra. A hőmérséklet is ingadozott 15–20°C között.

Végül a 14.7. táblázatban összefoglaltuk a gőzölés kezdetéig, gőzölés közben és nedves utókezelés hatására lejátszódó alakváltozásokat.

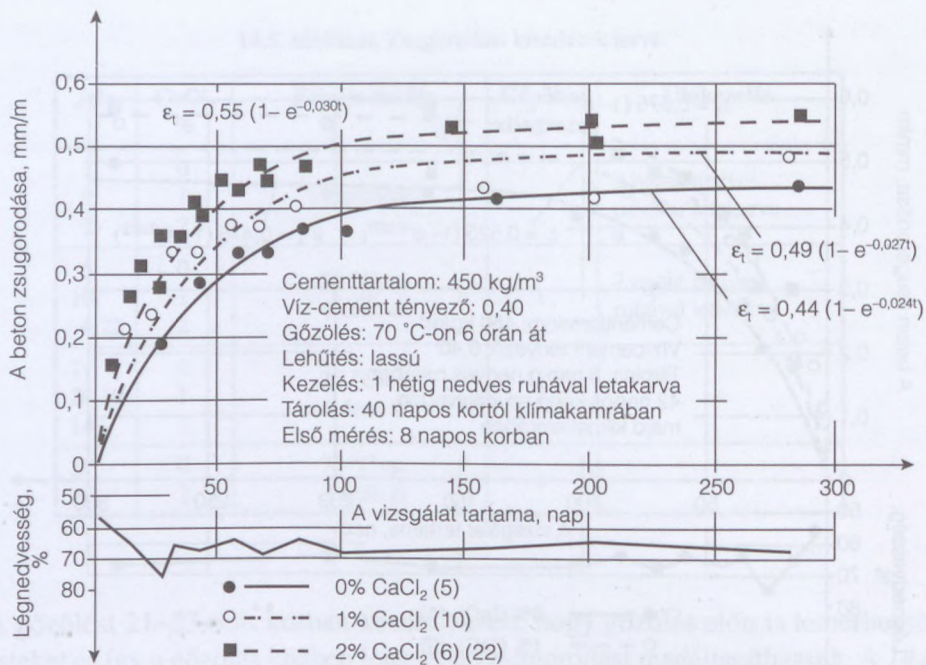




14.37. ábra. Természetesen szilárduló beton zsugorodása a kor függvényében

14.6. táblázat. Zsugorodásértékek 90 és 300 napos korban

Jele	CaCl <sub>2</sub> %	Zsugorodásérték			
		90		300	
		napos korban			
		‰	%	‰	%
1	0	0,415	100	0,475	100
9	1	0,478	115	0,525	110,5
2	2	0,540	130	0,575	121
5	0	0,394	100	0,440	100
10	1	0,447	113,5	0,490	110
6,22	2	0,513	130	0,550	125
21	0	0,365	100	0,400	100
20,19	1	0,409	112	0,435	109
14	2	0,457	125	0,475	119
27	0	0,383	100	0,400	100
28	2	0,486	127	0,500	125
átlagértékek	0		100		100
	1	-	114	-	112
	2		128		124

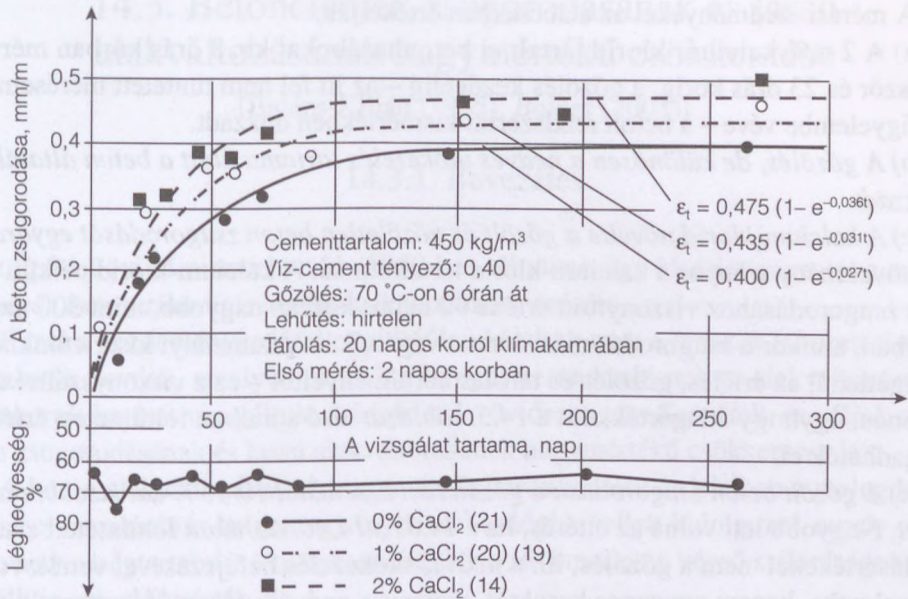


14.38. ábra. Gőzölt beton zsugorodása

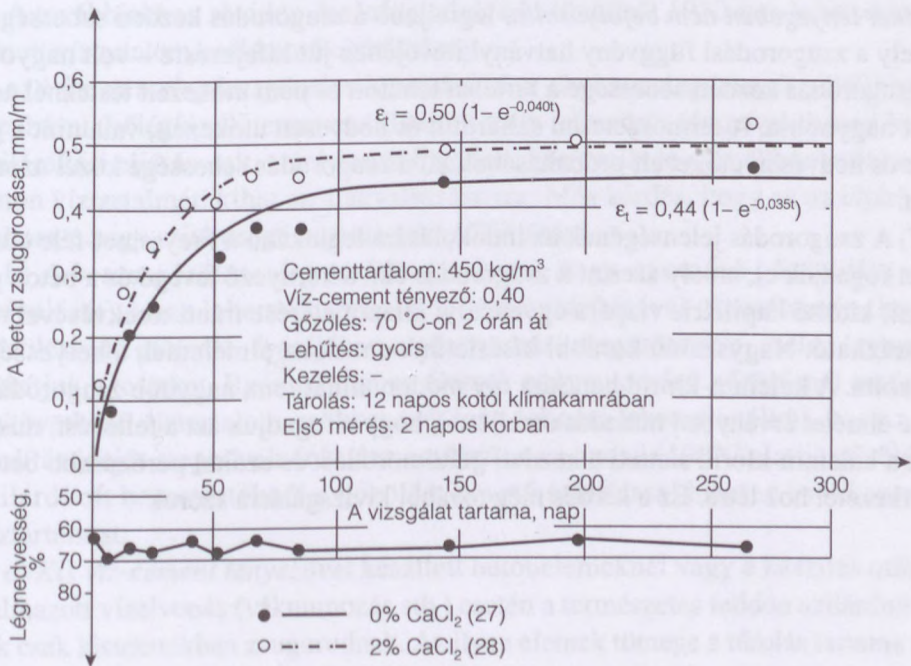
14.7. táblázat. A kezdeti alakváltozás-értékek

Kísérlet jele	CaCl <sub>2</sub> %	Zsugorodás, ill. duzzadás, ‰		
		a gőzölés kezdetéig	gőzölés közben	nedves utókezelés tartama alatt
1	0	–	–	+0,08
9	1	–	–	–0,029
2	2	–	–	–0,016
5	0	–	–	–0,090
10	1	–	–	–0,050
6,22	2	–	–	–0,083
21	0	–	–0,028	–
20,19	1	–	+0,039	–
14	2	0	–0,040	–
27	0	–	–0,105	–
28	2	–0,019	–0,078	–





14.39. ábra. Gőzölt beton zsugorodása



14.40. ábra. Gőzölt beton zsugorodása

A mérési eredményeket az alábbiakban értékeljük.

a) A 2 m% kalcium-klorid tartalmú betonhasábokat kb. 8 óras korban mértük először és 23 óras korrig, a gőzölés kezdetéig – az itt fel nem tüntetett méréseinket is figyelembe véve – a beton rendszerint kismértékben duzzadt.

b) A gőzölés, de különösen a nedves utókezelés tartama alatt a beton általában duzzadt.

c) A kalcium-klorid növelte a gőzölt és gőzöletlen beton zsugorodását egyaránt. A növekmény arányos a kalcium-klorid tartalommal. A kalcium-klorid nélküli beton zsugorodásához viszonyított értéke 90 napos korban nagyobb, mint 300 napos korban, amikor a zsugorodás már elérte a végértékét. Valamennyi kísérletünknel – függetlenül az érlelés, gőzölés és tárolás körülményeitől – ez a viszonzyszám közel azonos, úgyhogy átlagértékként a 14.5. táblázat alsó soraiban feltüntetett értékek fogadhatók el.

d) A gőzölt beton zsugorodása a gőzöletlen betonénál 10-15%-kal kisebbre adódott. Nagyobb lett volna az eltérés, ha a 14.37.–14.40. ábrákon feltüntetett zsugorodásértékeket nem a gőzölés, ill. a nedves utókezelés befejezésével vettük volna figyelembe, hanem egynapos koruktól, ugyanis a nedves utókezelés tartama alatt a gőzölt beton többet duzzadt, mint a gőzöletlen, és ezenkívül a beton a gőzölés közben is rendszerint duzzadt.

e) Az a tény, hogy a betont utókezeltük vagy nem utókezeltük, a zsugorodás végértékét lényegében nem befolyásolta, legfeljebb a zsugorodás kezdeti sebessége – amely a zsugorodási függvény hatványkitevőjében jut kifejezésre – volt nagyobb. A zsugorodás kezdeti sebessége a hirtelen lehűtött és nem utókezelt testeknél adódott nagyobbra. A természetesen szilárdult és nedvesen utókezelt, valamint a gőzölt és nedvesen utókezelt próbahasáboknál a zsugorodás sebessége közel azonos volt.

f) A zsugorodás jelenségének az indokolására leginkább a Freyssinet-féle elméletet fogadják el, amely szerint a zsugorodás oka a környező levegő és a beton pórusait kitöltő kapilláris vízpára egyensúlyi állapot elérése iránti törekvésével magyarázható. Nagyszámú korábbi kísérletünk ennek az elméletnek a helyességét igazolta. A kalcium-klorid hatására oly módon állhat fenn nagyobb zsugorodás – eme elmélet érvényben maradása mellett –, hogy elfogadjuk azt a feltevést, miszerint a kalcium-klorid sietteteti a kezdeti géltömörödést és ezáltal porózusabb beton-szerkezetet hoz létre. Ez a kérdés még további kivizsgálásra szorul.



## 14.3. Betonelemek zsugorodásának és lassú alakváltozásának nagymértékű csökkentése

[Balázs-Kilián (1955), *Balázs* (2001)]

### 14.3.1. Bevezetés

Az Építésügyi Minisztérium kb. 1950-ben elindított egy kísérletsorozatot a *meleg levegős betonszilárdítás* kérdésének tanulmányozására.

Ezzel a kezdeményezéssel egyidejűleg kezdtük meg a tanszék laboratóriumában azt a munkát, amelyben a meleg levegős betonérlelésnek az alakváltozásokra gyakorolt hatását vizsgáltuk. A kísérletek rövidesen kiszélesedtek, és céljuk a beton zsugorodásának és lassú alakváltozásának nagymértékű csökkentése lett.

A beton alakváltozásainak nagymértékű csökkentése érdekében a meleg levegős betonszilárdítás helyett egy olyan technológiát kellett kidolgozni, amely a beton nedvességtartalmát lényegesen csökkenti, és emellett a végső szilárdságot nem szállítja egy előírt érték alá.

A kutatás kezdetén feltételeztük, hogy az ilyen eljárások érdeklődésre tarthatnak igényt, még akkor is, ha a végső betonszilárdság kismértékű csökkenését eredményezik.

A továbbiakban röviden összefoglaljuk a különböző, 1950-ben lehetségesnek tartott víztartalom-csökkentő eljárásokat.

a) *A beton meleg levegővel való szilárdítása*, ahol a meleg levegőt előállíthaták Deubával (hőlégfűvő), termoventillátorral vagy infravörös lámpával, ismert betonszilárdítási eljárás volt, amely attól függően, hogy milyen mértékben csökkenti a beton víztartalmát, kihat az alakváltozásokra. Más kérdés, hogy ez az eljárás alkalmas-e nagy szilárdságú betontestek előállítására.

b) *A beton gőzölése és szárítása*. A beton nagy nyomású gőzölését (autoklavolását) össze lehetne kapcsolni a beton szárításával olyanformán, hogy a gőzölési idő utolsó 1–3 órájában a gőznyomást megszüntetve, meleg levegővel szárítjuk a testeket. Ilyen módon az elemek nagy nyomású gőzölésnél amúgy is bekövetkező víztartalom-csökkenését még fokozni lehetne anélkül, hogy a szilárdítás idejét megnövelnénk. *Atmoszférikus nyomású* (100°C alatti) gőzöléssel szilárdított betontesteknél a gőzölést követő szárítással lehetne csökkenteni a víztartalmat.

c) *Kis víz-cement tényezővel* készített betonelemeknél vagy a készítés után alkalmazott vízelvonás (vákuumozás stb.) esetén a természetes módon szilárdult testek csak kismértékben zsugorodnak. Az ilyen elemek tömege a tárolás tartama alatt kezdetben nő, amíg elér egy állandó értéket.

Az itt felsorolt módszerek nem teljeseek, és nem mondhatók a víztartalom-csökkentés pontos technológiáinak sem, de felvetik azt a gondolatot, hogy a kisebb víz-



tartalmat nemcsak egyedül a szárítással lehet elérni, hanem az eljárást a beton közismert szilárdítási módszereivel össze lehet kapcsolni.

Érdekes, hogy ezek a pályafutásunk kezdetén közzétett kísérletek voltak az elsők, amelyek érdeklődést váltottak ki nemzetközi szinten.

### 14.3.2. Zsugorodásmentes betonelemek

Az adalékanyag összetétele négyzetlyukú rostán:

szemmagyság (mm)	m%
0–1	20
1–4	38
5–12	42

#### 14.3.2.1. Nagy nyomáson gőzölt (autoklávolt) betonelemek

A kísérletek alapján összehasonlíthatjuk a természetes módon szilárduló betontestek zsugorodását a nagy nyomáson gőzölt, illetve nagy nyomáson gőzölt és utólag 85°C-on szárított elemek alakváltozásával.

A beton összetétele: cementadagolás 450 kg/m<sup>3</sup> 500-as cement (bélapátfalvai), víz-cement tényező:  $x = 0,40$ .

Az autokláválás módja: 5 órás felfűtés, 8 óráig tartó 176°C-on való autokláválás és utána természetes lehűtés (kb. 5 óra). Ettől eltértek a 96 óráig szárított testek, amelyeknél 8 óra helyett 3 óráig tartott a 176°C-on való gőzölés. A megkülönböztetés kedvéért az előbbieket „8 óráig gőzölt”, az utóbbiakat „3 óráig gőzölt” jelzéssel közöljük. A betont a gőzölés befejezése után szárítókamrában szárítottuk.

A testeket a gőzölés és szárítás után 70% relatív nedvességtartalmú klímakamrában tároltuk. Ez a nedvességtartalom megfelel a tavaszi idők átlagos páratartalmának.

A zsugorodási testekkel azonos módon 3–3 kockát készítettünk a (7,07 cm-es élhosszúságú) törőszilárdság megállapítására.

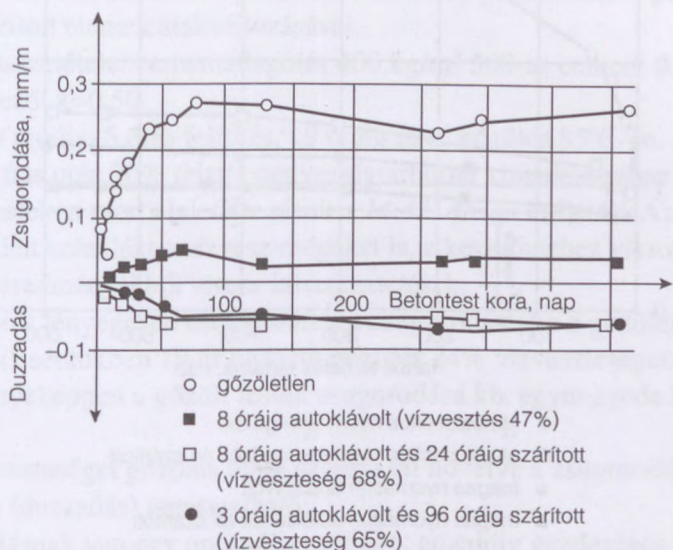
A kockák átlagos szilárdsága:

	Vízvesztesség %	Kockaszilárdság MPa
8 óráig autoklávolt	46	57,6
8 óráig autoklávolt és 24 óráig szárított	65	69,7
3 óráig autoklávolt	34	54,0
3 óráig autoklávolt és 96 óráig szárított	55	64,6

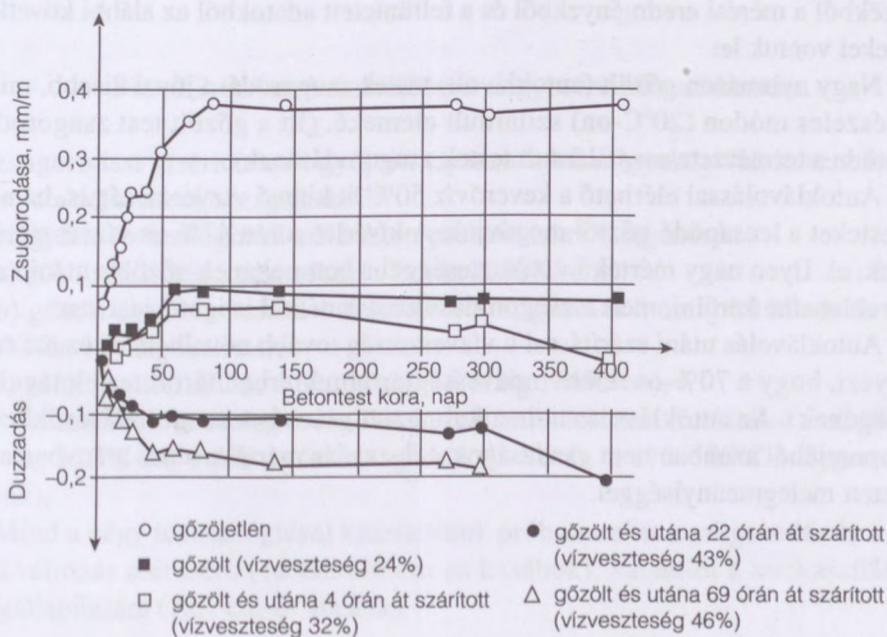


A nedvességtartalom csökkenését (vízvesztés) vagy növekedését a készítési vízhez (keverővíz) viszonyítottuk.

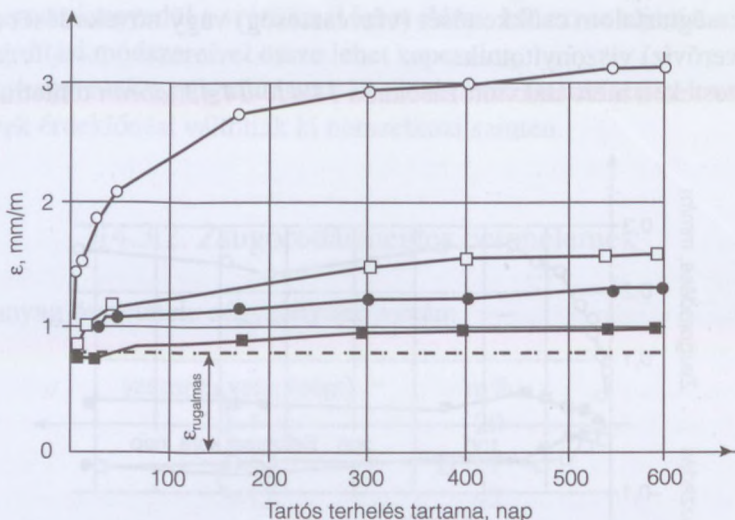
A próbatesteken mért alakváltozásokat a 14.41.–14.43. ábrán tüntettük fel.



14.41. ábra. Autoklávolt és szárított hasárok alakváltozása 70% relatív légnedvességű térben



14.42. ábra. Gőzölt és szárított hasárok alakváltozása 70% relatív légnedvességű térben



14.43. ábra. Különbözőképpen szilárdított és kezelt próbatestek lassú alakváltozása

Ezekből a mérési eredményekből és a feltüntetett adatokból az alábbi következtetéseket vontuk le:

a) Nagy nyomáson gőzölt (autoklávolt) testek zsugorodása jóval kisebb, mint a természetes módon (20°C-on) szilárdult elemeké. (Itt a gőzölt test zsugorodása együtöde a természetesen szilárdult testek zsugorodásának).

b) Autoklávóvalással elérhető a keverővíz 50%-át kitevő vízveszteség is, ha a betontesteket a lecsapódó gőztől megóvjuk. A kísérlet során 47%-os vízveszteséget értünk el. Ilyen nagy mértékű vízveszteséggel a betonelemek gőzölés utáni szárítását el lehetne kerülni, mert a zsugorodás szárítás nélkül is igen kicsi lesz.

c) Autoklávóvalás utáni szárítással a vízveszteség tovább növelhető és ez azt eredményezi, hogy a 70%-os relatív nedvességtartalmú térben tárolt testek tágulnak (duzzadnak). Az autoklávóvalás után alkalmazott szárítás a zsugorodáscsökkentés szempontjából azonban nem gazdaságos, a duzzadás mértéke nincs arányban a befektetett melegmennyiséggel.



### 14.3.2.2. Atmoszferikus nyomáson gőzölt betonelemek

A kísérletek alapján összehasonlítható a természetes módon szilárdult betontestek zsugorodása az atmoszferikus nyomáson (85°C-on) gőzölt, illetve gőzölt és utólag 85°C-on szárított elemek alakváltozásával.

A beton összetétele: cementadagolás 400 kg/m<sup>3</sup> 500-as cement (lábatlani), víz-cement tényező:  $x=0,50$ .

A gőzölés módja: 5 órás felfűtés, 19 óráig tartó gőzölés 85°C-on. A testeket gőzölés és szárítás után 70% relatív nedvességtartalmú klímakamrában tároltuk.

A próbatesteken mért alakváltozások a 14.42. ábrán láthatók. Az ábrán feltüntetjük az észlelt százalékos vízveszteségeket is, a keverővízhez viszonyítva.

A mérési eredményekből levont következtetések:

a) A gőzölés lényegesen csökkentheti a zsugorodást, ha a gőzölés vízvesztesége is okoz. (Esetünkben 19 óráig tartó gőzölés 24% vízveszteséget okozott, aminek eredményeképpen a gőzölt testek zsugorodása kb. egynegyede lett a gőzöletlenekénél.)

b) A vízveszteséget gőzölés utáni szárítással növelve a zsugorodás csökken, illetve tágulás (duzzadás) tapasztalható.

c) A szárításnak van egy optimális mértéke, ameddig gazdaságos lehet az alakváltozások szempontjából.

Összefoglalva: *Feltételezhető, hogy mind autoklávolás, mind gőzölés esetén – a technológiát módosítva – előállíthatók zsugorodásmentes betonelemek.*

### 14.3.2.3. A lassú alakváltozás nagymértékű csökkentése

A zsugorodási kísérleteknél gyűjtött tapasztalatokat igyekeztünk hasznosítani a lassú alakváltozások vizsgálatánál.

Négyféle technológiával szilárdított próbatesteket vizsgáltunk:

- a) gőzölt (felfűtés 5 óra, gőzölés 7 órán át 80°C-on),
- b) gőzölt és utána szárított (felfűtés 4 óra, gőzölés 8 óráig 80 °C-on és utána 85 °C-on 15 órás szárítás),
- c) autoklávolt (felfűtés 4 óra, gőzölés 8 óráig 176°C-on),
- d) autoklávolt és meleg levegővel kezelt próbatesteket (felfűtés 4 óra, gőzölés 6 óráig 176°C-on; utána a gőzt kiengedtük és 2 órán át 170–180°C melegen szárítottuk).

Mind a négy technológiával készítettünk próbatesteket a zsugorodás és a lassú alakváltozás mérésére (12×12×36 cm-es hasábok), valamint a kockaszilárdság megállapítására (7,07 cm-es kockák).

A próbatestek vízvesztését és szilárdságát a 14.8. táblázat szemlélteti.

A próbatesteket a gőzölés és szárítás után 2–4 napos kortól a laboratórium egyik helyiségében tároltuk. A tárolási hőmérséklet +12– +25°C között, a relatív nedvességtartalom 50–83% között változott. Előző kísérletek már igazolták, hogy a relatív nedvességtartalom kis ingadozása esetén a lassú alakváltozási kísérletekhez nem feltétlenül szükséges a próbatestek klímakamrában való tárolása.

14.8. táblázat. A próbatestek vízvesztése és szilárdsága

A technológia	Vízvesztés, %	Kockaszilárdság 2–4 napos korban, MPa	Hasábszilárdság 600 napos korban, MPa
a) Gőzölt	4–5	31,3	42,4
b) Gőzölt és szárított	46–51	41,3	33,7
c) Autoklávolt	34–42	59,1	51,9
d) Autoklávolt és meleg levegővel kezelt	52–67	60,1	37,8

A lassú alakváltozási testeket 2–4 napos korban terheltük.

A terhelés 16 MPa központos nyomás volt.

A tartós terhelést rugós terhelő készülékkel valósítottuk meg. Az alakváltozásokat 254 mm mérőhosszú Huggenberger-deformméterrel mértük, mintegy 600 napig. A mérésekből számított lassú alakváltozási értékeket a 14.43. ábrán tüntettük fel.

A kúszási tényezőket a 2.12. b) ábra szerint számítottuk.

A 14.9. táblázat tartalmazza a mérési eredményekből számított, 600 nap alatt bekövetkezett alakváltozásokat.

Következtetések:

a) Az alkalmazott technológiákkal a vízvesztéstől függően csökkenő zsugorodású betonelemeket állítottunk elő. Az autoklávolt és meleg levegővel kezelt be-

14.9. táblázat. 600 napos korban mért alakváltozások és a kúszási tényező

A technológia	Fajlagos megrövidülés mm/m			Kúszási tényező, $\varphi$
	zsugorodás	rugalmas alakváltozás	lassú alakváltozás	
a) Gőzölt	0,42	0,89	2,20	2,48
b) Gőzölt és szárított	0,21	0,83	0,55	0,66
c) Autoklávolt	0,17	0,81	0,47	0,58
d) Autoklávolt és meleg levegővel kezelt	0	0,74	0,26	0,35



tonelemek zsugorodásmentesnek tekinthetők, azaz kezelés után már nem zsugorodnak.

b) A szárítás, illetve a meleg levegővel való kezelés nagymértékben csökkenti a betontestek lassú alakváltozását. Gőzölt betonelemek lassú alakváltozását a szárítással egynegyedére csökkentettük.

Autoklávolt betonelemek lassú alakváltozása lényegesen kisebb, mint a gőzöltéké, még akkor is, ha a gőzölés hatására egyenlő vízveszteség következne be. Ez a jelenség az autoklávolt betonok egyéb tulajdonságaival függ össze, amire itt nem térünk ki.

#### 14.3.2.4. Csökkentett víztartalmú beton szilárdsága

Előzőkben láttuk, hogy a víztartalom csökkentése érdekében a betonszilárdítás ismert technológiáit módosítani lehet.

A beton meleg levegős szilárdítására (szárítás) külföldi és hazai kísérletek rendelkezésre állnak. A szárítás és a szilárdság közötti összefüggések vizsgálatára hazai kísérletek indultak, ezért az itt közölt adatokat csak kiegészítésnek szántuk.

A továbbiakban a gőzölt és szárított betonokkal elért szilárdsági eredményeket ismertetjük.

#### 14.3.2.5. Különböző víz-cement tényezőjű, gőzölt és szárított betonelemek szilárdsága

Kísérletek alapján összehasonlítható a különböző víz-cement tényezőjű autoklávolt és utólag szárított betonelemek szilárdsága.

A beton összetétele: cementadagolás  $450 \text{ kg/m}^3$  500-as cement (bélapátfalvai). Víz-cement tényező:  $x = 0,3; 0,4; 0,5$ . A gőzölés és szárítás módja: 5 órás felfűtés, 8 óráig tartó gőzölés  $176^\circ\text{C}$ -on. Gőzölés után a szárítás  $85^\circ\text{C}$ -on szárítókamrában.

Az eredmények a 14.44. ábrán láthatók.

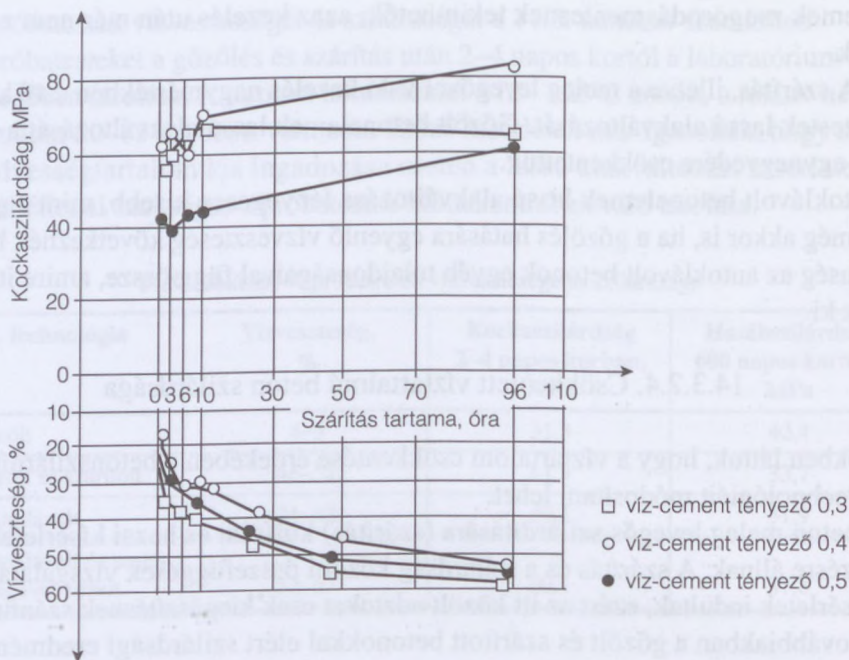
Az ábra a gőzölés, illetve szárítás után vizsgált elemek szilárdsági eredményeit tartalmazza. Az értékek három próbatést átlagát jelentik.

A kísérletből levont következtetések:

a) A kockaszilárdság a szárítás hatására nőtt. Kivételt képezett az igen kis víz-cement tényezőjű beton, amelynél a nagymértékű szárítás már a szilárdság rovására mehet.

b) Mind a vízveszteség, mind a szilárdság a szárítási idő kezdetén rohamosan, azután lassabban nőtt.

Itt megjegyezzük, hogy az első tömegmérést a gőzölés előtt 18 órában végeztük, addig a testeket 80-100% relatív nedvességtartalmú klímakamrában tároltuk. A próbatestek – amint az a 14.9. táblázat is mutatja – attól függően, hogy milyen víz-cement tényezővel készültek, a tárolás alatt száradtak vagy vizet vettek



14.44. ábra. Autoklávolt hasábok szilárdság- és vízmennyiség-változása a szárítás hatására

fel. Megjegyezzük még, hogy a 0 óráig szárított testek vízvesztése 15 kocka átlagát jelenti, a 3 óráig szárított testeké pedig 12 kockáét. Ilyenformán az autokláv-ból kikerülő összes próbatestet felhasználtuk, azokat is, amelyeknél kicsi volt a gőzölés hatására bekövetkező vízvesztéség.

#### 14.3.2.6. A szárított betonelemek későbbi szilárdsága

Ismert, hogy a betonelemek a meleg levegős szilárdítás után szabad levegőn tárolva vizet vesznek fel, és a szilárdságuk csökken. A szilárdságcsökkenés egyes esetekben igen nagymértékű lehet.

Az előzőekben közölt technológiák többek között azt a célt is szolgálják, hogy a későbbi szilárdságcsökkenést elkerüljük, vagy legalábbis számottevően csökkentjük.

Az autoklávolt és a gőzölési idő végén meleg levegővel kezelt beton szilárdítása olyan technológiának mutatkozik, amely nagymértékű vízvesztéséget okozhat anélkül, hogy a későbbi szilárdságot tetemesen csökkentené.

Az előző a.) pontban ismertetett összetételű próbatesteket 7 óráig 176°C-on autoklávoltva, és azután a gőz kiengedése után 1,5 óráig meleg levegővel kezelve a 14.10. táblázat szerinti eredményeket értük el.



**14.10. táblázat.** Autoklávolt, a gőz kiengedése után 1,5 órán át meleg levegővel kezelt próbatestek vízvesztesége és szilárdsága

Vízveszteség, %			Kockaszilárdság, MPa		
Autokláválás előtt	Autokláválás után	28 napos korban	Autokláválás után	28 napos korban	Víz-cement tényező
-47	-10	-20	65,4	57,6	0,3
23	77	72	65,8	69,6	0,4
23	85	80	35,4	44,4	0,5

Az „autokláválás” jelzésű oszlopokban a gőzölés és a melegkezelés után vizsgált kockák adatait látjuk. A 28 napos korban vizsgált testeket az autokláválás és melegkezelés után szabad levegőn tároltuk.

a) A szilárdság 28 napos korban nem csökken lényegesen. Csökkenést csak a 0,30-as víz-cement tényezővel készített (igen száraz) betonoknál tapasztaltunk.

b) A szilárdságcsökkenés oka a száraz betontesteknél tapasztalt nagymértékű vízfelvétel lehetett. (A 0,30-as víz-cement tényezőjű beton nedves térben tárolva, már az autokláválás előtt 47% vizet vett fel, és még az autokláválás után is megtartotta a felvett víz egy részét.)

c) A képlékeny, ill. földnedves konzisztenciájú betonelemek már a gőzölés előtti tárolás alatt veszítettek a keverővízből, és a későbbi kezelések során a vízveszteség 70–80%-os volt. Amennyiben a nagymértékű vízveszteség elérése egy fő szempont, akkor hatásos az autokláválás végén rövid, de erélyes (nagy hőmérsékletű) szárítás.

A gyakorlat azt mutatja, hogy a szárítással szilárdított betonok, amennyiben később – a levegőből vagy közvetlenül vízben áztatva – vizet kapnak, kisebb szilárdságúak lesznek, mint készítés után. Ez a szilárdságcsökkenés visszariasztotta nálunk a kutatókat attól, hogy a szárításos betonszilárdítási technológiákat az építőiparban kipróbálják. Az itt közölt eredményekből láthatjuk, hogy a szilárdságra előnytelennek látszó technológia milyen előnyös lehet az alakváltozások szempontjából. A szárításos technológiának nagy pozitívuma ez. Az általunk közölt eljárásokkal a szilárdságcsökkenés kisebb mértékű, mint akkor, ha a szárítást egyedül alkalmazzuk. Megjegyezzük még, hogy a szárítással kombinált szilárdítási eljárások olcsóbbak, mint a gőzölés. Erre ipari adataink nincsenek, de közismert, hogy a levegő melegítéséhez kevesebb kalória kell, mint az ugyanolyan hőfokú gőz előállításához. A gazdaságosságra mutatnak a következő laboratóriumi eredmények is.

A próbatesteket 8 órán át 72°C-on érleltük. A felfűtési idő 2,5 óra volt. Az 1. kísérletnél a gőzt villanyfűtéses laboratóriumi készülékkel fejlesztettük, a 2. és 3. kísérletnél 250 wattos infravörös lámpákat alkalmaztunk. Az itt közölt – infravörös



lámpákkal való – betonszilárdítási eljárást *Nippold* János mérnök dolgozta ki. A kísérleti eredmények a *14.11. táblázatban* találhatóak.

A 2. kísérletnél közvetlen gőzfejlesztésre a melegmennyiség 75%-át fordítottuk, míg a 3. kísérletnél a 33%-át. Az energiafogyasztás utóbbi esetben 44%-kal csökkent.

Az így elért szilárdságra fordított energia a kísérletek sorrendjében 2,26; 3,04, ill. 4.14 MPa/kWh.

**14.11. táblázat.** A szilárdításra és a szárításra fordított energia

A kísérlet sorszáma	A szilárdítás módja	Kockaszilárdság 1 napos korban, MPa	Energiafogyasztás, kWó
1.	Gőzfejlesztés villanyfűtéses laboratóriumi készülékkel	28,5	12,6
2.	Gőzfejlesztés 3 infravörös lámpával + 1 infravörös lámpával a levegő melegítése	30,4	10,0
3.	Gőzfejlesztés 1 infravörös lámpával + 21 infravörös lámpával a levegő melegítése	23,2	5,6

## 14.5. A tartós terhelés hatása a beton törőszilárdságára és rugalmassági modulusára

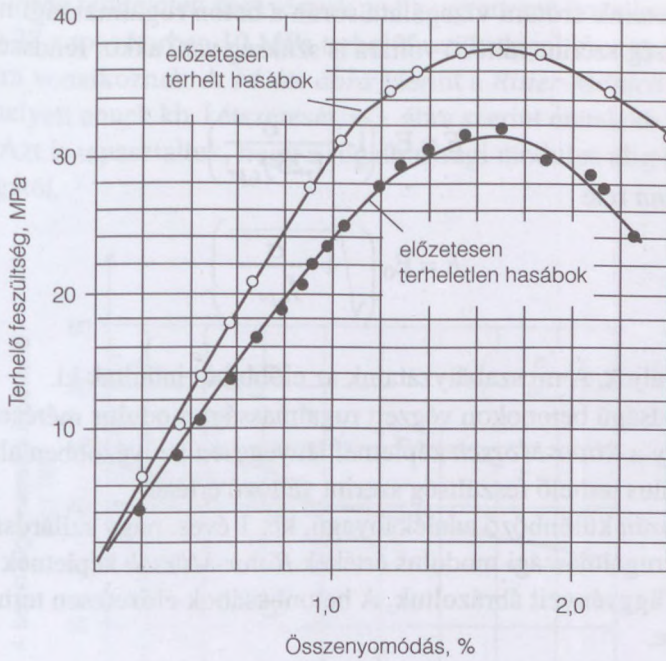
[Balázs (1960)]

Tartós terhelésnek alávetett betonhasáboknál megfigyeltük, hogy a tartós terhelés következtében azok törőszilárdsága és rugalmassági modulusa megváltozik. A továbbiakban az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem II. számú Hídépítéstani Tanszékén végzett kísérletekről számolok be röviden.

A *14.45. ábrán* olyan beton hasábpár feszültség-összenyomódási diagramját tüntettük fel, amelyek közül az egyik 261 napon át 16,8 N/mm<sup>2</sup> tartós terhelésnek lett alávetve. Ez az ábra együttesen szemlélteti mind a rugalmassági modulus, mind a törőszilárdság megváltozását.

A törőszilárdság a tartós terhelés hatására – eddigi kísérleteink szerint – majdnem minden esetben jelentősen megnőtt. Erre mutat példát a *14.12. táblázat*, ahol a 4. sorban feltüntetett értékek mészkő, az 5. sorban lévő diabáz, a 6. sorban feltüntetettek pedig bazalt adalékanyagú nagy szilárdságú betonokra, a többiek homokos kavics adalékanyagú nagy szilárdságú betonokra vonatkoznak. Ennek a szilárdságnövekedésnek az oka a betonváz terhelő feszültség következtében fellépő képlékeny alakváltozása, ill. tömörödése. Tehát a szilárdságnövekedés függ a betonváznak a megterhelés időpontjában meglévő szilárdságától, vagyis a beton ko-





14.45. ábra. Előzetesen terhelt és előzetesen terheletlen betonhasábok feszültség-összenyomódási diagramja

14.12. táblázat. Tartós terhelés hatására bekövetkező szilárdságnövekedés

Sorszám	Terheléskor a beton		Tartós terhelés ideje, nap	A tartós terhelés, MPa	Hasábszilárdság tehermentéskor, MPa		Szilárdságnövekedés az előzetesen terheletlen hasáb törőszilárdságához viszonyítva, %
	kora, nap	kockaszilárdsága, MPa			Előzetesen terheletlen hasáb	Előzetesen terhelt hasáb	
1.	33	–	720	10,0	17,5	21,2	21,0
2.	37	–	703	10,0	29,5	33,6	14,0
3.	7	46,3	261	16,8	31,6	38,0	20,0
4.	28	51,3	340	10,0	35,7	40,8	14,5 M
5.	28	53,9	340	10,0	36,4	40,0	13,3 D
6.	28	45,5	340	10,0	23,8	29,8	25,0 B
7.	28	49,6	340	10,0	34,9	35,0	–

rától, a terhelés mértékétől és kisebb mértékben a terhelés időtartamától. Azonban eme tényezők egyenkénti hatását nem ismerjük, így az alábbi táblázat csak az összehatásra ad képet. Mindenesetre ez a szilárdságtöbblet mint figyelembe nem vett tartalék jelentkezik szerkezeteink biztonsága szempontjából.

Ha szerkezeteink erőtani vizsgálata során a beton rugalmassági modulusának terhelő feszültség szerint változó voltára is szükség van, akkor rendszerint a *Ritter-Mörsch* féle

$$E = E_0 \left( 1 - \frac{\sigma}{1,25 f_{c,pr}} \right)$$

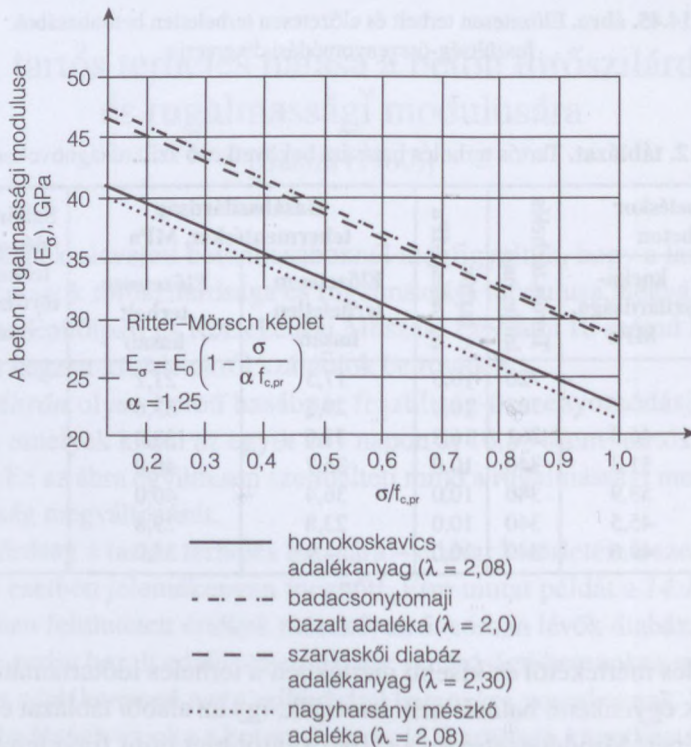
vagy a *Baumann* féle

$$E = E_0 \left( \sqrt{1 - \frac{\sigma}{f_{c,pr}}} \right)$$

képletet használjuk. A mi szabályzataink az előbbiből indultak ki.

Nagy szilárdságú betonokon végzett rugalmassági modulus méréseink azt bizonyították, hogy a *Ritter-Mörsch* képletnél lényegesen kedvezőbben alakul a rugalmassági modulus terhelő feszültség szerint változó értéke.

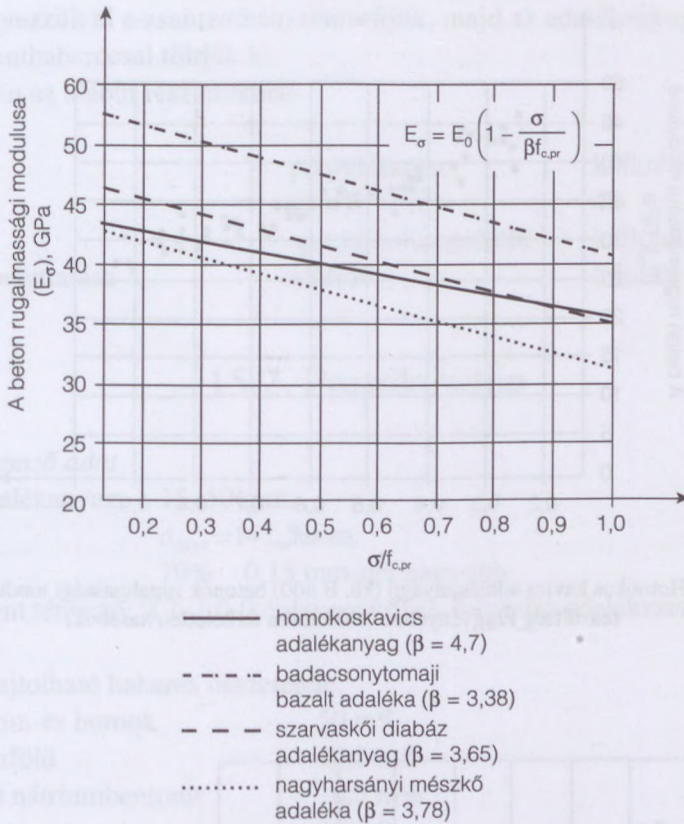
A 14.46. ábrán különböző adalékanyagú, kb. 1 éves, nagy szilárdságú betonhasábokon mért rugalmassági modulus értékek *Ritter-Mörsch* képletnek megfelelően kiegyenlített függvényeit ábráztuk. A betonhasábok előzetesen terhelésnek nem voltak alávetve.



14.46. ábra. Különböző adalékanyagú nagy szilárdságú betonok rugalmassági modulusa a terhelő feszültség függvényében (előzetesen terheletlen hasábok)



A 14.47. ábrán feltüntetett függvények pedig ugyanezen betonhasábokkal együtt készített, de 28 napos korban 10 MPa terhelőfeszültséggel kb. egy évig terhelt betonhasábokra vonatkoznak. A 14.46. ábra szerint a Ritter-Mörsch képletben szereplő 1,25 helyett ennek kb. kétszeresét, a 3. ábra szerint ennek kb. a háromszorosát kaptuk. Azt is tapasztaltuk, hogy a rugalmassági modulus alig függött a beton adalékanyagától.

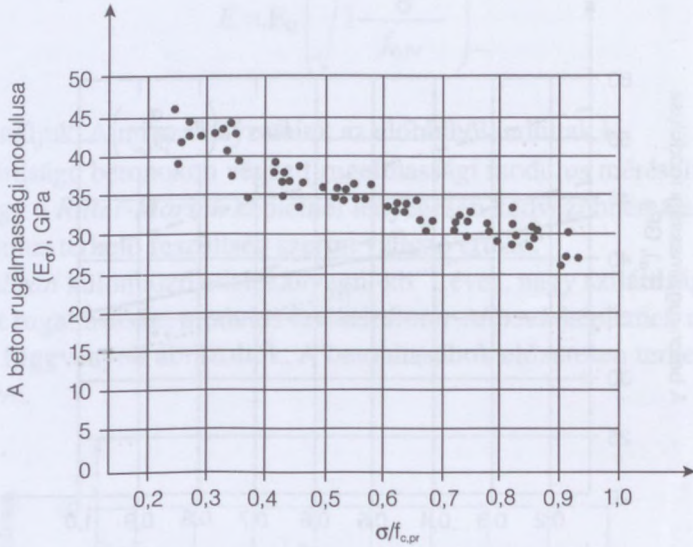


14.47. ábra. Különböző adalékanyagú nagy szilárdságú betonok rugalmassági modulusa a terhelő feszültség függvényében (előzetesen 10 MPa tartós terhelésnek alávetett hasábok)

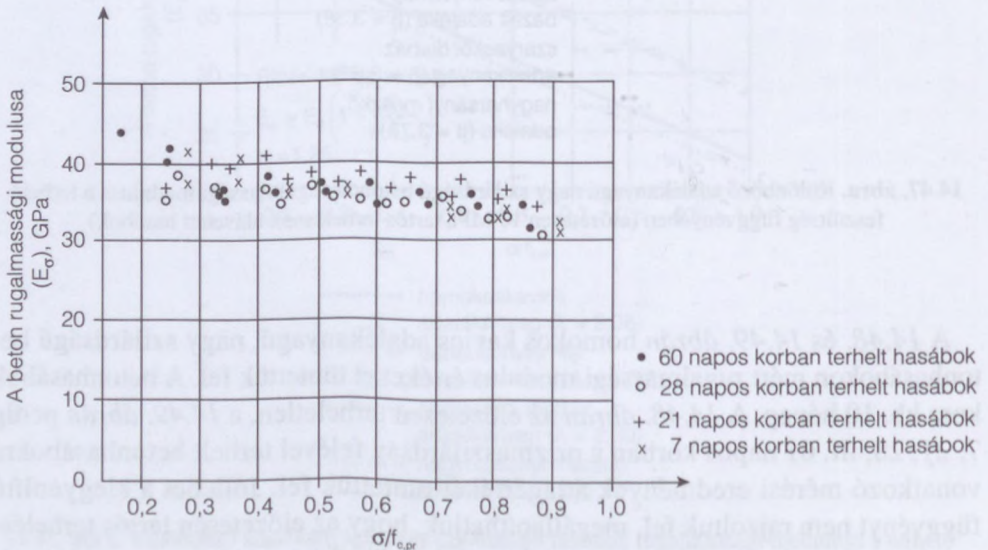
A 14.48. és 14.49. ábrán homokos kavics adalékanyagú, nagy szilárdságú betonhasábokon mért rugalmassági modulus értékeket tüntettük fel. A betonhasábok kora kb. 10 hónap. A 14.48. ábrán az előzetesen terheletlen, a 14.49. ábrán pedig 7, 21, 28, ill. 61 napos korban a prizmaszilárdság felével terhelt betonhasábokra vonatkozó mérési eredmények átlagértékét tüntettük fel. Jóllehet a kiegyenlítő függvényt nem rajzoltuk fel, megállapíthatjuk, hogy az előzetesen tartós terhelésnek kitett betonhasábok rugalmassági modulusa kevésbé csökken a terhelés hatá-

sára, mint az előzetesen terheletlen hasáboké, és hogy a rugalmassági modulusban nincs kimutatható különbség aszerint, hogy 7, 21, 28 vagy 60 napos korban terheljük meg tartós terheléssel a betonhasábokat.

A nagy szilárdságú beton terhelés szerint változó rugalmassági modulusa tehát kedvezőbb, mint az általánosan használt Ritter-Mörsch képlet által megadott érték, és lényegesen kedvezőbb, ha a beton tartós terhelés alatt volt.



14.48. ábra. Homokos kavics adalékanyagú (kb. B 400) betonok rugalmassági modulusa a terhelő feszültség függvényében (előzetesen terheletlen hasábok)



14.49. ábra. Homokos kavics adalékanyagú (kb. B 400) betonok rugalmassági modulusa a terhelő feszültség függvényében (előzetesen a hasábszilárdság felével terhelte hasábok)



# 15. Prepaktbeton, kolkrébeton

## 15.1. Fogalma

Közös a két technológiában, hogy a betonépítmény helyén először a durva adalékanyagot helyezük el a zsaluzatban, tömörítjük, majd az adalékanyagváz hézagait utólag cementhabarccsal töltjük ki.

Eltérés van az alábbi részletekben

	prepaktbeton	kolkrébeton
$d_{\min}$ , mm	15	40
habarcs	speciális összetételű	kolloidhabarcs
habarcs bejuttatása	alulról	felülről

## 15.2. Prepaktbeton

### Néhány jellemző adat

Durva adalékanyag: 15–50 mm,

Homok:  $d_{\max}=1-1,5$  mm,  
70% 0,15 mm-nél nagyobb.

Víz-cement tényező: 0,7–1,0 (képlékenyítővel, folyósító adalékszerrel csökkenthető)

A jól besajtolható habarcs összetétele:

0,1–1,2 mm-es homok	50 m%
őrölt kovaföld	16,5 m%
stabilizált nátriumbentonit	0,5 m%
portlandcement	33 m%

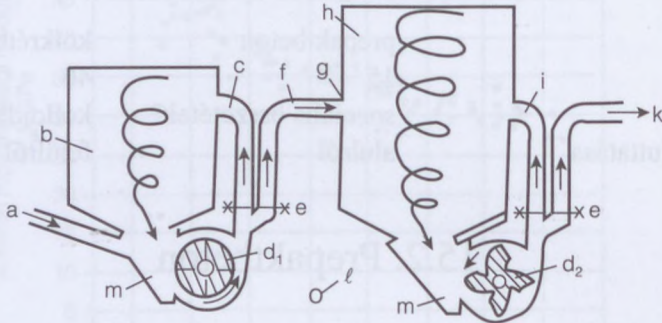
A habarcsot nyomással alulról juttatjuk az adalékvázba. Sajtolás után tömörítés következik. Nagy és igen nagy tömegű szerkezetek készítésére elsősorban alkalmas.

## 15.3. A kolkrétbeton

### 15.3.1. Fogalma

A beton nélkülözhetetlen része a kolkrét kolloidhabarcs, amit a 15.1 ábra szerinti kétdobos keverőben állítunk elő.

Az egyikben előállítjuk a kolkrét cementpépet, ami a nagy fordulatszámú kolloidkeverőben előállított, nagymértékben gélesedett cement-víz szuszpenzió (kolloid cementpép). A keverés időtartama legfeljebb 30 másodperc.



**15.1. ábra,** Kétdobos kolloidhabarcs-keverő berendezés vázlata. a) víz; b) cement; c) a cementvízkeverék a  $d_1$  centrifugál szivattyú segítségével ebbe a körfolyamrendszerbe kerül; e) szelep; f) összekötő vezeték a másik keverődobhoz a cementkeverék számára; g) tangenciális csatlakozóvezeték örvény előállítására; h) homok; i) a második körfolyamatrendszer a cementvíz-homok keverék számára a  $d_2$  centrifugál szivattyúval; k) ürítés; l) transzmisszió; m) szivattyúház.

A másikban készítjük a kolloidhabarcsot, amely a kolloid cementpép és durva, max. 5 mm átmérőjű homok keveréke.

A kolloidbeton a zsaluzatba előre elhelyezett durva, min. 40 mm átmérőjű adalékanyag hézagainak kolkrét habarccsal való kitöltése révén készített beton. A kitöltés módja gravitációs, vagy injektálásos módszer.

A nagy fordulatszámú keverés következtében a kolloid cementpép és habarcs tulajdonságai:

- A keverőben fellépő nyíróerők és nyomások a cementszemcséket tökéletes diszpergálják és nedvesítik.
- A képződő gélburkolat a nyíróhatást folyamatosan eltávolítja és ezzel új felületek kerülnek vízzel érintkezésbe, ami a cement nagyfokú gélesedését és a cementpép kolloidális tulajdonságait hozza létre.
- A habarcs nem osztályozódik szét, vízleadása (vérzés) csak elhanyagolható mértékű.



- A gélesedés által elegendően folyós ahhoz, hogy nagy távolságra legyen szivattyúzható és a durva adalékanyag hézagait egyenletesen kitöltse.
- A cementpép gélesedése folytán a habarcs és a durva adalékanyag, továbbá acélbetétek között nagy felületi kötés alakul ki.

### 15.3.2. A kolkrébeton előnyei

- 20–25% cement megtakarítás.
- Zsugorodásmentes beton.
- Víz alatti beton a szárazon készített betonnal azonos minőségű, a beton 60–70%-át (durva adalékanyag) nem kell megkeverni, a betont nem kell vibrálni, kis gépi berendezés kell, a legnagyobb  $d_{\max}$ -ot csak a szerkezet méretei korlátozzák, kis szakmunkásigény, időjárástól eléggé független.

### 15.3.3. Anyagai

- Bármelyik szabványos cement megfelel.
  - A homok legyen éles szemű  
 $d_{\max} \leq 5 \text{ mm}$ ,  
 agyag-iszap  $\leq 2 \text{ V\%}$ .
  - Durva adalékanyag  
 $d_{\max} \leq 40 \text{ mm}$ .
- A nedvszívó anyagot előzetesen nedvesíteni kell.  
 $d_{\max}$ -ot a szerkezet méretei korlátozzák az esetleges iszap- és agyagszennyeződést mosással el kell távolítani. Feleljen meg a tartóssági követelményeknek.
- Kiegészítő anyagok.
- Kiegészítő anyagok használatára általában nincsen szükség. Különleges követelmények kielégítésére bentonit, kötéskeleltető, konzisztenciajavítók, légbuborék-képző, esetleg pigmentáló anyagok felhasználhatók a szóban forgó termékre vonatkozó előírások figyelembevételével, illetőleg elővizsgálatok eredményei alapján.
- Víz.
- A keverővíz feleljen meg a hagyományos módon készülő betonokra vonatkozó előírásoknak.

### 15.3.4. Betontervezés

A kolkkrétbeton szilárdságát a benne lévő habarcs szilárdsága határozza meg, ez viszont a szokványos betonhoz hasonlóan a cement minőségétől, mennyiségétől és a víz-cement tényezőtől függ.

Ha a hézagtartalom (durva adalékanyagú) 0,4 és a cement 350 ppc 20 jelű, akkor a betonösszetétel a 15.1 táblázat szerint vehető fel.

15.1. táblázat. A kolkkrétbetonok keverési arányai

Beton nyomószilárdsága MPa	Cement: homok tömegarány	Víz-cement tényező	Cementadagolás kg/m <sup>3</sup>
35	1:1,25	0,50	286
30	1:1,5	0,60	265
25	1:2	0,66	238
20	1:3	1,00	170
10	1:4	1,30	135

A víz-cement tényezőben benne van a homok nedvességtartalma is.

Víz alatti kolkkrétbetonok szilárdsága függ a durva adalékanyag vízfelvevő képességétől is. Kvarckavics használata esetén a felszínen készített kolkkrét betonéval azonos szilárdság várható. Nedvszívó (ma CEM II/B-V32,5) anyag, pl. bontási betontörmelék, zúzott mészkő esetén a szilárdság kb. 10%-os csökkenésével kell számolni.

Víz alatti kolkkrét tömegbetonok készítése esetén az alsó, kb. 80 cm vastag réteg számára 1:1,5 cement:homok arányú habarcsot kell előírni, a felette lévő rétegekben ez az arány 1:2-re növelhető.

Az olyan munkákon, ahol a kolloid habarcs közvetlenül, finombetonként kerül felhasználásra (pl. textilszalutátú betonszőnyeg), a keverési arányokat a megkívánt betonszilárdság függvényében a 15.2. táblázat adja meg.

15.2. táblázat. A kolkkrétbetonok keverési arányai

Beton nyomószilárdsága MPa	Cement: homok tömegarány	Víz-cement tényező	Cementadagolás kg/m <sup>3</sup>
30	1:2	0,65	575
25	1:2,5	0,75	510
20	1:3	0,85	440
10	1:4	1,15	355



A kolloid habarcs szükséges konzisztenciáját a kifolyási hosszal jellemezzük. E célra speciális eszközt használunk.

A mérés lényege tölcséres viszkoziméter. Az 1 liter térfogatú tölcsérhez fémlemezről készített, cm beosztással ellátott, libellával vízszintesre állítandó vályú csatlakozik. A nedvesített tölcsért habarccsal megtöltjük, a záródugót eltávolítjuk, a habarcs a vályúban a viszkozitásától függő távolságra folyik. Ez a távolság a *kifolyási hossz*, amely a vályú cm beosztásán leolvasható.

A szükséges kifolyási hossz alábbi:

száraz kőszórás kihézagolása	25–30 cm,
nedves kőszórás kihézagolása	15–20 cm,
tömegbeton víz felett	35–40 cm,
tömegbeton víz alatt	45–55 cm.

### 15.3.5. Munkahelyi vizsgálatok

- Homok szemmegoszlása (2.3.3.1. fejezet).
- Homok nedvességtartalma (2.3.6. fejezet).
- Kolloid habarcs viszkozitása tölcséres viszkoziméterrel (15.3.4. fejezet).
- A kolloid habarcs dermedési ideje azt az időtartamot adja meg, amíg a habarcs folyadékként viselkedik.

Több injektálócsőves injektálás esetén a dermedési idő megadja, hogy mennyi ideig szakítható félbe a csőben az injektálás.

Vizsgálat: 1,80 m hosszú injektálócsőbe habarcsot teszünk. Alul bedugózzuk. A készítés után 1–2 órával megkezdjük a vizsgálatot, majd 15–20 percenként ismétljük. Az első olyan cső, amelyből a habarcs csak ütögetésre folyik ki, adja a dermedési időt.

Tömegbetonok készítése során az injektálócsőveken kívül ellenőrző csöveket is el kell helyezni a pillanatnyi habarcsszint meghatározására. Szárazbani betonozás esetén erre a célra résezt csövek és a habarcsszintet közvetlenül jelző eszközök (mérőlánc, mérővessző) is használhatók. Víz alatti betonozási szint vizsgálatára elektromos kútvízszintjelző berendezés alkalmas, mivel a habarcs elektromos vezetőképessége a víz vezetőképességének három-ötszöröse. Zárt, vékony falú észlelőcsövekben termisztoros távhőmérő használata bizonyult célszerűnek, tekintve, hogy a friss habarcs hőmérséklete (kb. 25°C) az időjárástól függően változó mértékben, de mindig nagyobb a környezeténél a hidratációhő miatt.

### 15.3.6. A szilárd beton minőségének ellenőrzése

A durva adalékanyag szemcseméretei következtében legalább 40 cm élhosszúságú próbakockákra lenne szükség, ezek azonban nehezen kezelhetők és törhetőek. A beépítés módjából következően a próbatestek elkészítéséhez különleges sablonokra lenne szükség. Ha a szerkezet hozzáférhető, akkor sokkal nagyobb szerep jut tehát a beépített, megszilárdult beton roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatának (MSZ EN 13791:2007).

### 15.3.7. Alkalmazás

#### 15.3.7.1. A beton összetétele

Adott keverési arány esetén a DD8 típusú kolkrét keverőberendezésbe adagolandó anyagmennyiségeket úgy kell meghatározni, hogy egy adagba legfeljebb 150 kg száraz homok kerüljön.

Példa B280 (~C20/25) jelű beton adagszámítására

Adott: a keverési arány, cement:homok = 1:1,75,

víz-cement tényező = 0,6,

a homok nedvességtartalma 6 tömeg%.

A homok mennyisége  $1,06 \times 150 = 159$  kg,

A homok víztartalma  $0,06 \times 150 = 9$  kg,

A cement mennyisége  $150 : 1,75 = 85$  kg,

A keverővíz mennyisége  $(85 \times 0,6) - 9 = 42$  kg.

A megkevert habarcs térfogata (közelítően)

Cement 85:3,10 27,5 liter

Homok 150:2,6 57,5 liter

Víz 51,0 liter

136,0 liter

A tiszta, 3,0 körüli finomsági modulusú homokkal készített habarcs várható kifolyási hossza 40 cm körül lesz. A kívánt felhasználási célnak megfelelő viszkozitás a vízmennyiség kismérvű változtatásával, vagy folyósító adalékszer adagolásával állítható be.

#### 15.3.7.2. Keverési idő

Az anyagok a DD8 típusú kolkrét keverőbe célszerűen automatikusan, mérlegadagolókon, ill. vízórán keresztül adagolandók. Egy adag keverési ideje kb. 30 s, hosszabb ideig tartó keverés a habarcs minőségét nem javítja.



### 15.3.7.3. A kolloid habarcs szállítása

A kolkrét keverőgép a megkevert habarcsot kerekén  $1,5 \text{ atm}$ . nyomással üríti és így  $50\text{--}55 \text{ mm}$  belső átmérőjű tömlőn kb.  $50 \text{ m}$  távolságra képes hatékonyan eljuttatni. Mivel a habarcs adagokban, lökészerűen, nagy sebességgel ürül, ami pl. a kavicsváz egyenletes kitöltését nem biztosítja, még akkor is célszerű habarcsszivattyú közbeiktatása, ha a betonozás helye ezen a távolságon belül van.

*A szivattyú zavarmentes, megbízható üzeme a kolkrébeton-munkák egyik előfeltétele.*

A szivattyú és a munkahely közötti szállítóvezeték  $\text{Ø}50\text{--}55 \text{ mm}$  nagy nyomású tömlő. Az egyes szakaszok toldására bajonettzáras gyorskapcsolás alkalmazandó. A tömlőt a munka tartósabb félbeszakításakor (15.3.5. *dermedési idő*) *gondosan ki kell tisztítani.*

Dugulásokat nehezen szivattyúzható habarcs, tömítetlen, vagy bekérgesedett tömlő és nem megfelelő keverés idéz elő. A dugulás tényét a manometrikus nyomás hirtelen megnövekedése jelzi. *Dugulásra az igen hűg, vagy igen száraz habarcsok hajlamosak (55 cm-nél nagyobb, vagy 10–15 cm-nél kisebb kifolyási értékekkel).*

### 15.3.7.4. Tömegbetonok víz felett

A kolkrét eljárással víz feletti tömegbeton 3 módszerrel készíthető:

1. A kőváz hézagainak kitöltése felülről, gravitációs úton. A habarcsot a zsályzatba elhelyezett kőváz felületére terítik és az a gravitáció hatására tölti ki a hézagokat. A módszer a felülethez képest kis vastagságú, lemezszerű szerkezetek (pl. út- és térburkolatok) betonozására alkalmazható előnyösen.

2. A kőváz hézagainak kitöltése alulról felfelé.

a) Mérsékelt,  $1,0\text{--}1,5 \text{ m}$  vastagságú szerkezetek esetén a durva adalékanyag  $1,8\text{--}2,0 \text{ m}$  oldalhosszúságú hálózatban betonacélból készített kosarak köré helyezendő. A habarcs az injektáló tömlőből az így kialakított aknába kerül és oldalirányban szétterülve tölti ki a hézagokat. Az aknák utólag durva adalékanyaggal kitöltendők.

b) Nagy, kb.  $1,5 \text{ m}$  feletti vastagságú szerkezetek esetén a durva adalékanyagot  $1,5\text{--}2,5 \text{ m}$  oldalhosszúságú hálózatban előre elhelyezett és megfelelően rögzített injektálócsövek, valamint alkalmasan kiosztott  $\text{Ø}40\text{--}50 \text{ mm}$  észlelőcsövek köré kell elhelyezni. Az injektálócsövek alul nyitottak, a kitöltés előrehaladtával párhuzamos kihúzás megkönnyítése érdekében  $1,20\text{--}1,50 \text{ m}$  hosszú darabokból készülnek, amelyek egymáshoz bajonettzáras gyorskapcsolással csatlakoznak. Az injektálócsöveket a *zsályzattól*, vagy más, a betonba *ágyazandó simafalú szerkezettől*  $0,8\text{--}1,0 \text{ m}$  távolságra kell elhelyezni, mivel az ilyen felületek mentén az ellenállás kisebb, mint az adalékanyag hézagaiban és a habarcs könnyebben emelkedik fel.



Ennek következtében fennáll a légzárvány-képződés veszélye. A durva adalékanyag elhelyezése után az injektálósöveket kb. 10 cm-rel meg kell emelni.

A habarcsot (kifolyási hossz = 30–40 cm) az alábbi szempontok figyelembevételével kell injektálni.

- A habarcsszint emelkedése ne legyen túl gyors, mert ez megakadályozná a megfelelő oldalirányú szétterülést. Közönséges zsaluzat esetén legfeljebb 25 cm/óra egyenletes emelkedést célszerű előírni, de 35–40 cm/óra is megengedhető, ha a zsaluzat a friss habarcs oldalnyomását elbírja. (Ez durván  $2000 \text{ kg/m}^3$  sűrűségű folyadék hidrosztatikus nyomásával egyenlő).
- A zsaluzat biztosítsa a durva adalékanyag megfelelő lehatárolását és legyen elég vízzáró a vízzel közel azonos folyósságú habarcs elszökésének megakadályozására.
- Olyan szerkezetek esetén, amelyek felső felülete kb. 1:6 hajlásnál nem meredekebb, felső zsaluzatra nincsen szükség. Ennél meredekebb felső felületeket zsaluzattal kell kialakítani és az ilyen zsaluzatot a habarcs felhajtóerejének felvételére alkalmas módon le kell horgonyozni.
- A habarcsot folyamatosan kell injektálni, mert megdermedt habarcs oldalirányú szétterülése csak nehezen indítható meg újra, ami egyenlőtlen minőséget és rétegződést idéz elő.
- A friss habarcs ne bontson meg már megdermedt (de még nem kötött!) habarcsot, de ilyenhez még kifogástalanul köt.
- Az egyes rétegek injektálása után az injektálósöveket meg kell emelni, úgy-hogy kiömlőnyílásuk felett legalább 15 cm vastag habarcsréteg maradjon.
- Ha nagyobb vastagságú szerkezetek injektálása során az injektálóső egy-egy kihúzott darabját ki kell iktatni, ezt csökkentett nyomás melletti injektálás (habarcsszállítás) közben kell elvégezni, hogy a csőben légzárványok kialakulását megakadályozzuk.

c) Viszonylag keskeny, de nagyobb vastagságú szerkezetek (pl. zsilipkamrafenék) esetén a kolkrét beton előnyösen a *haladó front* módszerrel készül. Ennél az injektálósövek sorokban helyezendők el. A *sorok távolsága* a dermedési időtől és a habarcsnak a durva adalékanyag hézagaiban kialakuló rézsűhajlásától függ, tájékoztatólag *3,5 m-ben vehető fel*. A habarcs rézsűhajlását annak viszkozitása, a durva adalékanyag szemmegoszlása, szemcsealakja és a hézagok mérete, az injektálás üteme és folyamatosága befolyásolja, tájékoztatólag 1:6 értékkel vehető figyelembe. *A sorokon belül az egyes csövek távolsága kb. 1,5 m.*

Az injektálást az első sorban mindaddig végezzük, amíg a habarcs a durva adalékanyag felszínére nem lép, majd a második (és mindenkor következő) sorra átterve ugyanígy folytatjuk. Az előző sor csöveit folyamatosan kihúzzuk és megtisztítjuk. Miután a habarcs az utolsó sorban is megjelent a felszínen, a munkát az egyes sorok között esetleg megmaradt vápák felülről, gravitációs úton történő kitöltésével fejezzük be.



### 15.3.7.5. Tömegbetonok víz alatt

Víz alatti kolkrét tömegbetonok készítésére a 15.3.7.4. alattiak vonatkoznak az alábbi kiegészítésekkel:

1. Fokozott gondot kell fordítani annak megakadályozására, hogy a durva adalékanyag hézagaiba iszap- vagy homokszennyezés kerüljön. A gondosan megtisztított fenékre ezért az altalaj minőségétől függően célszerű 5–10 cm vastag alapréteget helyezni tömlőn lejtuttatott kolkrét habarcsból. Egnapos kötés után erre helyezendő a durva adalékanyag. Az első réteget célszerűen markolóval vagy más alkalmas módon úgy kell elhelyezni, hogy az alapréteg ne sérüljön meg.

2. Az alsó, kb. 50 cm vastag réteget 1:1,5 cement:homok arányú keverékkel kell injektálni, majd miután az injektálócsövek alsó vége felett megfelelő vastagságú habarcsréteg alakult ki, a keverőarány 1:2-re módosítható. További 50 cm vastag réteg elkészítése után a homok részaránya tovább növelhető, de az 1:3 értéket ne haladja meg.

3. *Egyidejűleg csak 1 csőbe szabad injektálni.* Az elágazásokat ezért zárható módon, váltócsappal kell kialakítani.

4. Az injektálócsövek számának megállapításakor a 15.3.5. fejezet szerint meghatározott *dermedési idő felét* kell figyelembe venni.

5. Az egyes csődarabok kihúzás közbeni eltávolításakor a 15.3.7.4.-ben megadottak szerint kell eljárni, hogy ezzel légzárványok kialakulását megakadályozzuk.

6. Az észlelőcsöveket különös gonddal kell elhelyezni és abban a habarcsszint emelkedését rendszeresen észlelni.

7. Amennyiben zsaluzat alkalmazása válik szükségessé, az biztosítsa a durva adalékanyag megfelelő lehatárolását és akadályozza meg a friss kolkrét habarcs elszökését. A külső víznyomás folytán mérsékeltebb vízzárási követelményeket kell kielégíteni, mint víz felett készülő kolkrétbetonok zsaluzata esetén. Gondosan vert Larssen-szádfal vízzárósága általában megfelel.

### 15.3.7.6. Kőszórások kibetonozása

Kőszórások hézagainak kolloid habarccsal történő kitöltése révén vízzáró, szilárd, stabil, hullámverésnek és mechanikai hatásoknak nagymértékben ellenálló burkolat keletkezik. A burkolat minőségileg felülmúlja mind a kihézagolt, mind a betonba ágyazott terméskőburkolatot. A kitöltés mélysége a habarcs konzisztenciájának szabályozásával kb. 20–40 cm között változtatható. Mivel a habarcs vízzel nem keveredik, a munka víz alatt áramló vízben (kb. 2 m/s áramlási sebességig) és mérsékelt hullámverésben (20–30 cm hullámmagasságig) is végezhető. A kibetonozás után 2–3 órával a burkolat már rohanó víz vagy erős (2–3 m hullámmagasság) hullámverés hatásának is ellenáll.

A kibetonozás célszerűen 1:2–1:2,5 cement:homok arányú habarccsal történik. Elsősorban víz alatti munkákon törekedni kell a 15.3.4. fejezetben megadott kifolyásihossz-tartomány alacsonyabb értékeit (kifolyási hossz = 15–17 cm) mutató habarcsok alkalmazására.

A szállítóömlőre legfeljebb 2 db 15 m hosszú, Ø30–32 mm munkatömlő csatlakoztatandó. Ez utóbbiak könnyű, Ø30–32 mm kihézagolócsőben végződnek, amelyek vége – a hézagok hatékonyabb kitöltése érdekében – oválisra alakítható.



# 16. Pörgetett beton

[Csutor (1967)]

## 16.1. Fogalma

A pörgetés körszimmetrikus beton, vasbeton és feszített vasbeton elemek (csövek, távvezeték-oszlopok stb.) elterjedt tömörítési módszere.

A tömörítés azáltal jön létre, hogy csavarkötéssel mereven összekapcsolt két félhengerből álló acélsablont nagy sebességgel megforgatnak, és a zsaluzatban lévő betont a centrifugális erő a zsaluzat falának nyomja, miközben a beton tömörödik. A centrifugális erő a beton teljes anyagsűrűségének, az elem névleges sugarának és a fordulatszámnak a függvénye. A tömörödés elméletét Csutor (1967) részletesen ismertette.

## 16.2. A pörgetett beton

A falvastagság irányában inhomogén beton keletkezik.

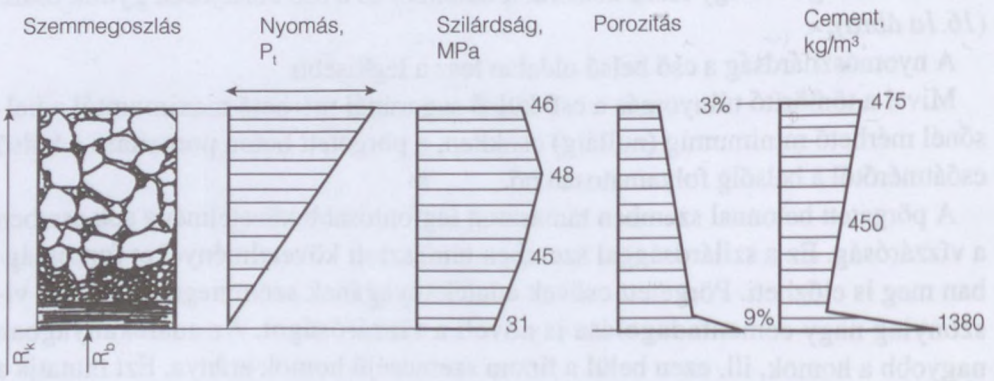
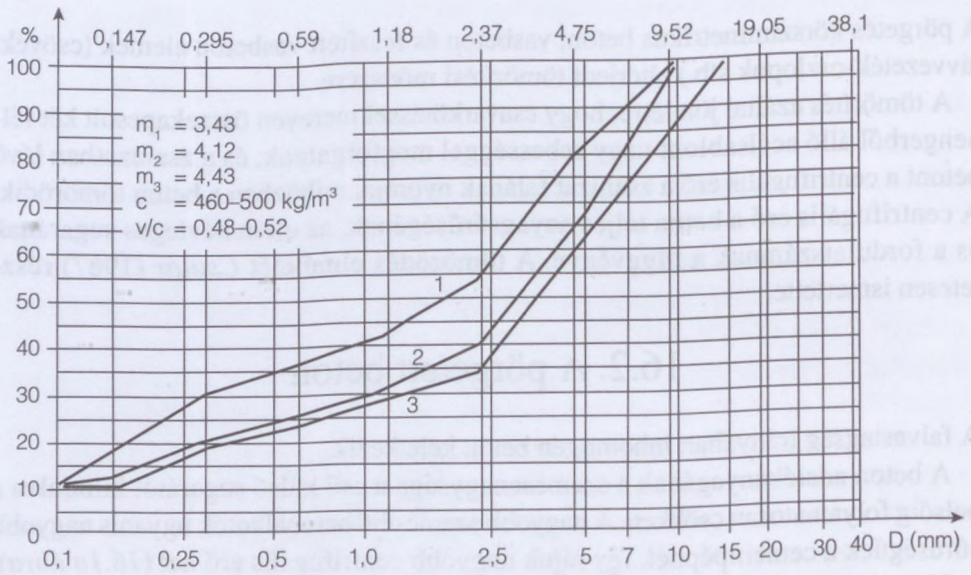
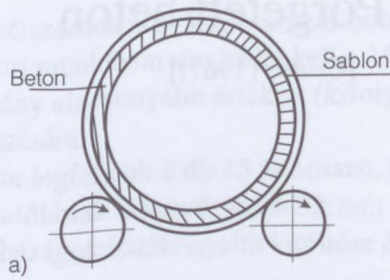
A beton adalékanyagának a szemcsenagysága a cső külső sugarától kiindulva a belsőig folyamatosan csökken. A nagyobb szemcséjű betonalkotók ugyanis nagyobb sűrűségűek a cementpépénél, így rájuk nagyobb centrifugális erő hat (16.1a ábra).

Ugyanezen oknál fogva a pörgetett beton cementtartalma a forgásközéppont felé nő. A cső belső sugara mentén a cement jelentékeny hányada kicsapódik. A legkisebb sűrűségű víz egy része kiszorul a betonból és a cső belsejében gyűlik össze (16.1a ábra).

A nyomószilárdság a cső belső oldalán lesz a legkisebb.

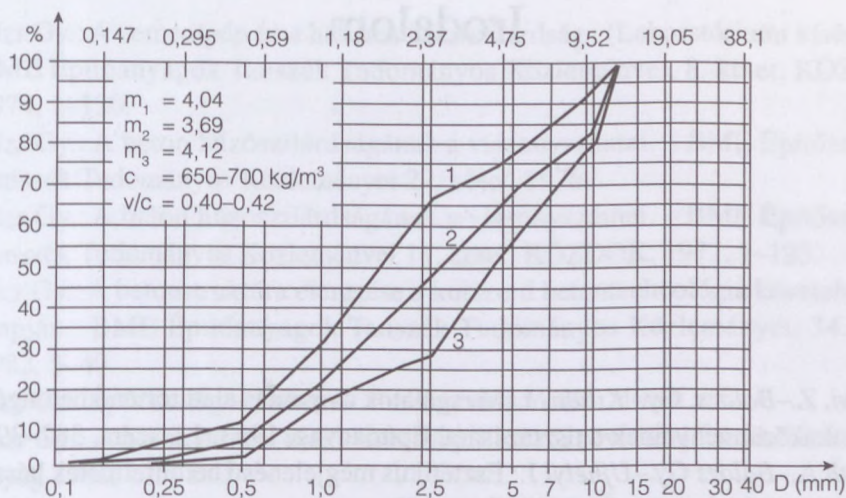
Mivel a tömörítő túlnyomás a cső külső sugaránál mérhető maximumtól a belsőnél mérhető minimumig (nulláig) csökken, a pörgetett beton porozitása a külső csőátmérőtől a belsőig folyamatosan nő.

A pörgetett betonnal szemben támasztott legfontosabb követelmény sok esetben a vízzáróság. Ez a szilárdsággal szemben támasztott követelményeket fontosságban meg is előzheti. Pörgetett csövek adalékanyagának szemmegoszlása és a viszonylag nagy cementadagolása is növeli a vízzáróságot. Az adalékanyagban nagyobb a homok, ill. ezen belül a finom szemcséjű homok aránya. Ezt mutatja a 16.1., 16.2. és 16.3. ábra szemmegoszlási diagramja.

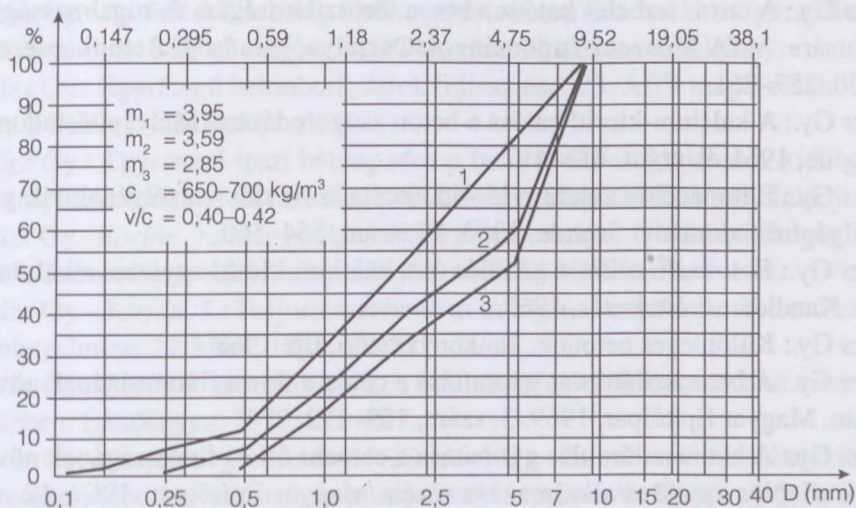


16.1. ábra. Pörgetett beton: a) pörgetőrendszer, b) betonösszetétel pörgetettbeton-csövekhez cseh szlovák csőgyárakban, c) pörgetett beton inhomogenitása (Csutor J., 1967)





16.2. ábra. Betonvariációk előrefeszített pörgetett Ø100 cm-es vasbeton nyomócsövekhez román csőgyárakban (Csutor J., 1967)



16.3. ábra. Betonvariációk Ø40-Ø80 cm-es előrefeszített pörgetett vasbeton nyomócsövekhez (Csutor J., 1967)

Pl. a MÁV villamosított vonala tartóoszlopainak betonösszetételei a 16.2. ábrán:

cement: 650–700 kg/m<sup>3</sup>,

$d_{max}$ : 8–10 mm,

a kezdeti víz-cement tényező a pörgetés végére 0,38–0,42 értékre csökken.

Pörgetés: 250–500 m/s,

tartama 10–15'

Néhány óra múlva kiszaluzható.

- Adonyi, Z.–Balázs, Gy.–Kilián, J.:* Vizsgálatok a nyomás alatt történő betongőzölés munkakörülményeinek a tisztázására. *Építőanyag*, 1953, 12. szám, 387–391.
- Armuth A.–Balázs Gy.–Ujhelyi J.:* Esztétikus megjelenésű betonfelületek készítése. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, 1967.
- Babuskin–Novikova–Oeginszkij–Szokol:* Szposzob pivisenyija plamnosztyi betonov, prednaznaccsenyüh dlja propitki. Trudi Insztyituta „Vodgeo” Hidrotyehnika, Vipuszk, 55. Moszkva, 1975, 21–25.
- Balázs Gy.:* A tartós terhelés hatása a beton törőszilárdságára és rugalmassági modulusára. MTA Műszaki Tudományok Osztálya, Minőségi Betonkonferencia, 1960, 257–261.
- Balázs Gy.:* A kalcium-klorid hatása a beton zsugorodására. Mélyépítéstudományi Szemle, 1961, 9. szám, 413–417.
- Balázs Gy.:* Betonacélok kalcium-klorid okozta korróziós veszélyének vizsgálata. Mélyépítéstudományi Szemle, 1963, 12. szám, 554–560.
- Balázs Gy.:* Betonszilárdítás a gőzölés és a kalcium-klorid együttes alkalmazásával. Kandidátusi értekezés, 1963.
- Balázs Gy.:* Különleges betonok. Tankönyvkiadó, Bp. 1968.
- Balázs Gy.:* A betonszilárdulás gyorsítása a cement őrlési finomságának növelése útján. Magyar Építőipar, 1969. 3. szám, 169–172.
- Balázs Gy.:* A betonszilárdulás gyorsítása a cement őrlési finomságának növelése és a gőzölés együttes alkalmazása révén. Magyar Építőipar, 1969. 12. szám, 639–646.
- Balázs Gy.:* A lemezvastagság hatása a beton zsugorodására. Építési Kutatásfejlesztés, 1971, 7–8. szám, 76–79.
- Balázs Gy.:* A beton húzószilárdságának a vizsgálata. BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közleményei, 7. kötet. KÖZDOK, 1973, 1–88.
- Balázs Gy.:* Cementpép és cementhabarcs húzószilárdsága. BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közleményei. 8. kötet, 1974.
- Balázs Gy.:* A beton húzószilárdsága BME Építőanyagok Tanszék Tudományos közleményei. 11. kötet, 1974.



- Balázs Gy.:* A cementpép és a habarcs húzószilárdsága (Laboratóriumi kísérletek). BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közleményei, 8. kötet. KÖZDOK, 1974, 1–120.
- Balázs Gy.:* A beton húzószilárdságának a viszonzyszámai. – BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közleményei 22. kötet, 1976.
- Balázs Gy.:* A beton húzószilárdságának a viszonzyszámai. – BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közleményei 11. kötet. KÖZDOK, 1977, 1–123.
- Balázs Gy.:* A betonstruktúra elemzése a korszerű betontechnológia követelményei alapján. BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közleményei, 34. kötet. 1982, 5–40
- Balázs Gy.:* Építőanyagok, kémia. Tankönyvkiadó, Bp., 1984.
- Balázs Gy.:* A beton húzási alakváltozási jellemzői rövididejű terhelésre. Építőanyag 1988, 125–130
- Balázs Gy.:* A péptelítettség mint struktúra jellemző. Építőanyag, 1988, 4. szám, 125–128.
- Balázs Gy.:* Beton és vasbeton I. Alapismeretek története. Akadémiai Kiadó, Bp. 1994.
- Balázs Gy.:* Barangolásaim a betonkutatás területén. Akadémiai Kiadó 2001.
- Balázs Gy.:* Az őrlési finomság hatása gőzölt beton húzószilárdságára. Beton. és Vasbetonipari Művek megbízásából készített 361/68 sz. tanulmány.
- Balázs Gy.:* Egyrétegű betonburkolatok fejlesztése. 23. ÁÉV megbízásából készített 24/69. sz. tanulmány.
- Balázs Gy.:* Egyrétegű ipari betonpadozat betontechnológiájának a kidolgozása. Az Építéstudományi Intézet megbízásából készített 26/69. sz. tanulmány.
- Balázs Gy.–Borján, J.:* Nagyszilárdságú kavicsbetonok. BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közleményei 14. kötet. KÖZDOK, 1974, 1–154.
- Balázs Gy.–Borján, J.:* Failure mechanism in high-strength concretes. Periodica Polytechnica, 22. kötet, 1978, 17–28.
- Balázs Gy.–Boros J.-né–Mayer J.:* A betonfelület karbonátosodása trasz jelenlétében. Építőanyag, 1972, 223–227.
- Balázs Gy.–Borján J.–Boros J.-né–Zimonyi Gy.–Zsombor F.:* A húzószilárdság szempontjából optimális betonösszetétel keresése. Az Építőanyagok Tanszék 460/66. sz. kutatási jelentése az ÉM Betonelemgyártó Vállalat megbízásából.
- Balázs Gy.–Erdélyi A.:* Útbeton kísérletek. Adalékanyagfajták, homokfajták, homoktartalom hatása a beton tulajdonságaira. A Betonútépítő V. megbízásából készített tanulmány, 1968.
- Balázs Gy.–Erdélyi A.:* Útbetonkísérletek II. Az Építőanyagok Tanszék 2/69. sz. kutatási jelentése.
- Balázs Gy.–Kelemen J.–Kilián J.–Sárosi L.:* Betonok vízzáróságának növelése a kötőanyag javítása útján. Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények, IV. kötet, 1958, 3–4. szám, 303–333.



- Balázs Gy.–Kelemen J.–Kilián J.: Új eljárás betonok szilárdságának gyorsítására. Építőanyag, 1958. 9. szám, 326–331.
- Balázs Gy.–Kilián J.: A habarcsok és betonok szilárdságának növelése nedves őrléssel. Mélyépítéstudományi Szemle 1954, 7–8. szám, 351–360.
- Balázs Gy.–Kilián J.: A betonelemek zsugorodásának és lassú alakváltozásának nagymértékű csökkentése. ÉKME Tudományos Közlemények. I. kötet, 3. szám, 1955, 65–76.
- Balázs Gy.–Kilián J.: A betonok szilárdulás-gyorsításának néhány problémája. Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Tudományos Közleményei, III. kötet, 1957, 4. szám, 3–9.
- Balázs Gy.–Kilián J.: Habarcsok és betonok szilárdságának a növelése nedves őrléssel. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Bp. 1994, 1–32.
- Balázs Gy.–Kilián J.: Zúzott adalékanyagú betonok zsugorodása és lassú alakváltozása. Mélyépítéstudományi Szemle, 1959, 10. szám, 486–487.
- Balázs, Gy.–Kovács, K.: Az impregnálás hatása a beton szilárdságára. – Építőanyag, 1979, 12. szám, 466–476.
- Balázs, Gy.–Kovács, K.: Polymer impregnated concrete. – Periodica Polytechnica 26, 1982, 1.–2. szám, 89–98.
- Balázs Gy.–Rédey-Nagyné Faragó Zs.: A lövellt beton bányabiztosítási alkalmazhatóságának a vizsgálata. Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle, 1989., Mh. szám, 415–421.
- Balázs, Gy.–Kolostori, J.–Székely, I.: Nagy- és különlegesen nagyszilárdságú cementek (550 pc) felhasználásában rejlő lehetőségek. Magyar Építőipar, 1989, 4. szám, 171–178.
- Balázs, Gy.–Nguyen Huu Thanh: Improving Concrete durability by Concrete technology methods. – RILEM–IMEKO International Conference on Diagnosis of Concrete Structures RILEM–IMEKO, Bratislava, 1991. szept. 02–06.
- Balázs Gy.–Timon L.: Löttbeton bányabiztosítás reológiai vizsgálata. I. Bibliográfia. A Nehézipari Minisztérium Műszaki Fejlesztési Főosztálya és a Központi Bányászati Fejlesztési Intézet megbízásából készített tanulmány, 1981.
- Balázs, Gy.–Tóth, J.: Igen nagy szilárdságú betonok előállításának elvi kérdései. Építőanyag 1989, 3. szám, 89–95., 4. szám, 138–148.
- Bazsenov–Kurjacsa–Olginszkij–Szipirin–Ugincsz: Issledovanyije sztrukturnih oszobennosztyej betonopolimernih matyerialov. Trudi Insztyituta „Vodgeo” Gidrotjechnika, Vipuszk, Moszkva 1975, 61–73.
- Bazsenova–Gorcsakov: Tyemperaturnie gyeformacii betono-polimernih matyeria- lov. Trudi Insztyituta „Vodgeo” Gidrotjechnika, Vipuszk 55, Moszkva 1975, 58–61.
- Bonnome, C.: Exposed reinforced concrete faces. CIB Coll 11. Wexh.–Spr. 1961.
- Borján J.–Balázs Gy.–Timon L.–Józsa Zs.–Boros J.-né.: A beton húzószilárdsága és húzási alakváltozási jellemzői rövid idejű terhelésre, 1985. ÉTI megbízásából készült tanulmány.



- Burenyin, V. A.*: Olijanyie dobavki hlorisztovo kalcija na uszadki rasztvora. – Sztroitjelnaja Promislenosztjy, 1956, 9, 36–37.
- Butt, Ju. M.–Tyimasev, V.V.–Venstejn, Ju. I.–Bocskova R. I.–Iljuhin, V.V.*: Sztasz-tanyije godrookiszi kalcija sz kvarcem i kalcitom. – Cement (1972), 5, 13–14.
- Buzágh A.*: Kolloidika. Akadémiai Kiadó, Bp., 1951.
- Calleja Carrete, J.*: A kalcium-klorid mint kötőgyorsító a betonelem előregyár-tásában (magyarul). – (Revista de Ciencia Aplicada 1958., 61., 122–135. és 201–211.)
- Csutor J.*: A beton tömörítése. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1967.
- De Puy, G. W.*: Full-scale fabrication and testing of polymer-impregnated concrete. First International Congress on Polymer Concretes, London (1975) máj. Meg-jelent: Építési Kutatás Fejlesztés, 1976, 3–4. 192–196.
- Dikeou, J. T.*: Review of worldwide developments and use of polymers in concrete. First International Congress on Polymer Concretes, London, 1975. május. Meg-jelent: Építési Kutatás Fejlesztés, 1975, 3–4, 130–135.
- Dischinger, R.*: Elastische und plastische Verformungen der Bogenbrücken. – Bauingenieur, 1939, 4.
- Dobos Gy.*: A torkrétozás higiénias kérdéseinek tanulmányozása. Munkavédelem, 1965., ill. 11. k., 29–31.
- Duriez, M.–Lézy, R.*: Possibilités nouvelles dans les durcissements rapides des ciments, mortiers et bétons. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 1956. II.
- Erdélyi, A.*: A beton fagyállóságának megítélése közvetett és közvetlen mérőszá-mok alapján. Mélyépítéstudományi Szemle 1973, 8.
- Erdélyi A.–Balázs Gy.*: Kiskörei vízlépcső betontechnológiai kutatása. A Vízépítő Vállalat megbízásából készített, 461/66. sz. kutatási jelentés.
- Erdélyi A.–Balázs Gy.–Horváth A.*: Betontechnológiai kísérletek kisszilárdságú kőzetekkel, 1969. OVH megbízásából készített tanulmány.
- Farran, J.*: Contribution minéralique à l'étude de l'adhérence entre les constitu-ants hydratés des ciments et les matériaux enrobés. – Revue des Matériaux de Construction, 491/1956., 155–172 és 492/1956., 191–209.
- Fowler, D. W.–Houston, J. T.–Paul, D. R.*: Polymer Impregnated concrete Surface Treatments for Highway Bridge Decks. American Concrete Institute Publication SP-40, Polymers in Concrete, Detroit, 1973, p. 93–117.
- Graf, O.*: Die Eigenschaften des Betons. Springer Verlag, Berlin, 1950.
- Halász I.*: A beton alakváltozásai rövid idejű terhelés esetén. Budapest, 1968. Kan-didátusi értekezés.
- Hanson, J. A.*: Plastic forms for architectural Concrete. Skokie, Portland Cement Association pp. 12. Research and Development Laboratories Bulletin D.39. Authorized reprint from the Journal of the American Concrete Institute, Vol. 31 (1960). No. 11. pp. 1137–1148.



- Hanson, J. A.–Schideler, J. J.*: Architectural Concrete by the use of plastic forms and the aggregate transfer method. CIB Coll. Wexh.–Spr. 1961.
- Held, M.*: Technologie und mechanische Eigenschaften des hochfesten Betons bis 125. Darmstädter Massivbau-Seminar. Hochfester Beton. Darmstadt, 1991.
- Heilmann, H. G.*: Beziehungen zwischen Zug- und Druckfestigkeit des Betons. –Beton, 2, 1969, 68–70.
- Holnapy K.*: Vasúti boltozatok jó karba helyezése lőttbetonnal. Mélyépítéstudományi Szemle, 1980., 30. k., 5. szám, 222–227.
- Horváth I.*: Kétrétegű útbetonburkolatok műszaki és technológia kérdései. Műszaki doktori értekezés, 1969.
- Hsu, T. T. C.–Slate, F. O.–Sturman, G. M.–Winter, G.*: Micro-cracking concrete and the shape of stress-strain curve. Journal of the American Concrete, Proceedings, Vol. 60. No. 2 (1963), 209–224.
- Janitsáry I.–Soós G.*: Új osztrák alagútépítési módszer. Mélyépítéstudományi Szemle, 1979., 29. k., 3. szám, 97–107.
- Jirku, E.*: A cementpépek hatása a gőzölt betonra. Építőanyag, 1962., 318.
- Jung, V. N.*: Mész- és cementipari technológia. Moszkva, 1951.
- Kind, V. V.–Litvinova, R. Je.*: A cement kötésének és szilárdulásának gyorsításáról. Cement, 1955., 3. szám.
- Kinnear, R. G.*: The effect of release agents and formwork on blemishes in concrete surfaces. Cement and Concrete Association Departmental Wote Confidential, 1963.
- A kolkkrét eljárás. Műszaki Tájékoztató.
- Komloš, K.*: Factors affecting the stress-strain relation of concrete in uniaxial tension. – Journal of the American Concrete Institute, 1969, 2, 111–114.
- Kondo, N.*: Properties of concrete containing violsol resin and calcium chloride. – Sementu Gijutsu Nenpo, 1957, 11, 223–227. Ref.: Chemical Abstracts, 1958, 17662. f.
- Kondo, N.–Takeda, A. –Hideshima, S.*: Effect of Admixtures on Electrolytic Corrosion of Steel Bars in Reinforced Concrete. – Journal of the American Concrete Institute, 1959, 4, V. 31., 299–312.
- König, G.–Rommel, G.*: Zum Zugtragverhalten hochfester Betone. Darmstädter Massivbau-Seminar. Hochfester Beton. Darmstadt, 1991.
- Kreijger, P. C.*: The effects of faults in pobervibrating on the surface – appearance of concrete. Delft I. B. B. C., 1963.
- Kukacka, L. E.*: Polymer-impregnated concrete development in the USA. First International Congress on Polymer Concretes, London (1975), május. Megjelent: Építési Kutatás Fejlesztés, 1976, 3–4, p. 136–139.
- Kukacka, L. E. et al.*: Concrete Polymer Materials, Fifth Topical Report, BNL 40390 Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, 1973.



- Künzel, W.*: Sichtbeton im Hoch- und Ingenieurbau. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1962.
- Leonhardt*: Spannbeton für die Praxis. Berlin, 1955., V. W. Ernst u. Sohn.
- Mayer, L.*: Hochfester Beton im Hochhausbau. Darmstädter Massivbau-Seminar. Hochfester Beton. Darmstadt, 1991.
- Mal'cov, K. A.*: Le sens physique de la résistance conventionnelle de rupture en traction du béton mesurée par flexion. – Beton Armée, Paris, 1960., 21., 25–30.
- Manning, D. G.–Hope, B. B.*: The role of the polymer in polymer impregnated paste and mortar. First International Congress on Polymer Concretes, London, 1975. Megjelent: Építési Kutatás Fejlesztés, 1976, 3–4, 140–144.
- Manson, J. A.–Chen, W. F.–Vanderhoff J. W.–Kline, D. R.–Balnkenhorn, P. R.*: Polymer-impregnated concrete for highway and structural applications. First International Congress on Polymer Concretes, London, 5–7. May 1975, Session G, Paper 10.
- Nyekraszov, V. V.–Piso, G. A.*: Kontrakcija pri tvergyenyii portland-cementa sz dobavkami hloridov pri polozsityelnih i otricyatelnik tyemperaturah. – Zsurnal prikladnoj himii, 31. 1985, 1460–1466.
- Nyikolov*: Isszledovanyije kinetiki processza propitki betona metilmetakrilatom. Trudi Insztituta „Vodgeo” Hidrotjechnika, Vipuszk 55. Moszkva 1975, 25–35.
- Nyikolov–Saronova*: Materials for effective concrete impregnation. Chemical Abstracts, Vol., 83, 1975. 102 434. Tr. Nauchno-Issled. Inst. Betona Zselezobetona 1974, 11, 21–26.
- Ócsvár R.*: Torkrétozásról. Mélyépítéstudományi Szemle, 1959., 543–549.
- Oszidze, V. I.*: Modul gyeformacii betona pri rasztyazsenyii. – Beton i Zselezo-beton, 1965., 11., 27–30.
- Palotás L.*: Minőségi beton. – Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, 1952.
- Palotás L.–Balázs Gy.*: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton – habarcs – kerámia – műanyag. Akadémiai Kiadó, Bp. 1980.
- Pásztor R.*: A lőttbetonkészítés tapasztalatai. Építés-Minőség, 1979. 6., 31–32.
- Powers, T. C.*: The Chemistry of Cements. – Chapter 10, edited by Taylor, H. F., Academic Press, 1964.
- Rehm, G.–Zimbelmann, R.*: Untersuchung der Kontaktzone zwischen Zuschlag und Zementmatrix maßgebenden Faktoren. Stuttgart, 1976.
- Rio, A.–Biagini, S.*: Recent progress in the field of polymer impregnated concretes. First International Congress on Polymer Concretes, London, 5–7. May 1975, Session A, Paper 4.
- Schmidt-Morsbach, J.*: Sichtbeton. Taschenbuch für Planung und Ausführung glatter Betonflächen. Bauverlag GmbH, Wiesbaden–Berlin, 1964.
- Schorn, H.*: Grenzen der Eigenschaftsänderungen bei der Umwandlung von Zementbeton in polymerimprägnierten Beton. First International Congress on



- Polymer Concretes, London (1975). Megjelent: Építési Kutatás Fejlesztés, 1976, 3–4, p. 188–191.
- Shideler, J. J.*: Calcium chloride in concrete. – Journal of the American Concrete Institute, 1952, III, 36–48. 537–559.
- Sieber, Thomas–Pethő Csaba*: A látszóbeton készítés nyugat-európai és hazai szabályozásának összefoglalása. A Beton látványa. Szakmai konferencia. MABESZ, Budapest, 2008.
- Skalny, J.–Young, J. F.*: Mechanisms of Portland cement hydration. 7th International Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980, Sub-Theme II.1.
- Swamy, R. N.*: Some engineering implications of design in polymer concrete. First International Congress on Polymer Concretes, London, 1975. Megjelent: Építési Kutatás Fejlesztés, 1976, 3–4. 208–217.
- Steinberg et al.*: Concrete-Polymer Materials for Highway Applications, Progress Report No. 3. BNL 50417, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, 1968.
- Szalai, K.–Huszár, Zs.–Spránitz, F.*: HSP-HPC betonok és hídépítési alkalmazása, Beton évkönyv, 2005, 83–110.
- Szivercev*: Gerjesztett beton. Moszkva, 1951.
- Teychenné, D. C.–Herbert, M. H.*: Some factors influencing the formation of surface holes in vertically cast concrete. B. R. S. Garston, 1963.
- Torkrét eljárással készített vízzáró vakolat. 1. sz. Mélyépítő Vállalat megbízása alapján az ÉKME II. Hídépítéstani Tanszéken készített kutatási jelentés, 1966. Témafelelős: *Balázs Gy.* Közreműködött: *Orosz Á., Veress S., Kilián J., Juhász B., Németh F.*
- Trüb, U.*: The use exposed concrete in Switzerland. CIB Colloquium, Wecham-Springs, 1961.
- Trüb, U.*: Die Wirkung der Schalungsholzeigenschaften auf der Betonoberfläche. CIB Commission Madrid, 1963.
- Ujcz P.*: Homlokzati falpanelok felületképzése, 1966. ÉTI Tervezési Tájékoztató.
- Ujhelyi J.*: A látszó beton készítésének technológiája. ÉTI jelentés, Bp., 1966.
- Ujhelyi J.*: Beton-ismeretek. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2005.
- Walz, K.*: Rüttelbeton. 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1960.











■ A három kötetre tervezett *Különleges betonok és betontechnológiák* II. kötete négy kiemelt és öt kisebb jelentőségű betont, illetve betontechnológiát mutat be.

A kiemelt jelentőségűek kísérletekkel részletesen alátámasztottak:

- Látszóbeton
- Nagy nyomószilárdságú beton
- A beton húzószilárdsága és befolyásoló tényezői
- A beton zsugorodását és lassú alakváltozását befolyásoló tényezők.

A kis zsugorodású és kis lassú alakváltozású beton

A kisebb jelentőségű betonok, illetve technológiák:

- A beton szilárdságának növelése nedves őrléssel
- A beton kezdőszilárdságának növelése kristálycsírákkal
- Lövellt beton
- Prepaktbeton, kolkrébeton
- Pörgetett beton

Kötetünk segítséget szeretne nyújtani a betontechnológusoknak, a szakmérnököknek a betonok és betontechnológiák tudatos alkalmazásához.

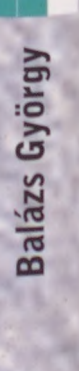
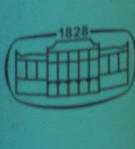
ISBN 978-963-05-8673-3



9 789630 586733

5250 Ft





# Balázs György

## KÜLÖNLEGESEK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK II.