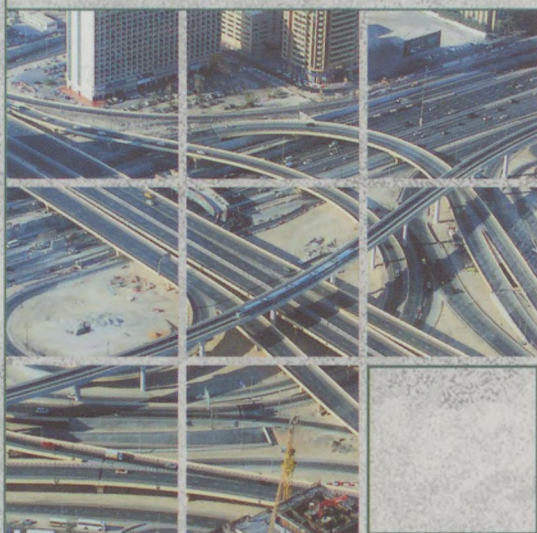


# KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK IV.



Balázs György  
Balázs L. György

AKADÉMIAI



KIADÓ

Anyagok, szerkezet, hibamegelőzés











KÜLÖNLEGES BETONOK  
ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK

IV.

DR. BALÁZS GYÖRGY

Magyar Beton- és  
Építőipari Kutatóintézet  
Kutatási Osztály

DR. BALÁZS L. GYÖRGY

Magyar Beton- és  
Építőipari Kutatóintézet  
Kutatási Osztály





# KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK

## IV.

### DR. BALÁZS GYÖRGY

okl. mérnök,  
prof. emeritus,  
a műszaki tudomány doktora  
Széchenyi-díjas

### DR. BALÁZS L. GYÖRGY

okl. építőmérnök,  
okl. mérnöki matematikus szakmérnök  
a műszaki tudomány kandidátusa, PhD  
tanszékvezető egyetemi tanár



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

Megjelent a Magyar Tudományos Akadémia  
Könyv- és Folyóirat-kiadó Bizottságának támogatásával

Lektor  
DR. KAUSAY TIBOR PhD  
okl. mérnök  
okl. vasbeton-építési szakmérnök  
a BME címzetes egyetemi tanára  
a műszaki tudomány kandidátusa

ISBN 978 963 05 9183 6

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

Első magyar nyelvű kiadás: 2011

© Balázs György, Balázs L. György, 2011

A kiadásért felelős  
az Akadémiai Kiadó Zrt. igazgatója  
Szerkesztette: Gilicze Gábor  
Felelős szerkesztő: Tárnok Irén  
Termékmenedzser: Egri Róbert  
Nyomdai előkészítés: Debre Ferenc  
Borítóterv: Starkiss Stúdió  
A nyomdai munkálatokat az Akadémiai Nyomda Kft. végezte  
Felelős vezető: Ujvárosi Lajos  
Martonvásár, 2012  
Kiadványszám: TK100067  
Megjelent 32,18 (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 .....	11
Jelölések .....	13
<b>26. Víz alatti betonozás .....</b>	<b>19</b>
26.1. Fogalma .....	19
26.2. Alapanyagai .....	19
26.3. A beton összetétele .....	20
26.4. A víz alatti betonozás módszerei .....	20
26.5. Minőség-ellenőrzés .....	21
<b>27. Alkáli-kovasav és alkáli-karbonát reakció és megelőzése .....</b>	<b>22</b>
27.1. A reakció fogalma és mechanizmusa .....	22
27.2. Az alkáli-adalékanyag reakció veszélye hazánkban .....	23
27.3. Vizsgálati módszerek és eredmények .....	25
27.4. A beton alkotói és összetétele .....	28
<b>28. Hő-, illetve tűzálló betonok .....</b>	<b>30</b>
28.1. Fogalma .....	30
28.2. A betonban hő hatására végbemenő fizikai és kémiai változások .....	31
28.3. A hőhatásnak kitett betonban végbemenő változások a kísérletek alapján .....	32
28.4. A hőálló, illetve a tűzálló beton anyagai .....	50
28.5. A beton összetétele .....	51
28.6. A beton készítése .....	53
28.7. Minőség-ellenőrzés .....	53
<b>29. Vákuumozott beton .....</b>	<b>54</b>
29.1. Fogalma .....	54
29.2. A vákuumozás előnyei .....	54
29.3. Története .....	55
29.4. A vákuumbeton alkalmazási területe .....	56

29.5.	A vákuumbeton készítésének a technológiája .....	57
29.5.1.	A vákuumozás tervezése .....	58
29.5.2.	Előkészítés .....	58
29.5.3.	Betonozás, lehúzás vibrogerendával .....	58
29.5.4.	Vákuumkezelés .....	59
29.5.5.	Gépi simítás .....	61
29.5.6.	A beton utókezelése .....	61
29.5.7.	A padlóképzítés fontos eleme .....	61
29.6.	A beton összetétele .....	62
29.7.	Minőség-ellenőrzés .....	62
<b>30.</b>	<b>Betonutak, repülőterek, térburkolatok .....</b>	<b>63</b>
30.1.	Fogalmak .....	63
30.2.	A betonútépítés kezdete külföldön .....	63
30.3.	A betonútépítés helyzete Magyarországon .....	66
30.4.	Az M7-es autópálya-betonok vizsgálata .....	70
30.4.1.	A kezdeti szakasz meghibásodása és okainak vizsgálata ...	71
30.4.1.1.	Mintavétel, vizsgálati módszerek .....	71
30.4.2.	Az eredmények és értékelésük .....	73
30.4.3.	Az 1971. évi nagyüzemi kísérlet .....	75
30.4.3.1.	A kísérlet .....	75
30.4.3.2.	Eredmények és értékelésük .....	77
30.4.3.3.	Következtetések .....	80
30.4.4.	Az 1971 őszen végzett kísérlet .....	81
30.4.4.1.	A kísérlet .....	81
30.4.4.2.	Eredmények és értékelésük .....	83
30.4.4.3.	Következtetések .....	83
30.4.5.	1972. évi kísérlet .....	84
30.4.5.1.	A kísérlet .....	84
30.4.5.2.	A vizsgálatok eredményei és értékelésük .....	84
30.4.5.3.	Következtetések .....	85
30.4.5.4.	A pórusszerkezeti jellemzők összefüggése ...	87
30.5.	Régi útbetonok vizsgálata .....	89
30.5.1.	Mintavétel, a vizsgálat terve .....	89
30.5.1.1.	Mintavételi helyek kijelölése és a betonburkolat állapota .....	89
30.5.2.	A mintavétel .....	98
30.5.3.	A vizsgálat terve .....	98
30.5.4.	A magminták fizikai adatai .....	99
30.5.4.1.	Méretek, testsűrűség, tömörség .....	99
30.5.4.2.	A betonok szilárdsága .....	107



30.5.5.	Következtetések	109
30.5.6.	Az útbetonfelület csúszásellenállása és érdessége	111
30.5.6.1.	Következtetések	114
30.5.7.	Az adalékanyag szemmegoszlása	114
30.5.7.1.	Következtetések	118
30.5.8.	Vízfelvétel, telítési tényező	118
30.5.9.	Az útbeton homogenitásvizsgálata	121
30.5.9.1.	A minőségegyenletességről általában	121
30.5.9.2.	A minőségegyenletesség vizsgálata ultrahanggal	122
30.6.	A cement repedésérzékenysége	130
30.6.1.	Előzmény	130
30.6.2.	A cement repedésérzékenysége	133
30.6.3.	Az adalékszerek hatása a repedésérzékenységre	139
30.6.3.1.	A felhasznált anyagok	139
30.6.3.2.	A cementpép tulajdonságainak vizsgálata	142
30.6.3.3.	A kutatás eredményeinek értékelése	144
30.6.4.	Összefoglalás	149
30.7.	Burkolatalapok	150
30.7.1.	Bevezetés	150
30.7.2.	Burkolatalap pernye felhasználásával	150
30.7.2.1.	A pernyéről általában	150
30.7.2.2.	Burkolatalap pernye-mész kötőanyaggal	151
30.7.3.	Útalapbeton pernye-mész-cement kötőanyaggal	168
30.7.3.1.	Bevezetés	168
30.7.3.2.	Felhasznált anyagok	168
30.7.3.3.	Pépkísérletek	170
30.7.3.4.	Habarcskísérletek	174
30.7.3.5.	Betonkísérletek	177
30.7.3.6.	A vizsgálati eredmények értékelése	181
30.7.3.7.	Összefoglalás	184
30.7.4.	Útalapbeton kohósalak kötőanyaggal	185
30.7.4.1.	Előzmény	185
30.7.4.2.	Kötőanyag-kísérletek	185
30.7.4.3.	Betonkísérletek	193
30.7.4.4.	Újabb betonkísérletek	205
30.7.4.5.	Összefoglalás	209
30.8.	Ipari betonpadló	211
30.8.1.	Fogalma	211
30.8.2.	A betonburkolattal szemben támasztott követelmények	211
30.8.3.	Történeti visszatekintés	212

30.8.3.1.	Ipari padlók az Európai Unióban	212
30.8.3.2.	A hazai helyzet	214
30.8.4.	Tervezés, építés	215
30.8.4.1.	Tervezés: alapelvek, terhek, zsugorodás	215
30.8.4.2.	Kivitelezés	217
30.8.5.	Nemzetközi iparipadló-konferencia	218
30.8.6.	Néhány sikeres padlószerkezet	220
30.8.7.	Egyrétegű ipari betonpadozat betontechnológiájának kidolgozása	221
30.8.7.1.	A kutatás tárgyára vonatkozó adatok	221
30.8.7.2.	A kutatás részletes leírása	222
30.8.8.	Kis szilárdságú kőzetek felhasználása padozati beton adalékanyagaként	236
30.8.9.	Útátjáró előre gyártott elemekből	238
30.8.10.	Beton térkövek	242
30.8.10.1.	Fogalma	242
30.8.10.2.	A térkövek követelményei	243
30.8.10.3.	A térkövek előállítása és gyártástechnológiája	243
30.8.10.4.	A térkövekben fellépő hibák okai	245
30.8.10.5.	Beton adalékszerkezetek térkövekhez	247
30.8.10.6.	Beton térburkolatoknál figyelembe veendő szempontok	248
30.8.11.	Kéregersített betonpadlók, ipari padlók segédanyagai	249
30.8.11.1.	Murexin műgyanta padlóbevonati rendszer, ipari padlók általában	249
30.8.11.2.	Egyéb vállalatok anyagai	253
30.8.12.	Vákuumbeton padló	254
30.9.	Betonútépítés	254
30.9.1.	A betonútépítés helyzete külföldön	254
30.9.2.	A betonútépítés helyzete hazánkban	256
30.9.3.	A betonútépítés jövője hazánkban	259
30.9.4.	Példák az útbeton építésére	261
30.9.4.1.	Gyorsbeton	261
30.9.4.2.	További betonépítkezések	266
30.9.5.	Beton útpályaburkolat építése	267
30.9.5.1.	Útpályaszerkezet felépítése	267
30.9.5.2.	Beton pályaburkolatok típusai	267
30.9.5.3.	Hézagolt betonburkolatok	268
30.9.5.4.	A pályabeton összetétele	271



30.9.5.5.	A betonkeverékek előállítás, szállítása, bedolgozása, utókezelése	274
30.9.5.6.	A beton pályaburkolatok minőségi követelményei	276
30.9.5.7.	A pályaburkolati betonok megnevezése és jelölése, minőségi követelmények	278
<b>31.</b>	<b>Építőköveink vizsgálata útépitési alkalmasság szempontjából</b>	<b>279</b>
31.1.	Bevezetés	279
31.2.	A kőbányák kiválasztása	279
31.3.	Próbavétel	280
31.4.	Kőzettani tulajdonságok vizsgálata	281
31.4.1.	Makroszkópos vizsgálatok	281
31.4.2.	Mikroszkópos kőzettani vizsgálatok	282
31.4.3.	Derivatográfias vizsgálat	288
31.4.4.	Kőzettani összefoglalás	291
31.5.	A kőzetek tömegeloszlásával kapcsolatos tulajdonságok	294
31.5.1.	A kőzetek sűrűsége	294
31.5.2.	A kőzetek testsűrűsége	295
31.5.3.	A tömörség	296
31.6.	Hidrotechnikai tulajdonságok	297
31.6.1.	Vízfelvétel fokozatos vízbemerítéssel	297
31.6.2.	Vízfelvétel 15 MPa nyomáson	299
31.6.3.	Telítési tényező	299
31.6.4.	Alakváltozás vízfelvétel hatására	300
31.6.5.	Az eredmények értékelése	302
31.7.	A kőzetek időállósága	304
31.7.1.	Az időállóságról általában	304
31.7.2.	Az időállóság közelítő megállapítása kőzettani vizsgálattal	305
31.7.3.	A vizsgált kőzetek fagyállósága	305
31.7.4.	A telítési tényező mint a fagyállóság kritériuma	309
31.7.5.	Szulfátos kristályosítási vizsgálat	309
31.7.6.	Citromsavas oldási vizsgálat	310
31.7.7.	A kőzeteknek mint beton-adalékanyagok alkáliérzékenysége	311
31.7.8.	Hőlkés-állósági vizsgálat	316
31.8.	A kőzetek szilárdsága szabályos próbatestek vizsgálata alapján	318
31.8.1.	Kockaszilárdság	318
31.8.2.	Hajlító-húzó és nyomószilárdság	320
31.8.3.	Kopási szilárdság	322



31.8.4.	Koptatott próbatestek szilárdsága .....	324
31.8.5.	A vízlágyulási tényező .....	326
31.8.6.	Közetek szilárdságának becslése	
	roncsolásmentes módszerrel .....	327
	31.8.6.1. Bevezetés .....	327
	31.8.6.2. A keménységvizsgáló módszerek .....	327
	31.8.6.3. Kőzetminták vizsgálata .....	329
	31.8.6.4. Összefoglalás, javaslatok .....	329
31.9.	Szemszerkezet vizsgálata .....	330
	31.9.1. Szemmagysági megoszlás .....	330
	31.9.2. A zúzalékok jellemzése a szemalak alapján .....	334
31.10.	Halmazok szilárdsága .....	336
	31.10.1. Szétmorzsolódási tényező mint a szilárdság mérőszáma ..	336
	31.10.2. Összenyomódással mért szilárdság .....	337
	31.10.3. Kopási vizsgálat Deval-dobban és aprózódási vizsgálat Los Angeles-dobban .....	338
31.11.	Egyéb tulajdonságok .....	339
	31.11.1. Hőtágulási együttható .....	339
	31.11.2. A mérési eredmények és azok értékelése .....	341
	31.11.3. A kőzetek alakváltozási jellemzői egytengelyű centrikus nyomás esetén .....	343
31.12.	A kőzetek értékelése az útépités szempontjából .....	349
31.13.	Összefoglalás .....	349
31.14.	Utószó .....	352
<b>Irodalom</b>	.....	<b>355</b>

# Előszó

2010-ben jelent meg *Különleges betonok és betontechnológiák III.* című könyvem. A negyedik kötetet 2011 áprilisában fejeztük be.

A IV. kötetben a következő fejezetek szerepelnek:

26. Víz alatti betonozás
27. Alkáli-kovasav és alkáli-karbonát reakció és megelőzése
28. Hő-, illetve tűzálló beton
29. Vákuumozott beton
30. Útbeton, repülőtéri beton, ipari betonpadozat
31. Építőköveink vizsgálata utépítési alkalmasság szempontjából.

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.

A kutatás idején érvényben levő szabványok szerint dolgoztunk. Az új szabványok, amelyek az európai szabványokhoz igazodnak, átalakulóban vannak, ezért nem láttam értelmét az eredmények jelenleg kidolgozandó szabvány szerinti értékelését.

Bár az I–III. kötetben ismertettem a jelöléseket, az e könyvben szereplőket megismételtem, illetve kiegészítettem.

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

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

A kéziratot dr. *Kausay* Tibor PhD, a műszaki tudomány kandidátusa, címzetes egyetemi tanár lektorálta. Lelkiismeretes munkájával, tanácsaival sok segítséget nyújtott, különösen az új szabványok területén. Segítségét köszönöm.

Az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék vezetőjének és a Tanszék dolgozóinak a könyv írásához nélkülözhetetlen nyugodt légkört köszönöm meg.



Mindenkit kértem, akinek a tanulmányát a könyvben felhasználtam, hogy véleményezzék az egyes fejezetek szövegét. Így Csányi Erika tudományos munkatárs a 27. és a 30. fejezet, dr. Liptay András műszaki szakértő a 30. és 31. fejezet, dr. Erdélyi Attila ny. egyetemi docens a 30., dr. Asztalos István, a SIKÁ Hungária Kft. üzletágvezetője a 30. fejezet, dr. Salem Georges *Nehme* egyetemi docens, dr. Fehérvári Sándor egyetemi adjunktus, dr. Józsa Zsuzsanna egyetemi docens, Fenyvesi Olivér doktorandusz a 30. fejezet, dr. Lublós Éva egyetemi adjunktus a 28. fejezet megfelelő részét véleményezte.

Az Építőanyagok Tanszék a különleges betonok kutatóhelye volt. E tevékenysége nem változott azáltal, hogy Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék lett. A kutatás irányításában meghatározó szerepe van a Tanszék vezetőjének. A IV. és V. kötet elkészítéséhez ezért kértem meg társszerzőnek fiamat, dr. Balázs L. Györgyöt.

Köszönöm kedves feleségemnek, hogy munkámat mindenben segítette. Nélkülözhetetlen volt az, hogy szöveget diktálhattam akkor, amikor én – a Parkinson-kór miatt – olvashatóan írni nem tudtam.

Mindnyájuk segítségét nagyon köszönöm.

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.

*Dr. Balázs György*



# Jelölések

Az itt nem található jelöléseket előfordulási helyükön adjuk meg.

## A cement kémiai és ásványi alkotói, cementhidratáció

Jel	Megnevezés	Mértékegység
$C = CaO$	kalcium-oxid	m%
$S = SiO_2$	szilícium-dioxid	m%
$A = Al_2O_3$	alumínium-oxid	m%
$F = Fe_2O_3$	vas-oxid	m%
$M = MgO$	magnézium-oxid	m%
$Cs = CaSO_4 \cdot 2H_2O$	gipszkő (amit általában gipsznek neveznek)	m%
$H = H_2O$	víz	m%
$C_3S = 3CaO \cdot SiO_2$	trikalcium-szilikát	m%
$\beta C_2S = 2CaO \cdot SiO_2$	béta-dikalcium-szilikát	m%
$C_3A = 3CaO \cdot Al_2O_3$	trikalcium-aluminát	m%
$C_4AF = 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	tetrakalcium aluminát-ferrit	m%
$CH = Ca(OH)_2$	magnézium-hidroxid	m%
$CSH$	kalcium-szilikát-hidrát	m%
$E = C_3A \cdot 3Cs \cdot H_{32}$ , ill. ill. $C_3AF \cdot 3Cs \cdot H_{32}$	triszulfo-aluminát-hidrát=ettringit	m%
$MS$ , ill. $FMS = C_3A \cdot Cs \cdot H_{12}$ , ill. $C_3AF \cdot Cs \cdot H_{12}$	monoszulfo-aluminát (ferrit)-hidrát=monoszulfát	m%
$T = C_3A \cdot 3CaCl_2 \cdot H_{30}$	trikloro-aluminát-hidrát	m%
$F = C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$	monokloro-aluminát-hidrát=Friedel-só	m%
$P_H$	hidratáció mértéke a portlandit víztartalma alapján	%
$CSH_H$	hidratáció mértéke a CSH szerkezeti víztartalma alapján	%
$E$	<i>Jirku</i> szerinti optimális gipsztartalom, amelyet egyensúlyinak nevezünk és $SO_3$ (m%) = $6,08 \cdot 10^{-5} \cdot C_3A$ (m%) ( $cm^2/g$ ) képletből számítottunk.	m%

## Geometriai és tömegjellemzők

Jel	Megnevezés	Mérték-egység
$l$	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. $V_j$	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 adalékszemcse-méret	mm
$m_A$	Az Abrams szerinti finomsági modulus, a szabványos szitasoron fennmaradt tömegszázalékban kifejezett összege osztva 100-zal	
$m_0$	optimális finomsági modulus, ill. a finomsági modulus, amelyhez a pépigény minimális	
$p = \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho}\right)$	100 porozitás	V%
$\rho_{krit}$	extrapolált porozitás zérus szilárdság esetére	V%
$m_{wl}$	vízfelvétel légköri nyomáson	kg/m <sup>3</sup>
$m_{w15}$	vízfelvétel 15 MPa nyomáson	kg/m <sup>3</sup>
$TT = \frac{m_{wl}}{m_{w15}}$	telítési tényező	V%
$t = \frac{\rho_t}{\rho}$	= tömörség	
$L_{\bar{\sigma}}$	összes légtartalom a szilárd betonban	V%
$L_{300}$	$d \leq 300 \mu\text{m}$ méretű légbuborékok összes mennyisége	V%



Jel	Megnevezés	Mértékegység
$t_t$	távolsági tényező (mm) $\leq 0,2$ mm az a legnagyobb távolság, amelyet a cementkő bármely pontjától a legrövidebb úton meg kell tenni a legközelebbi buborékfelület eléréséig – feltéve, hogy a buborékok mind egyforma nagyságúak, és a cementkőben szabályosan (kőbős terrácsban) helyezkednek el.	mm
$f_b$	a buborékok fajlagos felülete	cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>
$s_b$	fajlagos buborékszám (betonra vagy cementkőre szokás megadni)	db/cm <sup>3</sup>
$V_{c,kő}$	cementkő térfogata	V
$k$	ágyazási tényező	N/m <sup>3</sup>
$n_{lin}$	hosszegységre eső buborékszám	db/cm
$CF$	Glanville tömörödési szám	
$P_r$	védő pórustérfogat $p_r = 1-TT$	

### Feszültség, szilárdság

Jel	Megnevezés	Mértékegység
$F$	terhelőerő	kN, MN
$\sigma$	terhelőfeszültség	MPa
$\sigma_a$	feszültség az acélbetétben	MPa
$\sigma_b$	feszültség a betonban	MPa
$f_{c, cube}$	a beton nyomószilárdsága 150 mm élhosszú kockán vizsgálva	MPa
$f_{c, cyl}$	a beton nyomószilárdsága Ø150/300 mm-es hengeren vizsgálva	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
$f_{r, tap}$	nyíró-tapadási szilárdság	MPa
$f_{r, t}$	húzó-tapadási szilárdság	MPa
$f_{c, b}$	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



## Alakváltozás

Jel	Megnevezés	Mértékegység
$\varepsilon$	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
$\varphi(t) = \frac{\varepsilon_{c,l}(t)}{\varepsilon_{el}}$	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
$E_{id} = \frac{E_0}{1+\varphi}$	a lassú alakváltozást figyelembe vevő, ún. ideális rugalmassági modulus	GPa
$\varepsilon_t$	a zsugorodás $t$ időpontban	%o
$\varepsilon_m$	a lassú maradó alakváltozás	%o

### 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>						Mellékalkotórészek <sup>2</sup>
			Klinker	Granulált kohósalak	Trasz	Savas pernye	Mészke		
								K	
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
II	Pernyeportland-cement	II/A-V	80-94	-	-	6-20	-	-	0-5
		II/B-V	65-79	-	-	21-35	-	-	0-5
	Mészke-portlandcement <sup>3</sup>	II/A-L	80-94	-	-	-	6-20	-	0-5
		II/B-L	65-79	-	-	-	21-35	-	0-5
		II/A-M	80-94	-	-	←6-20→	-	-	0-5
Kompozit-portlandcement	II/B-M	65-79	-	-	←21-35→	-	-	0-5	
III	Kohósalakement	III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	0-5
		III/B	20-34	-	-	-	-	-	0-5
	IV	Puccolán cement <sup>3</sup>	IV/A	65-89	-*	-	←?11-35→	-	0-5
IV/B			45-64	-	-	←36-55→	-	0-5	
V	Kompozitcement <sup>3</sup>	V/A	40-64	18-30	-	-	←18-30→	-	0-5
		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 fő alkotórészekből egy vagy több. Ebben az esetben nem szabad fő alkotórészként figyelembe venni.

<sup>3</sup> Az egynél 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
		Portlandcement	CEM I 52,5 N	Mérsékelt szulfátálló
		Portlandcement	CEM I 42,5 N	Szulfátálló
		Kohósalak-portlandcement	CEM III/A-S 42,5 N	Salak, pernye
		Kohósalak-portlandcement	CEM II/B-S 32,5 N	
		Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M (V-LL) 32,5 N	
Holcim Hungária Rt.	Hejőcsaba	Kohósalakcement	CEM III/A 32,5 N	
		Kohósalakcement	CEM III/A 32,5 N-MS	
		Kohósalakcement	CEM III/A 32,5 N-S	
		Kohósalakcement	CEM V/A (S-V) 32,5 N	
		Kompozitcement	CEM I 52,5 N	
		Portlandcement	CEM I 42,5 N	Trasz
		Portlandcement	CEM II/A-P 42,5 N	Trasz, pernye
		Puccolán-portlandcement	CEM II/B-M (P-V) 32,5 R	Pernye, mészkő
		Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M (V-L) 32,5 R	Pernye, mészkő
		Kompozit-portlandcement	CEM II/B-M (V-L) 32,5 R	Pernye, trasz
Lábatlan	Kompozit-portlandcement	CEM IV/B (V-P) 32,5 R	Salak, pernye, trasz	
	Puccoláncement	CEM V/A (S-V-P) 32,5 R		
	Kompozitcement	CEM I 42,5 N-S	Szulfátálló („S-54”)	
	Portlandcement	CEM I 32,5 R-S	Szulfátálló („S-54”)	
	Portlandcement	CEM II/A-V 32,5 R-S	Szulfátálló	
	Pernyeportlandcement	CEM II/A-V 42,5 N	Szulfátálló	
	Pernyeportlandcement	CEM II/B-V 32,5 R-S		
	Pernyeportlandcement	CEM II/B-M(V-L) 32,5 N	Pernye, mészkő	

Megjegyzés: Magyarországon a Rohoznikben (Szlovákia) gyártott fehér cementet a Holcim White Kft. hozza forgalomba



## 26. Víz alatti betonozás

[Palotás–Balázs (1980)]

### 26.1. Fogalma

Az építőgyakorlatban (elsősorban a vízépítési betonok területén) előfordul, hogy a friss betonkeveréket nem a szabad levegőn, hanem víz alatt juttatjuk a beépítés helyére. A víz alatti betonozás jellegéből következik, hogy a cement bizonyos mértékű kimosásával, és a víz-cement tényező megnövekedésével számolnunk kell. Ezért az összes eljárásnak az a célja, hogy a beton bejuttatását minél kisebb vízfelület érintkezésével oldja meg.

Szabályzataink legfontosabb előírása is ezt a célt szolgálja, amikor a *víz alatti betonozást csak állóvízben engedélyezik*.

A víz alatti betonozások költségesebb volta megköveteli, hogy csak a biztonságának megfelelő szükséges mértékig alkalmazzuk. Előírásaink szerint a víz alatt készíthető betonréteg vastagsága:  $m = 0,80 h$ , illetőleg  $m = 0,60 h$  legyen, aszerint, hogy erősen vagy kevésbé vízáteresztő a környező talaj ( $h =$  a víz alatti beton feletti vízoszlop magassága). E réteg elkészülte után a betonozás lehetőleg víztelenített (száraz térben) folytatandó.

### 26.2. Alapanyagai

Lehetőleg 32,5 vagy 42,5 szilárdsági *jelű heterogén cementet* alkalmazzunk. Ha a talajviszonyok megkívánják, akkor szulfátálló CEM I 32,5 R-S jelű cementet kell használni. A jelenleg gyártott cementek megtalálhatók e könyv legelején.

A cement adagolása során figyelembe kell venni, hogy kb. 10–15% veszteség adódhat. A szokásos cementadagolás  $300\text{--}400\text{ kg/m}^3$ , de  $250\text{ kg/m}^3$ -nél ne legyen kevesebb.

*Adalékanyagul* lehetőleg folyami homokos kavicsot alkalmazzunk. Ha zúzott adalékanyagot használunk, akkor az legyen zömök szemalakú. A szemnagyság felső határáig célszerű elmenni. A legnagyobb szemnagyság a 32–48, vagy 48–63 milliméter legyen.

A finom homok (0–1 mm) mennyiségének fokozása és a finomsági modulus csökkentése érdekében *folytonos szemmegoszlás* betartása célszerű, mert különösen a többlepcsős szemmegoszlású adalékanyagok szétosztályozódásra hajlamosak.

Ajánlható értékek:

$d_{\max} m$  = (finomsági modulus),

32 mm      5,9–6,6,

48 mm      6,3–7,0,

63 mm      6,6–7,3.

A vízre vonatkozó előírások erre a betonra is érvényesek.

Az *adalékszerek* közül – elsősorban nagy tömegű betonhoz – javasolhatók a tömítő adalékszerek, valamint a konzisztencia javítása érdekében a képlékenyítő, illetve folyósító adalékszerek. A szilárdulást gyorsító adalékszereket nem ajánljuk.

### 26.3. A beton összetétele

A beton összetételének tervezésekor 10% cementvesztésre, és kb. 0,15 víz-cement tényező növekedésére kell számítani. Azt is figyelembe kell venni, hogy a frissbeton levegőtartalma legalább 5 térfogatszázalékkal megnő.

A betonszilárdság jele C12/15-nél kisebb ne legyen.

### 26.4. A víz alatti betonozás módszerei

A betonozást úgy kell megszervezni, hogy folyamatosan végezhető legyen. A beton készítéséhez a szokásos eszközöket használhatjuk.

- **Víz kizorítás** módszere legfeljebb 0,5 méter mély munkagödörben használható, teljesen körülrzárt, vízáramlás nélküli munkatérben. A szükséges konzisztencia földnedves vagy kissé képlékeny. A beton a vizet fokozatosan kiszorítja. A helyi viszonyoktól függően 5–15 m<sup>3</sup> beton dolgozható be óránként.
- Víz alatti betonozás **süllyesztő konténerekkel** vagy zsákokkal. Lényege az, hogy olyan zárt edényekben, zsákban stb. juttatják a betont a víz alatti bedolgozás helyére, amelyeknek alul nyitható lapjuk van. A módszer hátránya, hogy minden betonadag közvetlen érintkezik a vízzel, emiatt nagy lesz a cementkimosódás és a víz-cement tényező csökkenése. A szükséges konzisztencia kissé képlékeny, vagy képlékeny. A módszer jelentősége kicsi.
- Víz alatti betonozás **mozgó tölcserrel**. Ezt a módszert lehetőleg kerülnünk kell, mert az álló tölcseres megoldás előnyösebb. A munka végrehajtására kb. 30–40 cm átmérőjű, fenéig érő vaslemezről készített csövet használunk, melyet a munkaállványról két irányban mozgathatunk. Az eljárás hátránya, hogy a vízzel mindig a friss, újonnan érkező beton érintkezik.



- Víz alatti betonozás **álló tölcserrel** (*kontraktor-eljárás*). Lényegében a mozgó tölcseres eljárás csövét használjuk, de csak függőleges értelemben mozgatjuk. Működésének elve, hogy a csőben magasan elhelyezkedő betonoszlop nyomására a kikerülő beton 5–10°-os lejtőn helyezkedik el. Így kb. 3,0–3,5 m sugarú körterület betonozható egy-egy tölcserrel. A munkatér nagyságának megfelelően vagy több tölcserrel alkalmazunk egy időben, vagy ideiglenes válaszfalakkal rekesztjük el az egy-egy munkaállásnak megfelelő teret.

Az eljárásnál a tölcser alja mindig a betonba ér, miáltal a friss beton – mondhatni – egy *védőréteg* alatt jut a rendeltetési helyére. Ez az eljárás vált be a legjobban. Teljesítménye 15–20 m<sup>3</sup>-t is elér óránként, ezért különösen fontos a folyamatos munka biztosítása. (Tartalék keverő- és szállítógépek). Betonozni éjjel-nappali üzemben kell.

- A **betonszivattyús eljárás** hasonló az álló tölcsereshez, de a betont – saját tömegén kívül – a szivattyú is mozgatja. Ezáltal a beton tömörebb lesz. A betonozás megkezdése előtt a szivattyú csővezetékébe a csőkeresztmetszetet teljesen kitöltő műanyag labdát kell elhelyezni azért, hogy a tömítést maga előtt tolva a csőben levő vizet kinyomja. A folyamatos betonellátásról gondoskodni kell.

## 26.5. Minőség-ellenőrzés

A víz alatti betonozás lebonyolításához, illetve a beton minőségének ellenőrzéséhez minőség-ellenőrzési tervet kell készíteni. A tervnek tartalmaznia kell az alábbiakat:

- Az alapanyagok vizsgálatának gyakoriságát és módszerét.
- A frissbeton ellenőrzésének gyakoriságát és módszerét.
- Az ellenőrző próbatestek méretét, darabszámát, gyakoriságát és az elvégzendő vizsgálatokat.

A minőség-ellenőrzési terv készítésére példát a 23.4.4. fejezetben mutattunk be.

Ha a minőség-ellenőrzéshez a szokásos módon készítenénk próbatesteket, azokat szabványosan tárolnánk, akkor a megépített beton és a szabványosan vizsgált beton-szilárdság között nagy eltérés lenne. Ezért az javasolható, hogy a próbatest-készítéssel modellezzük a víz alatti beton előállítását. Készítünk pl. vízzáró béléssel ellátott fazsaluzatot, ezt félig megtöltjük vízzel, és abba víz alatti betonozással készítjük el a betont. Ha a beton megszilárdult, ebből kifúrunk vagy kifúrészélünk próbatesteket, és azzal minősítjük a betont.

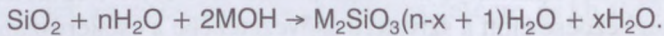
## 27. Alkáli-kovásav és alkáli-karbonát reakció és megelőzése

[Balázs–Csányi (1996), Balázs L. és társai (2005), Balázs–Tóth (1997)]

### 27.1. A reakció fogalma és mechanizmusa

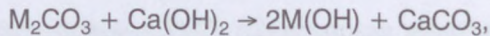
A betonban akkor játszódik le, ha a cement alkáli-oxidjai az adalékanyag duzzadásra hajlamos alkotóival reakcióba lépnek.

Ha az adalékanyag oldható kovásavat (nem kristályos, amorf szilikátokat, ún. hidrogéleket tartalmaz), akkor a feltételezett reakció:



A reakció során vízüveg keletkezik. Ez gélszerű anyag, nem szilárdul meg, hanem ozmotikus úton való vízfelvétele, vagyis duzzadásra mindig hajlamos marad, ami az adalékanyag és a cementkő közötti tapadást megszüntetheti.

Hasonló duzzadást okozhat az alkáli-karbonát tartalom is, amellyel pl. a következő reakció mehet végbe:



ahol M alkálifém, nevezetesen Na, illetve K.



27.1. fénykép. Adalékanyag-alkáli reakció okozta repedések betonfalon [Révay (2004)]



Ez a duzzadás nedves környezetben évek során következik be, hatására a beton felszínén mozaikszerű repedések jelennek meg (27.1. fénykép). A repedésekből gyantaszerű gélcsoörgás indul. A beton teljes keresztmetszetében tönkremegy. Nem javítható.

Az adalékanyag-alkáli reakciót 1940-ben említették a nemzetközi irodalomban először. Németországban, az USA-ban, Kanadában igen nagy károkat okozott. [Mádi (1998)].

## 27.2. Az alkáli-adalékanyag reakció veszélye hazánkban

[Talabér (2002)]

Az alkáli-adalékanyag reakciónak két feltétele van:

a) A cement alkálitartalma  $\text{Na}_2\text{O}$  egyenértékben kifejezve ( $\text{Na}_2\text{O} + 0,66 \text{ K}_2\text{O}$ ) a megengedett 0,6%-nál nagyobb.

b) Az adalékanyag reakcióra hajlamos alkotót tartalmaz.

A reakció egyik feltétele a *cement alkálitartalma*.

Az alkáli-oxidokat a cement szokványos kémiai vizsgálata során korábban ki sem mutatták. Erre az esőtől védett magasépítési vasbeton szerkezeteknél a továbbiakban sincs szükség.

A víznek, fagynak, esetleg sózásnak kitett mélyépítési vasbeton szerkezetek esetében, ilyenek a betonutak, a közúti és vasúti hidak is, már nem lehet kizárni ezt a korróziós veszélyt.

Addig ugyanis, amíg a cementjeinket nedves eljárással gyártották (legutóbb már csak a Lábatlani Cementgyár működött így), az alkáli-oxidok mennyisége tiszta portlandcementek esetében nem lépte túl a 0,6% nátrium-oxid egyenértékét. Jelenleg azonban cementjeinket túlnyomórészt száraz eljárással gyártják. A SZIKKTI [Révay Miklós (1996)] vizsgálati adatai szerint a tiszta (pl. CEM I 42,5) portlandcementek alkálitartalma ( $\text{Na}_2\text{O}$  egyenértékben) nedves eljárással 0,3–0,5% volt, száraz

27.1. táblázat. Hazánkban 1996-ban gyártott cementek alkálitartalma [Révay (1996)]

Cement		$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$
Gyár	típus	tömegszázalék		
BCM	550 pc	0,31	0,78	0,82
	450 pc	0,34	0,81	0,87
	350 ppc 10	0,30	1,03	0,96
	350 ppc 20	0,31	1,21	1,11

27.1. táblázat folytatása

Cement		Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O <sub>ekv</sub>
Gyár	típus	tömegszázalék		
BÉCEM	450 pc	0,32	0,83	0,69
	450 ppc 10	0,29	0,85	0,85
ÉCEM	350 mpc 10	0,34	0,88	0,92
	350 ppc 10	0,30	0,91	0,90
	350 ppc 10	0,32	0,97	0,96
	AcM 350 pc	0,31	0,91	0,91
	S-54 350 pc	0,28	0,80	0,81
DCM	450 Rpc	0,15	0,74	0,64
	450 pc	0,14	0,73	0,62
	350 kspc 20	0,18	0,74	0,67
	350 kspc 40	0,22	0,71	0,69
HCM	450 pc	0,26	0,76	0,76
	450 tpc 10	0,50	1,02	1,17
	450 kspc 20	0,29	0,76	0,79
	350 tpc 20	0,54	1,11	1,27
	350 kspc 40	0,31	0,75	0,80
	S-54 350 pc	0,27	0,60	0,67
LC	450 pc	0,25	0,67	0,69
	350 ppc 10	0,35	0,81	0,88
	350 ppc 20	0,28	1,02	0,95
	S-54 350 pc	0,24	0,51	0,58

Jelölés: pc = portlandcement  
 ppc = pernyeportland-cement  
 kspc = kohósalak-portlandcement  
 tpc = traszportland-cement  
 mpc = mészkőlisztet tartalmazó portlandcement

eljárással kétszerese, azaz 0,6–1,0 közötti. A pernyetartalmú portlandcementek általában veszélyesebbek a tiszta portlandcementeknél (27.1. táblázat).

Tehát a cementek részéről a korrózió veszélye – esetenként – fennáll.

A másik feltétel, amelyiknek egyidejűen teljesülnie kell, a duzzadásra hajlamos adalékanyag.

A MÉASZ ME-04-19:1995 11. fejezete szerinti, veszélyesen reakcióképes kova-savas összetevőket a 27.2. táblázatban ismertetjük.



**27.2. táblázat.** Az adalékanyag veszélyesen reakcióképes kovasavas összetevői (MÉASZ ME-04.19:1995)

Reaktív anyag	Kémiai összetétel	Fizikai jelleg
Opál	$\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$	Amorf
Kalcedon	$\text{SiO}_2$	Mikrokristályos-kriptokristályos, rendszerint szálás
Bizonyos kvarc-formációk	$\text{SiO}_2$	a) mikrokristályos, kriptokristályos b) kristályos, de igen töredezett, deformálódott és/vagy beágyazódásos
Krisztobalit	$\text{SiO}_2$	kristályos
Tridimit	$\text{SiO}_2$	kristályos
Riolites, dáцитos, latitos vagy andezites üveg vagy kriptokristályos, defitifikált termékek	Kovasavas, kisebb mennyiségű $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ tartalommal, alkálikus talajok vagy alkáliák	Üveges vagy kriptokristályos anyag, mint a vulkáni kőzetek kötőanyaga vagy a tufák törmelékei
Szintetikus kovasavas üvegek	Kovasavas anyagok, kevesebb alkáliával, alumínáttal és/vagy más alkotókkal	üveg

### 27.3. Vizsgálati módszerek és eredmények

A legmegnyugtatóbb eredményt akkor lehetne kapni, ha a felhasználni szándékozott cementtel és adalékanyaggal készítik el a tervezett betont, és annak vizsgálják a tartósságát. Ilyen módszert ír le az ASTM 227–87 szabvány.

Mivel az alkáli-adalékanyag reakció lassan lejátszódó folyamat, a vizsgálat eredményeit rendszerint nem tudjuk kivárni. Ezért a gyakorlatban a közvetett, gyors vizsgálatokat használjuk.

Ennek egyike a Német Vasbeton Egyesület vizsgálati és értékelési módszere (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie Alkalireaktion im Beton, Berlin,

**27.3. táblázat.** Adalékanyagok alkáliérzékenységi osztályai a Német Vasbeton Egyesület előírásai szerint

Reakcióképes alkotó, m%	E I Nem érzékeny	E II Mérsékelt érzékeny	E III Erősen érzékeny
Opálhomokkő-tartalom (1 mm felett)	$\leq 0,5$	$\leq 2,0$	$> 4,0$
Reakcióképes flint-tartalom (4 mm felett)	$\leq 3,0$	$\leq 10,0$	$> 10,0$
5 x opálhomokkő + reakcióképes flint	$\leq 4,0$	$\leq 15,0$	$> 15,0$

**27.4. táblázat.** Adalékanyagok felhasználhatósága a környezeti hatások szerint  
(Német Vasbeton Egyesület előírásai)

Adalékanyag alkáliérzékenysége	WO száraz környezet	WF nedves környezet	WA nedves környezet + alkáliérzékenység
E I	–	–	–
E II	–	–*	– NA-cement (alkáliszegény)
E III	–	– NA-cement (alkáliszegény)	más adalékanyagot kell használni

\* B25 feletti betonminőségénél NA-cement kell

**27.5. táblázat.** Homokos kavics adalékanyagok alkáliérzékenysége vizsgálati eredményei  
és értékelése a Német Vasbeton Egyesület előírása szerint

Adalékanyag jele	Szemnagyság mm	Opál-homokkő tart.tömeg %	Reakcióképes flinttart. tömeg %	5× opálhomokkő + reakcióképes flinttömeg	Alkáli- érzékenységi osztály
1(1)	16/32	4,45	0,01	22,26	E III
1(2)	16/32	2,21	0,00	11,05	E II
1(3)	1/2	1,25	–	–	E II
	2/4	0,25	–	–	E I
	4/8	1,16	0,05	5,85	E II
	8/16	1,74	0,14	8,84	E II
2	16/32	5,37	0,03	26,88	E III
3	4/8	1,09	0,02	5,47	E II
	8/16	0,12	0,25	0,85	E I
	16/32	1,85	0,12	9,37	E II
4	1/2	0,34	–	–	E I
	2/4	0,14	–	–	E I
	4/8	0,31	0,20	1,75	E I
	8/16	0,44	0,48	2,68	E I
	16/32	3,18	0,09	15,99	E III
5	1/2	0,23	–	–	E I
	2/4	0,12	–	–	E I
	4/8	1,94	0,64	1,54	E I
	8/16	1,94	0,58	10,28	E II
	16/32	10,80	0,16	54,16	E III

Megjegyzés:

1. A zárójelben lévő szám ugyanazon számozási helyű, más időpontban vizsgált adalékanyagra utal.
2. A vizsgálatokat és az értékelést a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék készítette a Paksi Atomerőmű hulladéktárolója betontechnológiájának előkészítése során.



1986), amelynek lényege az, hogy az adalékanyagok alkáliérzékenységét azok opálhomokkő- és reakcióképes flintkőtartalmuk alapján sorolják be a 27.3. táblázat szerint.

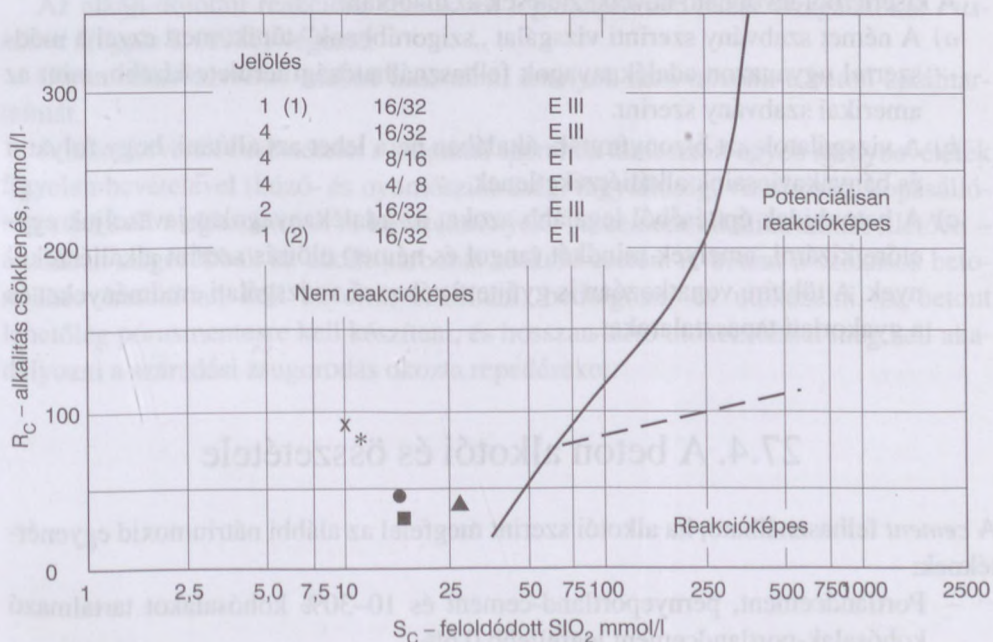
A vizsgálat során a megfelelően előkezelt (mosott, szárított) adalékanyag 1/2-es, illetve 2/4-es frakciójának opálhomokkő-tartalmát 4%-os, 90 °C-os nátrium-hidroxidos kezelés utáni tömegvesztéséből számítják ki. Az ennél nagyobb szemcseméretű frakciók esetén pedig – előzetes kőzettani válogatás után – a 10%-os 90 °C-os nátrium-hidroxid hatására felpuhult részek arányából következtetnek az opálhomokkő-tartalomra. A 4 mm feletti frakció reakcióképes flinttartalmát a kiválogatott flint testsűrűsége alapján számítják.

A betont érő környezeti hatásoktól függ, hogy a 27. 2. táblázat szerinti reakcióképes alkotókat tartalmazó adalékanyag milyen minőségű cementekkel együtt alkalmazható. Az összefüggést a 27.4. táblázat mutatja.

Az adalékanyag-alkáli vizsgálatára vonatkozó, leggyakrabban használt amerikai előírásokat röviden az alábbiakban foglaljuk össze.

*Az adalékanyag vizsgálata alkáli-kovászreakcióra*

- ASTM C 227–90. Az adalékanyagból adott összetételű habarcschasábokat készítenek, ezeket hat hónapon át 100% relatív páratartalmú és 37,8 °C hőmérsékletű térben tárolják, majd mérik a hosszváltozást. Az adalék-alkáli reakciót akkor tekintik veszélyesnek, ha a duzzadás 0,1%-nál nagyobb.
- ASTM C 289–87. A vizsgálat azon alapul, hogy meghatározott mennyiségű és 150–300 mm szemnagyságúra porított adalékanyag-frakciót adott koncentrá-



27.1. ábra. Magyar homokos kavics adalékanyagok vizsgálati eredményei az ASTM C289 szerint

cíójú (1 n) NaOH oldatban adott ideig 80 °C hőmérsékleten hőkezelnek, majd meghatározzák az oldat NaOH koncentrációjának csökkenését, valamint az oldósó SiO<sub>2</sub> koncentrációját. Az alkáli-reakcióra való érzékenységet a 27.1. ábrán látható módon értékelik ki.

- Petrográfiai vizsgálattal azt kell eldönteni, hogy tartalmaz-e a 27.3. táblázat szerinti reaktív anyagokat, és ha tartalmaz, akkor mennyit.

*Az adalékanyag vizsgálata alkáli-karbonát reakcióra*

- Az ASTM C 586-75. A beton-adalékanyagként felhasznált karbonátos kőzetek potenciális alkáli reaktivitásának a vizsgálata.
- A dolomit-alkáli reakció ellenőrzésére is használható az ASTM C 227-90 és az ASTM C 441-89 szerinti módszer.
- Az adalékanyagok alkáli-karbonát érzékenységének a becslésénél is teljes dokumentáció áll-e rendelkezésre, amelyből a betonra vonatkozó minden lényeges adat megállapítható.

Az ASTM C 289-87-ben leírt gyors eljárás szerint a kérdéses adalékanyag alkáliérzékenységét nátrium-hidroxidos hőkezelés után az oldat nátrium-hidroxid koncentrációjának csökkenésével, illetve az oldódott szilícium-dioxid mennyiségével jellemzik.

A Paksi Atomerőmű átmeneti hulladéktárolója betontechnológiájának előkészítése során megvizsgáltunk néhány kvarcalapú adalékanyagot. A német előírások szerinti vizsgálatok eredményeit a 27.5. táblázatban, az amerikai előírások szerinti vizsgálatok eredményeit pedig a 27.1. ábrán foglaltuk össze.

A kísérletből levonható következtetések az alábbiak:

- a) A német szabvány szerinti vizsgálat „szigorúbbnak” tűnik, mert ezzel a módszerrel ugyanazon adalékanyagok felhasználhatósági területe kisebb, mint az amerikai szabvány szerint.
- b) A vizsgálatok azt bizonyították, általában nem lehet azt állítani, hogy folyami és bányakavicsaink alkáliérzékenyek.
- c) A betonhidak építéséből legalább azokat az adalékanyagokat javasoljuk egyelőre kizárni, amelyek mindkét (angol és német) előírás szerint alkáliérzékenyek. A többire vonatkozóan is gyűjteni célszerű a vizsgálati eredményeket és a gyakorlati tapasztalatokat.

## 27.4. A beton alkotói és összetétele

A cement felhasználható, ha alkotói szerint megfelel az alábbi nátriumoxid egyenértéknek:

- Portlandcement, pernyeporland-cement és 10–30% kohósalakot tartalmazó kohósalak-portlandcement legfeljebb 0,6%.



- 5–10% puccolán tartalmú cement esetén legfeljebb 0,8%.
- 35–65% kohósalak tartalmú portlandcement esetén legfeljebb 1,2%.
- 15–20% puccolán tartalmú portlandcement esetén legfeljebb 1,5%.
- 66–80% kohósalak tartalmú portlandcement esetén legfeljebb 2,0%.

A hazánkban – mintegy 10 évvel ezelőtt – gyártott cementek nátrium-oxid-egyenértékét a 27.1. táblázat szemlélteti. A cementjeink többsége nem felel meg a követelményeknek. Vizsgálat nélkül a lábatlani CEM I 32,5 R-S jelű szulfátálló cement és a váci CEM II/A-S 42,5 N jelű cement tekinthető megfelelőnek.

A felhasználandó cement alkáliérzékenységét meg kell vizsgálni, és a cementet az adalékanyag ismeretében kell kiválasztani.

A cementtartalmat lehető legkisebbre kell választani, és a megfelelő konzisztenciát képlékenyítő vagy folyósító adalékszerrel elérni.

Az adalékanyag alkáli-kovász, illetve alkáli-karbonát reakcióra hajlamos voltát ugyancsak vizsgálattal kell megállapítani.

A dunai, illetve bányai eredetű adalékanyagokat használtuk eddig döntő többségben. Nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy a fő adalékforrás, a Dunára és mellékfolyóira épített duzzasztók miatt az adalékanyag-alkáli reakció szempontjából kedvezőtlen irányba változott meg.

Kausay (1994) összegezte azoknak a kémiai elemzéseknek az eredményeit, amelyeket a SZIKKTI-ben az 1970-es években végeztek a Pilis (5 kőbánya), a Bakony (23 kőbánya), a Vértes-Gerecse (17 kőbánya) hegységekben működő, illetve már nem működő kőbányák mintáival.

Az alkáli-dolomit reakcióra vonatkozó legkiterjedtebb hazai vizsgálatokat Pus-kásné Hőgyes I. (1978) végezte.

Olyan adalékszereket szabad használni, amelyek nem növelik a beton alkálitartalmát.

A betonkeverék összetételét a betonnal szemben támasztott egyéb igénybevételek figyelembevételével (húzó- és nyomószilárdság, fagyállóság, vízzáróság, kopásállóság stb.) kell meghatározni. A követelmények – a cement alkálitartalmát illetően – általában szigorúbbak az alkáli-karbonát reakció esetén. A betont a szokásos betonokhoz hasonlóan kell keverni, szállítani, bedolgozni és utókezeleni. A betont lehetőleg pórusmentesre kell készíteni, és hosszan tartó utókezeléssel meg kell akadályozni a száradási zsugorodás okozta repedéseket.

# 28. Hő-, illetve tűzálló betonok

## 28.1. Fogalma

[Balázs (1984), Palotás–Balázs (1980), Ujhelyi (2005)]

A hőálló és a tűzálló betonokat a 28.1. táblázat szerinti kategóriákba soroljuk. Valamely kategóriában akkor felel meg a beton, ha tartósan eleget tesz az alábbi követelményeknek.

**28.1. táblázat.** A betonok hő-, illetve tűzállóságának csoportosítása  
(MI-04. 19-81; MÉASZ ME-04-19-1995)

Kategória	Hőmérséklet-tartomány (°C)	Megnevezés	Előfordulásra példa
I	max. 200	normálbeton	szokványos beton
II	200–500	mérsékeltlen hőálló beton	kémények
III	500–800	hőálló beton	egyes ipari létesítmények
IV	800 felett	tűzálló beton	kemencefalak

$$H\dot{A}_{sz} = \frac{f_{m,sz}}{f_{sz}} \cdot 100 \geq 50\%$$

továbbá

$$H\dot{A}_n = \frac{f_{m,n}}{f_{sz}} \cdot 100 \geq 40\%$$

ahol  $H\dot{A}_{sz}$  = hőállóság száraz próbatesteken vizsgálva, %

$H\dot{A}_n$  = hőállóság nedves próbatesteken vizsgálva, %

$f_{sz}$  = az eredeti (hőkezelés nélküli) beton 28 napos nyomószilárdsága, MPa

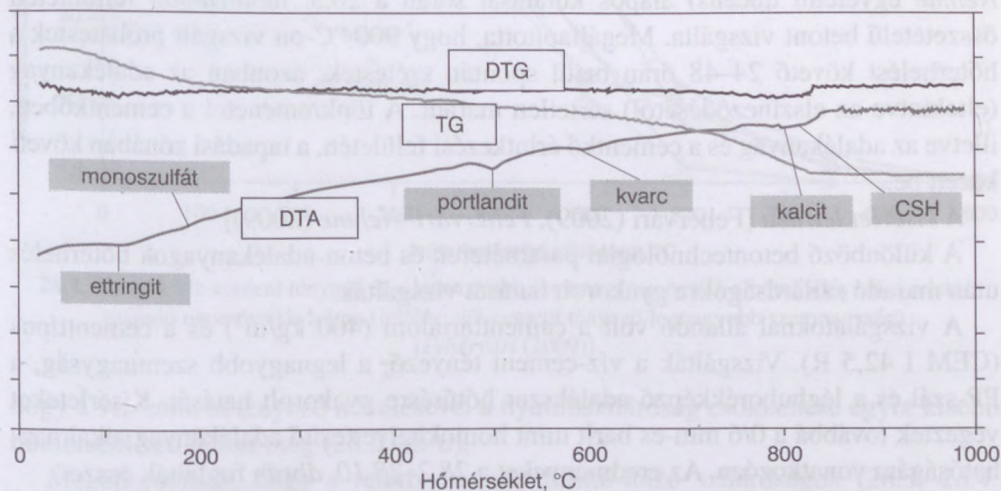
$f_{m,sz}$  = a száraz próbatestek hőigénybevétel utáni (maradó) nyomószilárdsága, MPa

$f_{m,n}$  = a nedves próbatestek hőigénybevétel utáni (maradó) nyomószilárdsága, MPa.



## 28.2. A betonban hő hatására végbemenő fizikai és kémiai változások

A hő hatására végbemenő folyamatokat leggyakrabban derivatográfiai vizsgálattal követjük nyomon (28.1. ábra). A DTA-görbe a végbemenő minőségi változásokat, a DTG-görbe a mennyiségi változásokat, a TG-görbe a mennyiségi változások összegét fejezi ki. A végbemenő változásokat a 28.2. táblázat szemlélteti.



28.1. ábra. Kvarckavics adalékanyagú beton derivatogramja

28.2. táblázat. Betonban hő hatására végbemenő kémiai és fizikai változások [Fehérvári (2009)]

Hőmérséklet (°C)	Reakció, átalakulás vagy tulajdonság
30–120	a beton pórusaiban lévő víz távozása
140–180	az ettringit, valamint a monoszulfát vízvesztése [Schneider–Horváth (2003)]
250–1000	kémiaiilag kötött vizek felszabadulása
300-tól	a mikropedések számának és a beton porozitásának jelentős növekedése [Alonso és társai (2003)] [Short–Purkiss (2004)]
373	a víz hármaspontja, efelett a víz nem lehet folyékony halmazállapotú [Alonso és társai (2003)]
400–450	a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dehidratációja
573 (575)	a $\text{SiO}_2$ kristályszerkezeti átalakulása: $\alpha \rightarrow \beta$ $\text{SiO}_2$ (5,7%-os térfogat-növekedés) [Beard–Carvel (2005)]
750–850	a $\text{CaCO}_3$ hőbomlása
850–1000	a CSH hőbomlása [Khoury és társai (2002)]
1300–1700	beton alkotóinak olvadása [Schneider–Horváth (2003)] [Naus (2007)] kihűlés után amorf szerkezetű anyag marad vissza

## 28.3. A hőhatásnak kitett betonban végbemenő változások a kísérletek alapján

A BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken több mint 15 éve folynak a hőálló és a tűzálló betonnal kapcsolatos kutatások. Először ezekből választunk ki idevágó ismeretanyagot.

Fehérvári Sándor (2009) PhD aspiráns (tudományos vezetője Salem Georges *Nehme* egyetemi docens) alapos kutatásai során a 28.3. táblázatban feltüntetett összetételű betont vizsgálta. Megállapította, hogy 900 °C-on vizsgált próbatestek a hőterhelést követő 24–48 órán belül spontán szétestek, azonban az adalékanyag (eltekintve az elszíneződésétől) sértetlen maradt. A tönkremenetel a cementkőben, illetve az adalékanyag és a cementkő érintkezési felületén, a tapadási zónában következett be.

*A kísérlet leírása [Fehérvári (2009), Fehérvári–Nehme (2009)]*

A különböző betontechnológiai paraméterek és beton-adalékanyagok hőterhelés után maradó szilárdságokra gyakorolt hatását vizsgálták.

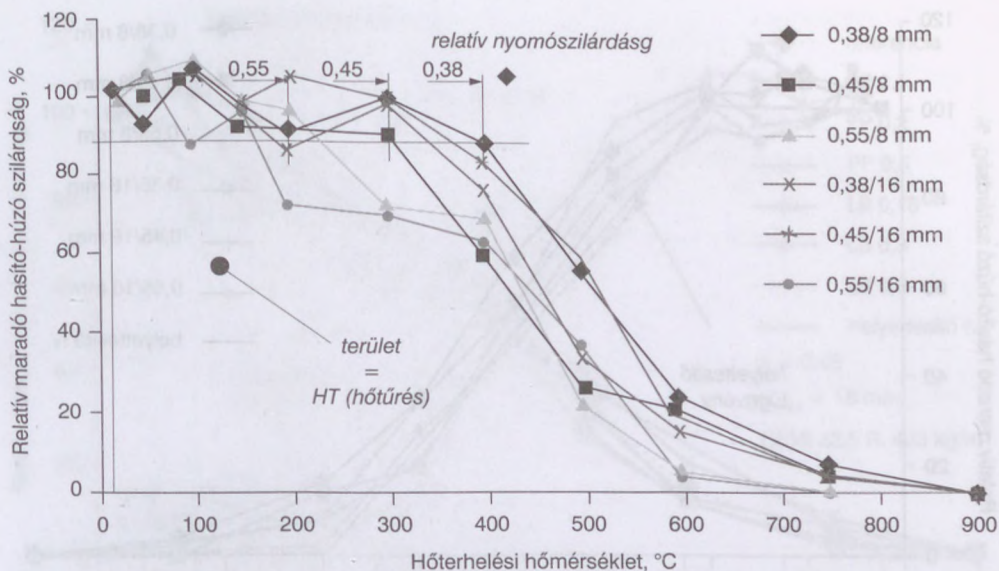
A vizsgálatoknál állandó volt a cementtartalom (400 kg/m<sup>3</sup>) és a cementtípus (CEM I 42,5 R). Vizsgálták a víz-cement tényező, a legnagyobb szemmagyság, a PP-szál és a légbuborékképző adalékszer hőtűrésre gyakorolt hatását. Kísérleteket végeztek továbbá a 0/6 mm-es barit mint homokhelyettesítő adalékanyag alkalmazhatóságára vonatkozóan. Az eredményeket a 28.2–28.10. ábrán foglalták össze.

A következőket állapították meg. Ø 60/120 mm, illetve Ø 60/60 mm-es hengereken vizsgálva a hőterhelés után maradó szilárdsági paramétereket megállapították,

28.3. táblázat. Kísérletekhez használt betonkeverékek adatai [Fehérvári (2009)]

Betonkeverékek			
Kísérleti szakasz	I.	II.	III.
Keverék jel	E1-E6	E7-E12	E13-E14
Kísérleti állandó	cementfajta: CEM I 42,5R; cementadagolás: 400 kg/m <sup>3</sup>		
	adalékanyag: kvarc alapú		d <sub>max</sub> : 16 mm
	d <sub>max</sub> : 16 mm		
	víz-cement tényező: 0,45		
Kísérleti változó	d <sub>max</sub> (8, 16 mm) m <sub>w</sub> /m <sub>c</sub> (0,38; 0,45; 0,55)	LB (0,15; 0,3; 0,6 m <sub>c</sub> %) PP-szál (0,1; 0,2; 0,5 V%)	0/6 mm barit-adagolás (33% és 100% homok)
Tárolási mód	vegyes tárolás (MSZ 4798-1:2004); 1 hétig vízben, majd labor körülmények között		
Vizsgált jellemző	nyomószilárdság (Ø = 60 mm; h = 120 mm henger) hasító-húzó szilárdság (Ø = 60 mm; h = 60 mm henger) a hőterhelés után visszahűlt próbatesteken (kb. 20 °C)		
Felfűtési hőmérséklet	11 hőfoklépcső: 20, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 900 °C		





**28.2. ábra.** A víz-cement tényező és a legnagyobb szemmagyság hatása a hőterhelés utáni relatív maradó nyomószilárdságra (jelölés: víz-cement tényező/legnagyobb szemmagyság) [Fehérvári (2009)]

hogyan a víz-cement tényező növelésével a nyomószilárdság csökkenése egyre kisebb hőmérsékleten indult meg (28.2. ábra).

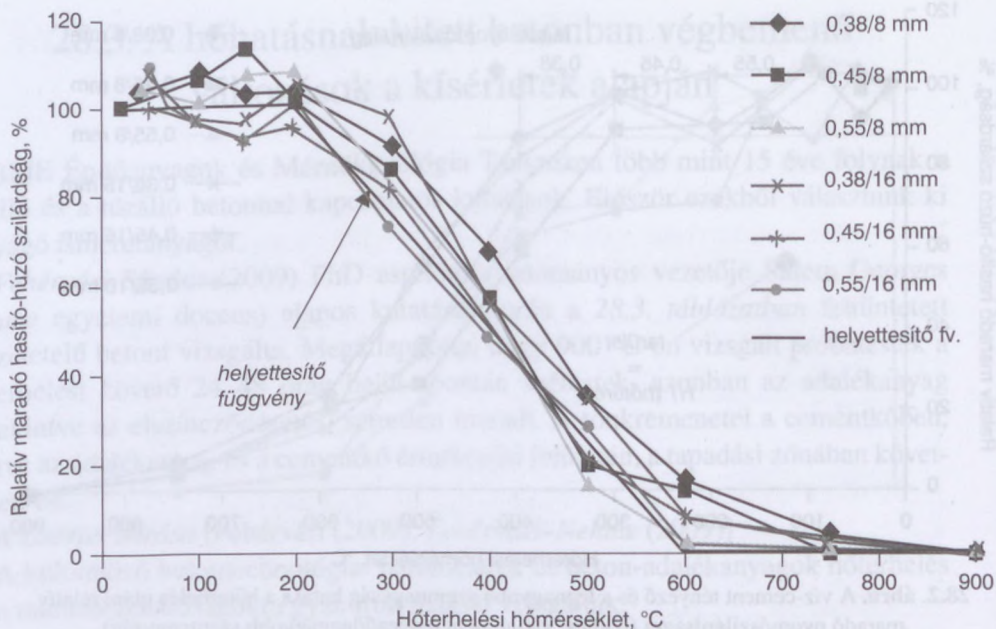
Megállapították, hogy a relatív maradó hasító-húzó szilárdságok (28.3.–28.4. ábra) változása közel azonosnak tekinthető. A relatív maradó hasító-húzó szilárdságot sem befolyásolta az adalékanyag legnagyobb szemmagysága.

Megállapították, hogy a H/N értékek (28.4. ábra) közel azonosak, függetlenül a víz-cement tényező változásától vagy a maximális legnagyobb szemmagyságtól. Kis hőmérsékleten állandónak tekinthető értékek után a H/N érték csökkenni kezd, vagyis a beton hőmérsékleti szívóssága csökken, a ridegsége nő. A H/N érték (hasító-húzó szilárdság és a nyomószilárdság hányadosa) változása bilineáris közelítéssel fejezhető ki.

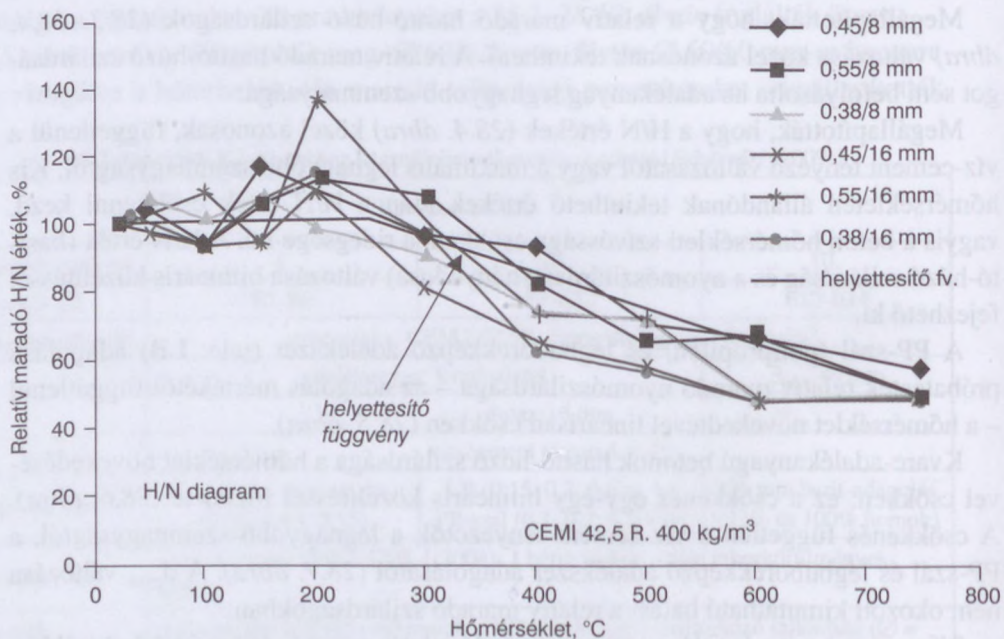
A PP-szál (polipropilén) és légbuborékképző adalékszer (jele: LB) adagolású próbatestek relatív maradó nyomószilárdsága – az adagolás mértékétől függetlenül – a hőmérséklet növekedésével lineárisan csökken (28.5. ábra).

Kvarc-adalékanyagú betonok hasító-húzó szilárdsága a hőmérséklet növekedésével csökken: ez a csökkenés egy-egy bilineáris közelítéssel írható le (28.6. ábra). A csökkenés független a víz-cement tényezőtől, a legnagyobb szemmagyságtól, a PP-szál és légbuborékképző adalékszer adagolásától (28.7. ábra). A  $d_{max}$  változása nem okozott kimutatható hatást a relatív maradó szilárdságokban.

0/6 mm-es barit adagolása esetén a maradó relatív nyomó- és hasító-húzó szilárdságok 500 °C feletti hőmérsékletek esetén a referenciaértéknél kedvezőbbek. A szívósságra jellemző H/N érték változása jelentősen kedvezőbb a csak kvarc adalék-

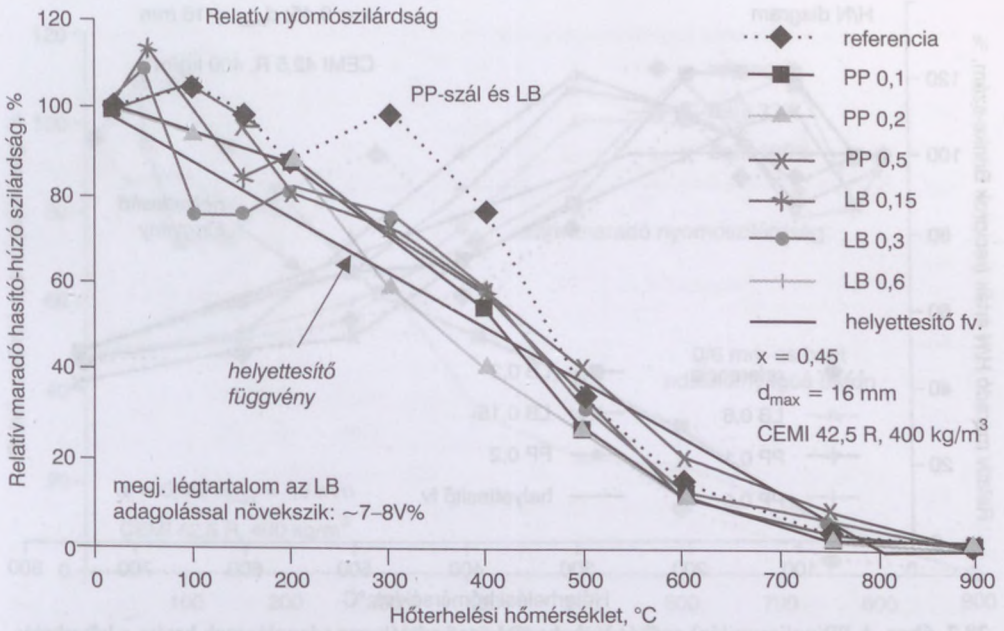


28.3. ábra. A víz-cement tényező és a legnagyobb szemmagyság hatása a hőterhelés utáni relatív maradó hasító-húzószilárdságra (jelölés: víz-cement tényező/legnagyobb szemmagyság) [Fehérvári (2009)]

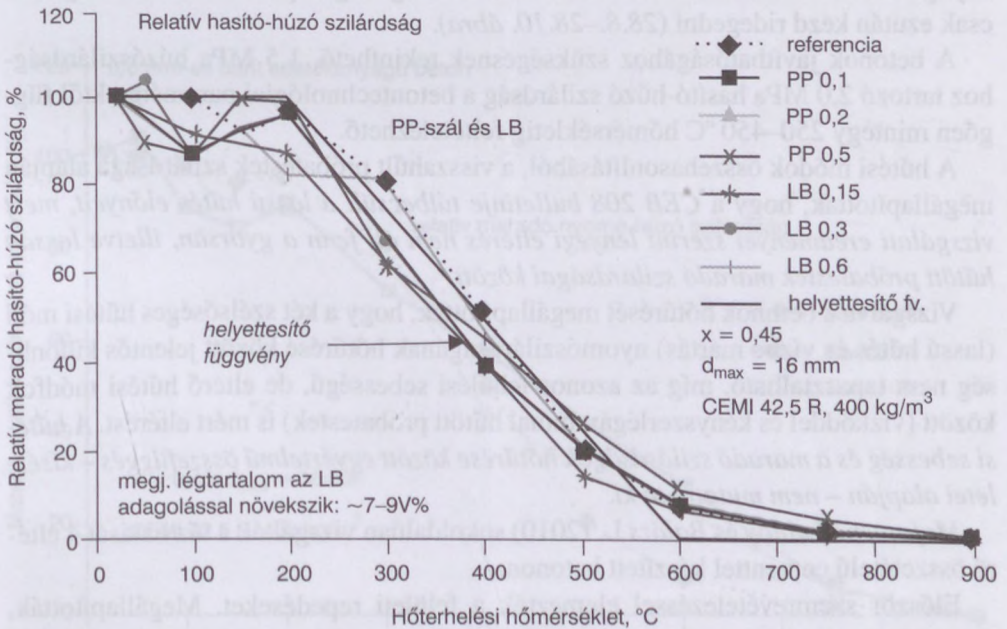


28.4. ábra. A víz-cement tényező és a legnagyobb szemmagyság hatása a hőterhelés utáni relatív maradó H/N érték változására (jelölés: víz-cement/tényező legnagyobb szemmagyság). Jelölés: H/N = hasító-húzó szilárdság/nyomószilárdság [Fehérvári (2009)]

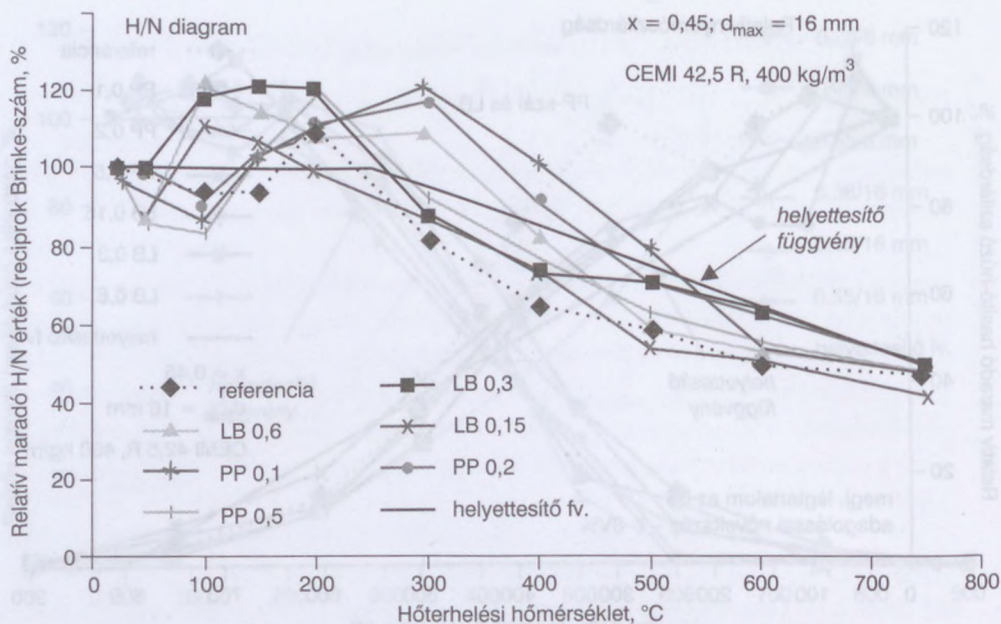




**28.5. ábra.** A PP(polipropilén)-szál és légbuborékképző adalékszer adagolásának hatása a beton hőterhelés utáni relatív maradó nyomószilárdságára (jelölés: PP-szál adagolás V%; LB adagolás m%) [Fehérvári (2009)]



**28.6. ábra.** A PP(polipropilén)-szál és légbuborékképző adalékszer adagolásának hatása a hőterhelés utáni relatív maradó hasító-húzó szilárdságára (jelölés: PP-szál adagolás V%; LB adagolás m%) [Fehérvári (2009)]



**28.7. ábra.** A PP(polipropilén)-szál és légbuborékképző adalékszer adagolásának hatása a hőterhelés utáni relatív maradó H/N értéke változására (jelölés: PP-szál adagolás V%; LB adagolás m%)  
[Fehérvári (2009)]

anyagú betonokénál, mert a baritos beton 500 °C-ig megtartja kezdeti szívósságát, és csak ezután kezd ridegedni (28.8.–28.10. ábra).

A betonok javíthatóságához szükségesnek tekinthető, 1,5 MPa húzószilárdsághoz tartozó 2,0 MPa hasító-húzó szilárdság a betontechnológiai paraméterektől függetlenül mintegy 250–450 °C hőmérsékletig feltételezhető.

A hűtési módok összehasonlításából, a visszahűlt próbatestek szilárdsága alapján megállapították, hogy a CEB 208 bulletinje túlbecsüli a lassú hűtés előnyeit, mert vizsgálati eredményei szerint lényegi eltérés nem áll fenn a gyorsan, illetve lassan hűtött próbatestek maradó szilárdságai között.

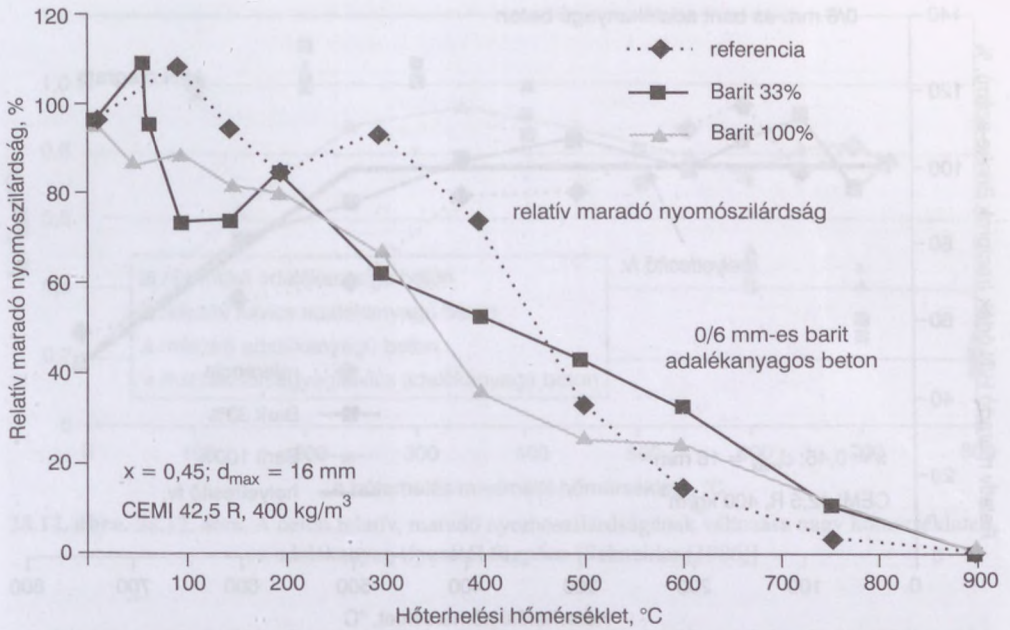
Vizsgálva a betonok hőtűrését megállapították, hogy a két szélsőséges hűtési mód (lassú hűtés és vízbe mártás) nyomószilárdságának hőtűrése között jelentős különbség nem tapasztalható, míg az azonos lehűlési sebességű, de eltérő hűtési módok között (vízköddel és kényszerlégárammal hűtött próbatestek) is mért eltérést. A hűtési sebesség és a maradó szilárdságok hőtűrése között egyértelmű összefüggés – kísérletei alapján – nem mutatható ki.

Majorosné Lublóy és Balázs L. (2010) sokoldalúan vizsgálták a tűz hatását 4 eltérő összetételű cementtel készített betonon.

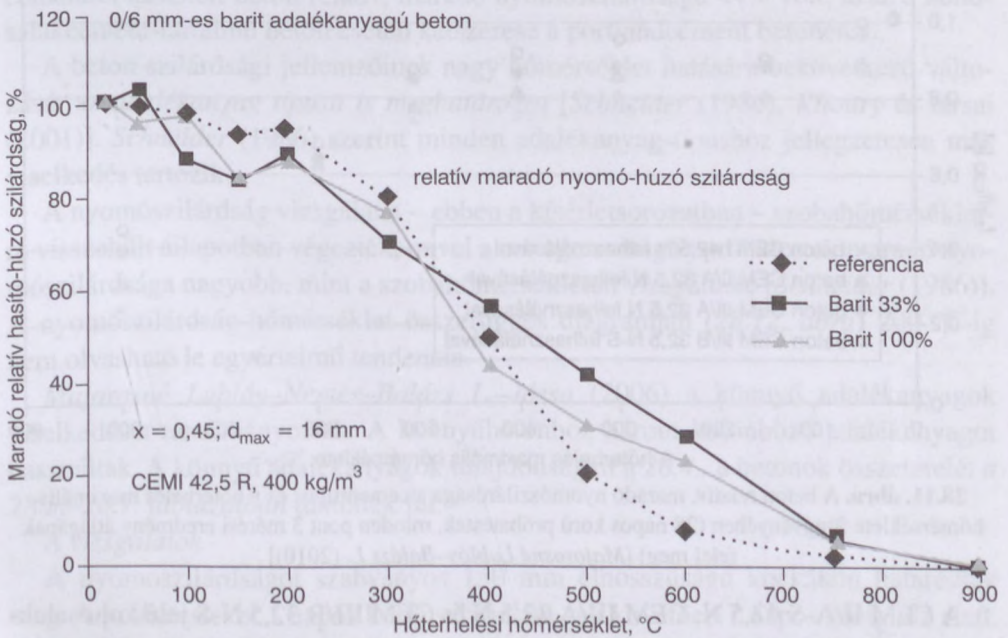
Először szemrevételezéssel elemezték a felületi repedéseket. Megállapították, hogy minél nagyobb a cement kohósalak-tartalma, annál kevesebb repedés alakul ki a hőterhelés hatására.

Megállapították továbbá az alábbiakat (28.11. ábra):

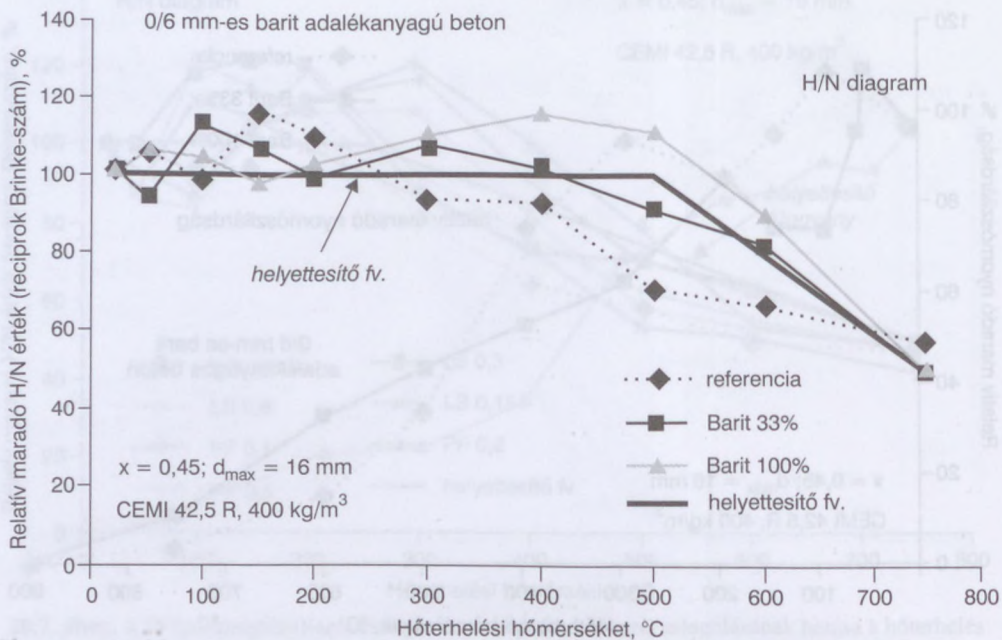




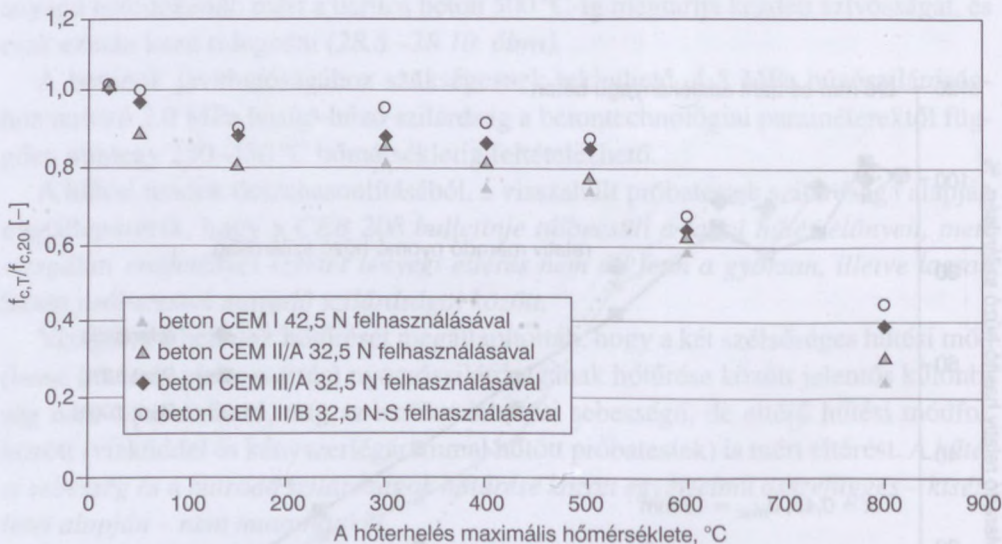
28.8. ábra. A 0/6 mm-es barit adagolás hatása a hőterhelés utáni relatív maradó nyomószilárdságának változására (jelölés: barit adagolás  $m_{0/4}$ %-ban) [Fehérvári (2009)]



28.9. ábra. A 0/6 mm-es barit adagolás hatására a hőterhelés utáni relatív maradó hasító-húzó szilárdságának változására (jelölés: barit adagolás  $m_{0/4}$ %-ban) [Fehérvári (2009)]



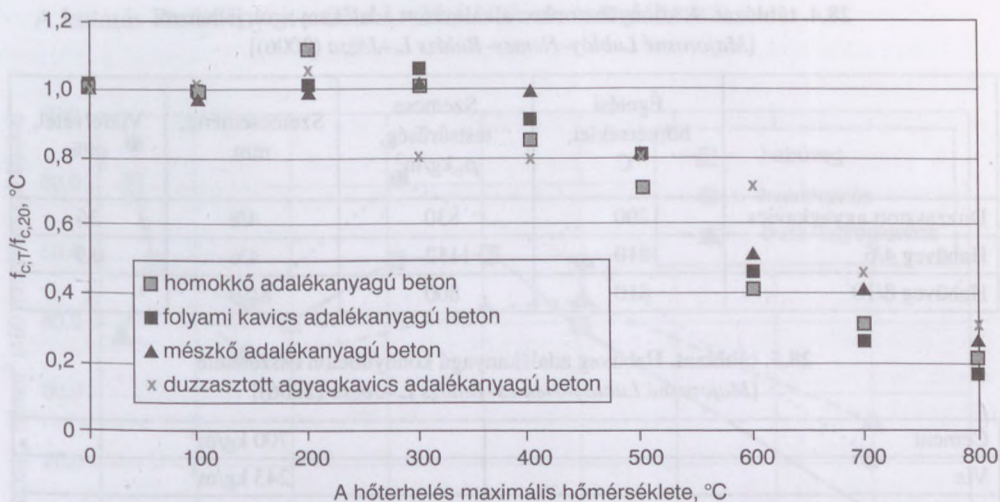
28.10. ábra. A 0/6 mm-es barit adagolás hatása a maradó H/N érték, azaz a Brinke szám reciprokának relatív változására [Fehérvári (2009)]



28.11. ábra. A beton relatív, maradó nyomószilárdsága a cementtípus és a hőterhelés maximális hőmérséklete függvényében (28 napos korú próbatestek, minden pont 3 mérési eredmény átlagának felel meg) [Majorosné Lublós-Balázs L. (2010)]

A CEM II/A-S 42,5 N, CEM III/A 32,5 N és CEM III/B 32,5 N-S jelű kohósalaktartalmú cementtel készített beton relatív maradó nyomószilárdsága a hőterhelés hatására nagyobb, mint CEM I 42,5 N jelű tiszta portlandcementtel készített betoné.





28.12. ábra. A beton relatív, maradó nyomószilárdságának változása nagy hőmérsékleten, az adalékanyag típusától függően [Schneider (1986)]

(1) A cement kohósalak-tartalmának növekedésével a beton hőterhelés utáni relatív maradó nyomószilárdsága nő.

(2) A 800 °C-os hőterhelés után a CEM I 52,5 N-jelű portlandcementtel készített beton maradó relatív nyomószilárdsága 23%, a CEM III/B 32,5 N-S-jelű kohósalak-cementtel készített beton relatív, maradó nyomószilárdsága 44% volt, azaz a kohósalak-cement-tartalmú beton esetén kétszerese a portlandcement betonénak.

A beton szilárdsági jellemzőinek nagy hőmérséklet hatására bekövetkező változását az *adalékanyag típusa is meghatározza* [Schneider (1986), Khoury és társai (2001)]. Schneider (1986) szerint minden adalékanyag-típushoz jellegzetesen más viselkedés tartozik.

A nyomószilárdság vizsgálatát – ebben a kísérletsorozatban – szobahőmérsékletre visszahűlt állapotban végezték, mivel a melegen vizsgált próbatestek maradó nyomószilárdsága nagyobb, mint a szobahőmérsékleten vizsgáltaké [Schneider (1986)]. A nyomószilárdság-hőmérséklet összefüggés diagramján (28.12. ábra) 200 °C-ig nem olvasható le egyértelmű tendencia.

Majorosné Lublőy–Nemes–Balázs L.–Józsa (2006) a könnyű adalékanyagok viselkedését tanulmányozták. A könnyűbetonhoz három különböző adalékanyagot használtak. A könnyű adalékanyagok tulajdonságait a 28.4., a betonok összetételét a 28.5.–28.7. táblázatban tüntették fel.

#### A vizsgálatok

A nyomószilárdságot szabványos 150 mm élhosszúságú kockákon határozták meg. A próbatesteket 1 napos korig sablonban, azt követően 7 napos korig víz alatt, majd a vizsgálatig laborlevegőn tárolták. A próbatestek a hőterhelés időpontjában legalább 28, legfeljebb 40 naposak voltak. A nyomószilárdság-vizsgálat előtt a pró-

**28.4. táblázat.** A könnyűbetonhoz alkalmazott adalékanyagok jellemzői  
[Majorosné Lublőy–Nemes–Balázs L.–Józsa (2006)]

	Égetési hőmérséklet, °C	Szemcse testsűrűség, $\rho_1, \text{kg/m}^3$	Szemcseméret, mm	Vízfelvétel, m%
Duzzasztott agyagkavics	1200	830	4/8	36
Habüveg 4/6	810	1152	4/6	0,9
Habüveg 8/10	810	800	8/10	1

**28.5. táblázat.** Habüveg adalékanyagú könnyűbeton összetétele  
[Majorosné Lublőy–Nemes–Balázs L.–Józsa (2006)]

Cement	700 kg/m <sup>3</sup>
Víz	243 kg/m <sup>3</sup>
Természetes folyami homok (0/4 mm)	823 kg/m <sup>3</sup>
Habüveg 4/6 mm	83 kg/m <sup>3</sup>
Habüveg 8/10 mm	120 kg/m <sup>3</sup>

**28.6. táblázat.** Duzzasztott agyagkavics adalékanyagú könnyűbeton összetétele  
[Majorosné Lublőy–Nemes–Balázs L.–Józsa (2006)]

Cement	700 kg/m <sup>3</sup>
Víz	245 kg/m <sup>3</sup>
Természetes folyami homok (0/4 mm)	823 kg/m <sup>3</sup>
Duzzasztott agyagkavics 4/8 mm	173 kg/m <sup>3</sup>

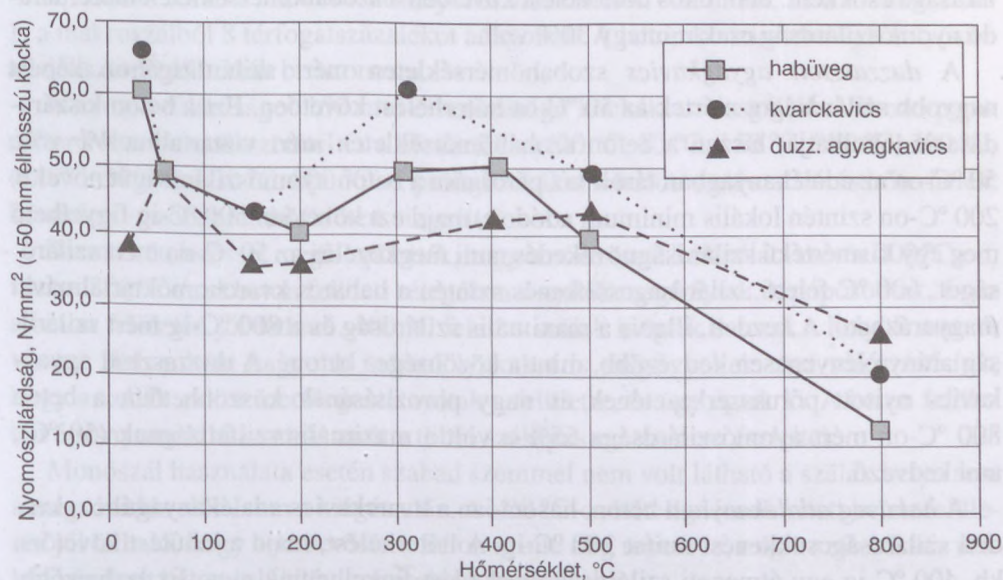
**28.7. táblázat.** Kvarckavics adalékanyagú beton összetétele  
[Majorosné Lublőy–Nemes–Balázs L.–Józsa (2006)]

Cement	350 kg/m <sup>3</sup>
Víz	150 kg/m <sup>3</sup>
Természetes folyami homok (0/4 mm)	895 kg/m <sup>3</sup>
Kavics 4/8 mm	475 kg/m <sup>3</sup>
Kavics 8/16 mm	533 kg/m <sup>3</sup>

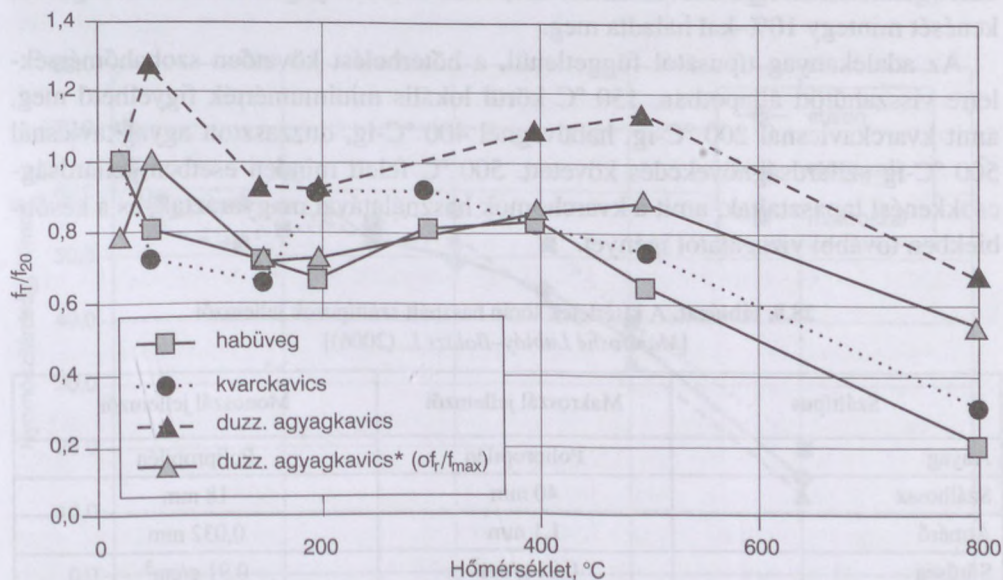
bakockákat 2 órán át különböző hőmérsékletekre melegítették fel: 50 °C, 150 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, illetve 800 °C-ra. A próbatesteket előmelegített kemencébe helyezték, 2 órán át a megadott hőmérsékleten tartották, majd a szoba-hőmérsékletre való visszahűlésüket követően vizsgálták. Az azonos összetételű próbatesteket – a hőterhelés időpontjától függetlenül – azonos korban (pl. 33 napon) vizsgálták. Etalonként minden összetételből vizsgáltak laborhőmérsékleten (20 °C-on) tárolt próbatesteket is azonos korban. A betonkockák nyomószilárdságát erővezérelten működő *Amsler*-típusú törőgépen határozták meg.



A kutatás eredményeit a 28.13.–28.14. ábrán szemléltettük.



28.13. ábra. A nyomószilárdság alakulása a különböző összetételű betonok esetén hőmérséklet hatására a laborhőmérsékleten (20 °C) mérve [Majorosné Lublós-Nemes-Balázs L.-Józsa (2006)]



28.14. ábra. A kvarckavics, a habüveg és a duzzasztott agyagkavics adalékanyagú betonok nyomószilárdságának változása a hőmérséklet hatására a laborhőmérsékleten (20 °C) mért nyomószilárdságához képest (átlagértékek), illetve \*-gal jelölt helyen a legnagyobb szilárdság függvényeként [Majorosné Lublós-Nemes-Balázs L.-Józsa (2006)]

A kvarckavics adalékanyagú beton nyomószilárdsága 50–150 °C közötti tartományban csökkent, 200 °C-on lokális maximum adódott. 300 °C fölött a beton szilárdsága csökkent. 800 °C-os hőterhelést követően a szobahőmérsékleten mért maradó nyomószilárdság csak mintegy 30% volt.

A duzzasztott agyagkavics szobahőmérsékleten mért szilárdságához képest nagyobb szilárdságot mértek az 50 °C-os hőterhelést követően. Ezt a beton kiszáradása indokolhatja, hiszen a beton szobahőmérsékleten mért víztartalma 4% volt. 50 °C-on az adalékanyagban tárolt víz párolgása a beton nyomószilárdságát növelte. 200 °C-on szintén lokális minimum adódott, majd ezt követően 500 °C-ig figyelhető meg egy kismértékű szilárdságnövekedés, ami megközelíti az 50 °C-on mért szilárdságot. 600 °C feletti szilárdságcsökkenés szintén a habarcs kvarchomoktartalmával magyarázható. A kezdeti, illetve a maximális szilárdság és a 800 °C-ig mért szilárdság aránya lényegesen kedvezőbb, mint a közönséges betoné. A duzzasztott agyagkavics nyitott pórusszerkezetének és nagy porozitásának köszönhetően a beton 800 °C-on mért nyomószilárdsága 65%-a volt a maximális szilárdságnak (50 °C), ami kedvező.

A habüveg adalékanyagú beton, hasonlóan a kvarckavics adalékanyagúhoz, kezdeti szilárdságcsökkenést mutat 200 °C-ig. A hőterhelést, majd a lehűtést követően kb. 400 °C-ig egy átmeneti szilárdságnövekedést figyelhetünk meg. Ez kedvezőbb, mint a közönséges betoné, ahol már 200 °C-ot követően csökkent a szilárdság. A vizsgálataik során azt tapasztalták, hogy 800 °C-on a habüveg tovább duzzadt, és a beton felületén kifolyt. 800 °C-on a kvarckavics adalékanyagú beton szilárdságcsökkenését mintegy 10%-kal haladta meg.

Az adalékanyag típusától függetlenül, a hőterhelést követően szobahőmérsékletre visszahűtött állapotban, 150 °C körül lokális minimumérték figyelhető meg, amit kvarckavicsnál 200 °C-ig, habüvegnél 400 °C-ig, duzzasztott agyagkavicsnál 500 °C-ig szilárdságnövekedés követett. 500 °C felett minden esetben szilárdságcsökkenést tapasztaltak, amit a kvarchomok használatával magyaráztak, és a későbbiekben további vizsgálatot igényel.

**28.8. táblázat.** A kísérletek során használt száltípusok jellemzői  
[Majorosné Lublós-Balázs L. (2006)]

Száltípus	Makroszál jellemzői	Monoszál jellemzői
Anyag	Polipropilén	Polipropilén
Szálhossz	40 mm	18 mm
Átmérő	1,1 mm	0,032 mm
Sűrűség	0,91 g/cm <sup>3</sup>	0,91 g/cm <sup>3</sup>
Olvadáspont	171 °C	160 °C
Gyulladáspont	360 °C	365 °C
Savállóképesség	Nagy	Nagy



Majorosné Lublőy-Balázs L. (2006) a műszáltartalmú beton viselkedését tanulmányozta. A száltípusok jellemzőit a 28.8. táblázat szemlélteti.

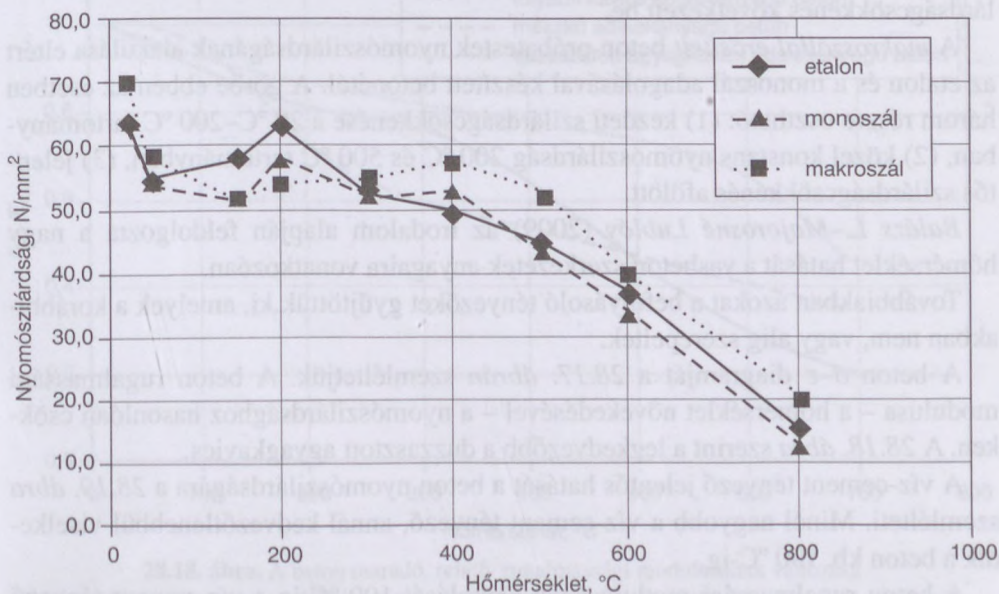
A kutatás során a víz-cement tényezőt választották etalonnak, és a monoszálból 1, a makroszálból 8 térfogatszázalékot adagoltak. A beton konzisztenciáját folyósító adalékszerrel állították be azonosra.

A nyomószilárdságot 150 mm élhosszúságú kockákon vizsgálták. Változó paraméter volt a betonösszetétel és a hőmérséklet (20 °C, 50 °C, 150 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 800 °C). A próbakockákat a felfűtés után – 2 órás hőterhelést követően – szobahőmérsékleten vizsgálták.

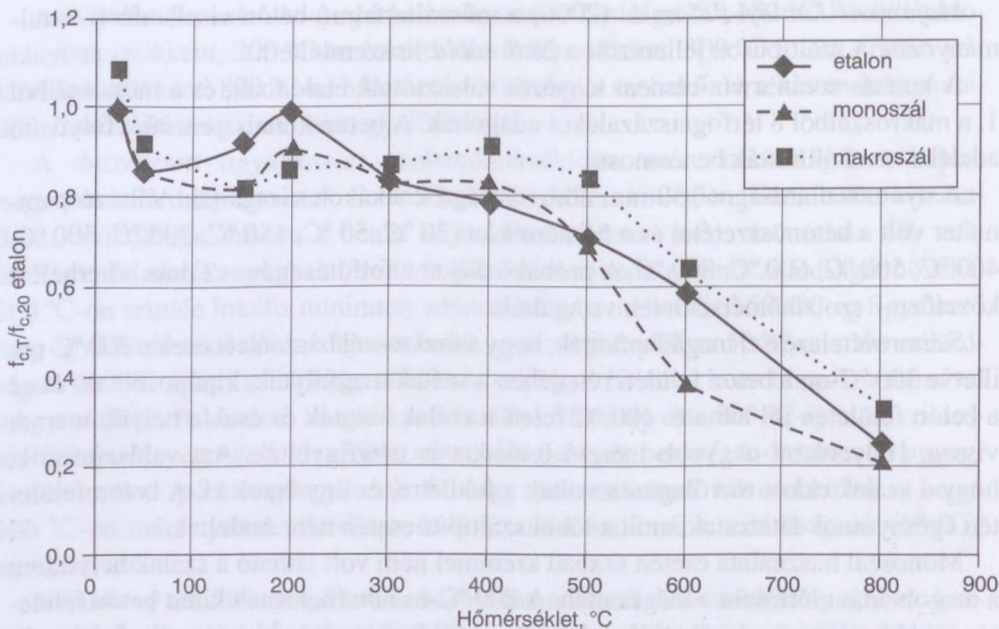
Szemrevételezéssel megállapították, hogy a makroszál használata esetén 200 °C-on, illetve 300 °C-on a beton felületi rétegében a szálak megfolytak, kipúposodtak, és ez a beton felületén jól látható. 400 °C felett a szálak kiégtek és csak a helyük maradt vissza. Helyenként nagyobb méretű lyukakat is megfigyeltek. Azt valószínűsítik, hogy a szálak ekkor merőlegesen voltak a felületre, és úgy égtek ki. A beton felületén égésnyomok látszottak, amit a többi száltípus esetén nem észleltek.

Monoszál használata esetén szabad szemmel nem volt látható a szálak helye sem a megolvadás előtt, sem a kiégés után. A 800 °C-os hőterhelésnek kitett beton felületén jól látható, hogy a szálerősített beton szinte alig repedt le, míg a szálerősítés nélkül készített beton felületén számottevő repedés volt.

A monoszálakat tartalmazó beton nyomószilárdság-változása gyakorlatilag azonos tendenciát mutatott az etalon betonéval, beleértve a kezdeti 20 °C-on mért értéket is (28.15.–28.16. ábra). A 20 °C-200 °C-os tartományban egy érdekes völgy ala-



28.15. ábra. A nyomószilárdság alakulása a hőmérséklet függvényében (4 mérési eredmény átlaga) [Majorosné Lublőy-Balázs L. (2006)]



**28.16. ábra.** A nyomószilárdsági értékek százalékos alakulása a hőmérséklet függvényében (4 mérési eredmény átlaga) [Majorosné Lublőy-Balázs L. (2006)]

kult a nyomószilárdság ábráján mindkét esetben, ami azt jelentette, hogy kis hőmérsékletemelkedés már okozott szilárdságsökkenést, de 150 °C és 200 °C között ismét nyomószilárdság-növekedés volt tapasztalható. 200 °C felett egyenletes szilárdságsökkenés következett be.

A *makroszállal erősített* beton próbatestek nyomószilárdságának alakulása eltért az etalon és a monoszál adagolásával készített betonétól. A görbe ebben az esetben három részre osztható: (1) kezdeti szilárdságsökkenése a 20 °C–200 °C tartományban, (2) közel konstans nyomószilárdság 200 °C és 500 °C tartományban, (3) jelentős szilárdságsökkenés afölött.

Balázs L.–Majorosné Lublőy (2009) az irodalom alapján feldolgozta a nagy hőmérséklet hatását a vasbeton szerkezetek anyagaira vonatkozóan.

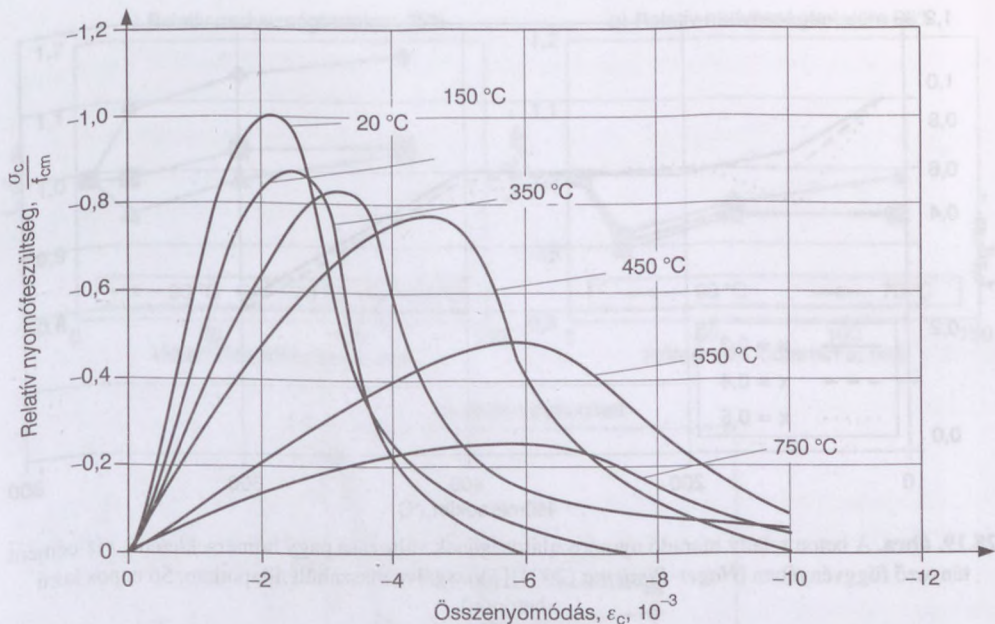
Továbbiakban azokat a befolyásoló tényezőket gyűjtöttük ki, amelyek a korábbiakban nem, vagy alig szerepeltek.

A beton  $\sigma$ – $\varepsilon$  diagramját a 28.17. ábrán szemléltetjük. A beton rugalmassági modulusa – a hőmérséklet növekedésével – a nyomószilárdsághoz hasonlóan csökken. A 28.18. ábra szerint a legkedvezőbb a duzzasztott agyagkavics.

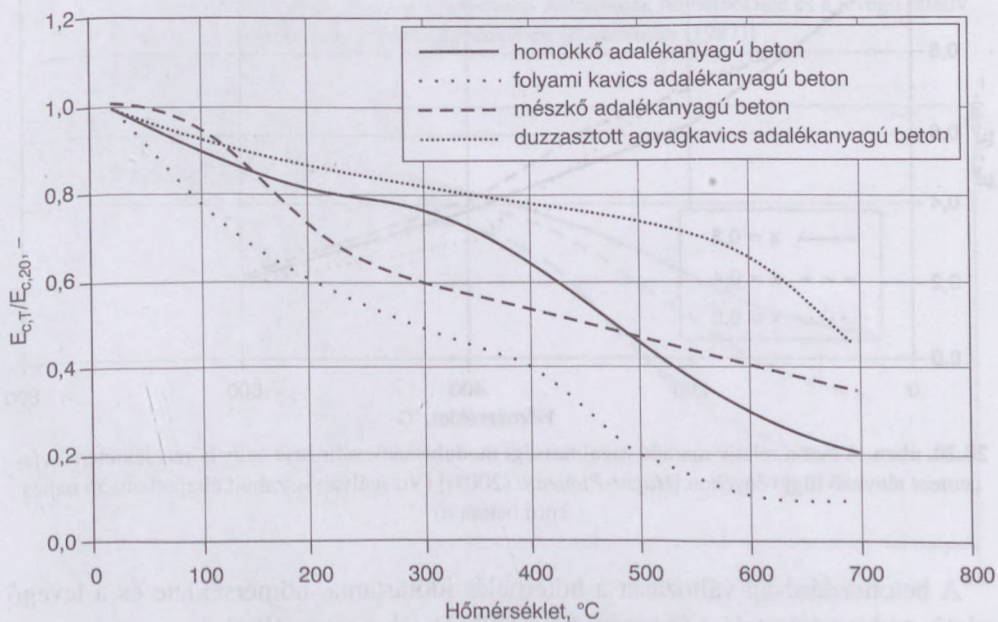
A víz-cement tényező jelentős hatását a beton nyomószilárdságára a 28.19. ábra szemlélteti. Minél nagyobb a víz-cement tényező, annál kedvezőtlenebbül viselkedik a beton kb. 100 °C-ig.

A beton rugalmassági modulusának alakulását 100 °C-ig a víz-cement tényező alig befolyásolja. 100 °C felett a hatás már nagyobb (28.20. ábra).

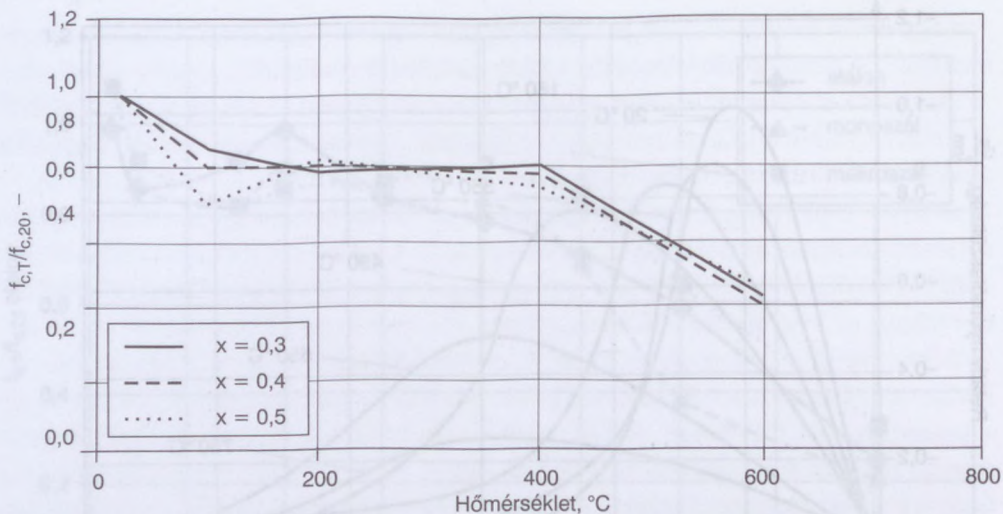




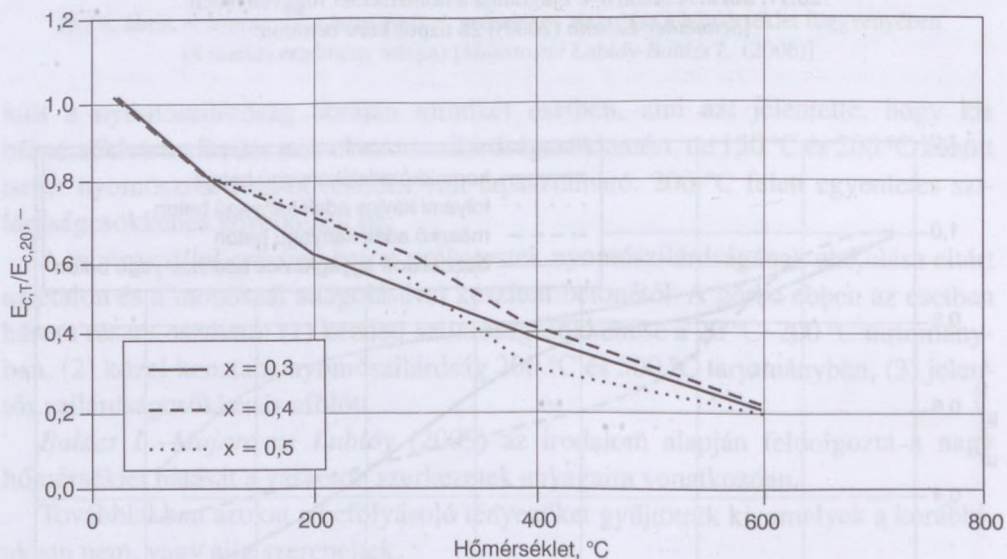
28.17. ábra. A beton  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramja a hőmérséklet függvényében [Schneider-Lebeda (2000)] 28 napos korú betonon



28.18. ábra. A beton maradé, relatív rugalmassági modulusának változása nagy hőmérsékleten az adalékanyag típusától függően [Schneider (1986)] (Vizsgálva visszahűlt állapotban, 56 napos korú betonon)



**28.19. ábra.** A beton relatív maradó nyomószilárdságának változása nagy hőmérsékleten a víz-cement tényező függvényében [Hager-Pimienta (2004)] (Vizsgálva visszahűlt állapotban, 56 napos korú betonon)

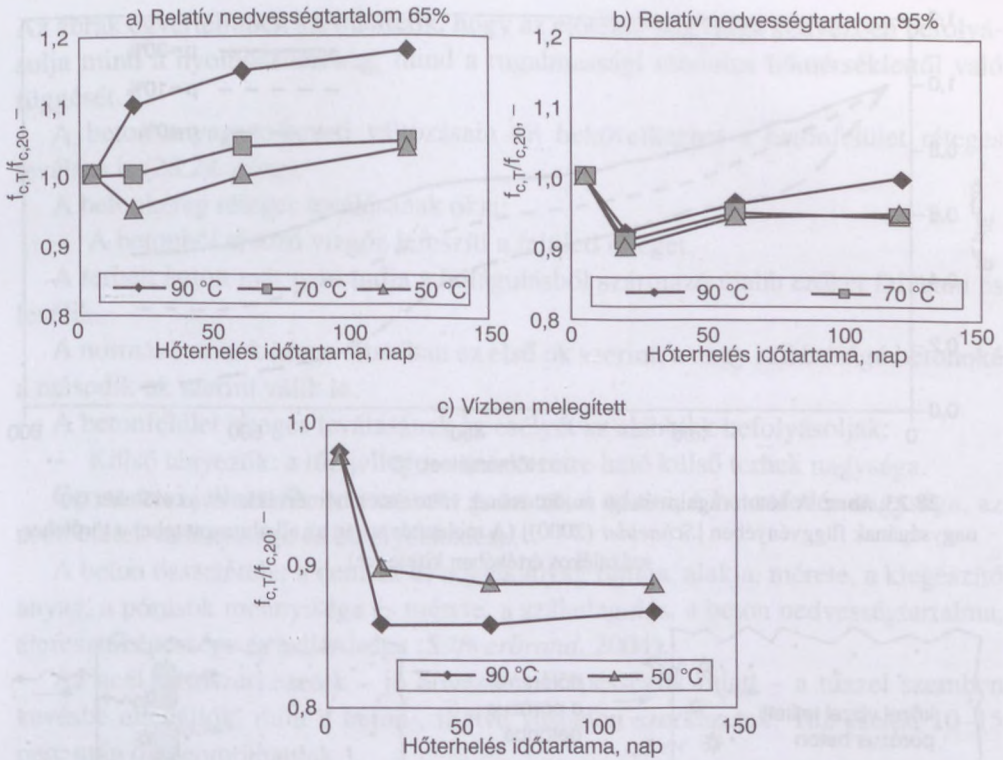


**28.20. ábra.** A beton relatív maradó rugalmassági modulusának változása nagy hőmérsékleten a víz-cement tényező függvényében [Hager-Pimienta (2004)] (Vizsgálva visszahűlt állapotban, 56 napos korú betonon)

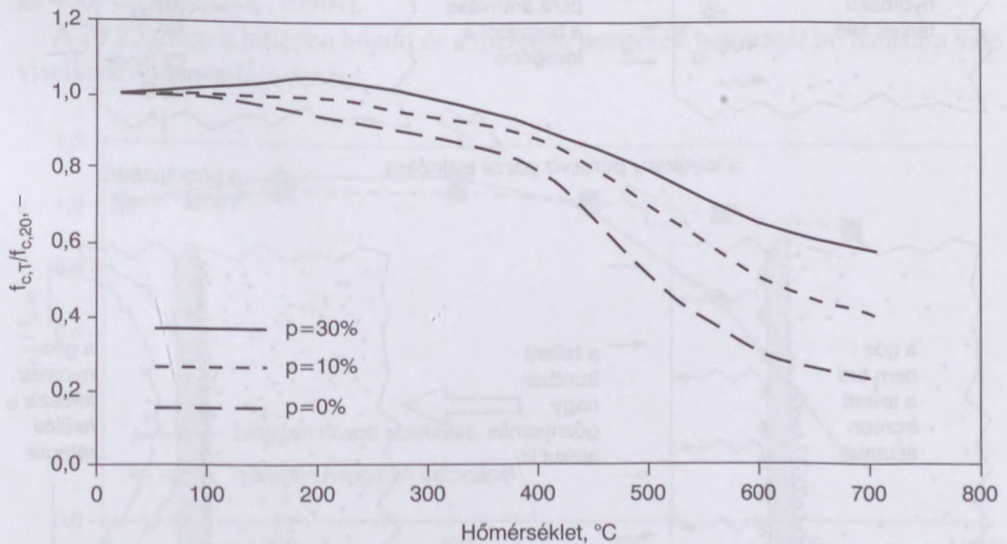
A betonszilárdság változását a hőterhelés időtartama, hőmérséklete és a levegő relatív nedvességtartalma függvényében a 28.21. ábra szemlélteti.

A beton nyomószilárdságát a hőmérséklet és az előteher nagysága függvényében a 28.22., a beton rugalmassági modulusának a változását a 28.23. ábra tartalmazza.

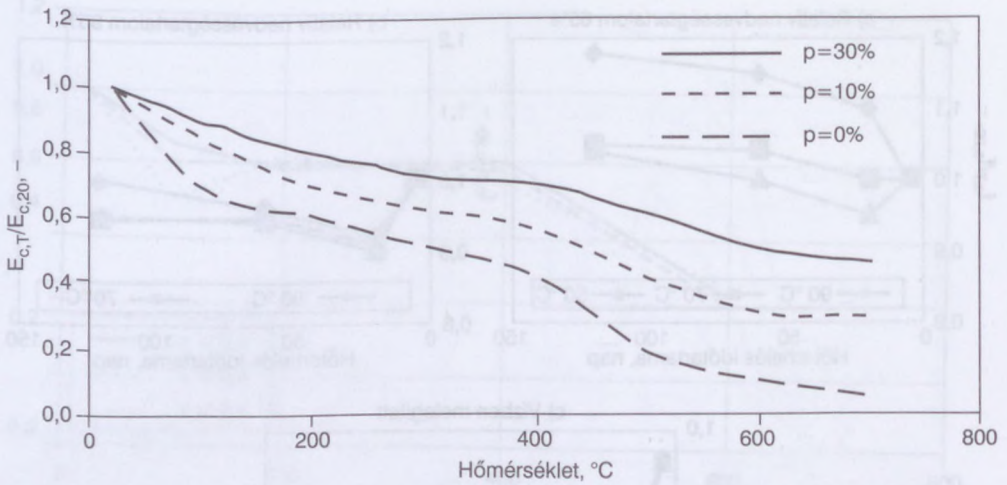




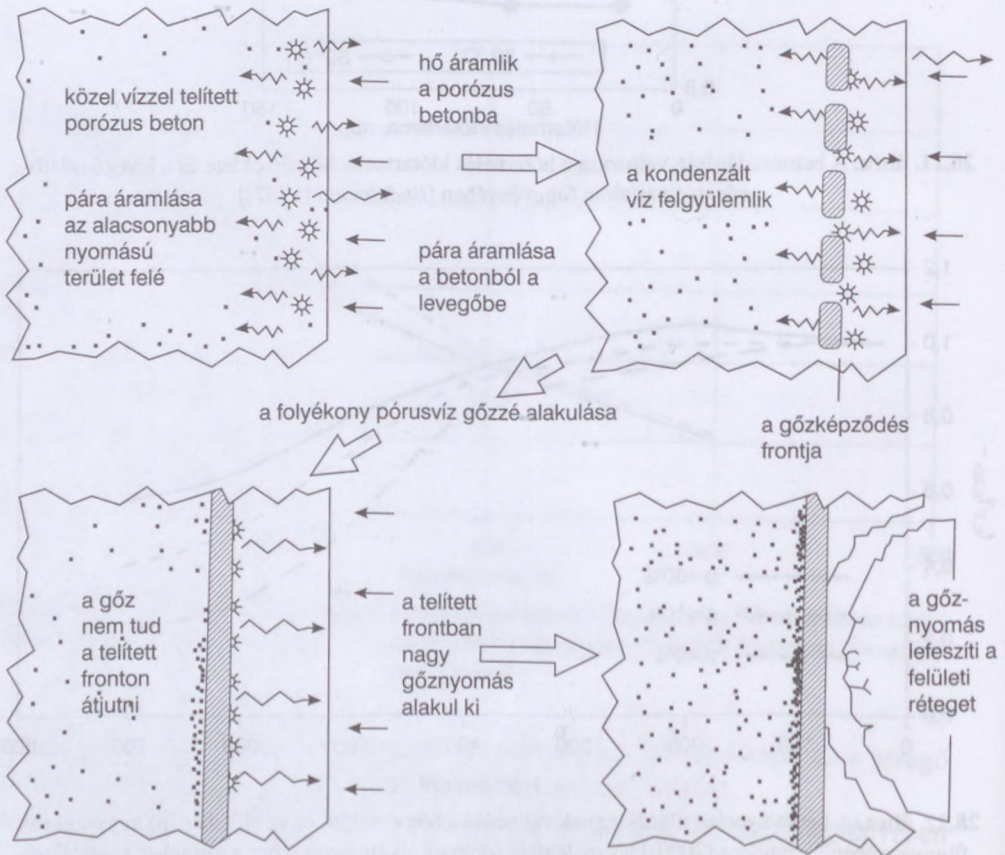
28.21. ábra. A betonszilárdság változása a hőterhelés időtartama, hőmérséklete és a levegő relatív nedvességtartalma függvényében [Budelmann (1987)]



28.22. ábra. A beton nyomószilárdságának változása a hőmérséklet és az előteher (p) nagyságának függvényében [Schneider (2000)] (A melegítés során az alkalmazott teher a törőteher százalékos értékében kifejezve)



28.23. ábra. A beton rugalmassági modulusának változása a hőmérséklet és az előteher (p) nagyságának függvényében [Schneider (2000)] (A melegítés során az alkalmazott teher a törőteher százalékos értékében kifejezve)



28.24. ábra. A betonfelület leválásának mechanizmusa [Winterberg-Dietze (2004)]



Az ábrák egyértelműen szemléltetik, hogy az előteher nagysága kedvezően befolyásolja mind a nyomószilárdság, mind a rugalmassági modulus hőmérséklettől való függését.

A beton anyagszerkezeti változásain túl bekövetkezhet a betonfelület réteges leválása is (28.24. ábra).

A betonkéreg réteges leválásának okai:

- A betonból távozó vízgőz lefeszíti a felületi réteget.

A terhelt beton már nem tudja a hőtágulásból származó újabb erőket felvenni és leválik.

A normál betonok kérgé általában az első ok szerint, a nagy szilárdságú betonoké a második ok szerint válik le.

A betonfelület réteges leválásának az esélyét az alábbiak befolyásolják:

- Külső tényezők: a tűz jellege, a szerkezetre ható külső terhek nagysága.

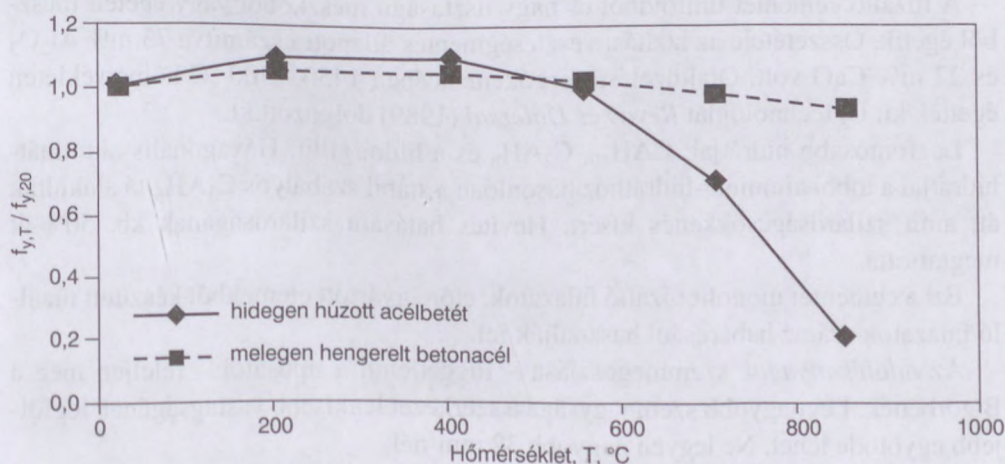
Geometriai jellemzők: a szerkezet geometriai adatai, a betonfedés nagysága, az acélbetétek mennyisége és elhelyezkedése.

A beton összetétele: a cement és adalékanyag fajtája, alakja, mérete, a kiegészítő anyag, a pórusok mennyisége és mérete, a száladagolás, a beton nedvességtartalma, áteresztőképessége és szilárdsága (Silfwerbrand, 2004).

Az acél tartószerkezetek – jó hővezetési képességük miatt – a tűzzel szemben kevésbé ellenállóak, mint a beton-, illetve vasbeton szerkezetek. Tűz esetén 10–15 perc után összeomolhatnak.

Vasbeton szerkezetekben az acélbetétek tűzvédelmét meg kell oldani. A melegen hengerelt betonacélok kritikus hőmérséklete 500 °C, a hidegen alakított betonacéloké 400 °C [Mészáros (1990)].

A 28.25. ábra a hidegen húzott és a melegen hengerelt betonacél hő hatására való viselkedését hasonlítja össze.



28.25. ábra. A hidegen húzott és melegen hengerelt betonacél viselkedése hőterhelés után lehűlt állapotban [Felicetti–Meda (2005)]



## 28.4. A hőálló, illetve a tűzálló beton anyagai

A 28.2. táblázat szerint a normál betonban 500 °C hőmérsékletig csak kisebb változások mennek végbe, amelyekre bizonyos szilárdságromlás már bekövetkezik, 573 °C hőmérsékleten az  $\alpha$ -kvarc  $\beta$ -kvarc módosulatba megy át, ami térfogatnövekedéssel jár, tehát a kvarc adalékanyagú beton tönkremegy. A cementkő bomlása 500 °C fölött fokozottabb, és kb. 800 °C-nál befejeződik, a portlandcement kötőanyagú betonok tönkremennek.

Mindezek figyelembevételével a hő-, illetve tűzálló betonok anyagait a következők szerint választjuk meg.

A *hőálló betonokhoz*, ha a szilárdsági igény kicsi (legfeljebb C8), akkor megfelelőek 32,5 szilárdsági jelű, tiszta vagy heterogén portlandcementek. Ha a szilárdsági igény nagyobb, akkor 600–800 °C hőmérsékleten már aluminátcementeket kell használni. Adalékanyagul megfelelnek azok az adalékanyagok, amelyeknek megfelelő az önszilárdsága és ezen a hőmérsékleten nem károsodnak. Ilyenek: bazaltzúzalék, téglá, habosított kohósalak, kazánsalak, samott, tufazúzalék stb.

A portlandcementekből keletkező kalcium-szilikát-hidrátok ebben a hőmérséklet-tartományban már hidrátvizük nagy részét elveszítik, romlik a kötőerejük. Ezért legalább az adalékanyag finom részét olyan anyagokból célszerű készíteni, amelyek keramikus kötést hozhatnak létre. Ilyen savanyú anyagok: a traszliszt, a samottliszt, a pernye, kazánsalakliszt, téglaliszt, esetleg korundliszt.

A bauxitcementet tűzálló betonhoz már az 1930-as években alkalmazták [Gedon (1937)].

Hazai gyártására először az 1950-es évek végén került sor az ÉAKKI Cement Osztálya közreműködésével. A Selypi Cementgyár gyártotta, 1975-ben szabványosították (MSZ 4702/9-75) [Tűzálló cement... (1966), Révay (1966)].

A tűzálló cementet timföldből és nagy tisztaságú mészkőből vagy égetett mészből égetik. Összetétele az izzítási veszteségmentes állapotra számítva 73 m%  $Al_2O_3$  és 27 m% CaO volt. Olajtüzelésű forgókemencében 1450–1500 °C hőmérsékleten égették ki. Új technológiát Révay és Dolezsai (1989) dolgozott ki.

Legfontosabb hidrátjai:  $CAH_{10}$ ,  $C_2AH_8$  és a hidrargillit. Hexagonális alumináthidrátjai a többi alumináthidrátéhoz hasonlóan a stabil szabályos  $C_3AH_6$ -tá alakultak át, amit szilárdságcsökkenés kísért. Hevítés hatására szilárdságának kb. 50%-át megtartotta.

Ezt a cementet monolit tűzálló falazatok, előre gyártott elemekből készített tűzálló falazatok száraz habarcsául használják fel.

Az *adalékanyagok* szemmegoszlása – függetlenül a típusától – feleljen meg a B görbének. Legnagyobb szemnagysága a szerkezet legkisebb vastagságának legfőbb egyötöde lehet. Ne legyen nagyobb 32 mm-nél.

Adalékszer *használat*a nem ajánlott.



## 28.5. A beton összetétele

[Ujhelyi (2005), Palotás–Balázs (1980)]

A hő-, illetve tűzálló betonokat a hőhatás után maradó nyomószilárdságnak megfelelő jellel jelöljük. Hőhatás nélkül – a 28.1. táblázatnak megfelelően – ennek kétszeresét kell elérnie hőhatás nélkül.

A beton végleges összetételét próbakeveréssel, illetve az ezekből készített próbatestek hőállóság-vizsgálata alapján kell meghatározni.

A próbakeveréshez szükséges betonösszetétel kiválasztását segítik elő a 28.9.–28.11. táblázatok.

A beton élettartama 20–25 év, és aluminátcement használatakor legfeljebb 10 év.

A tervezés során figyelembe lehet venni a 28.2. fejezetben ismertetett kísérleteket.

A hő-, és tűzálló vasalt beton- és vasbeton szerkezetek készítése során figyelembe kell venni egyrészt, hogy a beton és az acél lineáris hőtágulási együtthatója között különbség van, másrészt azt, hogy az acél szilárdsága 400 °C fölött jelentősen csökken. Ha a beton nem kellően hőszigetelő és túl nagy betonfedés kellene, akkor a tűztér felől hőszigetelő réteget alkalmazhatunk, illetve hőálló acélt kell használni. Ez utóbbi azonban költséges.

**28.9. táblázat.** +400 °C hőmérsékletig hőálló betonok tájékoztató összetétele  
[MÉASZ ME-04.19:1995]

Szilárdsági jel a hőigénybevétel után	Adalékanyag	Cement		Kiegészítő anyag	
		fajta	mennyiség kg/m <sup>3</sup>	fajta	mennyiség kg/m <sup>3</sup>
C4	Bazalt-, samott-, tufa-, téglá-, kohósalak-, tűzállópala-zúzalék, duzzasztott anyag	pc, tpc kspc ppc	200–400	samottliszt kazánsalak- liszt téglaliszt tufaliszt őrölt granulált kohósalak	0–200
C6			160–220		100–250
C8			230–280		0–250
			200–300		150–300
C10		350–450	0–400		
		260–350	200–400		
		450–500	0,450		
C12		pc, tpc, kspc	300–400		250–350
C16	360–500		300–350		
C20	480–530		450–530		

Jelölés: pc = portlandcement  
kspc = kohósalak-portlandcement  
ppc = pernyeportland-cement  
tpc = traszportlandcement

**28.10. táblázat.** +600 °C hőmérsékletig hőálló betonok tájékoztató összetétele  
[MÉASZ ME-04.19:1995]

Szilárdsági jel a hőigénybevétel után	Adalékanyag	Cement		Kiegészítő anyag	
		fajta	menyiség kg/m <sup>3</sup>	fajta	menyiség kg/m <sup>3</sup>
C4	Bazalt-, samott-, téгла-, kohóhabsalak-, tűzállópala-zúzalék	pc, tpc kspc ppc	200-400	samott-tégla-tufalisz	0-200
C6			160-220		100-250
C8			230-280		0-250
			200-300		150-300
C10	Bazalt-, samott-, tűzállópala-zúzalék	350-450	0-400		
		260-350	200-400		
C12	Bazalt-, samottzúzalék	pc, tpc, kspc	450-500		0,450
			300-400		250-350
C16			360-500		300-350
C20			480-530		450-530

Jelölés: pc = portlandcement  
kspc = kohósalak-portlandcement  
ppc = pernyeportland-cement  
tpc = traszportlandcement

**28.11. táblázat.** +800 °C hőmérsékletig hőálló betonok tájékoztató összetétele  
[MÉASZ ME-04.19:1995]

Szilárdsági jel a hőigénybevétel után	Adalékanyag	Cement		Kiegészítő anyag	
		fajta	menyiség kg/m <sup>3</sup>	fajta	menyiség kg/m <sup>3</sup>
C4	Bazalt-, samott-, téгла-, kohóhabsalak-, tűzállópala-zúzalék	kspc, ppc, tpc	310-350	samottliszt	260-310
C6	Bazalt-, samott-, tűzállópala-zúzalék	kspc	460-500		430-480
		ac	250-270		0
C8		kspc	480-520		450-500
			270-300		0
C10	Samottzúzalék	ac	290-330		*
			340-380		*
C12			400-450		*
C16			480-530		*

\* a samottzúzalék szemeloszlásától függő mennyiségben, hogy az adalékanyag szemeloszlása feleljen meg a „B” görbének.

Jelölés: pc = portlandcement  
ppc = pernyeportland-cement  
tpc = traszportlandcement  
kspc = kohósalak-portlandcement  
ac = aluminátcement



## 28.6. A beton készítése

A beton anyagait – tömeg szerinti kimérés után – a keverőgépbe a következő sorrendben kell adagolni:

- Először a cementet, a beton lisztfínomságú kiegészítő anyagait, majd a teljes vízszükséglet  $\frac{3}{4}$ -ét kell adagolni és 2 percen át keverni.

Az adalékanyag 4 mm-nél nagyobb részét és a megmaradt vizet kell adagolni és 2 percen át keverni.

A beton hőmérséklete  $+10$ – $+25$  °C legyen a keverés közben.

A betont az eltarthatósági időn belül be kell dolgozni.

A portlandcementtel (tisztá, vagy heterogén) készített beton hőmérséklete a szilárdulás tartamán  $10$ – $20$  °C legyen.

A bedolgozott betont nedvesen kell utókezelní, és a kiszáradás ellen takarással védeni kell.

A betonszerkezetet csak akkor szabad hőigénybevételnek kitenni, ha legalább 28 napos és légszáraz állapotú.

A hő- és tűzálló betonokat első esetben lassan (kb.  $50$  °C/óra sebességgel) kell felfűteni, hogy a beton lassan kiszáradhasson, és a keramikuskötés létrejöhessen. A tűzálló betonokat – első alkalommal – kb.  $100$ – $200$  °C-kal nagyobb hőmérsékletre hevítjük a használat közbeni hőmérsékletnél.

A beépített beton tűztér felőli oldalának gázzárónak kell lennie, amit úgy érünk el, hogy a felületet vízüveg- és bóraxkenéssel látjuk el. A vízüveg eltömi a beton pórusait, a bórax pedig megolvad, és gázzáró filmréteget hoz létre.

Végül megemlítjük, hogy nagy gondot okoz a betonnak az első felfűtés során bekövetkező vízleadással járó zsugorodása, ami rendszerint repedéseket okoz.

## 28.7. Minőség-ellenőrzés

A hő-, illetve tűzálló betonok készítéséhez minőség-ellenőrzési tervet kell készíteni. Abban részletezni kell a beton összetételét, készítését (utókezelését is) és annak ellenőrzési módját, az ellenőrzés gyakoriságát.

# 29. Vákuumozott beton

[Balázs (1994)]

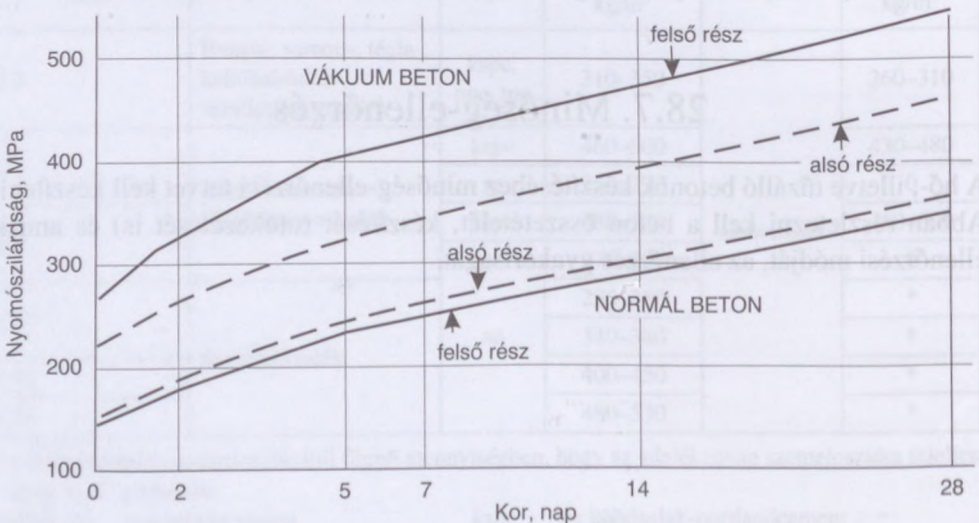
## 29.1. Fogalma

A beton vákuumozását *Billner* szabadalmaztatta 1938-ban az USA-ban [*Palotás-Kilián-Balázs* (1968)].

A vákuumozás alap gondolata az volt, hogy a beton könnyen bedolgozható legyen, majd a keverővíz-felesleget a frissen bedolgozott betonból elszívják. Tehát nagy víz-cement tényezőjű betont dolgozhatnak be, de a vákuumozás révén kis víz-cement tényezőjűvé, tehát nagyobb szilárdságúvá alakul át.

## 29.2. A vákuumozás előnyei

- Gyors szilárdulás. 12 óra múlva járható, 24–48 óra múlva használatba vehető.
- Megnö a beton nyomószilárdsága a hagyományos betonéhoz képest (29. 1. ábra).
- Megnö a beton tömörsége, és ezáltal vízzárósága, fagyállósága, vegyszerállósága.
- Ha kopásálló adalékanyagot használunk, akkor kopásálló beton, ha mészkő adalékanyagot, akkor szikramentes beton készíthető.



29.1. ábra. Vákuumozott és normál beton nyomószilárdsága külföldi irodalmi adatok alapján [Segédlet...(1989)]



## 29.3. Története

A vákuumozás a II. világháború idején terjedt el az USA-ban és a Szovjetunióban, majd a háború után Lengyelországban és más országokban. *Kopycinski* (1960) az MTA által szervezett *Minőségi beton* című konferencián beszámolt a vákuumbeton alkalmazásáról a lengyel építőiparban. A II. világháború végén Lengyelország városai és falvai épületei romokban heverték. Náluk igen fontos szerepet töltött be a lakásépítésben a vákuumbeton. A 29.2. ábrán szemléltetjük a vákuumozott oszlopok és a velük együtt dolgozó előre gyártott födémek készítésének a menetét.

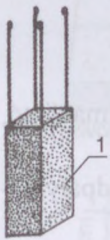
Hazánkban az első kísérleteket *Weiss Gy.* (1951) végezte, majd az ÉTI *Armuth* (1960, 1962, 1963) és *Dobossy* irányításával vizsgálta a vákuumozásra ható tényezőket: a beton összetételét, a légritkítás mértékét és tartamát, a vákuumozás közbeni vibrálást. Vizsgálta a beton tulajdonságait a vákuumozás hatására.

A beton vákuumozására a műszaki irányelveket 1960-ban *Armuth* András dolgozta ki. Ezt tartalmazza – korszerűsített formában – az *Ujhelyi* János által készített MI-04.19-81 és MÉASz ME-04.19-1995 is.

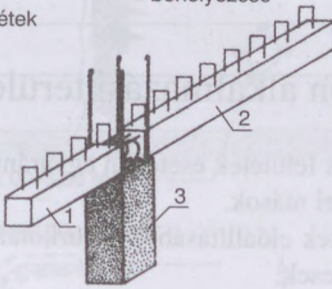
Hazánkban vákuumozással elsőként a XI. Villányi út 18. alatti lakóházat építette a 24. sz. ÁÉV (*Langsteiner* András építésvezető) az ÉTI [*Armuth* A. (1962)] irányításával.

### Külső csomópont készítése

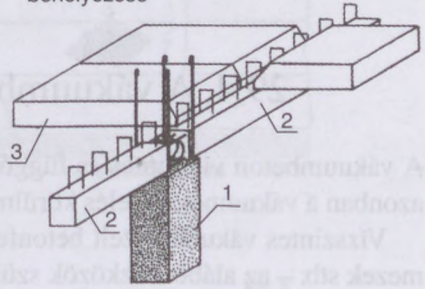
1. Vákuumozott oszlop és a kiálló függőleges vasbetétek



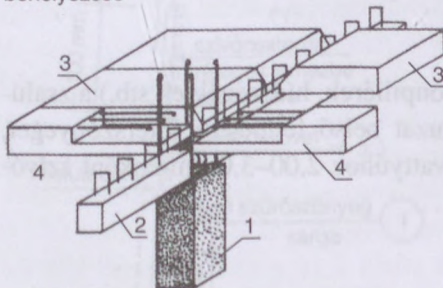
2. Hosszgerenda behelyezése



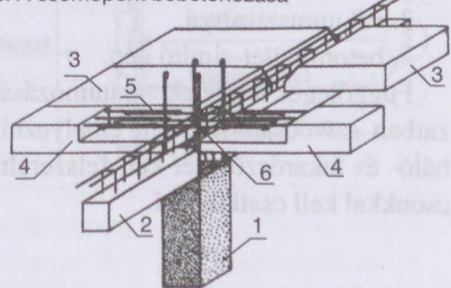
3. Előre gyártott lemez behelyezése



4. Keresztgerenda behelyezése



5. Vízszintes folytatólagos vasalás behelyezése



6. A csomópont bebetonozása

29.2. ábra. Lengyel példa a házépítésre: vákuumozott oszlop, előre gyártott födémek  
[*Kopycinski* B. (1960)]

A vákuumozással ezt követően kevés épületet építettek.

Majd a Hídépítő Vállalat kezdte el TREMIX eljárással alkalmazását hídpálya-  
lemezeknél 1980-ban, nagy sikerrel. Nevezetesebb alkalmazások: M0 autópályán a  
hárosi Duna-híd, dunaharaszti híd, Győr várost elkerülő autópálya hídjai, Millenniu-  
mi Földalatti Vasút felújítása.

A 31. sz. ÁÉV ugyancsak a svéd TREMIX AB-vel kötött know-how- és  
berendezésvásárlás alapján 1981 óta készített vákuumpadlót. Ezzel a módszerrel az  
ipari betonpadozatok gyártását meggyorsították és minőségét megjavították.

A 31. sz. Állami Építőipari Vállalat kivitelezésében vákuumtechnológiával készí-  
tett jelentősebb padlószervezetek (1992-ig):

- Budapest, Sportcsarnok.
- Bevásárlóközpont, Balatonföldvár.
- Műjégpálya, Szeged.
- Alba Regia Építőipari Vállalat lakkozó és leplestő üzeme.
- HUNGARORING főépülete, Mogyoród.
- Alföldi Porcelánárugyár szaniter bővítés, Hódmezővásárhely.
- MÁV üzemépülete, Békéscsaba.

Mindkét vállalat segédletet dolgozott ki a jó minőségű vákuumbeton vállalati elő-  
állításához. Továbbiakban a Hídépítő Vállalat segédletére támaszkodunk.

Az 1970–1980-as években csúcstechnológia volt. Ezt követően az új technológi-  
ák (pl. öntömörödő beton) háttérbe szorították.

## 29.4. A vákuumbeton alkalmazási területe

A vákuumbeton vízszintes és függőleges felületek esetében egyaránt alkalmazható,  
azonban a vákuumos kezelés körülményei mások.

Vízszintes vákuumkezelt betonfelületek előállításához – burkolatok, hídpálya-  
mezek stb. – az alábbi eszközök szükségesek:

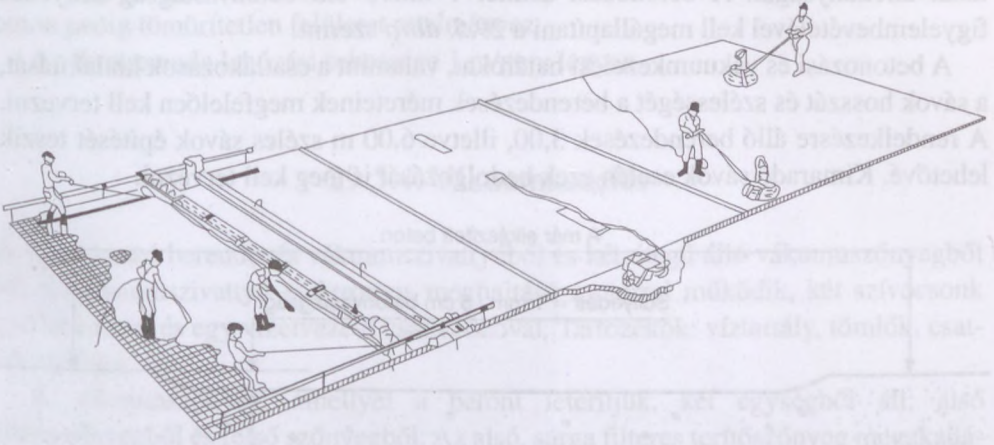
1. tartóláb, vezetősín, vibrogerenda,
2. alsó filteres és felső szívószőnyeg,
3. vákuumszivattyú,
4. betonfelület-simító gép.

Függőleges felületek vákuumozásához (betonpillérek, hídszegélyek stb.) a zsalu-  
zatban szívócsatornát kell elhelyezni. A zsaluzat belső felületére filterszőnyeget,  
háló- és takarószövetet kell felszerelni. A szivattyúhoz 2,00–3,00 m-enként szívó-  
csonkkal kell csatlakozni.

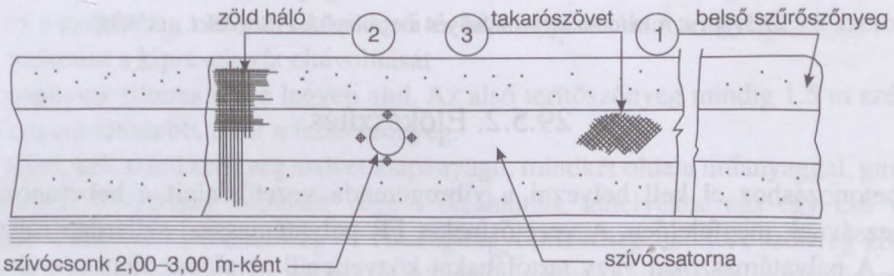


## 29.5. A vákuumbeton készítésének a technológiája

A vákuumbeton készítésének folyamatát a 29.3. ábra szemlélteti. Példát hídszegély függőleges felülete vákuumozására a 29.4. ábra szemléltet.

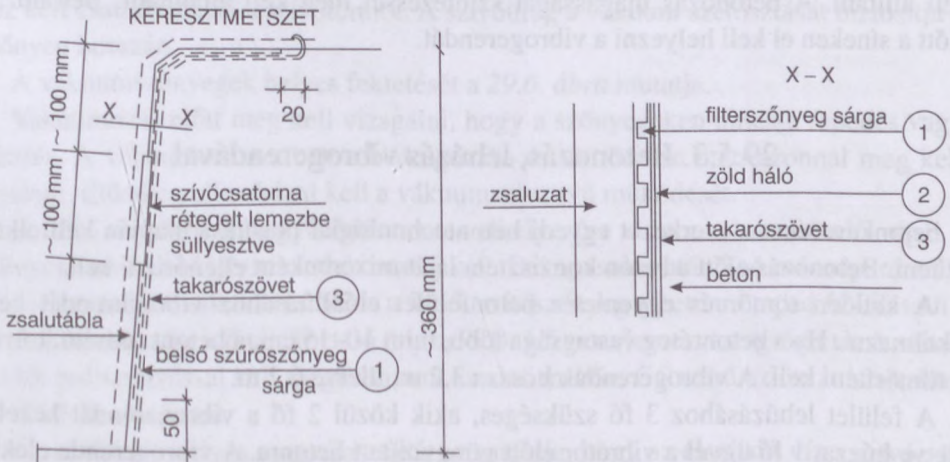


29.3. ábra. A vákuumbeton készítésének menete [Segédlet...(1989)]



szívócsonk 2,00-3,00 m-ként

szívócsatorna

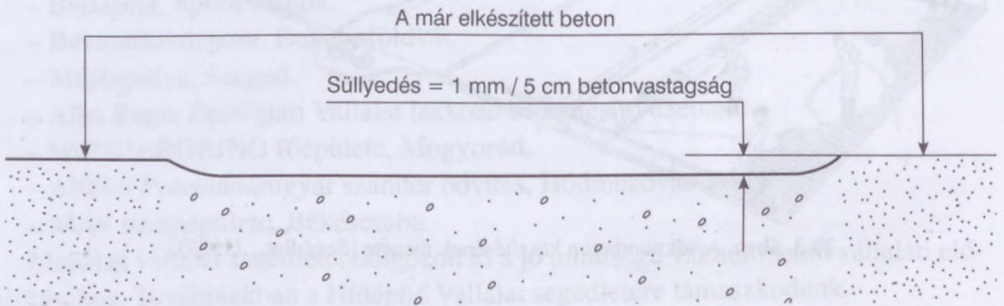


29.4. ábra. Példa hídszegély függőleges felülete vákuumozására [Segédlet...(1989)]

### 29.5.1. A vákuumozás tervezése

A vákuumbeton készítése esetén meg kell határozni a betonozási sorrendet. A betonozási ütemnek megfelelően el kell készíteni a zsaluzatokat és ellenőrizni kell a zsaluzat állékonyságát. A betonozási szintet 1 mm/5 cm betonvastagság-süllyedés figyelembevételével kell megállapítani a 29.5. ábra szerint.

A betonozási és vákuumkezelési határokat, valamint a csatlakozások kialakítását, a sávok hosszát és szélességét a berendezések méreteinek megfelelően kell tervezni. A rendelkezésre álló berendezések 3,00, illetve 6,00 m széles sávok építését teszik lehetővé. Kimaradó sávok esetén ezek bedolgozását is meg kell tervezni.



29.5. ábra. A betonozási szint helyes megállapítása [Segédlet...(1989)]

### 29.5.2. Előkészítés

A betonozáshoz el kell helyezni a vibrogerenda vezetősíneit a bebetonozandó lemezsávnak megfelelően. A vezetősíneket FR pályatámasszal szilárdan rögzíteni kell. A pályatámasszokat vagy tartólábakat közvetlenül az alapra vagy a zsaluzatra kell állítani. A betonozás magasságát szintezéssel meg kell állapítani. Betonozás előtt a síneken el kell helyezni a vibrogerendát.

### 29.5.3. Betonozás, lehúzás vibrogerendával

A betonkeveréket a szerkezet egyedi betontechnológiai utasítása alapján kell elkészíteni. Betonozás előtt a beton konzisztenciáját mixerenként ellenőrizni kell.

A kellően tömör és egyenletes betonfelület előállításához vibrogerendát kell alkalmazni. Ha a betonréteg vastagsága több, mint 10–15 cm, a betont rúdvrátórral is tömöríteni kell. A vibrogerendák hossza 3,2 m, illetve 6,2 m.

A felület lehúzásához 3 fő szükséges, akik közül 2 fő a vibrogerendát kezeli, illetve húzza, 1 fő ügyel a vibrátor előtt göngyöltet betonra. A vibrogerenda elektromos motorjának bekapcsolása előtt a húzóköteleket feszesen kell tartani, hogy a



vibrátor előremozduljon, amikor elkezd vibrálni. Ha a gerenda úgy vibrál, hogy közben nem mozgatjuk, akkor a betonfelület bordás, barázdás lesz.

Ahhoz, hogy a beton helyes magasságban legyen elterítve, a beton a vibrogerenda előtt 1–2 cm-rel magasabban legyen.

Ha a gép előtt túl sok beton van, a betontöbblet a vibrátor mögé kerül, túl kevés beton pedig tömörítetlen felületet eredményez.

A vibrogerenda lehúzási sebessége 1 m/perc legyen.

#### 29.5.4. Vákuumkezelés

A vákuumozó berendezés vákuumszivattyúból és kétrétegű álló vákuumszőnyegből áll. A vákuumszivattyú elektromos meghajtású motorral működik, két szívócsonk csatlakozóval és egy vízvezető csatlakozóval. Tartozékok: víztartály, tömlők, csatlakozófejek.

A vákuumszőnyeg, amellyel a betont leterítjük, két egységből áll: alsó filterszőnyegből és felső szőnyegből. Az alsó, sárga filteres terítőszőnyeg megakadályozza, hogy a cement és egyéb részecskék a vízzel együtt a vákuum hatására a betonból eltávozzanak. A szőnyeg dudorai a közbenső teret biztosítják a felső terítőréteg és a szűrőréteg között. A közbenső tér biztosítja a vákuum egyenletes szétosztását, valamint a kipréselt víz eltávolítását.

A paplanok filteres része legyen alul. Az alsó terítőszőnyeg mindig 1,5 m széles és 20 cm-rel rövidebb, mint a felső szőnyeg.

A felső, kék színű szőnyeg szövet alapanyagú, mindkét oldala műanyaggal, gumival bevont. A szőnyeg mindkét vége visszahajtott, amelyekbe egy-egy cső van bedugva a könnyű kiteríthetőség és visszagöngyölíthetőség miatt. A szőnyeg közepén van a szívóüreg, szívócsonkkal (tömlőcsatlakozóval) kiképezve. A szívócsonkhoz kell csatlakoztatni a szívótömlőt. A szívóüreg a vákuum szétosztását biztosítja a szőnyeg hosszán.

A vákuumszőnyegek helyes fektetését a 29.6. ábra mutatja.

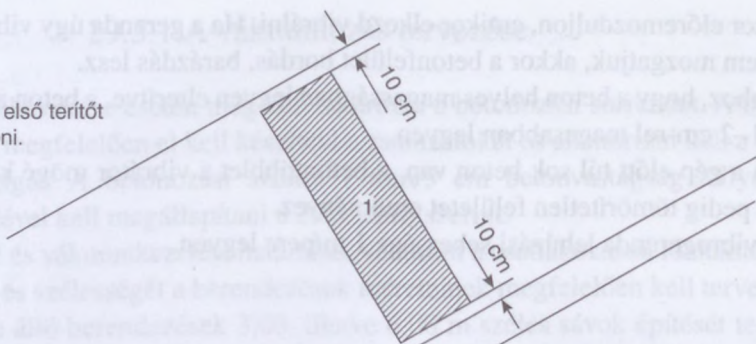
Vákuumozás előtt meg kell vizsgálni, hogy a szőnyegeken nincs-e repedés vagy sérülés. A vákuumozást a beton bedolgozása és tömörítése után azonnal meg kell kezdeni. Előzőleg ellenőrizni kell a vákuumszivattyú működését.

A felső terítőszőnyeg gyűrődésmentes elhelyezése után a vákuumtömlő végét a szőnyeg szívócsonkjához csatlakoztatni kell. Bekapcsolás után 3–4 másodperc múlva – jó hatásfokú vákuum esetén – a felső terítőszőnyeg a betonra tapad és kifeszül.

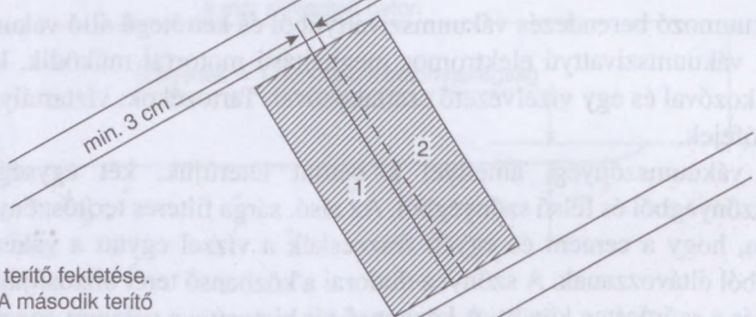
A vákuumozási idő tájékoztató értéke: 1,0–1,5 perc/lemezvastagság cm. A szívási időt próbaszívással kell meghatározni az első mezőn. Célszerű az öszsvíz tartalom 15–25%-át elszívatni.

A szívási idő helyes megválasztását az mutatja, hogy az elszívott víz a szívócsövön már csak csepegve jelenik meg. Eltérés esetén a szívásidőt értelemszerűen

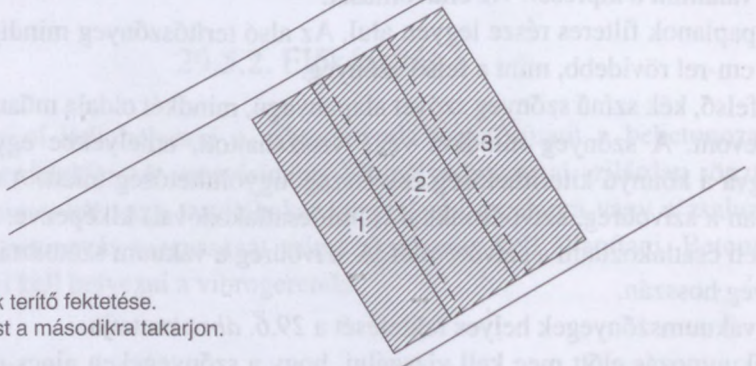
Először az első terítőt  
kell leteríteni.



A második terítő fektetése.  
Figyelem! A második terítő  
valamennyire az elsőre  
takarjon.



A harmadik terítő fektetése.  
Valamelyest a másodikra takarjon.



**29.6. ábra.** A vákuumszőnyegek helyes fektetésének a menete [Segédlet...(1989)]

módosítani kell. A vákuumozás befejezése előtt a felső szőnyeget egy kissé vissza kell göngyölníteni, hogy az alsó filterszőnyeg 5–6 cm-t kilátszódjon, ezután még 10–15 másodpercig kell a vákuumozást folytatni.

A vákuumozását követően meg kell mérni az elszívott víz mennyiségét. A vákuumozás idejét, illetve az elszívott víz mennyiségét jegyzőkönyvben rögzíteni kell. A vákuumozás befejezése után az alsó filterszőnyeget vízzel teli hordóban azonnal le kell mosni.



### 29.5.5. Gépi simítás

Közvetlenül a vákuumkezelés után a beton felülete járható. Ez lehetővé teszi a felület utósimítását forgótárcsás gépi simítóval. A gépi simító kétfokozatú kapcsolóval működik. A gépet a lassúbb fokozatkapcsolóval kell beindítani. A gépi simítást minimum kétszer kell elvégezni. Ha nagyobb az elszívás, a felület száraz. Simításkor a felület nedvesítése megengedett.

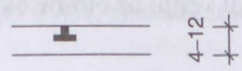
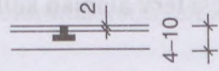
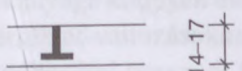
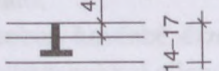
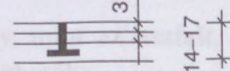
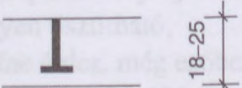
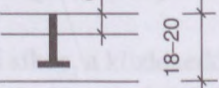
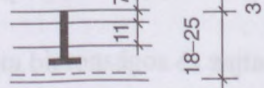
### 29.5.6. A beton utókezelése

Az elkészített betonfelületet filterítéssel 14 napig vízzel utókezelni kell, amelyet a beton mattulása után, de legkésőbb 3–4 óra elteltével meg kell kezdeni.

### 29.5.7. A padlókészítés fontos eleme

A padlókészítés fontos eleme a TREFORM-gerenda (29.7. ábra), amelynek feladata:

- Padlókészítés során oldalzsulzat.
- A felületképző vibrogerenda vezető sínje.
- Dilatációs hézagképző.
- Javítja a vasalás elhelyezését a pontosságát.

	Vasalatlan padló	Egyrétegű vasalás	Kétrétegű vasalás
TR 4			—
TR 12			
TR 16			

29.7. ábra. TREFORM gerendák kiválasztása (31. ÁÉV Vákuumbeton palló „TREFORM” gerendával c. termékismertetője)

## 29.6. A beton összetétele

A vákuumbetont szabványosan az MI-04. 19-81. szerint kell előállítani és bedolgozni.

A betonösszetételt az alábbiak figyelembevételével kell meghatározni:

- A cement lehet bármelyik szabványos cement.
- A vákuumozás hatása a 250–400 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom esetén kedvező.
- A vákuumozás eredményességét a cement őrlésfinomsága befolyásolja. Ezért szükséges a próbaszívás.
- A homok finomrészeinek (0,1 mm-es homoktartalom) mennyisége a cementtartalommal együtt nem lehet több 375–450 kg/m<sup>3</sup>-nél.
- Az adalékanyag összetételét célszerűen a B görbe határán kell meghatározni.
- A beton konzisztenciája képlékeny-kissé képlékeny határán legyen. Terület 42–46 cm legyen (MSZ 4714 szerint).
- Adalékszereket csak előzetes kísérletek alapján szabad felhasználni.

## 29.7. Minőség-ellenőrzés

A minőség-ellenőrzés lépései:

- A zsaluzatba kerülő beton konzisztenciája mérőszámát mixerkocsinkénti mintavétellel ellenőrizni kell.
- A konzisztenciát területtel kell mérni. Csak az a beton dolgozható be, melynek területe a betontechnológiai utasításban foglaltaknak megfelel.
- A betonozásról jegyzőkönyvet kell vezetni. Ebben rögzíteni kell a konzisztenciát, a vákuumozás idejét, illetve az elszívott víz mennyiségét.
- A vákuumozott beton minőségét az alapkeverék minősíti. A betonkeverékből az elfogadott minősítési terv alapján kell mintát venni az előírások szerint.



# 30. Betonutak, repülőterek, térburkolatok

## 30.1. Fogalmak

Az útbeton fogalmkörébe az alábbiak tartoznak:

- Autópályák, fő közlekedési útvonalak, másodrendű utak, mezőgazdasági utak útpályaszerkezete.
- Repülőterek kifutópályái, térburkolatai, épületek belső betonburkolatai, szerkezete.
- Ipari padozatok az épületen belül és épületen kívül. Padlóburkolatok szempontjából az ipar, a mezőgazdaság, a kereskedelmi hálózat raktárait, a szerelőhelyiségeit, a laboratóriumi helyiségeit, a szervizállomásokat mind ebbe a csoportba sorolhatjuk.

## 30.2. A betonútépítés kezdete külföldön

[Balázs (1995)]

A XIX. században Európában 1869-ben Grenoble-ban (Franciaország), míg az USA-ban 1893–94-ben Ohio állam Bellefontaine városában (kétrétegű 1,5×1,5 m-es lapok) építették az első betonutat. Az amerikai betonutat folyami homokos kavics adalékanyaggal készítették. 70 éves korban megvizsgálták. A helyszínen készített lapok az alap rossz tömörítése miatt megrepedtek, élei lecsorbultak, de még használhatóak voltak. A magminták 56 MPa nyomószilárdságúak voltak.

*Kleinlogel* a XX. század elején a betonutak előnyeit a következők szerint foglalta össze:

- gyorsan készíthető;
- a hozzá való anyag majdnem mindenütt megtalálható;
- adalékanyaga könnyen előállítható;
- hőmérséklet-változásokkal szemben kevésbé érzékeny, mint az aszfalt, térfogatváltozásai hossz- és keresztthézagokkal ellensúlyozható;
- kopása csekély;
- a porképződés rajta jelentéktelen (pl. csóatsajtolás az útpálya alatt);
- könnyen tisztítható;
- felszíne érdes, még esőben sem síkos, a közlekedés rajta biztonságos és zajtalan, a víz megfelelő keresztmetszvény esetén lefolyik;
- a pálya nem hullámos, a járművek előrehaladását nem lassítja;
- az út éjjel is jól látható;



- a fenntartási költségek csekélyek;
- később más burkolat alépitményeként használható.

#### *Hátrányai:*

- alatta a közművezetékek építése, javítása nehéz, mert a burkolatot meg kell bontani és helyre kell állítani. Tudjuk, hogy modern eszközökkel ez a hátrány csökken;
- ki van téve megrepedésnek, még tágulási hézagok készítése esetén is;
- vasabroncsos forgalomra zajos (ez a régi helyzetre utal);
- betonutak építésénél az út a forgalom elől hosszabb időre elzárandó;
- szulfátos vagy savas talajvízben betonutat nem szabad építeni.

*Németországban* az első betonútnak a bresloui (Boroszló) cementmakadámot tekintik, amelyet 1886-ban építettek. A modern betonútépítés 1925-ben kezdődött. Az 1927. év végéig megépített betonutak hossza kb. 220 km-nek felelt meg, amely az egész úthálózat 1,1%-át tette ki.

*Hász Sándor* (1929) tanulmányút alapján azt a nézetét fejtette ki, hogy a betonút vasalása hatástalan. Részletesen ismertette a hézagkiképzés módjait. Véleménye szerint a repedések ellen az alap és a beton megfelelő elkészítésével kell védekezni, a hézagokat, a betonút e gyenge pontjait egymástól olyan messzire kell kialakítani, amennyire csak lehet, és a legkisebb szélességben.

*Hász Sándor* (1929) részletesen megadta az 1927. év végéig épített német betonutak jellemző adatait.

Az *olasz betonútépítés* kezdeteiről szintén *Hász* (1927) számolt be. 1922-ben a Touring Club Italiano részvételével az ügy iránt érdeklődők részvénytársaságot alapítottak autótutak építésére. Az autótutakat teljesen magántőke építette, tartotta üzemben és használta ki üzletileg. Az állam nem volt részvényes, de szerződésben garantálta a részvénytársaság jogi helyzetét (50 évre megadta az utak üzleti kihasználásának a jogát). A szerződés szerint az utak 50 év múlva ingyen az állam birtokába jutottak. Ezért az állam az építési költség egyharmadát szubvenció formájában juttatta a társaságnak. Ezt a pénzt csak a részvénytulajdonosok kártalanítására használhatták fel, ha a vállalat a kis forgalom miatt tönkrement. Az állammal kötött szerződés az útépítést közhasznú munkának nyilvánította, megadta a kisajátítási és vámszedési jogot, az illetékeleneket eltiltotta az út használatától, az út felügyelő személyzetét közhatalommal ruházta fel, és jogot adott az állami banknak, hogy az évi állami szubvenciót fedezet céljából tőkésítse.

A beton összetételét amerikai tanulmányutak alapján tervezték meg. 1 m<sup>3</sup> betonhoz 350 kg/m<sup>3</sup> cementet, 0,25 m<sup>3</sup> folyami homokot és 0,75 m<sup>3</sup> folyami kavicsot adagoltak. Az útbeton keveréséhez és bedolgozásához amerikai gépeket használtak. Az útbeton 20 cm-es zúzottkő alapon nyugodott. A betonút közepén 18, a széleken 22 cm vastag volt. 25–30 m-enként az út tengelyével 60°-os szöget bezáró kereszthézagot építettek.



Az útbetonhoz felhasznált anyagokat laboratóriumokban vizsgálták: vízfelvételt, fagyállóságot, kopási ellenállást Dorry-gépen, a minőségi koefficiensst Deval-gépen. A vizsgálatokat Hász (1927) részletesen leírta.

Angliában az első, mai értelemben vett betonutat 1912-ben Chesterben építették. A betonútépítés 1918-ig alig terjedt, 1919-ben 3, 1920-ban 34, 1921-ben 48, 1922-ben 90 nyilvános forgalmú betonutat építettek [Hász (1934, 1936)].

A párizsi városi utügyi szakosztály 1924-től 4 éven át kísérletezett több mint 200 000 m<sup>2</sup> útfelületen a különböző, akkor korszerűnek nevezett burkolatokkal (kockakő, kiskő, fakocka, hengerelt aszfalt, öntött aszfalt, beton, téglá, tökéletesített makadám) azonos útszakaszon, azonos forgalmi és éghajlati körülmények között [Just (1928)].

Az 1924-ben elvégzett első kísérletek bizonyították a betonutak síkosságmentességét. Ugyanezen kísérlet eredményeként küszöbölték ki a hengerelést alkalmazó és a kis cementtartalmú eljárásokat. 1925–26-ban 38 000 m<sup>2</sup> burkolatot készítettek. Előállítási és fenntartási költségei az aszfaltburkolaténál jóval kisebbek voltak. Mindemellett óvakodtak betonutat építeni lovas, tehát vasabroncsos és nehéz forgalmú helyeken, amerikai tapasztalatok alapján.

Párizsban is volt két sikertelen kísérlet. Az egyik a Szajna mentén, igen rossz talajra helyezett acélbetétes betonburkolat volt, amelynél az építés közbeni fagynak tulajdonították az erős felszíni romlásokat. A másik a Place-Mazason épített, Acierite nevű kísérleti burkolat volt, amelynél a felső rétegbe finomacél- vagy öntöttvasreszeléket kevertek, és amelynél a két különmű réteg tapadása volt tökéletlen [Just (1928)].

A betonút igazi hazája az USA, ahol az építést gondos laboratóriumi vizsgálatokkal, kísérleti utak építésével, hatalmas pénzeszegekkel segítették elő.

A modern utak építése 1904-ben kezdődött meg, az Egyesült Államokban 1916. jún. 11-én fogadták el az utügyi törvényt (Federal Aid Road Act), amely nagy lendületet adott az útépítésnek. Ez a törvény felhatalmazta a földművelésügyi minisztert, hogy szövetségi támogatásban részesítse az egyes államoknak azokat az útépítéseit, amelyeknek tervét előzetesen jóváhagyatták. Így egyrészt a fontosabb utak építése központi felügyelet alá került, másrészt kiterjesztették az állami ellenőrzést, mert a támogatásra igényt tartó államok útépítő hivatalok voltak kötelesek felállítani.

Az útépítéshez szükséges pénzt az autóengedélyek kiadásából és benzinadókból teremtették elő.

A szövetségi kormány az összköltségnek max. felét viselte. Mivel a fenntartás költsége teljesen az építővállalatot terhelte, ezért érdekében állt minél tartósabb utak építése.

Az USA-ban 1925-ig kb. 600 millió m<sup>2</sup> betonutat építettek. 1916–24 között az összes utak 38,4%-a 15 cm, vagy ennél vékonyabb útbeton volt. Kereszthézagokat 10–15 m-enként építettek. Hosszhézagot nem készítettek. Kezdetben a betont nem vasalták, később a vasalás 6 kg/m<sup>2</sup>-ig nőtt. Nagy súlyt helyeztek a homok tisztasá-



gára és jó összetételére. A durva adalékanyag legnagyobb szemmagysága 37,5–60,5 mm volt.

Itt jegyezzük meg, hogy a nyugat-európai országok betonút-építési előírásait és gyakorlatát – az 1969. évi Párizsi Útügyi Kongresszus eredményei alapján – *Balázs és Erdélyi* (1970) foglalta össze.

### 30.3. A betonútépítés helyzete Magyarországon

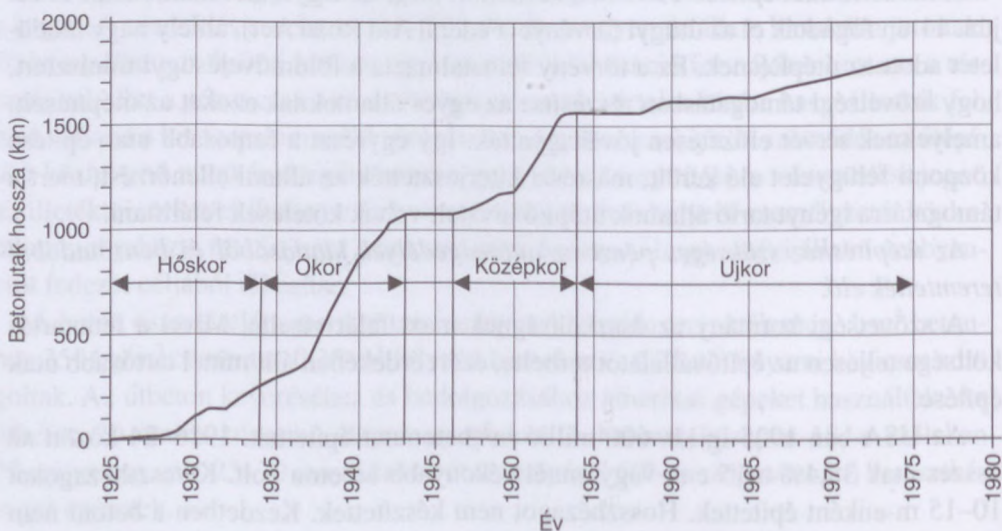
[Liptay (1996, 2008)]

A hazai betonútépítés újabb történetét Liptay cikkei alapján ismerjük, de ezek a cikkek nem foglalkoznak az egyéb területeken (pl. repülőtér, térburkolat stb.) épített betonburkolatokkal.

Az első sikeres betonburkolatú utat 1911-ben építették Iglón. Akkor még Magyarországhoz tartozott. Ezt követően több kísérleti burkolatszakaszt építettek. Ezek viszonylag gyorsan tönkrementek. A jelenlegi Magyarország területén az első igazán sikeres betonburkolatú utat 1927-ben építették Tát és Nyergesújfalu között. A burkolat 3 km hosszú útszakaszon épült jó minőségű betonból. A beton 1972-ben, 45 éves korában is jó állapotban volt.

**Az 1927–1935 közötti első időszak volt a hőskor.**

5,5 m széles betonburkolatokat építettek hosszhézag nélkül, a kereszthézagok távolsága 18–20 m volt. A burkolat közepén 15–18 cm vastag volt, a széleket vastagították. A hézagok a beton táblarészeket teljesen elválasztották egymástól, vagyis ezek a burkolat teljes vastagságán átmenő hézagok voltak. A burkolatba betonacél



30.1. ábra. Az évente épített betonút szakaszok összefített hossza [Liptay (1996)]



erősítést nem helyeztek, és a hézagokba sem szereltek acélbetéteket. A burkolatokat általában teherbíró alapra, bejáródott makadámra építették [Hász (1934)].

A hosszhézag hiánya és a kereszthézagok viszonylag nagy távolsága miatt a burkolatban hossz- és keresztrepedések jöttek létre, és így kialakultak azok a táblaméretetek, melyeknél további repedések a forgalmi terhelés és a hőmérsékletváltozás hatására már nem keletkeztek.

A 30.1. ábra szemlélteti az évente épített betonburkolatok összesített hosszát 1927 és 1975 évek között.

Az 1935-ig megépített betonút szakaszok összhossza 248 km (átlagos éves építési ütem 31 km).

### **Az 1935–1943 közötti időszak volt a betonútépítés ókora.**

A betonburkolatok szélességét 6 m-re növelték, középen hosszhézagot alakítottak ki, és a kereszthézagok távolságát a korábbi időszakban alkalmazotthoz képest csökkentették 8–12 m-re. Ebben az időszakban egyenletes vastagságú, 13 cm-es betonburkolatokat építettek. A burkolatokat általában közvetlenül a talajra, esetenként 15 cm vastag homokos kavics vagy zúzottkő ágyazatra helyezték (Jáki professzor hatására).

Sem a burkolatba, sem a hézagokba acélbetéteket nem szereltek. A hézagokat a beton teljes vastagságán átmenő hézagként alakították ki.

A csökkentett kereszthézag-távolságokkal kialakított betontáblák mérete még mindig nagyobb maradt annál, mint amellyel a repedések kialakulása elkerülhető lett volna. Ezek a vékony, 13 cm-es, alapréteg nélküli betonburkolatok az akkori forgalmi igénybevételeknek megfeleltek, azonban a II. világháborúban megnövekedett terhelések hatására a betonban további repedések, sérülések keletkeztek. Mindezek ellenére az így épített betonutak viszonylag hosszú időn keresztül (25–30 évig) alkalmasak maradtak a forgalom hordására. Az 1960-as évek közepén kezdték ezeket a burkolatokat átépíteni.

Az épített betonutak hossza 819,8 km (az átlagos építési hossz évente 91,1 km).

A háború éve alatt betonutat nem építettek.

### **A betonútépítés középkora az 1947–1954 közötti időszak.**

A szélességet 6,50 m-re növelték, a keresztmetszet mentén állandó vastagságú, 18 cm-es, acélbetét nélküli burkolatokat építettek. A kereszthézagok távolsága 8–12 m volt. A hosszhézagokat kezdettől vakhézagokként alakították ki. A kereszthézagokat az időszak első éveiben még a korábbiaknak megfelelően, átmenő hézagként készítették, később azonban 36 m-enként tágulási (dilatációs) hézagokat alakítottak ki és a tágulási hézagok között többi hézag vakhézag volt [Hanzély (1960)].

Ebben az időszakban kezdték el a hosszhézagoknál a szétválasztott táblarészek összekötését a hézagokban elhelyezett acélbetétekkel és a tágulási kereszthézagokba teherátadó acélbetétek szerelését.

A betonburkolatokat általában 15–20 cm vastag homokos kavics ágyazatra helyezték.

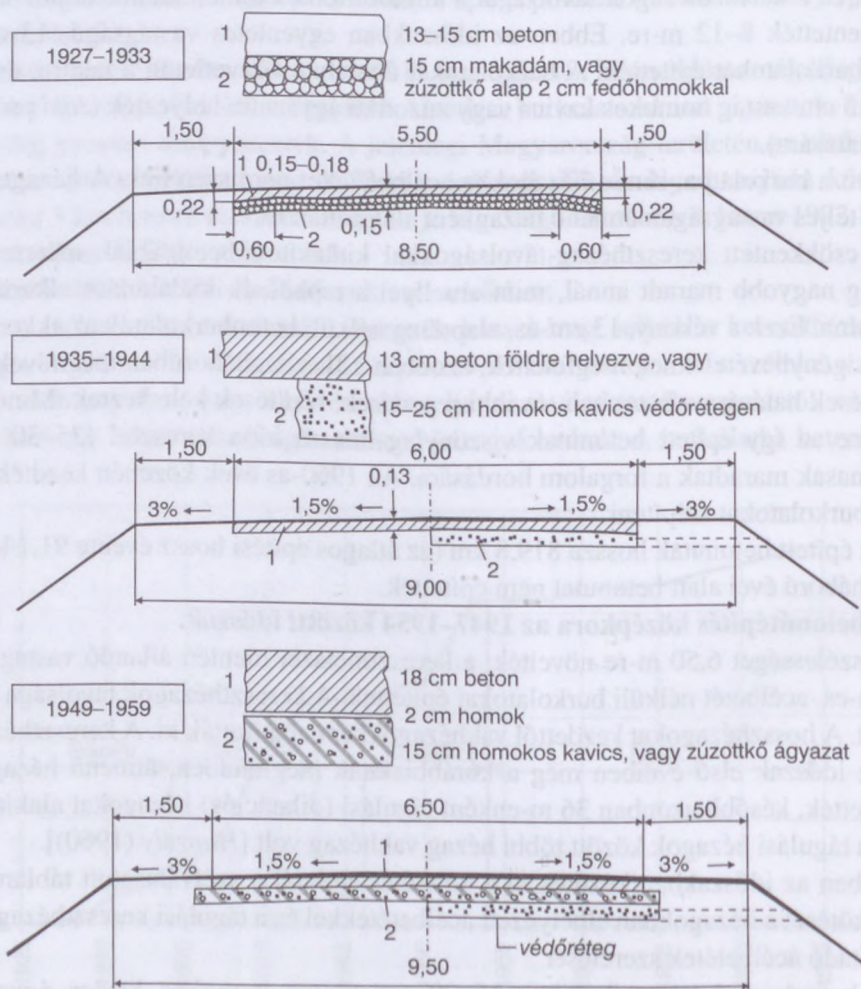


Az épített betonutak hossza 490,1 km, az átlagos éves építési ütem 70 km volt.

Az 1954-es évet követően a betonútépítés jelentősen visszaesett, amelyet a cementhiánnyal és az aszfaltútépítés versenyhelyzetét javító nagylengyeli bitumen megjelenésével lehet magyarázni.

### A betonútépítés újkora az 1958–1975 közötti időszak.

1958–60 között épített betonburkolatok szélessége 7 m, vastagsága a keresztmetszet mentén állandó, 18 cm. 6 m-enként készítettek keresztthézagokat, az időszak első felében a keresztthézagok közül minden hatodik tágulási hézagként készült, teherátadó acélbetétekkel. A tágulási hézagok közötti keresztthézagok vakhézagok voltak acélbetétek nélkül. Az időszak második felében a tágulási hézagok egymástól való távolságát fokozatosan növelték 60 m-re, majd 120 m-re, végül az M7-es autó-



30.2. ábra. Magyar betonutak jellegzetes keresztmetszetei és pályaszerkezetei 1927-59 között [Nemesdy (1971)]



pálya jobb oldali betonburkolatánál teljesen elhagyták a műtárgyak (hidak) közötti pályaszakaszban a tágulási hézagokat.

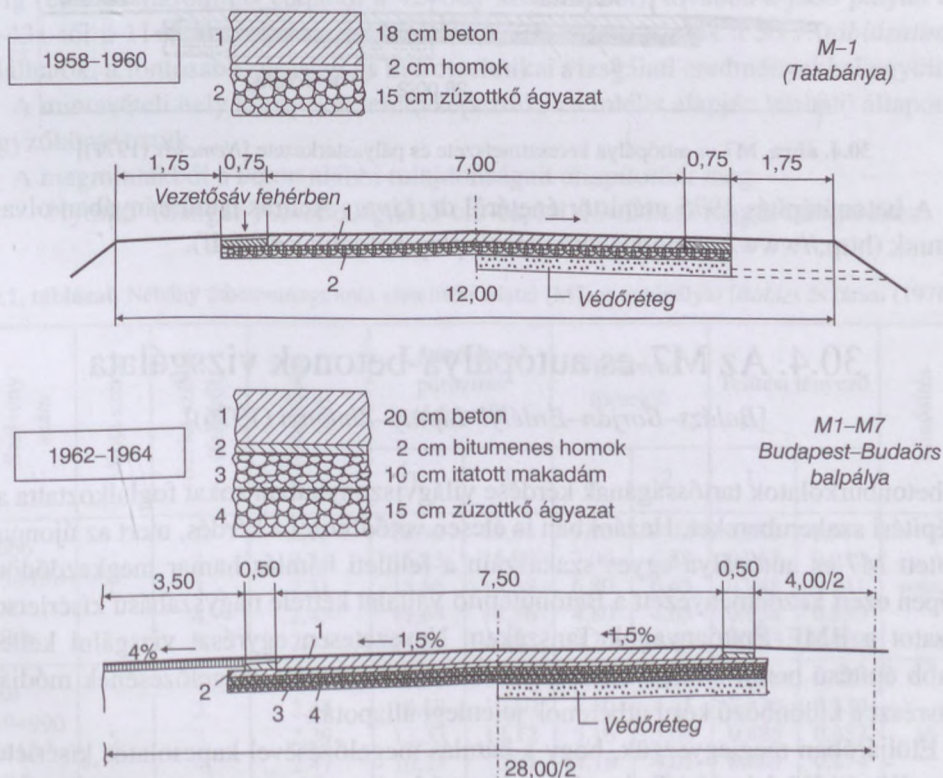
Az M7-es autópályát 1963-ban kezdték építeni. A burkolat 7,5 m, majd 1970-től 8,5 m széles volt. A burkolat vastagsága 1966-ig 20 cm, az 1967–1971 között épített szakaszon 22 cm, az 1972–1975 közötti években építettek pedig 24 cm volt.

A burkolat alapja a burkolat vastagságának változásával közel azonosan változott. A burkolatalap 15–20 cm homokos kavics, illetve zúzottkő-rétegről az M7-es autópályán 25 cm vastag zúzottkő-rétegre, amelyből 10 cm itatott makadám volt, majd aszfalt+mechanikai stabilizáció rétegekből összetett 25 cm vastag alapra és végül 15 cm cement kötőanyagú alsó rétegre helyezett 5 cm aszfalt burkolatalapra módosult.

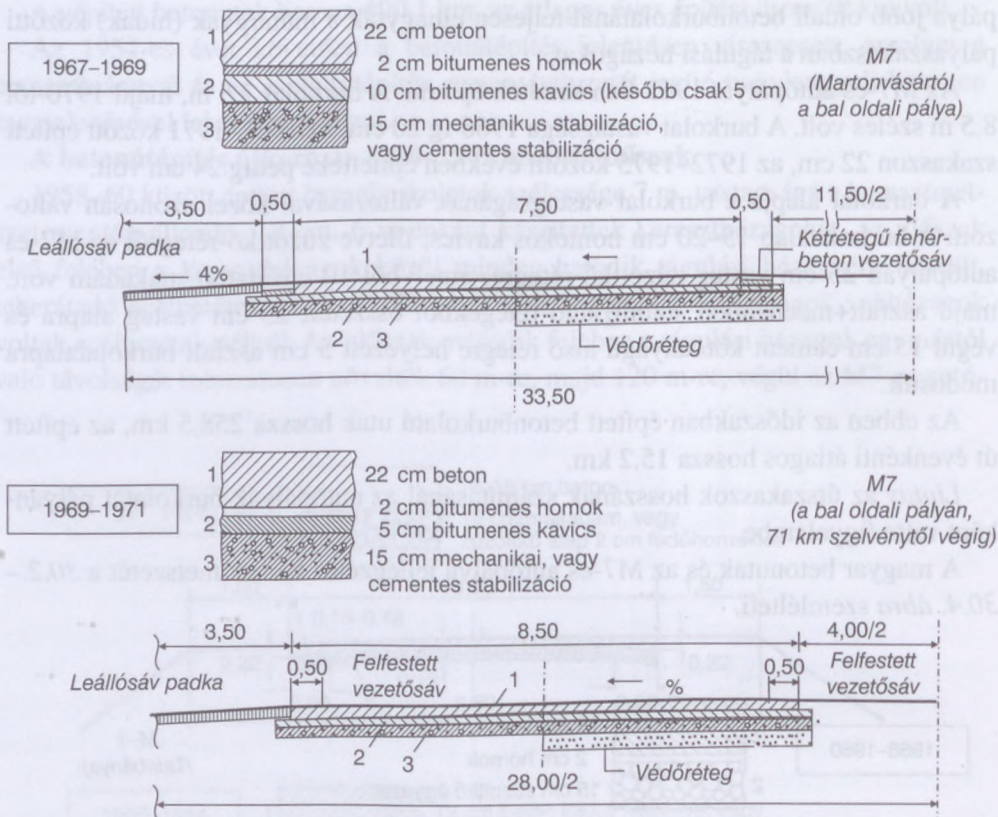
Az ebben az időszakban épített betonburkolatú utak hossza 258,5 km, az épített út évenkénti átlagos hossza 15,2 km.

Liptay az útszakaszok hosszának számításánál az autópályák burkolatát pályánként vette figyelembe.

A magyar betonutak és az M7-es autópálya jellegzetes keresztmetszetét a 30.2.–30.4. ábra szemlélteti.



30.3. ábra. M1 és M1-M7-es közös szakaszú autópálya keresztmetszeti kialakítása [Horváth (1969)]



30.4. ábra. M7-es autópálya keresztmetszete és pályasterkezete [Nemesdy (1971)]

A betonútépítés 1975 utáni történetéről dr. Liptay András tanulmányában olvashatunk (<http://www.betonopus.hu/notesz/liptay-betonutak-60.pdf>).

## 30.4. Az M7-es autópálya-betonok vizsgálata

[Balázs–Borján–Erdélyi–Liptay–Zimonyi (1976)]

A betonburkolatok tartósságának kérdése világviszonylatban sokat foglalkoztatta az útépítési szakembereket. Hazánkban is élesen vetődött fel a kérdés, mert az újonnan épített M7-es autópálya egyes szakaszain a felületi hámlás hamar megkezdődött. Éppen ezért kezdeményezett a Betonútépítő Vállalat kétféle nagyszabású kísérletso-rozatot a BME Építőanyagok Tanszéken. Nevezetesen egyrészt vizsgálni kellett újabb építésű beton felületi hámlásának okait és a hámlás megelőzésének módját, másrészt a különböző korú útbetonok jelenlegi állapotát.

Előljáróban megjegyezzük, hogy a hámlás megelőzésével kapcsolatos kísérleteket a Közúti Közlekedési Tudományos Kutató Intézettel közösen végeztük. Továbbá



megemlítjük, hogy *Boromisza Tibor* (1961) egyik tanulmányában a régi pályatáblák romlásának okaival és a javítás módozataival már foglalkozott. E kiadvány tanulmányozását is javasoljuk az Olvasónak.

Az itteni kutatás az útbeton minőségével foglalkozik – tehát nem elemzi a földmunka, az ágyazat hiányosságaiból, vagy a túlterhelésből eredő károkat.

Az M7-es autópálya építését 1963-ban kezdték meg.

A BME Építőanyagok Tanszéke 1970-től kezdve – több különböző feladat kapcsán – foglalkozott az M7-es autópálya betonjának minőségével és minősítésével.

### 30.4.1. A kezdeti szakasz meghibásodása és okainak vizsgálata

#### 30.4.1.1. Mintavétel, vizsgálati módszerek

Az 1969-es kemény tél után 1970-ben sok helyütt hámlást, felpattogzást észleltek. A hibák okainak kiderítésére a Tanszék széles körű kutatási munkát végzett. Együttesen kijelölt 15 helyről 6–6 db Ø15 cm-es magmintát vett a Betonútépítő Vállalat, mégpedig a 9+650 km szelvénytől kezdve a bal pályán egészen 34+252 km szelvényig (és összehasonlítás céljából a 42+001 szelvényből), továbbá a jobb pályán az 5+431-től a 11+950 szelvényig. (A szelvény- és mintaszámok a 30.1. táblázatban találhatóak, a fontosabb sűrűségi és hidrotechnikai vizsgálati eredményekkel együtt.)

A mintavételi hely környékét lefényképeztük, szemlélet alapján leírható állapotát jegyzőkönyveztük.

A magmintákból a beton alábbi tulajdonságait állapítottuk meg:

- Nyomó- (henger-) szilárdság Ø15 cm-es, kb. 19–24 cm magas hengereken.

30.1. táblázat. Néhány útbetonmagminta víztelítési adatai (M7-es autópálya) [Balázs és társai (1976)]

Szelvény szám	Minta száma	Szelet száma (felülről)	Testsűrűség kg/l	Látszólagos porozitás térfogat%		Vízfelvétel tömeg%		Telítési tényező		Minősítés
				1.	2.	1.	2.	1.	2.	
jobb 11+950 197 tábla	1.	1.	2,18	19,92	19,64	9,20	9,02	0,970	0,964	rossz
		2.	2,31	16,23	15,90	7,00	6,88	0,967	0,952	
		3.	2,31	15,66	15,38	6,80	6,65	0,948	0,941	
		4.	2,45	11,64	11,36	4,80	4,63	0,938	0,930	
		5.	2,45	11,58	10,82	4,70	4,42	0,913	0,900	
bal 19+990 151/4 tábla	5.	1.	2,43	10,58	10,00	4,40	4,12	0,875	0,847	jó
		2.	2,44	10,89	10,60	4,50	4,35	0,872	0,870	
		3.	2,39	12,33	12,12	5,16	5,08	0,885	0,882	
		4.	2,47	10,35	10,01	4,18	4,05	0,889	0,874	
		5.	2,42	11,44	11,13	4,73	4,60	0,884	0,871	



30.1. táblázat folytatása

Szelvény szám	Minta száma	Szelet száma (felülről)	Testsűrűség kg/l	Látszólagos porozitás térfogat%		Vízfelvétel tömeg%		Telítési tényező		Minősítés
				1.	2.	1.	2.	1.	2.	
bal 21+943 183/7 tábla	6.	1.	2,31	15,45	14,89	6,70	6,43	0,947	0,928	rossz
		2.	2,32	15,76	15,49	6,80	6,69	0,922	0,921	
		3.	2,38	14,16	13,95	6,00	5,86	0,938	0,935	
		4.	2,31	16,56	16,12	7,20	6,99	0,943	0,932	
		5.	2,28	16,10	15,81	7,00	6,93	0,911	0,906	
bal 34+252 126/1 tábla	7.	1.	2,39	10,87	10,89	4,60	4,56	0,792	0,806	jó
		2.	2,36	11,57	11,41	4,90	4,83	0,777	0,772	
		3.	2,39	11,02	10,81	4,60	4,51	0,771	0,761	
		4.	2,35	11,76	-	5,00	-	0,754	-	
		5.	2,36	11,97	11,91	5,10	5,05	0,778	0,788	
bal 11+830 96/7 tábla	11.	1.	2,32	16,64	16,61	7,16	7,14	0,952	0,950	rossz
		2.	2,40	14,26	14,15	5,95	5,90	0,955	0,950	
		3.	2,44	12,24	12,03	5,02	4,93	0,914	0,908	
		4.	2,40	13,14	12,91	5,48	5,39	0,910	0,905	
		5.	2,42	12,56	12,28	5,19	5,07	0,916	0,913	
bal 42+001	15.	1.	2,38	11,59	11,33	4,87	4,76	0,865	0,856	jó
		2.	2,38	12,00	11,48	5,05	4,83	0,846	0,812	
		3.	2,38	11,43	10,90	4,80	4,58	0,846	0,810	
		4.	2,36	11,89	11,55	5,04	4,89	0,838	0,814	
		5.	2,38	12,01	11,74	5,14	5,02	0,817	0,802	

- Hasító- (húzó-) szilárdság hasonló hengereken.
- Homogenitás (tömörség-egyenletesség) az ultrahang terjedési sebessége alapján a magminták magassága mentén, az egyes helyekről származó 6 mag összehasonlítására.
- A pórusszerkezet alábbi jellemzőit a magokból fűrészelt kb. 15–20 mm vastag szeleteken határoztuk meg:
- Vízfelvétel légköri nyomáson ( $m_{w1}$ ), 15 MPa nyomáson ( $m_{w,15}$ ) és a telítési tényező  $TT = m_{w1} / m_{w,15}$  5 szeleten, egyúttal a  $r_t$  (kiszárított) testsűrűség a magminták magassága mentén.
- A szeletek makroszkópos elemzése az adalékanyagváz tömörsége és a cementkő minősége szempontjából.
- Néhány magminta (legfelső szelet, alsó sík) elemzése integráló sztereo-mikroszkóppal a buborékrendszer jellemzőinek (távolsági tényező, fajlagos buborékfelület, egység hosszra eső buborékszám) alapján.
- A magminták sósavas oldásával a felhasznált adalékanyag elkülönítése: ennek szemmegoszlása és finomsági modulusa.
- A minták cementkötartalma és ennek változása a magasság mentén (a legfelső betonréteg összetételének eltérése az átlagtól, erre ugyanis a mikroszkópos



buborékelemzéskor szükség van), sósavas oldással és ebből a beton számított cementtartalma és számított cement/adalékanyag aránya.

- A cementtartalom utólagos kimutatása a beton CaO, illetve SiO<sub>2</sub> tartalmából vegyi úton.
- A cementkő hidrátszerkezete derivatográfiai vizsgálattal, és végül
- egyes magminták felső rétegének közvetlen fagyállósága, hűtött sóoldattal való kezelés (hőlöké, *rezzentés*) hatására beálló tömegcsökkenés (leválások) révén [Erdélyi (1975), *Dutron Van Ael* (1968)].

A fenti, részletekig ható vizsgálatból sem volt megállapítható mindig az egyes észlelt rendellenesség oka. Ezért az építés jellemző adatait is összegyűjtöttük. Ezek:

- *időjárás adatok* (hőmérséklet, csapadék, napsütés, a levegő páratartalma),
- *betonösszetéti adatok* (adalékanyagok fajtái, frakciók tömegaránya stb.),
- *anyagvizsgálati adatok* (a cement gyári minősítő adatai, a beton próbatetek szilárdsága).

### 30.4.2. Az eredmények és értékelésük

A vizsgált pályaszakasz betonjához az építése során még nem, vagy csak elvétve alkalmaztak *képlékenyítő, enyhén buborékképző szert* (Mavefor).

A felület meghibásodásának jellegéből egyértelműen meg lehetett állapítani, hogy a burkolatot az elkészítés után rövidesen és ismételten téli olvasztó sózás érthette.

A felületi hibákért nem a nyomószilárdság elégtelensége volt a felelős (30.2. táblázat). A táblázat I. csoportjában a szemlélet szerint igen rossz (1, 11) és a helyen-

**30.2. táblázat.** A beton felületi romlása okainak elemzése (M7-es autópálya) [Balázs és társai (1976)]

Mintaszám		Nyomó-	Hasító-	TT <sup>+/</sup>	m <sub>w,1</sub> tömeg%	t <sub>t</sub> <sup>§/</sup>	Felületi állapot
		szilárdság, MPa					
	1	39,1	4,65	0,97	9,2	0,918	rossz
I.	11	40,1	4,68	0,95	7,11	-	rossz
	13	41,8	5,26	0,90	6,8	-	(gödrös)
	3	43,9	5,18	0,88	3,9	-	jó
II.	7 (M)	39,6	4,07	0,79	4,6	0,37	jó
	10	37,0	5,11	0,92	5,1	0,78	++/
	15 (M)	47,8	5,13	0,86	4,9	0,55	jó
III.	4	10,7 (!)	2,11	0,93	5,0	-	rossz
	6	32,7	3,60	0,95	6,4	1,238	rossz

<sup>+/</sup> A felső szelet adata

<sup>§/</sup> A felső szelet alsó síkján mérve

<sup>++/</sup> Kissé lehordott, a felső kéreg helyenként lekopott



**30.3. táblázat.** A tartós és nem tartós betonok összehasonlítása hűtött  $\text{CaCl}_2$  oldat ciklikus alkalmazásának hatására (M7-es autópálya) [Balázs és társai (1976)]

Minta jele		Tömegveszteség %	Testsűrűség $\rho_t$ , $\text{kg}/\text{dm}^3$	A felső szelet cementtartalma* relatív tömeg%
I.	1	29,40	2,18–2,31	122
	13	10,30	2,28–2,35	100
II.	15 (M)	0,06	2,38–2,38	104
	7 (M)	0,05	2,39–2,36	140

\* Cementtartalom a névleges adagolás százalékában

ként lyukacsos (13) mintavételi hely betonja áll szemben a II. csoport jó betonjával, mindkettőnek azonos – elfogadható – a szilárdsága. A III. csoport 4. sz. mintája szilárdságilag sem felel meg, ilyenkor természetesen a mintavétel helyén a beton felülete sem lehet tartós.

A Martonvásáron túli szakaszt (7. és 15. minta) 3% Maveforral készítették (30.2. és 30.3. táblázatban M jelű sorok): ezeknek állapota kifogástalan volt.

A 30. 2. táblázat szerint egy bizonyos szilárdság (pl. kb. 37 MPa nyomó- és 4 MPa húzó-) kívánatos – de ez (vagy ennek túlteljesítése) önmagában nem jelent fagyállóságot: a tartós betonokat leginkább a  $\text{TT} < 0,9$  telítési tényező és a  $t_f$  szerint egyedül a 7. jelű beton közelíti meg, TT szerint el is éri a fagyállónak nevezhető minőséget, a 15. jelű beton rosszabb, de még értékelhető.

Az  $m_{w1}$  atmoszférás vízfelvétel önmagában nem döntő, bár a rossz betonok általában  $m_{w1} > 6\%$ -kal jellemezhetők.

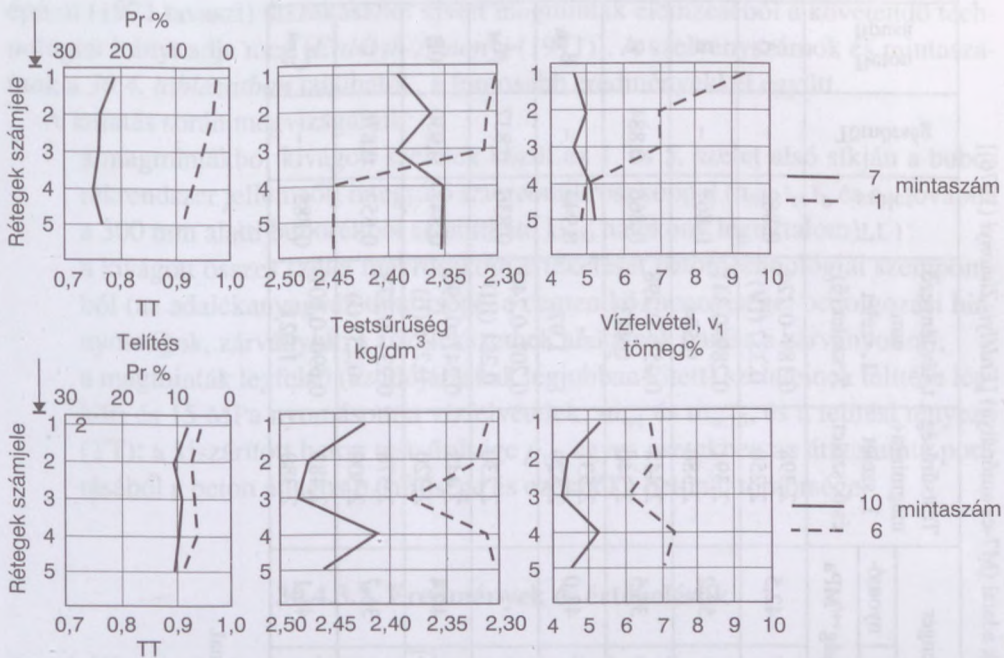
A 10. jelű mintavételi helyről származó magminta felszeletelt darabjai szerint a beton különlegesen egyenletes testsűrűségű (2,41 – 2,47 – 2,48 – 2,41 – 2,46  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 20 mm-enként), és egyenletesen kis vízfelvételű ( $m_{w1} = 5,10 - 4,17 - 4,16 - 5,05 - 4,28\%$ , 20 mm-enként). Az egyenletes betonminőség kedvező hatása abban nyilvánult meg, hogy a kedvezőtlen pórusszerkezetű ( $\text{TT} = 0,92$ ) felső szelete miatt is csak mérsékelten fagyott le a felső réteg a betonfelületről (lejjebb:  $\text{TT} = 0,90 - 0,91 - 0,91 - 0,90$ ).

Az I. és II. csoport közti tartóssági különbséget a hűtött  $\text{CaCl}_2$  oldat ciklikus alkalmazás utáni tömegveszteség is mutatja (30.3. táblázat). [Erdélyi (1973), Dutron Van Ael (1968)].

A felső kéreg kedvezőtlenebb tartósságát a nagyobb víz-cement tényező miatt nagyobb kapilláris pórustérfogat, és ezért csökkenő testsűrűség (testsűrűség:  $r_t$ ) is jelzi.

A többi mintával közel azonos nyomó- és kedvezőbb húzószilárdságú, de nem fagyálló 1. jelű betont, és a fagyálló, enyhén légpórusképző Maveforral készített 7. jelű betont a 30.5. ábrán hasonlítottuk össze, a 6. (rossz) és 10. (jó, de nem egészen fagyálló) betonnal együtt.





30.5. ábra. Az M7-es útból fúrt magminta egyes rétegeinek eltérő fizikai tulajdonságai  
[Balázs–Borján–Erdélyi–Liptay–Zimonyi (1971)]

### Következtetések

Gyakorlatilag azonos nyomószilárdságú, 5–6 éves betonok helyszínen tapasztalt épsége, tartóssága a telítési tényező (TT) kedvezően kicsi, illetve a védő pórustérfogat  $p_r = 1 - TT$  nagy értékével és a kedvezően kicsi  $t_1$  távolsági tényezővel hozható összefüggésbe; a szilárdság, a vízfelvétel, a testsűrűség önmagában nem jellemző.

A követelményeket még el nem érő buborékrendszer is javítja a tartósságot a teljesen légpórus nélküli betonhoz képest.

## 30.4.3. Az 1971. évi nagyüzemi kísérlet

### 30.4.3.1. A kísérlet

1971-ben a Közúti Közlekedési Tudományos Kutató Intézet (KKTKI) Betonlaboratórium (laborvezető: Varga József) megbízta a Tanszéket azzal, hogy az M7-es úton nagyüzemi kísérleti szakaszként

- légpórusképző (buborékképző) vegyszerrel, mégpedig általában BIBEROL-lal, egy esetben Maveforral és anélkül, illetve,
- csepei, nyékládházai vagy délegyházai homokkal,
- esetenként több vagy kevesebb 20/40 mm szemmagyságú zúzott kővel, illetve ehhez tartozóan kevesebb vagy több 5 mm alatti homokkal

30.4. táblázat. Az 1971. tavaszi nagyüzemi kísérleti légpórusos betonok adatai (M7-es autópálya) [Erdélyi-Zimonyi (1976)]

Szelvény szám	A minta jele és kelte	L <sub>friss</sub> %		Adalék-szer	m <sub>w1</sub> , tömeg% mágminta+ 1. szelet és 5. szelet	Kopás cm <sup>3</sup>	Henger			Testűrűség mágminta+ 1. szelet és 5. szelet	t <sub>1</sub> távtényező mm 1. szelet 5. szelet (§)	TT 1. szelet	Tömörtség	Beton típusa
		de.	du.				hasító- szilárdság	nyomó- erő MPa						
107+171-től 107+270-ig	1. 71.5.10.	-	3,1	Bi 1,9	3,94 7,15	12,4	3,5	42,5	2,398 2,250	0,189-0,224 0,337 (IV)	0,862	-	A	
107+027-től 107+171-ig	2. 71.5.11.	-	3,2	Bi 1,7	4,60 5,17	11,4	4,2	52,2	2,391 2,380	0,289-0,341 0,504	0,867	-	B	
106+874-től 107+027-ig	3. 71.5.10.	3,3	3,0	Bi 1,7	4,56 5,60	7,0	4,1	36,5	2,448 2,340	0,252-0,298 0,413	0,866	0,884	B	
106+650-től 106+874-ig	4. 71.5.12.	1,5	1,4	- (vak)	4,65 6,48	11,3	4,2	42,0	2,531 2,320	- 1,97	0,944	-	B <sub>vak</sub>	
	5. 71.5.13.		2,7	M 3	-7,03-	-	-	-	2,230	0,207-0,240 0,281 (III)	0,836	0,837	A <sub>M</sub>	
106+238-től 106+460-ig	6. //5// 71.5.17.	3,8	3,0	Bi 1,9	4,59 5,60	12,5	3,2	40,4	2,448 2,320	0,247-0,296 0,276 (II)	0,842	0,930	0B	
106+018-től 106+238-ig	7. //6// 71.5.18.	2,7	3,1	Bi 1,9	4,63 6,11	13,7	2,6	36,7	2,378 2,300	0,231-0,273 0,233 (I)	0,852	0,876	C	
105+766-től 106+018-ig	8. //7// 71.5.19.	1,2	1,3	- -	4,48 5,40	11,6	3,8	46,1	2,482 2,380	0,690-0,801 1,021	0,885	-	C <sub>vak</sub>	

+// Kiszáritott állapothoz képest, illetve kiszáritott állapotban (103 °C)

§/ A szelet alsó síkján mérve. Az 1. szelethez névleges és 1,5x névleges V<sub>ck0</sub> tartalommal.

++/ A hasítószilárdságra átszámított értékek (KKTKI)



épített (1971 tavaszi) útszakaszból kivett magminták elemzéséből a követendő technológiai irányt adja meg [Erdélyi–Zimonyi (1971)]. A szelvényszámok és mintaszámok a 30.4. táblázatban találhatóak, a fontosabb eredményekkel együtt.

A kutatás során megvizsgáltuk:

- a magmintákból kivágott szeletek közül az 1. és 5. szelet alsó síkján a buborékrendszer jellemzőit integráló sztereomikroszkóppal ( $n_{lin}$ ,  $t_t$ ,  $f_b$  és  $s_b$ , továbbá a 300 mm alatti buborékból számítható  $L_{300}$  hatékony légtartalom);
- a kivágott összes szelet makroszkópi értékelését betontechnológiai szempontból (az adalékanyagváz tömörsége, a cementkő mennyisége; bedolgozási hiányosságok, zárványok; a zúzalék szemek alakjának hatása a zárványokra);
- a magminták legfelső (az időjárásnak legjobban kitett) szeleteinek telítése légköri és 15 MPa nyomáson: a vízfelvételek:  $m_{w1}$  és  $m_{w,15}$ , és a telítési tényező (TT); a kiszáritott beton testsűrűsége  $\rho_{t,0}$  egyes esetekben az átlagminta porításából a beton átlagos  $\rho_t$  sűrűsége és ezekből a beton  $t_t$  tömörsége.

### 30.4.3.2. Eredmények és értékelésük

Az adalékszerrel készített betonok légtartalma alig haladja meg a hatékonyság legalsó határát jelentő 3%-ot. Az adalékszer nélküli vakbeton (etalon) 1,2–1,5%-os, viszonylag nagy, légtartalmához képest az adalékszerrel elért 1,5–1,7% többlet kevés.

A vakbetonokon mért nagy légtartalom oka a zárványosság. A friss beton cementpéptartalmának  $m_w/m_c=0,44$  és  $350 \text{ kg/m}^3$  cementadagolás alapján elégnek kellene lennie (a cementkő térfogata  $V_{ck0}=270 \text{ liter/m}^3$ ). A rossz bedolgozhatóság oka lehetett, hogy az 5. jelű keverékben 25% NZ 5/12-es zúzalék van, míg a többiben csak 20%. Feltehetően előnyös lenne, ha az NZ 3/5 helyett kvarckavicsot, esetleg – húzószilárdsági okokból – zúzott kavicsot használnának.

A 30.4. és 30.5. táblázatból megállapítható:

- A kísérletek során az egyes útszakaszokat különböző ásványi adalékanyagösszetétellel (30.5. táblázat) készítették. Az adalékanyag összetétele változtatásával a beton tulajdonságai is megváltoztak (bedolgozhatóság, szilárdság stb.). A több öszszetevő egyidejű megváltoztatása miatt azonban az eredmények betontechnológiailag nehezen értékelhetők. A kísérlet alapvető célja a légpórusos beton készítése volt, ezért a továbbiakban elsősorban az ezzel kapcsolatos eredményeket értékeljük.
- $t_t$  szerint is (akár az 1. szelet, akár az 5. szelet, tehát a pályaszinttől kb. 100 mm-rel lejjebb eső réteg adatát vesszük) és TT szerint is ugyanaz a négy betonmintha (7, 6, 5 és 1 jelű) kerül az első négy helyre, csak sorrendjük lesz más.
- A buborékképző szerrel készített betonok (lásd 1. szeleteken mért  $t_t$ ) várhatóan mind jobbak lesznek, mint az 5 évi forgalom után 1970-ben kifogástalan, a sóoldatot tökéletesen álló, 30.2. táblázat II. csoport 7 (M) jelű betonja.



**30.5. táblázat.** A nagyüzemi kísérleti légpórusos szakasz adalékanyagai (M7-es autópálya) (tömeg%)  
[Balázs és társai (1976)]

Beton: 350 kg/m<sup>3</sup> DCM 600 cement,  $m_w/m_c=0,44$

Beton jele	Homok	NZ 3/5	NZ 5/12	NZ 12/20	NZ 20/40	d<0,24 mm	d<1 mm	Adalékanyag jele
1	Cs 0/5 30	10	20	25	15			A
2	Ny 0/5 30	10	20	25	15	1,8	16,5	B
3	Ny 0/5 30	10	20	25	15	1,8	16,5	B
4 (vak)	Ny 0/5 30	10	20	25	15	1,8	16,5	B <sub>vak</sub>
5 (M)	Cs 0/5 25	10	25!	20	20			A <sub>(M)</sub> <sup>Z</sup>
6	Ny 0/5 30	10	20	25	15	1,8	16,5	B
7	D 0/3 25	10	20	20	25!	6,3	19,0	C
8	D 0/3 25	10	25!	20	20	6,3	19,0	C <sub>vak</sub> <sup>Z</sup>

Jelölés: Cs = csepeleli, Ny= nyékládházi, D = délegyházai,

(M) Mavefor SKN 3 ‰

“z” felső indexben = zúzalékokban eltér az alapesettől

- d) A fagyállóknak tekinthető 7, 6, 5 és 1 jelű légbuborékos betonok átlagos nyomószilárdsága (35 napos) 40, hasító-húzó szilárdsága 3,1; az összes többi (részben buborékos, részben etalon) betoné 44,2, illetve 4,1 MPa. A különbség kb. 10%. A 40 MPa körüli szilárdság, ha a 30.2. táblázat 5 éves (I) adataival összehasonlítjuk (II. jó csoport: 42,1 MPa), elegendő. A szilárdságkülönbség azonban nem tulajdonítható csak a légpórusnak, hiszen a tökéletesen azonos összetételű 2. és 3. beton (30.4. táblázat) szilárdsága egészen eltérő.
- e) Az eltérő adalékanyagok miatt tulajdonképpen csak a B jelű (2, 3 és 6) és B<sub>vak</sub> (4) lenne összehasonlítható: így a légbuborékos betonok nyomószilárdsága 43, hasító-húzó szilárdsága 3,8 MPa, a légpórus nélküli vakbetoné pedig 42, illetve 4,2 MPa. Az eltérés tehát jelentéktelen, igaz viszont, hogy a B jelű betonminták légtartalma sem elegendő.
- f) A 7, 6, 5 és 1 jelű betonok átlagos kopása 12,9 cm<sup>3</sup>, – a többi átlaga 10,3 cm<sup>3</sup>. Bár a Böhme-koptatás a legkevésbé sem utánozza a járművek okozta igénybevételt, tudomásul kell venni, hogy csiszoló kényszerkoptatásra, vagy gördülőkavicsos szelektív koptatásra (DUNA-módszer [Balázs–Erdélyi (1971)]) a légbuborékos betonok érzékenyebbek, ha ép, fagyhatásnak még ki nem tett, légpórus nélküli mintákhoz hasonlítjuk [Erdélyi–Horváth (1976)].



**30.6. táblázat.** A kísérleti légbórúos szakasz betonjainak buborékszerkezete (M7-es autópálya)  
Követelmények és eredmények [Erdélyi–Zimonyi (1971)]

Jellemző	Követelmény			Eredmény <sup>x/</sup>			
	svájci		német <sup>*/</sup>	1	5	6	7
	igen jó	közepes	legalább				
Lö térf.%	2,5–6,5	1,0–2,0	átl. ≥ 3,5 <sup>§/</sup> egyedi ≥ 3,0	1,84	–	–	–
L <sub>300</sub> térf.% <sup>++/</sup>	0,75–2,5	0,2–0,5	≥ 1,5 (0,6)	1,24 0,93	1,23 0,95	0,95 1,40	0,97 0,91
f <sub>b</sub> cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	≥ 500	≥ 200	>200 (200)	470 300	430 350	400 300	430 440
s <sub>b</sub> db/cm <sup>3</sup>	≥ 60 ezer	≥ 25 ezer	?	10 e 2,2 e	10 e 3,6 e	5,3 e 3,3 e	7,6 e 7,2 e
t <sub>1</sub> mm	≤ 0,1	0,1–0,15	≤ 0,1 (0,3)	0,19 0,34	0,21 0,28	0,25 0,28	0,23 0,23
$P_N \% = \frac{100 \cdot L_{300}}{P_L}$	≥ 25	≥ 10	≥ 10 (5)	7,7 –	7,8 –	7,2 –	7,0 –
E=pN×H	≥ 500	150...300	–	270		230	182
TT <sup>§§/</sup>	80%-os viszonylagos tartóssághoz az ASTM alapján, max. 0,75			0,862	0,836	0,842	0,852

Jelölés: <sup>x/</sup> felső sorban az 1, alsóban 5. szelet adatai,

<sup>++/</sup> mikroszkóppal mérve,

<sup>§/</sup> friss betonon mérve,

<sup>§§/</sup> csak felső szeletek (1),

<sup>\*/</sup> zárójelben a néhány éves szózás után kifogástalan pályák adatai.

A nagyüzemi kísérleti légbuborékos betonok közül a jónak (tartósnak) ítélt 1, 5, 6 és 7 jelű beton mind más szemmegoszlású. Különböző a  $d < 0,24$  mm-es (ún. liszt-finom) szemcsék mennyisége is – de mindegyik beton a nagyobbik Biberol LP adagolást tartalmazza (1,9‰), illetve a 3‰ Mavefor SKN-t. Eszerint az adalékszer nagyjából megfelelő és a fentieknél nagyobb adagok alkalmazásával különböző szemmegoszlások esetén is elő lehetne állítani a kívánt buborékrendszert.

A 30.6. táblázatban összeállítottuk a mért buborékszerkezet (pórusszerkezet) mikroszkópi és telítési jellemzőit és a már ismertetett követelményeket. Általában csak a  $d < 300$  mm buborékból adódó  $L_{300}$  hatékony légtartalmat határoztuk meg, s ebből vezettük le az  $s_b$ ,  $f_b$ ,  $t_1$  értékét. Az  $f_b$  fajlagos buborékfelület a felső szeletben mindenütt jó, az alsóbb rétegekben is legalább közepes, tehát az adalékszer nagyjából megfelel, a légbuborékok viszonylag aprók, 150–200 mm átmérőjűek; – viszont kevés a légbuborék, és így  $s_b$ ,  $t_1$  kedvezőtlen.

Az 1 jelű, legkedvezőbb felső réteggű mintán – további ellenőrzésként – közvetle-



**30.7. táblázat.** A legfelső síkok adatai, különböző módszerekkel (M7-es autópálya)

Betonszelet	Lö ( $<1000 \mu$ )	L300 ( $<300 \mu$ )	$n_{in}$ db/cm	$f_b$ $cm^2/cm^3$	$t_t$ mm	$s_b$ db/cm <sup>3</sup>
1/1 szelet felső sík	–	1,245	1,966	632	(0,141)–0,168	$30,3 \times 10^{-3}$
1/1 szelet alsó sík	–	1,241	1,468	473	0,189–(0,224)	$10,1 \times 10^{-3}$
	1,840	–	1,568	341	0,221–(0,263)	$7,0 \times 10^{-3}$

(-)jelben a kevésbé valószínű  $V_{ck0}$  alapján számított adat

nül a pályaszint alatt 2–3 mm-rel levő járósíkot is ellenőriztük, továbbá a felső szelet alsó síkját az  $L_{\bar{0}}$  ( $d < 1000$  mikron) légtartalom alapján is értékeltük (30.7. táblázat).

Eszerint azonos síkokban (1. szelet, alsó sík: pályaszint alatt kb. 20 mm-re) határozottan kedvezőbb eredményt kapunk, ha csak a kicsi buborékokat vesszük figyelembe. Minthogy szállítás és bedolgozás során a nagyobb buborékok pattannak el, nem kell attól félni, hogy az így csökkenő légtartalom (pl. 1,84%-ról 1,24%-ra) miatt a pórusszerkezeti jellemzők romlanak.

A felső kéreg 20 mm-es vastagságán belül alaposan változik az anyag- és buborékszerkezet: a nagyobb víz-cement tényezőjű, vagy több cementpépet tartalmazó legfelső betonsíkban háromszor annyi légbuborék, jóllehet az  $L_{300}$ , tehát a légtartalom maga azonos. (Vagyis a finiseres bedolgozás nem *veri ki* a légbuborékokat a legfelső rétegből!) Ez kedvező, mert a fiatal betont a hidratáció kiteljesedése (tehát a kapillaris pórusok cementgéllel való eltömődése) előtt, az első telek és sózások fagyhatásától egy vékony, de igen jó buborékszerkezetű kéreg védi.

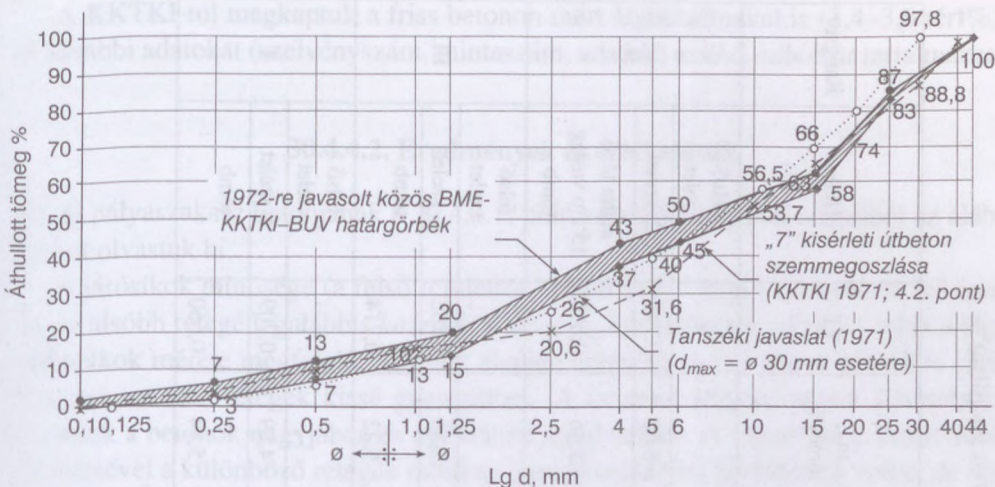
### 30.4.3.3. Következtetések

1. Az összes légbuborékos beton várhatóan tartósabb lesz, mint a megelőző (légpórusképző használt adalékszer nélkül készített beton) szakaszok bármelyik betonja – de a szigorúbb követelményeket még csak a jobban sikerült betonok felső síkja éri el.
2. A kísérleti szakaszon használt adalékszer megkezelésénél apró buborékokat képeztek, de az összes légtartalom, ezen belül természetesen az  $L_{300}$  hatékony légtartalom, és így  $s_b$  kicsi.

Az adalékszer adagjának növelésével, a buborékképzéshez legkedvezőbb szemmegoszlás (különösen a homok szemmegoszlása) kiválasztásával, esetleg a keverési idő növelésével lehet az ilyen hibákon segíteni.

A bedolgozhatóságot mindenképpen biztosítani kell. A zárványok félrevezetőek, mert egyrészt a friss beton légtartalmának mérése során azok mennyisége a megállapított levegőtartalomban szerepel, másrészt a buborékszerkezet számszerű jellemzőit rontják, harmadrészt – de legfőképpen – az egyébként jó pórusszerkezetű beton szilárdságát és tartósságát is tönkreteszik. Egyes zúzalékfrakciók zúzott vagy göm-





30.6. ábra. Javaslatok útbeton szemmegoszlási határgörbéire [Erdélyi-Zimonyi (1971)]

bölyű szemű folyami kavicsal való helyettesítésével, képlékenyítőszerek használatával és jól tömöríthető szemmegoszlású adalékanyag-keverék alkalmazásával a makroszkópi értelemben vett tömörséget feltétlenül biztosítani kell. Az alapos vibráció egyrétegű építéskor csak a kellő bedolgozhatósággal együtt hatékony. (Tájékoztatásul a 30.6. ábrán megadjuk a kísérleti 7 és néhány javasolt adalékanyag szemmegoszlását.)

### 30.4.4. Az 1971 őszén végzett kísérlet

#### 30.4.4.1. A kísérlet

Az előző fejezetben tárgyalt kísérleti szakasz eredményeinek értékelése után a KKTKI 1971. év őszén egységesen 1,8 tömegszázalék Biberollal és csökkentett mennyiségű 20/35 mm-es zúzott kővel készített autópályaszakasz (jobb pálya 23 és 27 km szelvény között) várható fagyállóságának, tartóságának szózatóságának megállapítását kérte a BME Építőanyagok Tanszéktől. [Erdélyi-Zimonyi (1971)]

Három magmintát vizsgáltunk. Ez kétféle, az adalékanyag-összetételben eltérő betont jelentett.

Meghatároztuk:

- a legfelső kb. 20 mm-es szelet felső (készítési) és alsó síkján mért buborékjellemzők ( $L_{\bar{0}}$ ,  $s_b$ ,  $t_i$ ,  $f_b$ ,  $n_{jin}$ ) alapján a buborékrendszer minősítését,
- a szeletek mindkét síkjának makroszkópos elemzése alapján az *adalékváz tömörségét*, a cementtartalom változását a legfelső 20 mm-es rétegben; a bedolgozhatóságot jelző zárványokat;
- a legfelső szelet alatti kb. 20 mm vastag 2 szeleten és az alatta levő kb. 100 mm vastag tömbön a vízfelvételi jellemzőket ( $m_{w1}$ ,  $m_{w15}$ , TT).

30.8. táblázat. Az 1971. őszi autópályabetonok ellenőrző adatai (M7-es autópálya)  
[Erdélyi-Zimonyi (1971)]

A minta jele, kelte, helye	Adalékanyag tömeg%	$L_{friss}$ térf. % <sup>+/</sup>	$\rho_{friss}$ kg/m <sup>3</sup>	$L_{0-2}$ mm	$f_b$ cm <sup>-1</sup>	$s_b$ db/cm <sup>2</sup>	$t_t$ mm	$\eta_{in}$ db/cm	$m_w$ tömeg%	TT	Hely	Rangsor
1. 71.11.9. jobb p. 23+750	Cso/5	3,4		2,47	571	40 900	0,12-0,14	3,53	-	-	felső szelet	II.
	NKZ3/5	3,5		3,83	258	5 940	0,21	2,47	5,68	0,742	2. szelet	
2. 71.10.4. jobb p. 25+990	NZ12/20	3,5		-	-	-	-	-	5,46	0,686	alatta lévő 15 cm vastag tömb	III.
	NKZ20/35											
3. 71.10.21. jobb p. 27+623	0/5	3,2		2,62	519	32 190	0,13-0,15	3,40	-	-	felső szelet	I.
	3/5	3,6		4,33	213	3 810	0,245	2,31	5,56	0,762	2. szelet	
	5/12	3,4		-	-	-	-	-	5,22	0,714	tömb	
	12/20			-	-	-	-	-				
	20/35			-	-	-	-	-				
	0/5	4,1		3,84	566	61 850	0,10-0,12	5,44	-	-	felső szelet	
	3/5	4,0		4,20	312	11 450	0,16	3,27	4,89	0,709	2. szelet	
	5/12	3,6		-	-	-	-	-	5,14	0,660	tömb	
	12/20			-	-	-	-	-				
	20,35			-	-	-	-	-				

<sup>+/</sup> Keverőtelepen mérve. 350 kg/m<sup>3</sup> DCM 600-as;  $m_w/m_c=0,43$



A KKTKI-tól megkaptuk a friss betonon mért légtartalmakat is (3,4–3,6 térf%). A további adatokat (szelvényszám, mintaszám, adatok) a 30.8. táblázat tartalmazza.

#### 30.4.4.2. Eredmények és értékelésük

Az új pályaszakasz betonjának a 30.4.3.1. pont szerinti vizsgálati adataiból az alábbiakat olvastuk ki:

A járósíkok minősége (a felső felületről ezúttal is 2–3 mm-t csiszoltunk le) *igen* jó, az alsóbb rétegek legalábbis *közepes*, a svájci  $f_b$  követelmény szerint – tehát a légbuborékok mérete megfelelő. Számuk alapján azonban ( $s_b$ ,  $t_f$ ) már a járósík is csak *közepes*, az alsó rétegek kissé gyengébbek. A kevésbé szigorú német követelményeknek a betonok nagyjában és egészében megfelelnek. A légtartalom kismértékű növelésével a különböző rétegek mind az *igen jó* osztályba kerülhettek volna, de így is az M7-es autópálya addig készült szakaszai közül tartósság szempontjából ez a beton ítéhető a legjobbnak.

A TT telítési tényező ugyanazt a rangsort adja, mint a mikroszkópi jellemzők (30.8. táblázat). Nyilvánvalóan lehet tehát készíteni egész tömegében  $p_r=0,25-0,30$  vagy e fölötti *védő pórustérfogatú*, azaz legalább 80%-os ASTM szerinti relatív tartósságú útbetont.

A járósík kisebb légtartalma, de nagyobb  $s_b$  légbuborékszámja igazolja, hogy a kellő tömörítés a hatékony légtartalmat nem csökkenti, sőt a habarcsban, a cementpépben dúsabb, esetleg kissé nagyobb  $v/c$  tényezőjű felső rétegek mikroszerkezete a közvetlen vibráció ellenére is igen kedvező: sok itt az apró buborék.

A szemmegoszlás az előzőknél jobb, de a felső szelet alján (20 mm-re a pályaszinttől) még mindig sok a nagy légzárvány: ezek általában zúzalékszemcsék között rekedt léghólyagok. Ezen elsősorban képlékenyítőszerezrel és (vagy) a finomszem-tartományban kevesebb zúzalékkal, esetleg helyette zúzott kavicsal lehetett volna segíteni.

#### 30.4.4.3. Következtetések

1. A korábbi kísérleti szakasz tapasztalatainak hasznosítása következtében az 1971 őszén készített pályarész tartóssága várhatóan legalább *közepes*; a legfelső rétegek jó vagy kiváló minőségűek. Ezt a mikroszkópi adatok és a telítési vizsgálatok teljesen egyértelműen rangsorolhatóan igazolják.

2. Az egyenletesen és biztosan jó minőséget a légtartalom (az adalékszer-adagolás) kismértékű növelésével lehetne elérni. Minimális követelmény  $L_{friss}=4,0-5,0$  V%.

3. A zárványmentes bedolgozhatóságot mindenáron biztosítani kell: itt a húzószilárdság, a cementpéptartalom, a bedolgozhatóság, a nyomószilárdság és a tartósság (légtartalom) között optimum kereshető. Ám az itt alkalmazott (véleményünk szerint hasznosan) csökkentett  $d$  azonos nyomószilárdsághoz esetleg nagyobb péptartalmat



vagy legalább gömbölyű szemű homokra épülő, nagyobb habarcstartalmat igényel. A zúzott szemcsék kedvezőbb húzószilárdság-képző tulajdonsága ugyanis csak nagyobb pértartalom árán érvényesülhet [Kausay (1967)]. A pértartalom növelése helyett elegendő lehet képlékenyítőszert használnia: ez másodlagos hatásként a légtartalmat is növelheti.

4. A mindössze 7%-nyi KZ 20/35 zúzott kő adagolásával a szemmegoszlás az ismert határgörbéken kívül került, és a kis mennyiség az adalékanyagváz hézagterfogatát nem csökkenti kellőképpen; a homogenitást viszont éppúgy rontja, mintha többet adagolnánk belőle. A 20/35 frakció növelése célszerűnek látszik, ha a  $d_{\max}=35$  mm-t nem kívánják csökkenteni.

### 30.4.5. 1972. évi kísérlet

#### 30.4.5.1. A kísérlet

A KKTKI 1972. évben az M7-es autópálya újabb (jobb: 42 és 44 km szelvény közti) szakaszának a várható tartósság szempontjából való minősítését kérte a BME Építőanyagok Tanszéktől. A 4 helyről vett 4x20 db magmintából 3 beton lábatlani, 1 db pedig DCM (váci) 600-as mai 42,5 jelű cementtel készült.

Az alábbiakat vizsgáltuk:

A ténylegesen felhasznált adalékanyag oldhatóságát sósavban és ebből a cementkő térfogatának meghatározásában elkövetett hibát és a cementkő pontos térfogatát állapítottuk meg.

A légbuborék-szerkezetet mikroszkóppal elemeztük ( $L_{\text{b}}$ ,  $n_{\text{lin}}$ ,  $f_{\text{b}}$ ,  $s_{\text{b}}$ ,  $t_{\text{f}}$ ) ugyanazon az 1. és 4. szeleten, amelynek cementkőtartalmát kioldással meghatároztuk.

Megvizsgáltuk a légbuborék-jellemzők mélységbeli változását, a vízfelvételi jellemzőket ( $m_{\text{w},1}$ ,  $m_{\text{w},15}$ , TT), és összehasonlítottuk a kérdéses szelet két oldalán mért átlagosított  $t_{\text{f}}$  távolsági tényezővel.

A KKTKI-tól megkaptuk a vonatkozó szilárdsági adatokat is. Mindezek együtt a 30.9. táblázatban találhatók.

#### 30.4.5.2. A vizsgálatok eredményei és értékelésük

E kísérletek során tüzetesen megvizsgáltuk a  $V_{\text{ckő}}$ -től (cementkőtartalomtól) függő  $t_{\text{f}}$  távolsági tényező mélységbeli változását aszerint, hogy:

- a névleges adagolásból számított  $V_{\text{ckő}}$  értékkel, vagy
- egy szeletből kioldott tényleges cementkő alapján a szeletre átlagos  $V_{\text{ckő}}$  értékkel, de síkonként különböző  $f_{\text{b}}$  és  $L_{\text{abs}}$  alapján számítjuk, s azután átlagoljuk a  $t_{\text{f}}$  távolsági tényezőt.



A 30.9. táblázatban a  $t_f$  oszlopa az egyes síkokon mért  $L$  és  $n_{lin}$ , de a szeletre átlagos  $V_{ck0}$  alapján készült. Egy mintavételi helyen az első, illetve negyedik szeletet vizsgáltuk.

Megbízhatóbb, ha ilyenkor csak az egyes síkok adatait tartalmazó  $f_b$  és  $s_b$  alapján minősítünk, de  $t_f$ , azaz a  $V_{ck0}$  módosító hatását is figyelembe vesszük. A megbízó KKTKI kívánsága szerint a 2,0 mm alatti összes buborékot mértük: az eredmény így közelebb van ugyan a friss betonon mért légtartalomhoz. A telítési jellemzőket többnyire azonos helyről vett, de másik magmintaszeleten vizsgáltuk; – ahol ugyanazon a szeleten mértük a telítést és a légbuborékrendszer mikroszkópi adatait, ott a 30.9. táblázatban !-jel van. Az  $m_{w,1}$  vízfelvétel minden esetben 5,0 tömegszázalék fölött, de 6,0 alatt volt, ezeket egyenként nem soroltuk fel.

Az adatokból az alábbi megállapítást tettük:

a) Az előző (1971 őszi, 30.8. táblázat) pályaszakaszhoz képest a légtartalom csökkent. Az itteni legfelső szeletek alján, tehát a pályaszinttől lejjebb kb. 20 mm-rel 1,8–3,8 V% között (a szórása nagy), kb. 70 mm-rel lejjebb pedig 2,75–4,3 V% közti.

b) A buborékrendszer csak a legfelső síkon jó:  $s_b=20-55 \cdot 10^3$  és  $f_b=450-750 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$  alapján jó, igen jó minőségű lenne és  $t_f$  is 0,2 mm alatt van. 20 mm-rel lejjebb és még mélyebben azonban  $f_b < 200 \text{ cm}^{-1}$ , vagyis közepesnél gyengébb, és  $t_f$  erősen változó: 0,26–0,42 mm közti.

Az alsóbb rétegek rossz pórusszerkezetét (túl sok nagy légbuborék!) bizonyítja, hogy pl. a 2. minta 4. szeletein 3,6–4,3 térf%, tehát elvben elegendő légtartalomhoz mindössze  $f_b=130-230 \text{ cm}^{-1}$  tartozik, vagyis csak közepes és gyengébb.

c) A TT telítési tényezők az első szeletekre a 30.6., illetve a 30.8. táblázat; a 4. szeletekre a 30.8. táblázat 15 cm vastag tömbjével hasonlíthatók össze. Eszerint a vizsgált 1972-es betonok felső kérgé kb. olyan, mint a kísérleti szakasz jobb (1, 5, 6 és 7 jelű) betonjaié. Az alsóbb rétegek a felsőnél (de nem a legfelső síknál!) átlagosan ugyan jobbak, de elmaradnak az 1971. őszi betonok (30.8. táblázat) sokkal jobb alsó rétegeitől.

d) A légbuborék-szerkezet rohamosan romlik a felső 20 mm-es kéregben (pl. az 1 jelű betonban a  $t_f$  0,13-ról 0,42-re; az  $s_b$  pedig kb. 40000-ról 800-ra)!

e) A szilárdsági értékekből engedni kellene a kedvezőbb buborékrendszer és nagyobb hatékony légtartalom ( $L_{300}$ ) érdekében.

### 30.4.5.3. Következtetések

1. A légtartalom, főleg a kicsi légbuborékok száma – a legfelső néhány mm-es kérget kivéve – továbbra is elégtelen. Minthogy a szemmegoszlást a szokásostól eltérően igen finom szemcsésre választották meg a húzószilárdság növelése céljából, a megfelelő légtartalmat esetleg csak a légbuborékképző adalékszer fokozott adagolásával lehetett volna elérni.

30.9. táblázat. Az 1972. nyári M7-es autópályabetonok ellenőrző adatai [Erdélyi-Zimonyi-Borosné (1972)]

A minta jele, kelte, helye	Cémtent 350 kg/m <sup>3</sup> -ként	Szilárdság 42 napos, MPa		Szelet <sup>§/</sup>	Lőm (d<2 mm)	Lőm% átl.	f <sub>b</sub> cm <sup>-1</sup>	s <sub>b</sub> db/cm <sup>2</sup>	t <sub>i</sub> mm értéke	t <sub>i</sub> átlag	TT telítési tényező
		hasító	nyomó								
1. (I). <sup>+/</sup> 72.08.23. 43+542...	L 600	5,09	54,1	1 F	0,803	1,80	755	30 500	0,140	0,27	0,845
					1,040		813	49 300	0,120		
				1 A	2,757		155	855	0,420		
2. (II). 72.08.24. 43+320... 020	L 600	4,28	40,8	4	4,050	3,60	204	3 040	0,254	0,27	0,782!
					3,150	206	2 400	0,283			
				1 F	0,815	1,50	667	21 440	0,16		
					1,170		456	9 760	0,200		
				1 A	1,810		199	1 271	0,380		
					3,630	2,50	231	3 975	0,240		
4	4,300	136	950	0,370							
3. (III). 72.08.25. ...42+652	L 600	4,75	45,5	1 F	1,075	2,50	606	21 300	0,160	0,21	0,843
					3,860		225	3 640	0,260		
				1 A	2,750		202	2 000	0,330		
4. (IV). 72.08.26. 42+500	DCM 600	4,64	51,7	4	2,750	2,75	747	55 150	0,120	0,19	0,855
					1,502	262	4 450	0,260			
				1 A	2,800	206	2 645	0,280			
	3,410	3,40	206	2 645	0,280	0,28	0,818				

<sup>+/</sup> Az [Erdélyi-Zimonyi-Borosné (1972)] tanulmányban római számozást használtak.

m<sub>w</sub>/m<sub>s</sub>=0,43; konzisztencia, (Glanville);

CF=0,73; testtűréség frissen 2450 kg/m<sup>3</sup>;

§/ 1 és 4: a szelet száma.

F=felső, A=alsó síkja



Az ásványi adalékanyag-keverék összetétele az alábbi volt:

Csepeli homok 0/5	30 tömeg%
KZ 3/5 k	16 tömeg%
KZ 12/20 k	35 tömeg%
KZ 20/35	7 tömeg%

2. Az 5 és 12 mm alatti szemcsék nagy részaránya, a viszonylag kis víz-cement tényezővel, a képlékenyítőszert vagy erősen képlékenyítő hatású légbuborékképző szer alkalmazását, de legalább kipróbálását tenné szükségessé.

3. A cementfajta megváltoztatása a buborékszerkezet megváltozását okozhatja, különösen akkor, ha a cement őrlésfinomságában lényeges az eltérés. Egy durvább őrlésű cement esetében (mint amilyen a lábatlani cement) a keverék konzisztenciájának megváltozása miatt a képződő légpórus mennyisége ugyan sok, de a légbuborékok mérete is megnagyobbodik, így a buborékszerkezet mégis kedvezőtlenebb lesz. A vizsgálati eredményekből ilyen következtetést egyértelműen levonni nem lehet, mivel ehhez az  $L_{300}$  hatékony légpórusok mennyiségét is meg kellene határozni. A továbbiak során azonban a cement minőségének a légbuborék-szerkezetre gyakorolt hatását feltétlenül kutatni kellene.

#### 30.4.5.4. A pórus szerkezeti jellemzők összefüggése

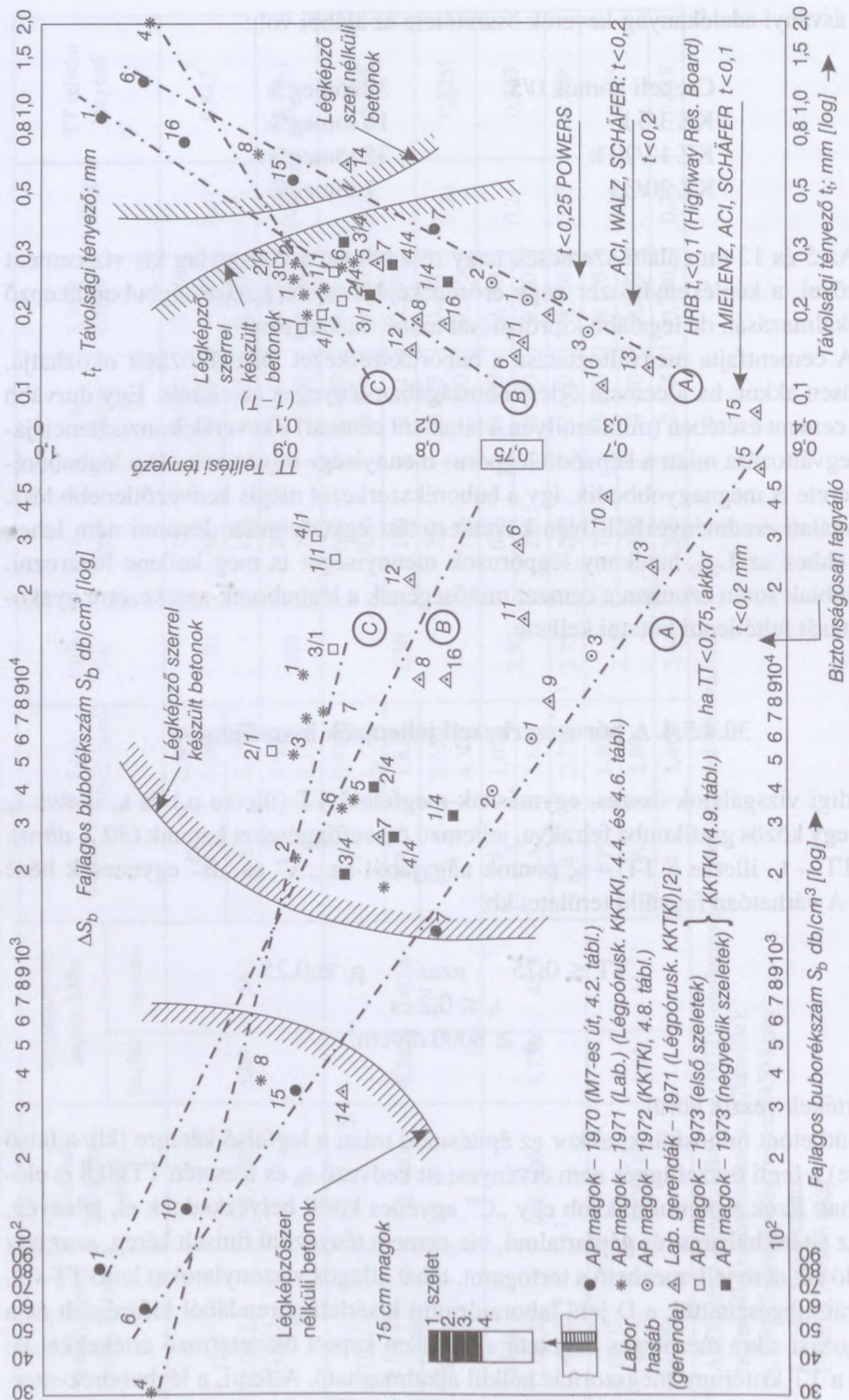
Az eddigi vizsgálatok összes, egymásnak megfelelő TT (illetve  $p_r$ ) és  $t_t$ , illetve  $s_b$  adatát egy közös grafikonba felrakva, jellemző összefüggéseket kapunk (30.7. ábra).

A TT –  $t_t$ , illetve a TT –  $s_b$  pontok nagyjából az „A” és „B” egyenesek közé esnek. A várhatóan fagyálló területet kb.

$$\begin{aligned} TT \leq 0,75 \quad \text{azaz} \quad p_r \geq 0,25 \\ t_t \leq 0,2 \text{ és} \\ s_b \geq 8000 \text{ db/cm}^3 \end{aligned}$$

határértékek veszik körül.

Ha útbetont minősítünk, akkor az építésmód miatt a legfelső kéregre (kb. a felső szeletre) a fenti összefüggés nem érvényes: itt kedvező  $s_b$  és  $t_t$  esetén  $TT > 0,8$  is előfordulhat. Ezek a pontok inkább egy „C” egyenes körül helyezkednek el, jelezvén, hogy az eltérő habarcs- és péptartalmú, víz-cement tényezőjű finiselt kéreg, azaz egy határoló sík nem jellemezhető a térfogatot, tehát átlagos viszonylatokat leíró TT-vel. Az ábrát kiegészítettük a D jelű laboratóriumi kísérleti gerendából kifűrészelt és a bedolgozási síkra merőleges helyzetű szeleteken kapott összetartozó értékekkel is: ezekre a TT kritérium megszorítás nélkül alkalmazható. A fenti, a légbuborék-szer-



**30.7. ábra.** A távolsági tényező (tt), a fajlagos buborékszám (sb) és a telítési tényező (TT) összefüggése [Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]



kezet és telítési adatok alapján való együttes kettős minősítést Erdélyi alkalmazta először (1973), ezáltal mind a TT alapján a tartósságra következtető pl. [Vuorinen (1968)], mind pedig a  $t_c$ ,  $s_b$  stb. alapján minősítő szerzők pl. [Woods (1962)], svájci és német (1966), [Bonzel (1965)] irányszámok) adatai felhasználhatók, és tényleges ciklikus fagyasztások nélkül, azaz a tartóssági tényező (DF=durability factor) ASTM szerinti tényleges megállapítása nélkül, gyorsan minősíthető a beton várható fagy- és olvasztósó-állósága. Megjegyezzük, hogy a beton finomstruktúrájának vizsgálatára Breyer (1962) a TT telítési tényezőt önmagában is alkalmasnak tartja; más szerzők viszont (Schafer, Hartmann) ezzel nem értettek egyet.

A 30.7. ábrából leolvasható, miként különülnek el a légpórusképző szer nélküli legelső betonok: 1, 6, 15, továbbá a kísérleti szakasz vakbetonjai \* 4 és 8; a laborkísérlet vakbetonja 14  $\Delta$ , illetve a pórusképző szerrel készített, s egyébként is kifogástalan 1971-es  $\odot$  1, 2 és 3 jelű; a kevésbé jó, de még a  $t_c < 0,3-0,4$  tartományba csoportosuló 1972-es betonok ( $\square$  és  $\blacksquare$ , 1. és 4. szeletek). A Maveforral készített  $\bullet$  15 jelű régebbi beton a légbuborékképzés nélküli kategóriába esik; nyilván az adalékszer eltérő adagolása miatt került a hasonló  $\bullet$  7 jelű a légbuborékos betonok közé. Itt említjük meg, hogy 0,4 tömegszázalék Plasztol-NK képlékenyítőszert (gyártotta: Chemical, Bp.) adagolással,  $450 \text{ kg/m}^3$  cementtartalmú betonokban ( $d_{max} = \varnothing 20 \text{ mm}$ )  $L_{300} = 4,9$  térf%,  $t_c = 0,173 \text{ mm}$  és  $f_p = 300 \text{ cm}^{-1}$  eredményt kapunk: tehát egyes képlékenyítő szerek esetenként légbuborékképzők is lehetnek! [Erdélyi-Horváth (1969)].

## 30.5. Régi útbetonok vizsgálata

[Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1976)]

### 30.5.1. Mintavétel, a vizsgálat terve

[Liptay (1972)]

#### 30.5.1.1. Mintavételi helyek kijelölése és a betonburkolat állapota

A mintavételi helyek kijelölésekor alapvető szempontunk egyrészt az volt, hogy különböző korú betonburkolatokat vizsgáljunk meg, másrészt, hogy a kivett minták az útburkolat átlagos minőségére legyenek jellemzők. A mintavételi helyeket 1972-ben jelöltük ki. (Ezeket a 30.10. táblázat tartalmazza.) A különböző korú betonburkolatok vizsgálatához – az 1970-es évek elején még megmaradt betonburkolatú útszakaszokat bejárva – választottuk ki a különböző korú betonutakat, melyek állapotát a hasonló korúakhoz hasonlítva jellemzőnek ítéltük.

A 10-es úton Tát és Nyergesújfalu között található (1976) az 1927. évben épített legrégebbi hazai betonburkolat. A 3 km hosszú útszakasz egyenletesen kopott, a



**30.10. táblázat.** A Régi betonburkolatok mintavételi helyei [Balázs és társai (1976)]

Mintavételi hely jele	Fő közlekedési út jele	km szelvény	Oldal	Magminta-vétel ideje	BME Építőanyagok Tanszékre érkezés	Építés éve	Beton kora év
1	10	48+000	jobb	1972.10.	73.03.05.	1927	47
2	10	55+000	bal	1972.10.	73.03.05.	1930	44
3	10	64+000	jobb	1972.10.	73.03.05.	1929	45
4	10	73+000	jobb	1972.10.	73.03.05.	1930	44
5	4	27+950	bal	1972.11.	73.03.05.	1930	44
7	4	55+000	jobb	73.10.10.	73.10.12.	1930	44
9	4	65+000	bal	73.10.11.	73.10.12.	1930	44
10	6	22+000	jobb	73.08.02.	73.08.09.	1931	43
11	6	28+000	jobb	73.08.30.	73.08.05.	1931	43
12	6	37+000	jobb	73.09.04.	73.09.05.	1949	25
13	6	46+000	jobb	72.11.	73.03.05.	1949	25
14	6	60+000	bal	73.09.06.	73.10.12.	1949	25
15	6	78+000	jobb	73.09.07.	73.10.12.	1949	25
16	6	84+000	jobb	73.09.27.	73.10.12.	1949	25
17	52	10+000	jobb	72.11.	73.03.05.	1938–39	35–34
18	52	25+000	bal	73.10.	73.12.13.		
19	52	40+000	jobb	73.10.	73.12.13.		
20	71	63+000	jobb	73.07.30.	73.08.09.	1940–43	34–31
21	71	76+000	bal	73.07.31.	73.08.09.		
22	71	82+000	jobb	73.08.01.	73.08.09.		
23	7	168+100	jobb	72.11.	73.03.05.	1952–53	22–21
24	7	188+000	bal	73.08.23.	73.09.05.		
25	7	192+000	jobb	73.08.24.	73.09.05.		1949

felületén elszórtan kisebb-nagyobb lyukak láthatók, feltételezhetően a habarcsból kilazult, kiesett adalékanyag-szemcsék helye.

A felületen, az élek mentén a habarcs kimorzsolódása, valamint egyéb felületi betonsérülés nem figyelhető meg.

A 10-es út további szakaszait 1929-ben és 1930-ban betonozták. A burkolat szerkezete az egyes építési szakaszokon hasonló, de nem teljesen azonos. A burkolat végig makadámalapra helyezve, hosszszézag nélkül épült. A keresztzézagok távolsága 15–20 m. Eltérő burkolatvastagságokat alkalmaztak: az egyes építési szakaszokon a betonlemez vastagsága közepén 15, 16 és 18 cm, a vastagított lemezszélnél pedig 22, 23 és 24 cm.

A szakaszokat nem ugyanaz a vállalkozó építette, így a keverési és bedolgozási módszerek is eltérőek voltak.

Az útbeton összetételében azonos volt a cement mennyisége ( $350 \text{ kg/m}^3$ ), az ásványi adalékanyag-keverék összetétel azonban az egyes szakaszokon eltérő volt.





**30.1. fénykép.** A 10-es út betonburkolatának felületi állapota a 48+000 km szelvényben 1972-ben. Építés éve: 1927 [Liptay (1972)]

A hosszhezág nélküli nagyméretű betontáblák a hasznos és járulékos terhelés hatására viszonylag hamar elrepedtek. A repedések száma fokozatosan szaporodott és 1976-ra a betonlemezek hosszirányban végig átrepedtek, keresztirányban egy-egy táblán általában több repedés is látható. Az így kialakult betontábladarabok még mindig elég nagyok (30.1. fénykép).

A repedésekkel természetes úton létrejöttek azok a táblaméretek, melyek az ismételt terhelő-igénybevételt viselni képesek.

A 10-es út építési szakaszainak repedezettsége – annak ellenére, hogy a szerkezetben és kivitelben az eltérések elég jelentősek – lényegében hasonlónak ítéltető. Jellegzetes útfelület látható a 48 km szelvényben (30.1. fénykép).

A betonfelület állapota is hasonló, lényeges különbséget az egyes szakaszok felületének állapota között nem észleltünk. Az 1927. évben épített burkolatfelületen elsősorban kisebb-nagyobb lyukak láthatók. Ilyen felületrészről készített felvétel látható a 30.2. fényképen.

A betonfelület általában egyenletesen kopott és épnek látszott. Jellegzetes felületet mutat a 30.3. fénykép.

Az 5 mm alatti habarcsrész kimorzsolódásával járó – a betontábla éleitől kiinduló – sérülés csak a Dunaalmás és Almásfüzitő közötti szakaszon figyelhető meg néhány helyen. A sérülések jellegéből következik, hogy a beton károsodása kezdeti. Ilyen sérülést mutat a 30. 4. fénykép.



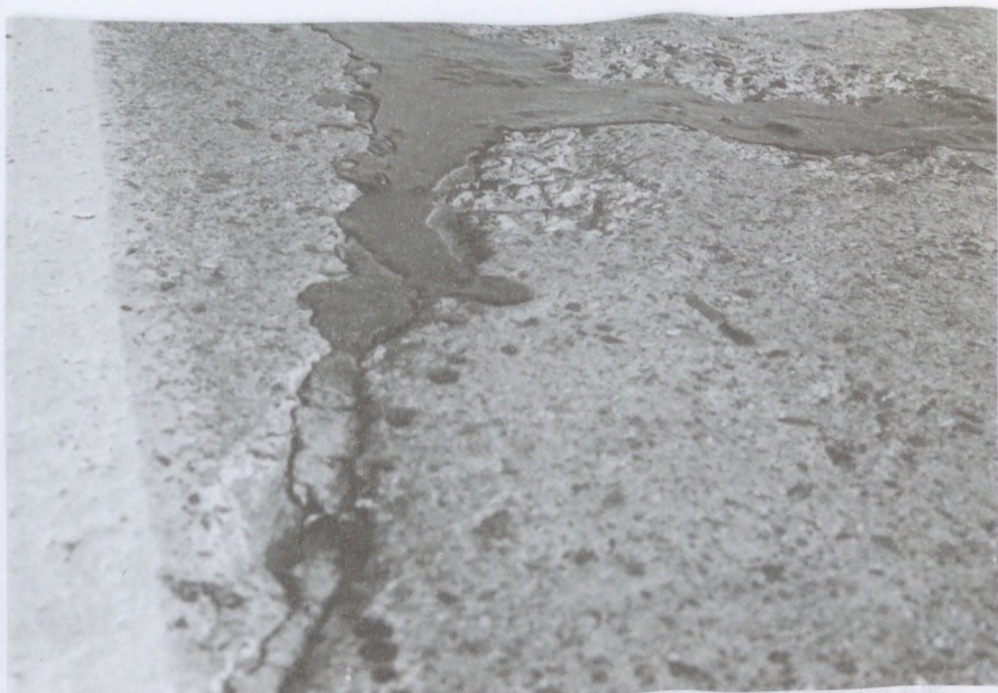


**30.2. fénykép.** A 10-es út 1927-ben épített betonjának felülete a 48+000 km szelvényben [Liptay (1972)]

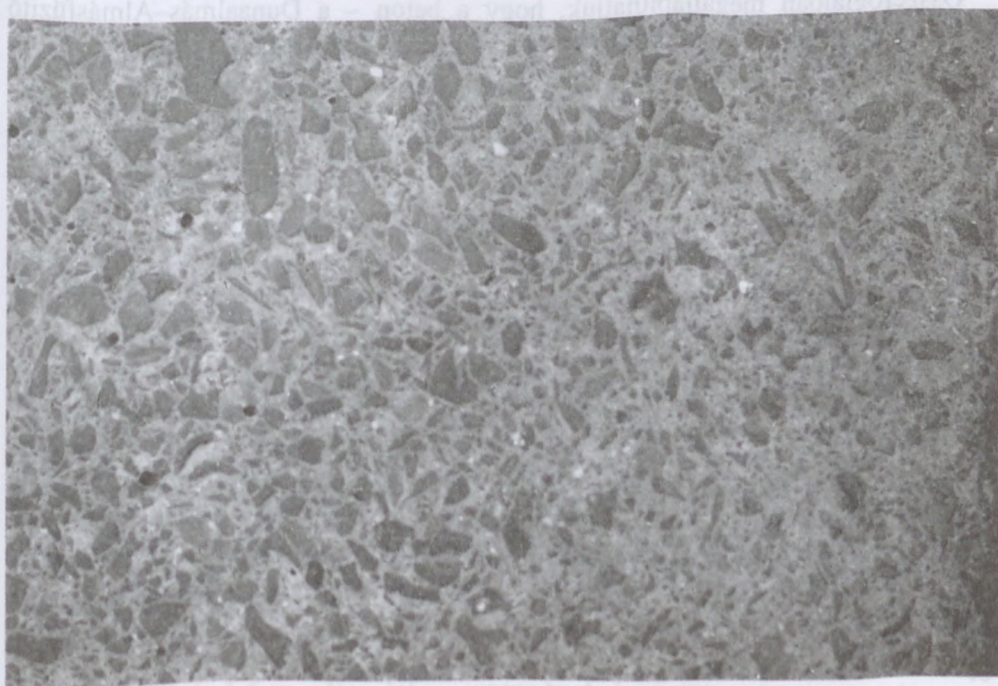


**30.3. fénykép.** A 10-es út betonfelülete az 50+200 km szelvényben a hézag mellett, a kép jobb oldalán a betont 1927-ben, bal oldalán pedig 1930-ban építették [Liptay (1972)]





**30.4. fénykép.** A 10-es út 1929-ben épített betonburkolatán a hosszrepedés mellett kezdődő felületi sérülés a 72+500 km szelvényben [Liptay (1972)]



**30.5. fénykép.** A 6-os út 1931-ben épített betonburkolatának felülete a 22+000 km szelvényben [Liptay (1972)]



**30.6. fénykép.** Az 52-es út betonburkolata a 40+000 km szelvényben. A kép jobb oldalán a betonfelületet bitumenes bevonással javították [Liptay (1972)]

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a beton – a Dunaalmás–Almásfüzitő közötti szakaszt is beleértve – 42–45 év alatt a külső igénybevételeknek és hatásoknak tartósan ellenállt és azokat jelentősebb meghibásodás nélkül viselte el.

A 4-es és 6-os út burkolata egyenletesen kopott, felületi sérülés nyomai nem láthatók, a felület tömör és ép (30.5. fénykép), de elszórtan kisebb-nagyobb lyukak találhatók.

Mindkét út szerkezeti kialakítása közel azonos és a 10-es úti burkolatszerkezetéhez hasonló. Makadám alapra helyezett, szélen vastagított lemezek, hosszhézag nélkül készültek nagy, 15–20 m-es kereszthézag kiosztással.

A betonlemezek a nagy táblaméretük miatt átrepedtek. A repedések számának szaporodásával helyenként az összefüggő felületrészek nagysága erősen lecsökkent, a burkolat gyakorlatilag tönkrement. Ilyen tönkrement szakaszok inkább találhatóak a 4-es úton.

A 4-es és 6-os utak kopott burkolatának felületi állapota azonos, kivéve a 4-es út néhány szakaszát, ahol a repedezettség erősebb.

Az 52-es út Solt–Kecskemét közötti szakaszának betonburkolatát 1938/39-ben építették, a 13 cm vastag betonlemez szélvastagítás nélkül közvetlenül a talajra fektették. A burkolatot hosszhézaggal és 8–12 m-enként kereszthézagokkal képezték ki, így a betontáblák mérete kisebb, mint a korábbi építésűeké.





**30.7. fénykép.** A 71-es betonburkolatát a 76+000 km szelvényben 1940-43. évek között betonozták. A betonfelület állapota igen jó [Liptay (1972)]

Az egyes szakaszokon sok keresztrepedés, sarokrepedés és hosszrepedés jött létre (30.6. fénykép) a II. világháború katonai járműveinek és tankjainak átvonulásainak hatására. A felületet sok helyen bitumenes bevonással javították. A betonfelületen a kopás nem egyenletes, folszerűen kopottabb felületrészek találhatók. Ezt a 30.6. fénykép jobb oldali betonfelületén bitumenes bevonattal javították.

A kopás egyenlőtlenége nem jellegzetes, a folszerű kopottabb részek és a betonfelület általános állapota között nincs feltűnő különbség. Az útszakasz használhatósága a táblatorések miatt erősen csökkent mértékű lehet.

A 71-es út betonburkolatának Balatonakarattya–Zánka közötti szakaszát, melyből ma már csak mintegy 2 km hossz található, 1938/39-ben, a Zánka–Vonyarcvashegy közötti szakaszát pedig 1940/43-ban építették. A meglévő 29–34 éves korú betonburkolat egyenletesen kopott, sérülés a betonfelületen vagy az éleknél nem látható (30.7. fénykép).

A burkolaton szabálytalan keresztrepedések figyelhetők meg, de a kevés számú repedés az út használhatóságát még nem csökkenti túlzottan.

A kiválasztott 6-os és 7-es út betonja (30.7. fénykép) közel egyidős (20 éves a vizsgálat idején).

A II. világháború utáni évek első nagy útépitési feladata a 6-os út átépítése volt. Az átépítés során 6,5 m széles, 18 cm vastag burkolat épült.



**30.8. fénykép.** A 6-os út betonburkolata a 78+000 km szelvényben. 1949-ben építették.  
A képen az egyenlőtlen kopás figyelhető meg [Liptay (1972)]



**30.9. fénykép.** A 7-es út 188+030 km szelvényében a felület sérülése a felső, még le nem kopott habarcsréteg leválásával kezdődött [Liptay (1972)]





**30.10. fénykép.** 7-es út 168+100 km szelvényében a felület sérülése.  
A durva zúzott szemcsék a habarcsból kiállnak

Az Ercsi–Dunaföldvár közötti szakaszt – az Adonyt és Dunaújvárost elkerülő szakaszok kivételével – 1949-ben betonozták, az elkerülő szakaszokat 1951/52-ben építették. A betonburkolatot hosszhézaggal és 8–12 m között váltakozó távolságú kereszthézagokkal készítették.

A betontáblák keresztirányban egy, esetleg több helyen átrepedtek. A repedések száma az út használhatóságát még nem csökkenti túlzott mértékben.

A burkolat kopása nem egyenletes, helyenként foltokban, esetleg hosszabb összefüggő csíkokban a durva adalékanyag szemcsék közül a habarcs erősebb kikopása, kimorzsolódása figyelhető meg.

A betonfelületen a sérülés nyomai határozottan felismerhetők (30.8. fénykép). A burkolat felületén látható károsodás még csak kezdete a beton tönkremeneteli folyamatának.

A 7-es út Balatonkeresztúr–Nagykanizsa közötti burkolatát 1952/63-ban betonozták. A 6,5 m széles, 18 cm vastag burkolatot látszathosszhézaggal és 8–12 m távolságban átmenő kereszthézagokkal építették. A viszonylag nagyméretű betontáblák átrepedtek. A keresztrepedések a burkolat használhatóságát csökkentik ugyan, de ez a csökkenés még nem jelentős.

A burkolat építése során 500 m hosszban kísérletképpen először alkalmaztak hazánkban sikeresen keresztirányú vakhézagokat dilatációs hézag nélkül. A kísérleti szakaszon a kereszthézagok távolsága 6 m. A betontáblák ezen a szakaszon nem repedtek meg.

A burkolat kopása nem egyenletes. Nagy, összefüggő felületrészekben a felső, habarcsos rész leválása (30.9. fénykép) és foltokban a nagyobb adalékszemcsék közül a habarcs kitérőredezése, kikopása figyelhető meg (30.10. fénykép).

A 19–20 éves betonburkolaton a felületi sérülés jól felismerhető. A burkolat károsodása még kezdeti, nem terjedt ki a teljes felületre.

### 30.5.2. A mintavétel

Minden mintavételi helyről 8 db kb. 15 cm átmérőjű magmintát fúrt ki a Betonút-építő Vállalat laboratóriuma. A mintavételi helyen elhelyeztünk egy sablont, bejelöltük a minták helyét, lefényképeztük a mintavételi hely környezetét. A mintákat sorzámmal láttuk el.

Minden mintavétel a burkolatszéltől legalább 150 cm-re, szabálytalan repedéstől legalább 50 cm-re volt.

### 30.5.3. A vizsgálat terve

Az egyes tulajdonságokat a következő próbatesteken határoztuk meg:

Tulajdonság	Próbatestsorszám
Méret	1, 4, 7
Testsűrűség	1, 4, 7 és 6-os mag szeletein
Tömörség	1, 4, 7 és 6-os mag szeletein
Sűrűség	1
Hengerfelület üregessége	2, 5, 8
Nyomószilárdság	2, 5, 8
Hasító-húzó szilárdság	1, 4, 7
Vízfelvétel, telítési tényező	6
Adalékanyag szemmegoszlása	2
Fényképfelvétel	2, 5, 8
Csúszásellenállás	6/1 (6. mag. 1. szelet)
Pórusjellemzők	6/2, 6/3



### 30.5.4. A magminták fizikai adatai

#### 30.5.4.1. Méretek, testsűrűség, tömörség

A hengerek átlagos méreteit a BS 1881:1970 szabvány előírásai szerint határoztuk meg. Az átlagos átmérőt hat mérés átlagából nyertük. Két-két mérést végeztünk egymásra merőlegesen a henger magassága felében és negyedeiben (30.11. táblázat).

A hengerek átlagos magasságát úgy határoztuk meg, hogy a palást mentén a 60 fokos szögosztásnak megfelelően megrajzoltuk a henger alkotóit, megmértük azok hosszát, majd képeztük a hat mérés átlagát.

Mindkét esetben tolómércével 0,1 mm pontosan mértünk. Az eredményeket mm pontosságra kerekítve az 30.12. táblázatban adtuk meg. A kerekítetlen méretek segítségével számítottuk a minta térfogatát és ennek segítségével a légszáraz állapotú minták tömegéből számítottuk az átlagos testsűrűséget.

Az átlagos sűrűséget úgy határoztuk meg, hogy a hasítás után az egyik félhengert kiszárítottuk, azt elporítottuk úgy, hogy a 0,2 mm lyukbőségű szitán áthulljon, ötszöri szitálással gondosan összekevertük és szabályos negyedeléssel előállítottuk a vizsgálathoz szükséges mennyiséget. A piknométeres vizsgálathoz folyadékul széntetrakloridot használtunk.

A testsűrűség és a sűrűség hányadosaként határoztuk meg a próbatestek átlagos tömörségét, valamint ezek átlagából az útbetonszakasz átlagos tömörségét.

**30.11. táblázat.** A régi betontáblák átlagos vastagsága, a beton testsűrűsége és tömörsége  
Balázs és társai (1976)]

Mintavételi hely jele	Minta sorszáma	Átl. átmérő cm	Átl. magasság cm	Tömege g	Testsűrűség kg/m <sup>3</sup>		* Átl. sűrűség kg/m <sup>3</sup>	Tömörség
					egyes	átlag		
1	1	15,2	16,0	6628	2274	2278	2643	0,86
	4	15,3	16,3	6958	2329			
	7	15,3	16,0	6530	2233			
2	1	15,3	14,2	6350	2442	2434	2677	0,91
	4	15,3	13,8	6260	2469			
	7	15,3	14,7	6421	2391			
3	1	15,3	14,8	6710	2462	2438	2608	0,94
	4	15,3	16,1	7196	2420			
	7	15,3	13,1	5832	2433			
4	1	15,4	15,8	7080	2426	2437	2646	0,92
	4	15,3	17,2	7833	2472			
	7	15,4	14,6	6499	2412			
5	1	15,3	14,1	6520	2521	2514	2680	0,94
	4	15,3	14,5	6715	2520			
	7	15,3	13,9	6360	2501			

30.11. táblázat folytatása

Mintavételi hely jele	Minta sorszáma	Átl. átmérő cm	Átl. magasság cm	Tömege g	Testsűrűség kg/m <sup>3</sup>		Átl. sűrűség kg/m <sup>3</sup>	Tömörség
					egyes	átlag		
7	1	15,2	13,8	6072	2418	2393	2573	0,94
	4	15,2	16,1	7066	2416			0,94
	7	15,2	14,1	5944	2324			0,91
9	1	15,2	11,5	5209	2486	2517	2708	0,92
	4	15,2	13,0	5892	2487			0,92
	7	15,2	12,6	5936	2578			0,95
10	1	15,4	13,8	6302	2456	2478	2717	0,90
	4	15,4	15,0	6980	2514			0,92
	7	15,4	13,5	6162	2465			0,91
11	1	15,3	13,6	6358	2550	2548	2619	0,97
	4	15,3	14,3	6741	2573			0,98
	7	15,3	12,4	5751	2521			0,96
12	1	15,4	17,7	8360	2570	2578	2699	0,95
	4	15,3	17,5	8256	2572			0,95
	7	15,3	15,7	7479	2592			0,96
13	1	15,3	19,3	8789	2488	2452	2653	0,94
	4	15,3	17,7	7789	2402			0,90
	7	15,3	19,9	9011	2465			0,93
14	1	15,3	15,6	7502	2616	2583	2754	0,95
	4	15,3	14,2	6770	2592			0,94
	7	15,3	14,7	6921	2557			0,93
15	1	15,3	17,8	7976	2439	2326	2727	0,89
	4	15,3	18,7	7637	2223			0,82
	7	15,3	18,1	7684	2315			0,85
16	1	15,2	18,7	8944	2635	2623	2711	0,97
	4	15,2	18,4	8736	2624			0,97
	7	15,2	19,1	9077	2611			0,96
17	1	15,3	14,0	5761	2239	2230	2506	0,89
	4	15,3	13,0	5359	2244			0,90
	7	15,3	14,6	5921	2207			0,87
18	1	15,2	11,6	5327	2539	2508	2683	0,95
	4	15,2	11,8	5206	2435			0,91
	7	15,2	11,8	5443	2549			0,95
19	1	15,2	12,2	5365	2419	2412	2540	0,95
	4	15,2	13,8	5993	2404			0,96
	7	15,2	13,2	5781	2413			0,95
20	1	15,4	14,9	6750	2444	2465	2758	0,89
	4	15,4	14,4	6660	2508			0,91
	7	15,3	14,1	6340	2441			0,88
21	1	15,3	13,6	6262	2496	2462	2740	0,91
	4	15,3	14,2	6352	2421			0,88
	7	15,3	13,4	6120	2470			0,90



30.11. táblázat folytatása

Mintavételi hely jele	Minta sorszáma	Átl. átmérő cm	Átl. magasság cm	Tömege g	Testsűrűség kg/m <sup>3</sup>		Átl. sűrűség kg/m <sup>3</sup>	Tömörség
					egyed	átlag		
22	1	15,3	13,6	6405	2559	2582	2738	0,93
	4	15,3	13,1	6410	2663			
	7	15,3	13,8	6456	2523			
23	1	15,3	20,9	9515	2480	2494	2689	0,92
	4	15,3	19,2	8908	2525			
	7	15,3	20,4	9278	2477			
24	1	15,3	17,0	7822	2493	2533	2634	0,95
	4	15,3	18,4	8557	2512			
	7	15,3	16,0	7688	2593			
25	1	15,4	16,5	7882	2580	2585	2704	0,95
	4	15,3	17,5	8397	2600			
	7	15,4	17,6	8381	2574			

30.12. táblázat. A régi pályalemez testsűrűségének a változása a vastagsága mentén [Erdélyi-Zimonyi (1971)]

Mintavételi hely jele	Szelet jele	Szelet méretei, cm		Kiszáritott beton tömege, g	Testsűrűség kg/m <sup>3</sup>
		átmérő	vastagság		
1	1	15,28	1,95	815,20	2281
	2	15,28	2,02	848,12	2291
	3	15,26	2,00	833,73	2280
2	1	15,28	1,98	901,55	2484
	2	15,26	2,03	899,39	2424
	3	15,28	2,06	866,39	2295
3	1	15,38	1,86	790,30	2276
	2	15,37	2,05	922,12	2425
	3	15,35	1,50	676,38	2438
4	1	15,36	1,88	821,16	2558
	2	15,37	2,00	900,75	2428
	3	15,36	2,02	917,62	2453
5	1	15,28	1,88	761,75	2333
	2	15,32	2,05	920,95	2438
	3	15,31	1,50	693,68	2513
7	1	15,22	1,69	697,33	2269
	2	15,21	1,49	641,00	2369
	3	15,20	1,57	683,59	2401
	4	15,20	4,52	647,10	2347
9	1	15,20	2,05	878,35	2362
	2	15,21	1,44	656,60	2511
	3	15,22	1,55	690,65	2450
	4	15,23	1,46	660,80	2486

30.12. táblázat folytatása

Mintavételi hely jele	Szelet jele	Szelet méretei, cm		Kiszáritott beton tömege, g	Testsűrűség kg/m <sup>3</sup>
		átmérő	vastagság		
10	1	15,34	1,83	781,07	2310
	2	15,34	1,99	850,40	2313
	3	15,32	2,03	892,65	2387
11	1	15,30	2,02	882,90	2378
	2	15,29	2,01	891,56	2417
	3	15,30	2,06	916,30	2421
12	1	15,30	2,12	945,77	2428
	2	15,31	2,02	918,68	2472
	3	15,32	1,99	910,50	2483
13	1	15,31	2,02	893,02	2403
	2	15,30	2,02	913,96	2462
	3	15,28	2,00	919,33	2501
	4	15,32	1,58	705,54	2424
14	1	15,30	1,92	833,28	2362
	2	15,29	1,35	628,80	2538
	3	15,30	1,82	827,45	2474
	4	15,29	1,57	728,55	2528
15	1	15,34	1,77	783,60	2379
	2	15,31	1,36	624,05	2484
	3	15,32	1,81	834,80	2503
	4	15,32	1,57	705,54	2440
16	1	15,41	1,83	658,45	1930
	2	15,19	1,34	598,00	2464
	3	15,20	1,80	804,90	2465
	4	15,20	1,55	693,75	2468
17	1	15,30	1,95	777,47	2170
	2	15,30	2,00	840,38	2287
	3	15,30	2,02	845,88	2279
18	1	15,20	1,90	830,35	2410
	2	15,19	1,33	611,80	2540
	3	15,20	1,80	836,82	2563
	4	15,20	1,57	702,15	2466
19	1	15,18	1,83	746,00	2254
	2	15,19	1,47	601,79	2260
	3	15,18	1,50	623,77	2299
	4	15,20	1,40	583,17	2297
20	1	15,28	1,63	734,05	2457
	2	15,32	2,00	902,25	2448
	3	15,31	2,04	860,35	2292
21	1	15,30	1,78	801,55	2450
	2	15,30	2,06	924,84	2443
	3	15,32	1,52	663,50	2369



30.12. táblázat folytatása

Mintavételi hely jele	Szelet jele	Szelet méretei, cm		Kiszáritott beton tömege, g	Testsűrűség kg/m <sup>3</sup>
		átmérő	vastagság		
22	1	15,31	1,98	884,83	2429
	2	15,32	2,04	916,76	2439
	3	15,32	2,02	915,60	2460
23	1	15,32	1,90	836,30	2389
	2	15,30	1,98	875,35	2406
	3	15,30	2,03	898,15	2408
24	1	15,34	1,96	859,24	2386
	2	15,35	1,98	864,60	2361
	3	15,34	2,04	875,01	2334
25	1	15,36	2,19	979,17	2414
	2	15,36	2,00	914,00	2468
	3	15,36	1,98	908,22	2477

A hengereket több oldalról gondosan lefényképeztük.

A beton testsűrűségét más módon is meghatároztuk. A 6. sorszámú mintákból, melyeket a vízfelvételi vizsgálathoz használtunk fel, a pályafelszíntől lefelé haladva 3 vagy 4 darab, kb. 2 cm vastag szeletet fűrészeltünk le (1 jelű a legfelső szelet) és e szeleteknek kiszáritott állapotban mért méreteiből és tömegéből számítottuk a szelet testsűrűségét (30.12. táblázat).

Végül az angol BS 1881:1970 szabvány előírásai szerint megszámláltuk a hengeralást üregeit, és azokat a szabvány szerint így csoportosítottuk:

Kis üreg, melynek mérete nem kisebb 0,5 mm-nél és nem nagyobb 3 mm-nél egyik irányban sem. Közepes üreg mérete 3–6 mm. Nagy üreg mérete nagyobb 6 mm-nél. Az üregeesség mértékét a 30.13. táblázat szerint határoztuk meg és tüntettük fel a 30.14. táblázatban.

#### Következtetések

A 30.15. táblázatban a névleges és a tényleges pályatábla-vastagságokat hasonlítottuk össze. A burkolatvastagságok lényegesen eltértek névleges értéküktől. Nevezetesen a 13 cm helyett 11,6–16,1 cm, a 15 cm helyett 13,1–17,2 cm, a 18 cm helyett 15,7–20,9 cm vastag pályalemezt építettek.

E vastagsági eltérések jelentősek, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy az építési szélesség a mai méreteknél lényegesen kisebb – tehát a formasínek között a tükör elkészítését és ellenőrzését egyszerűbben és pontosabban lehetett elvégezni – és a kézi munkavégzés mainál elterjedtebb alkalmazása miatt pedig éppen a régebbi burkolatok vastagságának fokozott egyenletességét várhatnánk.

A megépített burkolat vastagságát azonban rendszeresen ellenőrizni mindaddig nem tudták, amíg magfúró berendezésekkel nem rendelkezünk. A régebbi betonja-



**30.13. táblázat.** A lyukacosság mértékének osztályozása [Balázs és társai (1976)]

A lyukacosság mértéke	A lyukak száma 100 000 mm <sup>2</sup> vágásfelületre vonatkoztatva		
	kis lyuk	közepes lyuk	nagy lyuk
Elhanyagolható	kevesebb 40-nél	kevesebb 4-nél	kevesebb 2-nél
Kevés	40-150	4-15	–
Jelentős	150-400	15-75	kevesebb 2-nél
Sok	több 400-nél	több 75-nél	több 15-nél

ink vastagsági méreteltéréseiről tulajdonképpen mostani vizsgálataink tájékoztatnak első ízben. A névleges mérettől lefelé való eltérés mindig kisebb, mint attól fölfelé.

A 30.14. táblázatban a hengerminták felületének lyukacossági mértékét tüntetjük fel: ebből látható, hogy *elhanyagolható* lyukacosság nem fordul elő, *kevés* lyukacosság is alig fordul elő, elsősorban a nagy lyukak megengedettnél nagyobb száma miatt. A *sok* lyuk minden esetben 15 darabnál több nagy lyuk miatt fordul elő. Sok esetben nagy a tömörítelenség az alépítménnyel érintkező oldalon. De ezen túlmenően a habarcsszegény, földnedves, nagy zúzottanyag-tartalmú betont aligha lehet lyukmentesen bedolgozni. Az M7-es autópályán az 1976-ban készített pályalemezek esetében a pályalemez alján tömítelenség már ritkán fordult elő, és a nagy lyukak száma is lényegesen kevesebb volt.

A 30.11. táblázatban feltüntetett testsűrűségeket vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a betonok legnagyobb része igen tömör. Ezt a megállapítást alátámasztja egyrészt az, hogy a tömörség mérőszáma, amely annak ellenére nagy, hogy a 30.9. táblázat szerinti lyukacosság is nagy. Másrészt pedig az a tapasztalat, hogy csak több hónapos sósavas maratással tudtuk a betont alkotórészeire bontatni. A legtömörebb a nagy lyukat nem tartalmazó 16 jelű minta volt, 0,97 tömörséggel. Feltételezhető, hogy a 20 éves és annál idősebb betonokban a cement teljes hidratációja lejátszódott és a cementnél nagyobb térfogatú hidráttermékek a beton mikropórusait teljesen kitöltötték.

A 30.12. táblázat arra szolgáltat adatot, hogy változik-e a testsűrűség a pályalemez felső részén. (A testsűrűség ez esetben kiszárított mintákra vonatkozik.) A legtöbb esetben a legfelső szelet testsűrűsége a legkisebb. Ez természetesen nem abból adódik, hogy az adalékanyag-szemcsék közül – a forgalom és az időjárás hatására – a habarcsréteg sok esetben kikopott, hiszen az egyes szeletek térfogatát vízkiszorítással mértük meg, és így pontos térfogatukat ismerjük. A felső szeletek és általában a fekvő helyzetben készített beton felső kérge mindig valamivel vizesebb, egyrészt a felső síkra ható bedolgozási munka, másrészt a betonalkotóknak sűrűségük szerinti kisebb-nagyobb szétosztályozódása miatt. Ez részben víz-cement tényező növekedést (hígabb pépet), részben habarcsdúsulást (több pépet) jelent a felső rétegben. Az útbetonok felső kérge tehát kevésbé szilárd és kopásálló, mint a lentebbi rétegek.



30.14. táblázat. A régi pályalemezektől fűrt hengerminták lyukacsossága [Erdélyi-Zimonyi (1971)]

Jele	Sorszám	Kis	Közepes	Nagy	A lyukacsosság mértéke	Megjegyzés
		lyukak száma a 30.13. táblázat alapján				
1	2	163	23	4	jelentős	alsó 4 cm lyukacsos
	5	248	46	31	sok	
	8	172	24	7	jelentős	
2	2	153	16	—	jelentős	alsó 5 cm lyukacsos
	5	111	29	11	jelentős	
	8	184	19	10	jelentős	
3	2	138	17	6	jelentős	
	5	140	14	7	jelentős	
	8	165	14	4	jelentős	
4	5	196	17	3	jelentős	
		104	8	7	jelentős	
5	2	91	10	1	kevés	
	5	86	4	—	kevés	
	8	116	11	3	kevés	
7	2	104	7	3	jelentős	
	5	65	2	—	kevés	
	8	94	18	20	sok	
9	2	114	11	6	jelentős	
	5	107	7	2	jelentős	
	8	218	10	6	jelentős	
10	2	174	31	25	sok	
	5	231	34	21	sok	
	8	186	44	41	sok	
11	2	66	15	17	sok	
	5	71	9	10	jelentős	
	8	113	17	46	sok	
12	2	169	26	42	sok	
	5	169	33	16	sok	
	8	90	32	103	sok	
13	2	122	27	13	jelentős	alul lyukacsos
	5	173	23	9	jelentős	
	8	113	28	6	jelentős	
14	2	91	10	7	jelentős	
	5	92	3	1	kevés	
	8	91	10	—	kevés	
15	2	339	125	41	sok	
	5	458	86	112	sok	
	8	188	49	25	sok	

30.14. táblázat folytatása

Jele	Sorszám	Kis	Közepes	Nagy	A lyukacosság mértéke	Megjegyzés
		lyukak száma a 30.13. táblázat alapján				
16	2	73	8	—	kevés	
	5	96	6	—	kevés	
	8	53	4	1	kevés	
17	2	155	38	14	jelentős	középen 8×8 cm <sup>2</sup> lyukacsos
	5	180	12	4	jelentős	
	8	144	24	18	sok	
18	2	92	10	19	sok	
	5	152	26	16	sok	
	8	130	9	7	jelentős	
19	2	101	45	21	sok	
	5	119	15	2	jelentős	
	8	192	17	2	jelentős	
20	2	190	47	39	sok	
	5	131	56	79	sok	
	8	166	31	21	sok	
21	2	186	44	32	sok	
	5	152	42	50	sok	
	8	124	49	44	sok	
22	2	88	10	2	jelentős	
	5	135	38	35	sok	
	8	124	52	44	sok	
23	2	133	21	—	jelentős	
	5	69	23	5	jelentős	
	8	115	13	6	jelentős	
24	2	120	10	5	jelentős	
	5	106	15	9	jelentős	
	8	118	10	1	kevés	
25	2	430	19	10	jelentős	
	5	194	17	12	jelentős	
	8	171	14	10	jelentős	

Ha a víz-cement tényező kedvezően kicsi, és a betonösszetétel állékony, illetve ha a habarcsréteg részben már lehordódott, akkor a felső kéreg alig különbözik a többitől, mint ez esetben is.



**30.15. táblázat.** Régi betonutak elméleti és tényleges burkolatvastagsága [Balázs és társai (1976)]

Útjel	Minta jele	Elméleti vastagság cm	Tényleges vastagsága cm
10	1	15	16,0–16,3
	2		13,8–14,7
	3		13,1–16,1
	4		14,6–17,2
4	5	13	13,9–14,5
	7	13	13,8–16,1
	9		11,5–13,0
6	10	18	13,5–15,0
	11		12,4–14,3
	12		15,7–17,7
	13		17,7–19,3
	14		14,2–15,6
	16		17,8–18,7
52	17	13	13,0–14,6
	18		11,6–11,8
71	19	13	12,2–13,2
	20		14,1–14,9
	21		13,4–14,2
	22		13,1–13,8
7	23	18	19,2–20,9
	24		16,0–18,4
	25		16,5–17,6

### 30.5.4.2. A betonok szilárdsága

A méretfelvétel és egyenletességvizsgálat után a 2., 5. és 8. sorszámú hengerek véglapjait kb. 1 cm vastag cementhabarccsal simítottuk, és a nyomólapokat ezáltal párhuzamossá tettük. Ezeken a próbatesteken határoztuk meg – légnedves állapotban – a beton nyomószilárdságát (30.16. táblázat).

Az 1., 4. és 7. sorszámú hengereket légnedves állapotban való betonozás után vízzel telítettük, majd meghatároztuk a hasító-húzó szilárdságot (30.16. táblázat). A vizsgálat során teherkiegyenlítőként 5 mm vastag, 10 mm széles és a próbatest hosszánál 3 cm-rel hosszabb furnérlemezt használtunk. Az 1., 4. és 7. sorszámú próbatestek méreteit a 30.11 táblázatban adtuk meg.

A 30.16. táblázatban – a 2., 5. és 8. sorszámú hengerekről készített fényképek alapján – jelöltük a hengereknek a vizsgálati eredmény szempontjából fontos jellemzőjét, nevezetesen:

30.16. táblázat. A régi útbetonok szilárdsága [Erdélyi-Zimonyi (1971)]

Jele	Sorszám	Nyomószilárdság MPa		Sorszám	Hasító-húzószilárdság MPa	
		egyes	átlag		egyes	átlag
1	2	27,8	28,7	1	4,27	3,67
	5	25,1		4	3,21	
	8	33,1		7	3,53	
2	2	40,4	36,7	1	3,82	4,83
	5	e 26,5		4	5,22	
	8	43,2		7	5,46	
3	2	46,0	45,0	1	3,88	4,69
	5	40,6		4	5,22	
	8	48,3		7	4,95	
4	5	—	47,5	1	3,68	3,82
	8	44,5		4	3,54	
		50,4		7	4,24	
5	2	47,3	53,8	1	6,21	6,14
	5	57,7		4	—	
	8	54,6		7	6,07	
7	2	44,6	43,9	1	4,54	4,21
	5	44,7		4	4,32	
	8	42,3		7	e 3,76	
9	2	44,6	39,3	1	e 3,71	4,25
	5	43,7		4	e 4,06	
	8	e 29,7		7	4,97	
10	2	41,6	39,8	1	5,00	4,82
	5	e 37,5		4	5,19	
	8	40,3		7	4,24	
11	2	e 26,0	32,5	1	—	—
	5	48,8		4	5,60	
	8	a 22,5		7	4,72	
12	2	e a 43,6	43,4	1	—	—
	5	a e 48,5		4	5,44	
	8	e 38,0		7	4,78	
13	2	39,1	39,5	1	4,24	4,48
	5	37,1		4	4,89	
	8	42,3		17	4,32	
14	2	44,3	42,5	1	e 4,67	4,74
	5	e 40,0		4	e 4,74	
	8	e 43,2		7	4,80	
15	2	a 36,9	29,7	1	a 4,95	4,72
	5	a e 16,7		4	a 4,88	
	8	a 35,4		7	a e 4,30	
16	2	e 36,6	36,3	1	e 4,72	4,99
	5	e 43,2		4	e 4,58	
	8	a e 29,2		7	e 5,67	



30.16. táblázat folytatása

Jele	Sorszám	Nyomószilárdság MPa		Sorszám	Hasító-húzószilárdság MPa	
		egyes	átlag		egyes	átlag
17	2	e a 37,9	40,9	1	4,31	4,28
	5	51,7		4	4,23	
	8	a e 33,2		7	4,29	
18	2	44,8	45,3	1	e 6,48	5,87
	5	45,7		4	a 5,63	
	8	45,3		7	5,50	
19	2	e 40,3	43,6	1	4,75	4,89
	5	45,8		4	4,78	
	8	44,8		7	5,13	
20	2	a 35,6	36,3	1	3,95	4,72
	5	a e 26,1		4	5,34	
	8	a e 47,2		7	4,85	
21	2	a e 34,3	27,3	1	4,29	4,64
	5	a e 23,7		4	4,25	
	8	a e 23,9		7	4,37	
22	2	50,8	32,7	1	5,88	5,25
	5	a e 23,0		4	5,17	
	8	a e 24,3		7	4,72	
23	2	e 40,3	47,5	1	3,34	4,60
	5	52,0		4	5,91	
	8	50,2		7	4,55	
24	2	41,6	47,2	1	5,55	5,48
	5	47,5		4	5,02	
	8	53,7		7	5,87	
	2	e 43,6	43,4	1	6,24	6,28
	5	e 48,5		4	7,13	
	8	e 38,0		7	5,50	

- a henger szemrevételezés alapján tömörnek látszott, de az aléptményen nyugodott alsó része vagy nagyon eltér a síktól, vagy nagyon egyenetlen, tehát a felületet csak igen eltérő vastagságú habarcsréteggel lehetett síkká tenni;
- azon túlmenően, hogy rendszerint a próbatest alsó síkja egyenetlen, a próbatest alsó része, sok esetben az alsó fele lyukacsos.

A vizsgálatból kapott szilárdsági értékeket át kell számítani a szabványos próbatestméretre (jelenleg 15 cm átmérőjű, 30 cm magas henger).

### 30.5.5. Következtetések

- a) A nyomószilárdsági eredmények megbízhatóságának megítélésekor figyelembe kell venni, hogy a kisebb szilárdság két okra vezethető vissza:



1. a beton tömörítetlensége (lyukak a betonban);

2. az igen egyenetlen alépítmény-felület miatti egyenetlen betonfelület.

b) Az egyes útszakaszokra a minták szemrevételezése és nyomószilárdsága alapján a következőket állapítjuk meg:

*10-es utat*, (1, 2, 3 és 4 jelű minták) 1927-30-ban különböző vállalkozók építették. A beton jól tömörítettnek látszik, alul sem lyukacsos, a nyomószilárdság a 2, 3 és 4 jelű mintavételi helyeken közel azonos minőségű, az 1 jelű mintavételi helyről származó gyengébb minőségű.

*4-es utat* (5, 7 és 9 jelű minták) 1930-ban különböző vállalkozók építették, a beton egyenletesen tömör, a beton alsó része is egyenletes.

*6-os utat* (10 és 11 jelű minták) egyik szakaszát 1931-ben építették. Tömöriségi hiány is előfordul, továbbá az úttükör sok esetben nem vízszintes.

*6-os út* (12–16 jelű minták) másik szakaszát 1949-ben építették. Tömörítetlenség okozta hibát a minták 33%-ánál, egyenetlenségi hibát 66%-án észleltünk. A betonminőség rosszabb, mint az előző szakaszoké. A háborúval járó minőségromlás és a magánvállalkozók rendszeréről az állami vállalati rendszerre való áttérés (1948) még érezteti hatását.

*52-es utat* (17–19 jelű minta) 1938/39-ben építették. A minták 20%-ánál tapasztaltunk mérsékelt tömörítetlenségi hiányt, harmadánál egyenetlenségi hibát. A betonminőség egyébként jó.

*71-es utat* (20–22 jelű minta) 1940/43-ban építették. Általánosan jellemző a tömörítetlenség, a felületi egyenetlenség, a háború alatt jelentkező minőségromlás.

*7-es út* (23–25 jelű minta) vizsgált szakaszát 1952-53-ban építették. A beton tömör, 45%-os az alsó felület egyenetlensége, a beton nyomószilárdsága jó.

c) Hasító-húzó szilárdság. Az a körülmény, hogy a betont a hasítóvizsgálat előtt 1 hétig vízben tároltuk, a szilárdságot – tapasztalatunk szerint – nem befolyásolta számottevően, mivel a nagyon tömör betonba a víz csak kb. 0,5-1 cm-re hatolt be, kivéve a betonminták lyukacsos részeit.

d) Megvizsgáltuk betonútjaink minőségét abban a tekintetben is, hogy a mai hazai előírásoknak milyen mértékben felelnek meg.

Az ilyen szemléletű elbírálás azonban nem veszi figyelembe az útbetonban bekövetkező változásokat. A méretekből ítélve nem valószínű, hogy kopás miatt lényeges teherbírás-csökkenés következett volna be. A beton azonban egyrészt a 28, illetve 42 napos korhoz képest is szilárdult, elérte végszilárdságát, másrészt azonban fáradás miatt csökkent a szilárdsága. Az irodalmi adatok alapján feltehető, hogy a csökkenés nagyobb mérvű a növekedésnél. A fáradás hatását *Liptay* (2010) elemezte az irodalom alapján.

e) Kevés adat állt rendelkezésünkre a betonnak az építés során végzett ellenőrző vizsgálatára vonatkozóan. (Csak a 10-es, a 4-es úton és a 6-os út 1931 évben épített szakaszán.) A *30.17. táblázat* szerint az építés idején, az útbetonnal egyidejűen készített ellenőrző 20 cm élhosszú kockákon meghatározott nyomószilárdság



**30.17. táblázat.** A régi útbetonok szilárdsága az építés idején és ellenőrzésünk során  
[Balázs és társai (1976)]

Minta jele	Nyomószilárdság 20 cm élhosszú kockán, MPa		Hajlító-húzó szilárdság 20×20×70 cm élhosszú hasábon, MPa	
	építés idején	ellenőrzés során	építés idején	ellenőrzés során
2	55,1	42,3	5,63	5,03
3	72,8	46,0	4,76	4,93
5	59,7	55,0	4,90	6,36
7	41,3	43,8	—	4,43
10	50,7	39,1	4,23	5,00
11	50,7	31,8 (47,7)	4,23	5,22

– 1 kivételével – nagyobb volt, mint a kutatás során az útbetonból kifúrt magmintákon meghatározott. A hajlító-húzó szilárdság egy kivételével fordítottan alakult. Ha a betonok azonosságában nem kételkedünk, felmerül az a kérdés, hogy a fáradás hatása azonos mértékű-e nyomó- és húzószilárdság esetében.

### 30.5.6. Az útbetonfelület csúszásellenállása és érdekessége

A betonút balesetmentes forgalma szempontjából igen fontos az útfelület szerepe. A tárgyalt útszakaszok építése idején hazánkban (a kezdeti időszakban másutt sem) nem volt mérési módszer a felület érdekességének meghatározására és a szabályzatok sem tartalmaztak erre vonatkozóan előírást, sőt hazánkban még az 1970-es évek elején sem tartalmaztak. A kutatás során azonban az Autóközlekedési Tudományos Kutató Intézetben és az Útügyi Kutatóintézetben már az ötvenes években megkezdődött és nemzetközileg elismert eredményeket értek el [Reznák (1973)].

A fékútra jellemző csúszásellenállást a felület anyagának érdekességével és a geometriai érdekességgel lehet jellemezni.

A súrlódó erőt az alábbi tényezők befolyásolják

- érintkező felületek adhéziója,
- hiszterézis, azaz a gumiban jelentkező energiaelnyelés,
- nedvesítő felületek viszkozitása,
- érintkező anyagok kohéziója.

Az útfelület relatív jellemzésére – ha a fékezett gumikerék csúszásellenállásának mérésére nincs mód – leginkább az angol Road Research Laboratory által bevezetett csúszási ellenállásmérőt (Skid resistance tester, rövidítése: SRT) használják. A készülékkel a súrlódó erőt befolyásoló tényezők közül az első kettőt mérjük, míg a harmadik tényezőt azáltal vesszük figyelembe, hogy mindig nedvesített felületen

mérünk. A készülékkel meghatározott, ún. SRT-érték és az 50 km/óra sebességgel haladó gumikerékkel megállapítható csúszósúrlódási tényező között korrelációs összefüggés állapítható meg.

Az SRT-érték csak egy szűk sebességtartományra vonatkozik, ezért önmagában nem teljes értékű jellemzője a felület súrlódási ellenállásának. A felület makrostruktúráját, geometriai érdességét letapogató tűvel vagy a Road Note 27-ben leírt szemcseméretű homoknak a burkolatfelületen történő elterítésével (ebből számított átlagos homokmélységgel) és az inga gumija által érintett felülettel lehet jellemezni. A kifúrt magminták felső felületén (a járószinten) az SRT-értéken kívül meghatároztuk az átlagos homokmélységet és az inga gumija által érintett felületet is.

A méréseket a 6-os sorszámú minták legfelső szeletein Tóth Józsefné technikus (KKTKI) végezte el, míg az értékelés során Dr. Reznák László tud. csoportvezető adott hasznos tanácsokat.

A mérési eredményeket a 30.18. táblázat tartalmazza.

30.18. táblázat. A régi útbetonfelület jellemzése [Reznák (1973)]

Út	Minta	A felület				Megjegyzések
		jele	jellemzése	homokmélysége, cm	csúszásellenállása SRT értékben	
10	1	Nagyon kikopott	0,73	53	30	Nincs polírozódva, csúszásellenállás szempontjából kedvező
	2	Kicsit kikopott	0,29	54	45	A kiemelkedő homokszemcsék polírozódtak
	3	Kicsit kopott	0,21	vastagsága miatt nem mérhető		
	4	Kicsit kopott	0,34	57	45	Érintkező felületben több a habarcs, SRT ezért jó
4	5	Habarcs egyenletesen kikopva	0,53	44	45	A kiemelkedő bazaltszemcsék egységesen polírozva. SRT-érték ezért a legkisebb. Csúszásveszélyes felület
	7	Habarcs kikopva, zúzalék kevésbé	0,31	50	40	A kiálló bazaltzúzalék polírozódott
	9	Kissé kopott, zúzalékkipergés	0,21	50	60	Az előbbinél nagyobb érintkezési felület dacára sem nagyobb az SRT-érték
6	10	Habarcs egyenletesen kikopva	0,29	50	50	SRT indokolatlanul nagynek tűnik. Gumilyenomat nem mérhető, mert a felület feltört



30.18. táblázat folytatása

Út	Minta	A felület				Megjegyzések
		jellemezése	homokmélysége, cm	csúszásellenállása SRT értékben	Az inga gumija által érintett felület a névleges felület %-ában	
6	11	Egyenlőtlen kikopás	0,34	60	—	
	12	Egyenlőtlen kikopás	0,34	57	—	Habarcs helyenként lepattant. Kopás nem túl nagy. Makroérdesség kicsi. SRT-érték a habarcsdús nagy érintett felületek miatt nagy. Az SRT-érték a felületben lévő habarcs és kevésbé polírozódott bazaltszemcsék miatt kedvező
	13	Csekély egyenletes kopás	0,23	63	75	
	15	Kissé kopott, zúzalékkipergés	0,23	56	50	
	17	Erősen kikopott	0,42	vastagsága miatt nem mérhető		
52	18	Kissé kikopott, kipergés nincs	0,21	59	80	Az SRT a felületben lévő habarcs és a kevésbé polírozódott bazaltszemcsék miatt kedvező
	19	Kissé kikopott, zúzalékkipergés	0,31	59	40	A felületsökkenést néhány nagyobb zúzalékszem kitordezése okozta
	20	Közepes egyenletes kopás	0,49	53	30	A legegyszerűsebb mikro csatornahálózat közepes makroérdesség. Az SRT-érték a kikopott bazalt miatt nem elég kedvezően nagy
71	21	Csekély egyenletes kopás	0,23	57	60	Makroérdesség kicsi
	22	Csekély egyenletes kopás	0,21	59	60	Makroérdesség kicsi
	23	Csekély egyenlőtlen kopás	0,29	55	60	Makroérdesség kicsi
7	24	Kissé kopott, kipergés nincs	0,21	55	70	Kevés kikopás
	25	Alig kopott	0,18	62		Legnagyobb érintett felületű. Makroérdessége minimális. Habarcs miatt nincs polírozódás

### 30.5.6.1. Következtetések

- a) Útbetonjainkon a súrlódási ellenállást lényegesen befolyásoló felületkialakítást korábban sem végeztek. Eredményeinket az M7-es autópályán kapott értékekhez hasonlíthatjuk (55–68 SRT érték és 0,28–0,40 mm homokmélység). Ezekhez képest tehát döntő mértékű romlás nem következett be, jóllehet a betonból kiálló zúzalékszemcsék egy része már polírozódott.
- b) Ha a forgalomtechnikai szempontból javasolható mértéket (30.19. táblázat) vesszük figyelembe, akkor megállapíthatjuk, hogy vizsgált betonútjaink SRT-érték szempontjából a B és C kategóriának felelnek meg még több évtizedes forgalom után is, geometriai érdességüket azonban általában javítani kellene. Érdekes, hogy geometriai érdesség szempontjából leggyengébb minőségű 1 jelű beton a legjobb. Ez egyébként a legrégebben épített hazai útbeton.

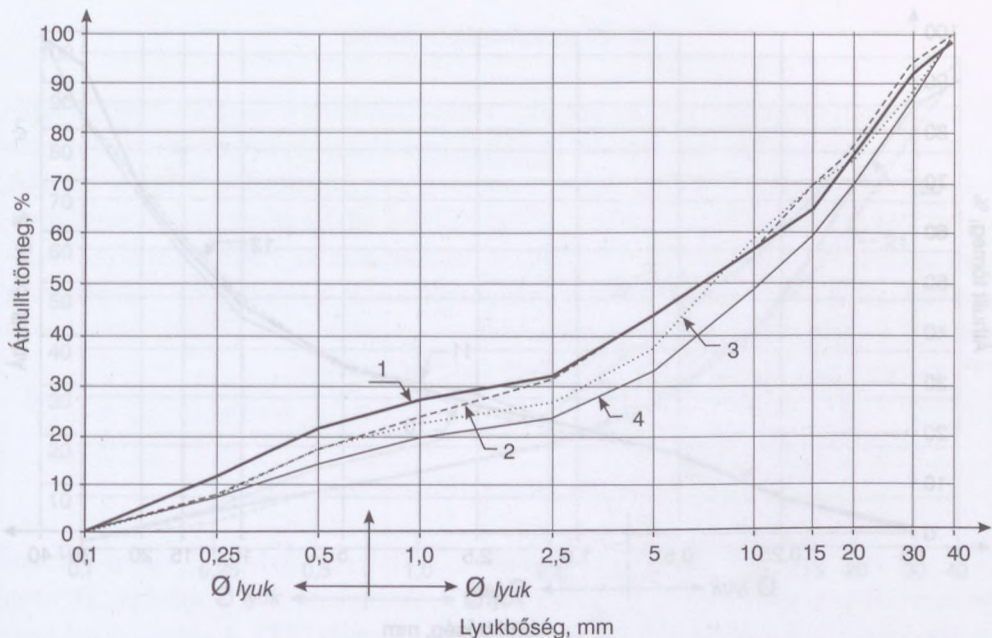
**30.19. táblázat.** A burkolaterdességre vonatkozó minőségi követelmények [Balázs és társai (1976)]

Megnevezés	Javasolt SRT- érték	Homokmélység mm	Érintett felület %
A kategória – 8%-nál nagyobb és 100 m-nél hosszabb emelkedőben, – 150 m-nél kisebb sugarú ívben, – közforgalomban, – forgalmi fényjelzések és sorompók előtt	min. 65	0,3–0,6	40–80
B kategória – Sem az A sem a C kategóriába nem tartozó átlagos minőségű és vonalvezetésű szakaszon	min. 55	0,8–2,0	10–40
C kategória – 2%-nál kisebb esésben  – 200 m-nél nagyobb sugarú ívben – egyenesben – keresztezés, csomópont nincs – vegyes gépjárműforgalom nincs	min. 45	0,3–0,6 (lassú forgalom) 0,8–2,0 (gyors forgalom)	40–80  10–40

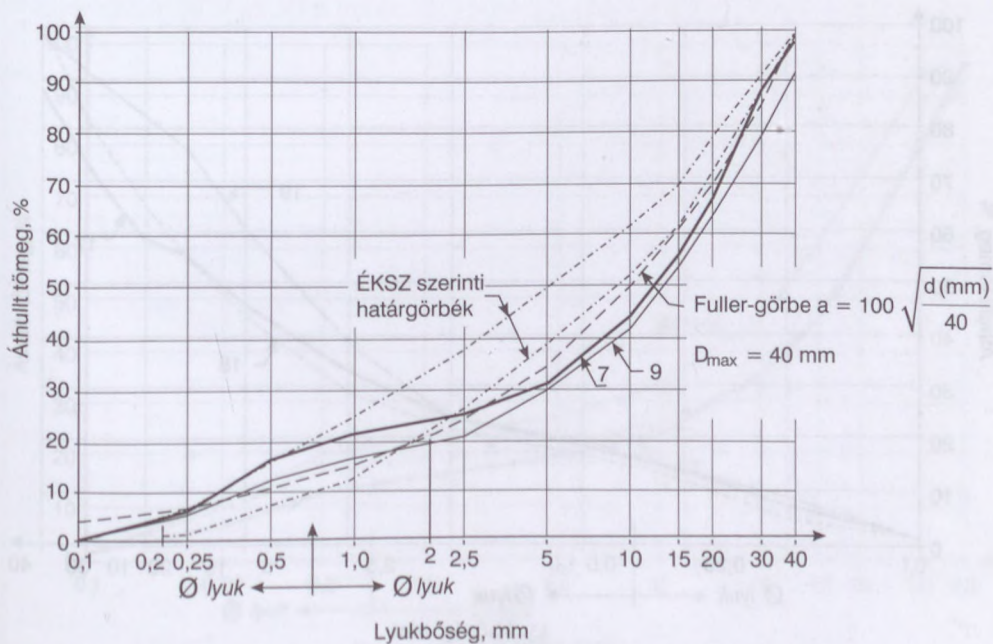
### 30.5.7. Az adalékanyag szemmegoszlása

A nyomóvizsgálatnak alávetett próbatesteket 12%-os töménységű sósavoldatba helyeztük. Az oldatot hetenként cseréltük és a betont apró kalapácsütésekkel is igyekeztünk aprítani. A legtöbb esetben hónapokig tartott az adalékanyag teljes szétválasztása. A négyzetlyukú szitákon és körlyukú rostákon meghatározott szemmegoszlási görbéket a 30.8.–30.13. ábrán foglaltuk össze.

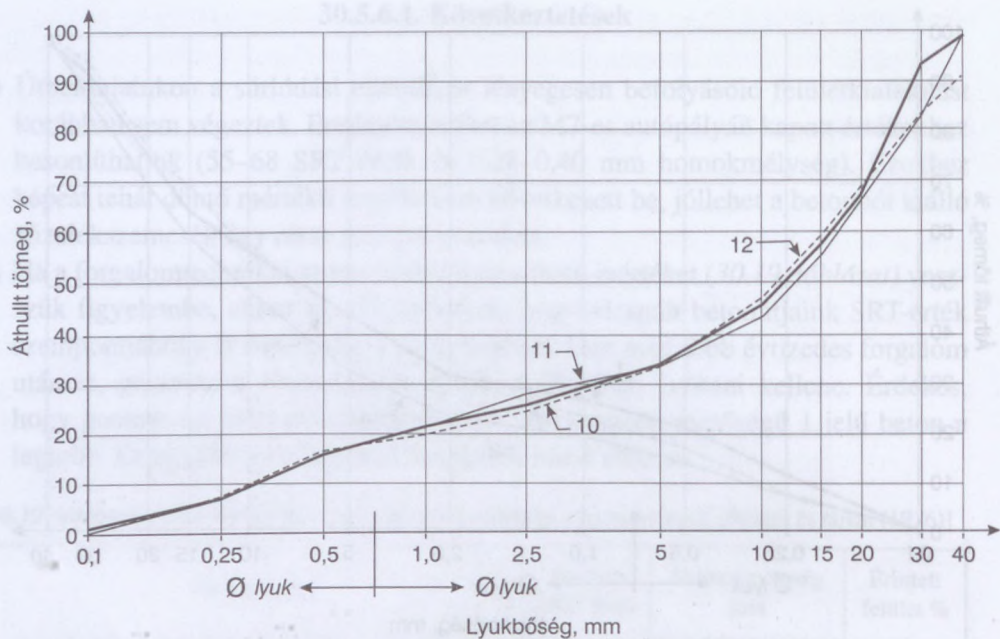




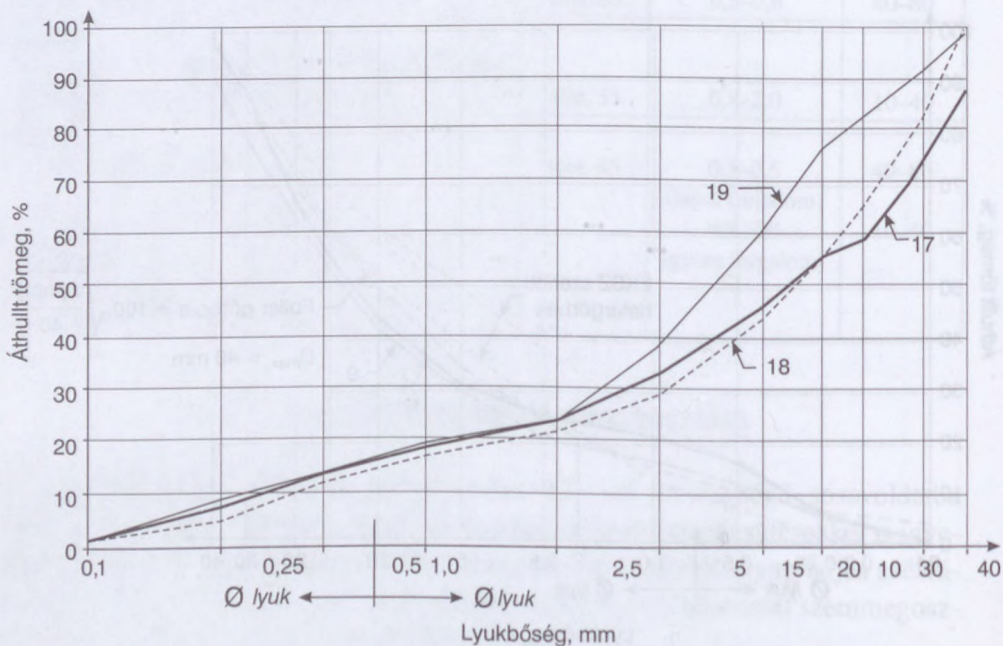
30.8. ábra. 10-es útból vett minták adalékanyagának szemmegoszlása [Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]



30.9. ábra. 4-es útból vett minták adalékanyagának a szemmegoszlása [Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]

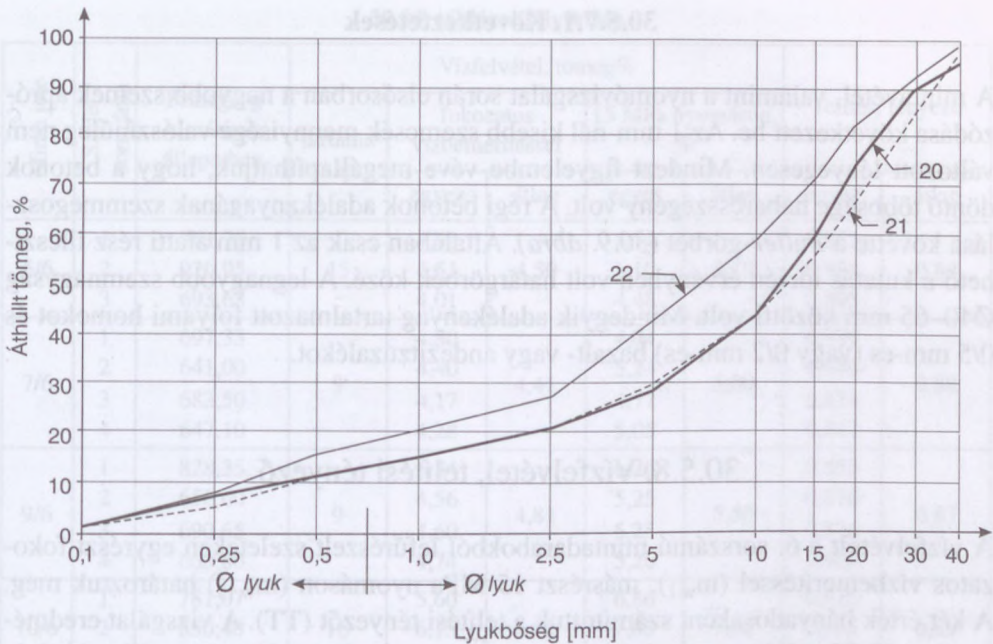


30.10. ábra. 6-os útból vett minták adalékanyagának a szemmegoszlása  
[Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]

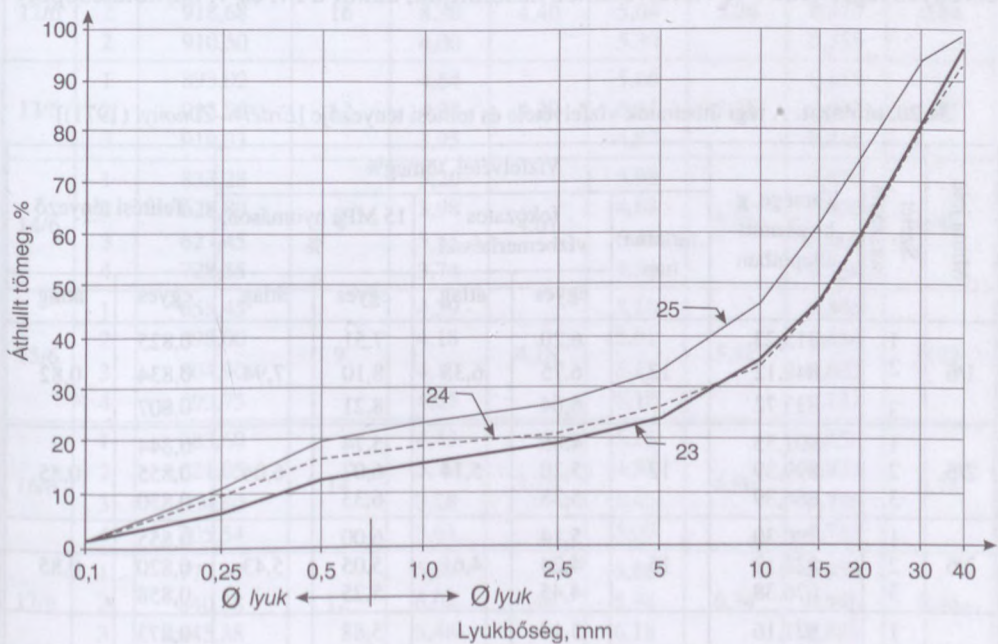


30.11. ábra. 52-es útból vett minták adalékanyagának a szemmegoszlása  
[Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]





30.12. ábra. 71-es útból vett minták adalékanyagának a szemmegoszlása  
[Balázs–Borján–Erdélyi–Liptay–Zimonyi (1971)]



30.13. ábra. 7-es útból vett minták adalékanyagának a szemmegoszlása  
[Balázs–Borján–Erdélyi–Liptay–Zimonyi (1971)]

### 30.5.7.1. Következtetések

A mintavétel, valamint a nyomóvizsgálat során elsősorban a nagyobb szemek aprózódása következett be. Az 1 mm-nél kisebb szemcsék mennyisége valószínűleg nem változott lényegesen. Mindezt figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a betonok döntő többsége habarcsszegény volt. A régi betonok adalékanyagának szemmegoszlása követte a Fuller-görbét (30.9. ábra). Általában csak az 1 mm alatti rész illeszthető a kutatás idején érvényben volt határgörbék közé. A legnagyobb szemnagyság Ø40–65 mm közötti volt. Mindegyik adalékanyag tartalmazott folyami homokot és 0/5 mm-es (vagy 0/2 mm-es) bazalt- vagy andezitzúalékot.

### 30.5.8. Vízfelvétel, telítési tényező

A vízfelvételt a 6. sorszámú mintadarabokból lefűrészelt szeleteken egyrészt fokozatos vízbemerítéssel ( $m_{w,1}$ ), másrészt 15 MPa nyomáson ( $m_{w,15}$ ) határoztuk meg. A két érték hányadosaként számítottuk a telítési tényezőt (TT). A vizsgálat eredményeit a 30.20. táblázat tartalmazza. A betont a víztelítés előtt tömegállandósáig kiszáritottuk.

Következtetések:

Ha a fokozatos vízbemerítéssel meghatározott átlagos vízfelvételt a korábban érvényes legfeljebb 5% vízfelvételhez hasonlítjuk, akkor a IV. és V. burkolatcsoport-

30.20. táblázat. A régi útbetonok vízfelvétele és telítési tényezője [Erdélyi–Zimonyi (1971)]

Minta jele	Szelet sorszáma	Tömege, g kiszáritott állapotban	Vízfelvétel, tömeg%					Telítési tényező	
			tartama nap	fokozatos vízbemerítéssel		15 MPa nyomáson, %			
				egyés	átlag	egyés	átlag	egyés	átlag
1/6	1	815,23	12	6,20	6,35	7,51	7,94	0,825	0,82
	2	848,12		6,75		8,10		0,834	
	3	833,72		6,64		8,21		0,807	
2/6	1	901,55	12	4,85	5,14	5,74	6,04	0,844	0,85
	2	899,39		5,20		6,07		0,855	
	3	866,39		5,38		6,33		0,850	
3/6	1	790,30	15	5,14	4,61	6,00	5,43	0,855	0,85
	2	922,12		4,24		5,05		0,820	
	3	676,38		4,45		5,25		0,858	
4/6	1	821,16	15	5,14	4,72	5,88	5,51	0,873	0,85
	2	900,75		4,77		5,56		0,855	
	3	917,62		4,24		5,11		0,826	



30.20. táblázat folytatása

Minta jele	Szelet sorszáma	Tömege, g kiszáritott állapotban	Vízfelvétel, tömeg%					Telítési tényező	
			tartama nap	fokozatos vízbemerítéssel		15 MPa nyomáson, %			
				egyés	átlag	egyés	átlag	egyés	átlag
5/6	1	761,75	15	4,98	4,50	5,74	5,10	0,853	0,88
	2	920,95		4,51		5,10		0,884	
	3	693,68		4,01		4,48		0,895	
7/6	1	697,33	9	4,80	4,41	4,94	5,00	0,970	0,88
	2	641,00		4,40		5,24		0,840	
	3	683,50		4,17		4,77		0,874	
	4	647,10		4,28		5,05		0,847	
9/6	1	828,35	9	5,34	4,81	6,26	5,50	0,853	0,87
	2	656,60		4,56		5,25		0,870	
	3	690,65		4,60		5,25		0,876	
	4	660,80		4,74		5,26		0,900	
10/6	1	781,07	16	5,60	6,05	6,86	7,16	0,815	0,85
	2	850,40		6,15		7,83		0,785	
	3	892,65		6,42		6,81		0,941	
11/6	1	882,90	16	5,14	4,88	5,98	5,95	0,860	0,82
	2	891,56		4,91		6,08		0,807	
	3	916,30		4,60		5,80		0,790	
12/6	1	945,77	16	4,82	4,40	5,39	5,24	0,895	0,84
	2	918,68		8,38		5,04		0,870	
	2	910,50		4,00		5,30		0,755	
13/6	1	893,02	12	4,64	4,29	5,66	5,29	0,817	0,81
	2	913,96		4,28		5,33		0,802	
	3	919,33		3,95		4,87		0,810	
14/6	1	833,28	9	5,20	4,61	5,98	5,35	0,870	0,86
	2	628,80		3,98		4,63		0,860	
	3	627,45		5,55		6,45		0,860	
	4	728,55		3,74		4,34		0,858	
15/6	1	658,45	9	4,39	4,18	5,18	5,12	0,846	0,82
	2	598,00		4,18		5,01		0,834	
	3	804,90		4,10		5,11		0,802	
	4	693,75		4,05		5,18		0,781	
16/6	1	783,60	14	4,43	3,75	5,16	4,80	0,856	0,78
	2	621,05		3,70		4,51		0,820	
	3	834,80		3,28		4,45		0,736	
	4	705,54		3,61		5,07		0,712	
17/6	1	777,47	12	5,89	5,48	6,86	6,34	0,858	0,86
	2	840,38		5,08		5,98		0,848	
	3	845,88		5,46		6,18		0,885	

30.20. táblázat folytatása

Minta jele	Szelet sorszáma	Tömege, g kiszáritott állapotban	Vízfelvétel, tömeg%					Telítési tényező	
			tartama nap	fokozatos vízbemerítéssel		15 MPa nyomáson, %			
				egyed	átlag	egyed	átlag	egyed	átlag
18/6	1	830,35	9	4,36	3,69	5,15	4,40	0,848	0,84
	2	611,80		3,84		4,49		0,855	
	3	836,82		3,06		3,57		0,857	
	4	702,15		3,48		4,39		0,794	
19/6	1	746,00	9	5,94	5,95	6,73	6,73	0,880	0,88
	2	601,79		6,50		7,35		0,885	
	3	623,77		5,81		6,57		0,885	
		583,17		5,55		6,27		0,885	
20/6	1	734,05	14	3,75	4,23	4,54	5,21	0,825	0,81
	2	902,25		4,15		5,25		0,790	
	3	860,35		4,80		5,85		0,820	
21/6	1	801,55	14	5,15	5,00	5,98	6,05	0,860	0,83
	2	924,84		4,85		5,88		0,825	
	3	663,50		4,99		6,30		0,792	
22/6	1	884,83	14	4,00	3,94	5,07	5,16	0,790	0,76
	2	916,76		3,76		5,11		0,735	
	3	915,60		4,05		5,32		0,760	
23/6	1	836,30	12	5,36	5,29	6,02	6,03	0,890	0,88
	2	875,35		5,23		6,13		0,853	
	3	898,15		5,27		5,94		0,886	
24/6	1	859,24	14	5,86	6,00	6,72	6,93	0,870	0,87
	2	864,60		5,86		6,79		0,864	
	3	875,01		6,30		7,29		0,864	
25/6	1	979,17		4,88	4,61	5,86	5,51	0,832	0,84
	2	914,00		4,32		5,20		0,837	
	3	908,22		4,64		5,48		0,845	

ra előírt max. 5%-nak nem felel meg a 10-es út 1 és 2 jelű mintája, a 6-os út 10 jelű mintája, az 52-es út 17 és 19 jelű mintája és a 7-es út 24 jelű mintája.

A 4-es, 6-os és 10-es utak betonjából az építés idejéből is állnak rendelkezésre vízfelvételi adatok, amelyeket valószínűleg 20 cm élhosszú kockán határoztak meg. A régi értékek azonban általában kisebbek a mostaninál, holott a tökéletesebb cementhidratáció tömörebb betont eredményez. Az eltérés oka valószínűleg az eltérő vizsgálati mód (régente nem fokozatos vízbemerítéssel határozták meg a vízfelvételt) és az eltérő próbatestméret; az általunk vizsgált vékony betonszeletek esetén mindenesetre számítani lehetett a módszer adta maximális telítődésre.

A telítési tényező alapján egyetlen minta sem felel meg a korábbi fejezetben ismertetett, tartósság szempontjából biztonságosnak ítélt, túl szigorú  $TT < 0,75$  érték-



nek. Ezt az ajánlott értéket csak a 22 jelű minta betonja közelíti meg  $TT=0,76$  átlag-értékkel. A többi mintán meghatározott átlagos telítési tényező  $0,78$  és  $0,88$  közötti. A 22–45 év eddigi életkor alapján azonban állíthatjuk, hogy a vizsgált betonok fagy-állóak.

Az idős betonok esetében nem állíthatjuk azt, hogy a forgalomnak kitett réteg és a beton belseje között – a  $TT$  alapján – a betonminőségben lényeges különbség van. Ha habarcsdús réteg verődött volna a felszínre a bedolgozás során, az már régen lekopott.

## 30.5.9. Az útbeton homogenitásvizsgálata

### 30.5.9.1. A minőségegyenletességről általában

A beton egyenletes minősége a műtárgy teherbírása és a gazdaságosság szempontjából egyaránt fontos. Egyenletes minőségű a beton, ha a legfontosabb műszaki paraméterei (pl. nyomószilárdság, húzószilárdság, tömörség stb.) a helytől függően csak kismértékben változnak.

A szilárdságot, illetve annak változását törővizsgálatok alapján lehet meghatározni, vagy roncsolásmentes vizsgálatokkal becsülni. Homogenitásvizsgálat során nagyszámú mérést kell végezni. Ezt teljes egészében törővizsgálattal gazdaságosan megoldani nem lehet. A roncsolásmentes vizsgálatok eredményeit befolyásoló tényezők egy részét viszont ma még nem ismerjük eléggé, és ezért azok megbízhatóságát törővizsgálattal célszerű növelni. A régi útbetonok minőségegyenletességének meghatározására ilyen, törővizsgálattal kombinált roncsolásmentes vizsgálatot végeztünk.

Minőségegyenletességen egyrészt a henger minta magassága, tehát a burkolat vastagsága mentén mérhető tömörség-, illetve szilárdságváltozást, másrészt egy mintavételi helyen belül az egyes minták között észlelt eltéréseket, egy útszakaszon az egyes mintavételi helyek között meglévő eltérések és végül az összes útról kapott minták együttes halmazán értelmezett eltéréseket értjük.

A minőség eltérését az útburkolat vastagsága mentén az ultrahang terjedési sebességének változása alapján értékeljük. A mintavételi helyen belüli, egy útszakasz mintavételi helyei közötti és végül az együttes eltérést az ultrahang sebességéből, a nyomó- és hasítószilárdság, valamint a testsűrűségmérés eredményeiből határoztuk meg. Az ultrahangos méréskor a sebességváltozást, valamint a vizsgált minták alapján a sebesség és szilárdság között szerkesztett regressziós összefüggés felhasználásával becsült szilárdságváltozást is értékeljük.

A homogenitásvizsgálatot a 30.5.4.2. fejezetben ismertetett mintákon elvégeztük. Alábbiakban részletesen az 30.5. fejezetben tárgyalt betonminták vizsgálatának eredményeit ismertetjük.



### 30.5.9.2. A minőségegyenletesség vizsgálata ultrahanggal

Ezt a vizsgálatot a nyomószilárdság meghatározására szolgáló 2., 5 és 8. jelű magmintákon végeztük el és kiegészítettük az 1, 4 és 7 jelű, a hasító vizsgálatra szánt magok mérésével.

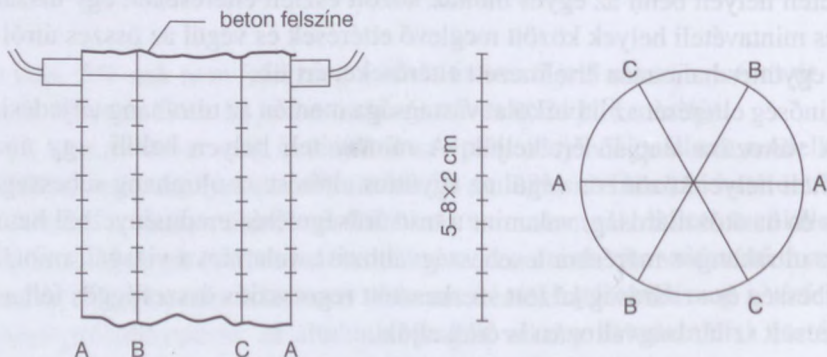
A hengeres magmintákon a felszíntől kiindulva, 2 cm-enként megmértük az ultrahang terjedési idejét, ebből számítottuk a sebesség változását.

Korábbi, az M7-es autópálya betonján végzett hasonló tárgyú vizsgálatunknál minden hengeren 1-1 átmérősíkból határoztuk meg a sebességváltozást. Így egy-egy mélységben egy méréseredménnyel rendelkezünk. Ezért a sebességváltozási görbék nagy véletlen ingadozást mutattak. Ennek csökkentése érdekében e kísérletben minden hengeren három, egymással  $120^\circ$ - $120^\circ$ -os szöget bezáró átmérősíkból (A, B és C irányban) mértük meg a sebességváltozást. Az egyes mélységekben a három irányban mért sebességek átlagértékét vettük figyelembe. A mérési helyeket és jelöléseiket a 30.14. ábrán mutatjuk be. Ezt a mérést minden mintavételi helyről származó 2, 5 és 8 jelű testen elvégeztük.

Az 1, 4 és 7 jelű testen ugyanúgy 3 átmérősíkból mértünk, de mélységben csak a felszín közelében kb. 2 cm mélységben, és a minta alsó végén ott, ahol már jól mérhető jelet kaptunk, végül a magminta félmagasságában.

A mérés helyeket előre pontosan kijelöltük. A minta felszínére helyezett sablon segítségével az átmérősíkokat meghatározó alkotók helyét bejelöltük ceruzával, majd ezekből a pontokból kiindulva megrajzoltuk az A-A, B-B, C-C alkotókat. Ezekre a beton felszínétől kezdve 2 cm-enként megjelöltük az ultrahang adó- és vevőfejek tengelyének helyét. Ez a *merev* előjelölési módszer a véletlen hibák belemérési esélyét egyenlővé tette.

A mérést B I 8-R típusú betonozóköppal végeztük. Az alkalmazott frekvencia 500 kHz, a leolvasást a pontosság növelése érdekében négyszög üzemmódban végeztük.



30.14. ábra. Mérés helyek és irányok a magmintákon  
[Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]



**30.21. táblázat.** 12/2 jelű henger próbatesten mért értékek feldolgozása (d=15,3 cm)  
[Balázs és társai (1976)]

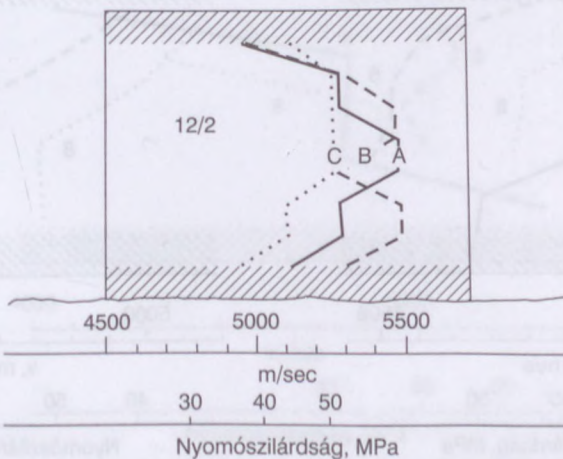
Mélység cm	Irány						v (m/s)	átlag (m/s)
	A		B		C			
	$t_s$	v (m/s)	$t_s$	v (m/s)	$t_s$	v (m/s)		
2	31	4930	31	4930	30	5100	4986	5249
4	29	5270	29	5270	29	5270	5270	
6	29	5270	28	5470	29	5270	5336	
8	28	5470	28	5470	29	5270	5403	
10	28	5470	29	5270	29	5270	5336	
12	29	5270	28	5470	30	5100	5280	
14	29	5270	28	5470	30	5100	5280	
16	30	5100	29	5270	31	4930	5100	

Az erősítés nagyságát (4–5-ös fokozaton) úgy választottuk meg, hogy az erősítés eltéréseiből terjedési idő-eltérés már ne jelentkezzen.

A csatolóanyag plasztilin volt, ennek vastagsága miatti időkorrekciót a nullpont eltolásával automatikusan vettük figyelembe.

Az ultrahang impulzusterjedési idejét mikroszekundumban mértük. Ebből a terjedési sebességet 15,3 cm átlagos hengerátmérővel számítottuk. Bár a hengerátmérő pontosabb értéke rendelkezésünkre állt, az átlagtól való eltérést nem vettük figyelembe, mert ez a terjedési sebességben 1%-nál kisebb, véletlen jellegű hibát okozott.

A 30.21. táblázatban példaként a 12/2 magmintán mért értékek feldolgozását mutatjuk be. A 30.15. ábrán ugyanezen a mintán különböző irányban mért sebességek mélységbeni változását láthatjuk. A további ábrák megszerkesztéséhez a terjedé-

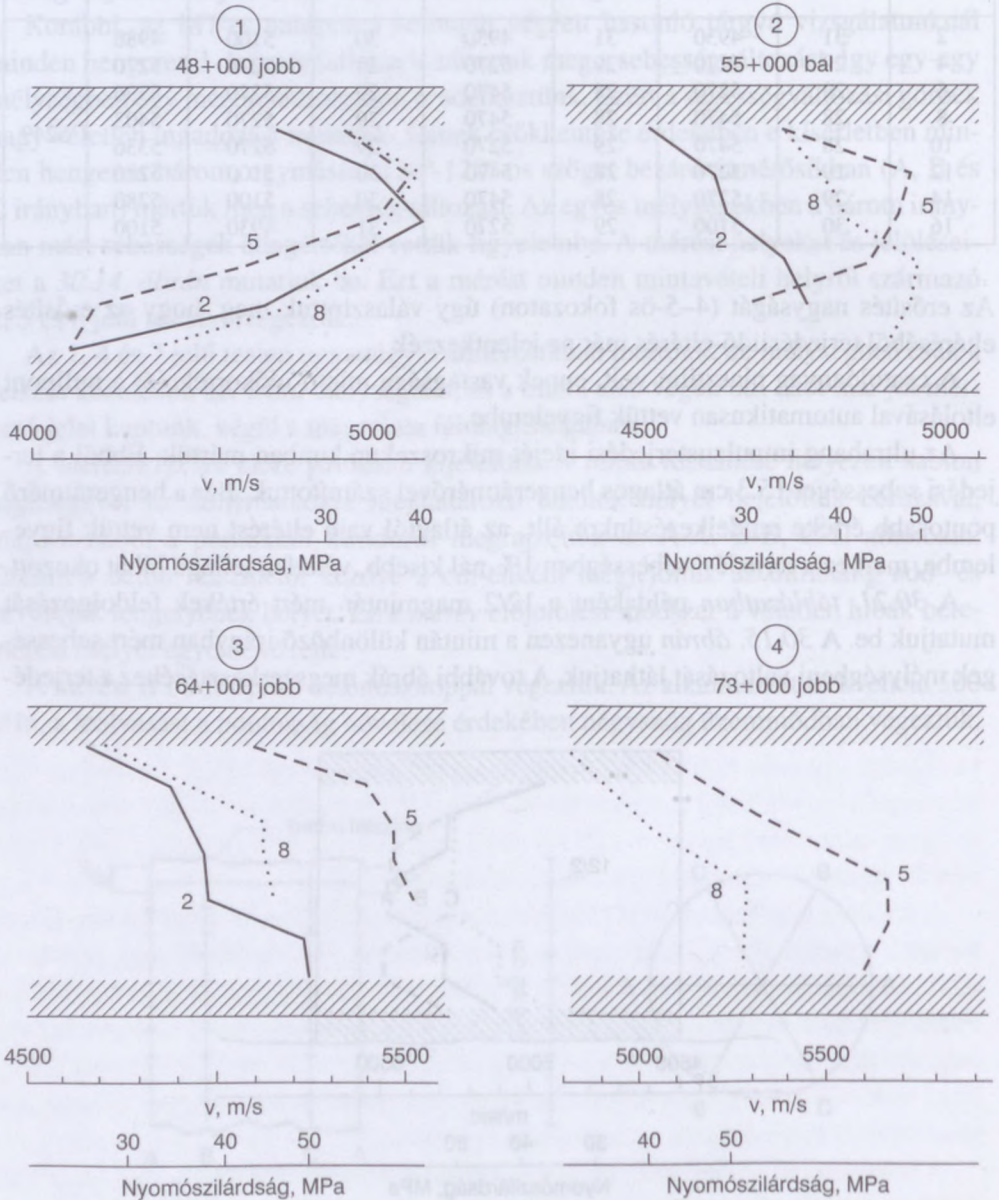


**30.15. ábra.** Az ultrahang sebességváltozása egy-egy irányban mérve  
[Balázs–Borján–Erdélyi–Liptay–Zimonyi (1971)]

si idők átlagából számítottuk a sebességet, átlagolva az irány, illetve a magasság függvényében kapott eredményeket.

A további feldolgozás alapja szintén a terjedési sebesség volt, ezt értékeltük a mélység függvényében.

A 30.16.–30.21. ábrán az ultrahang sebességét, illetve a becsült szilárdságot a mélység függvényében ábrázoltuk. Egy-egy ábrán egy mintavételi helyről származó



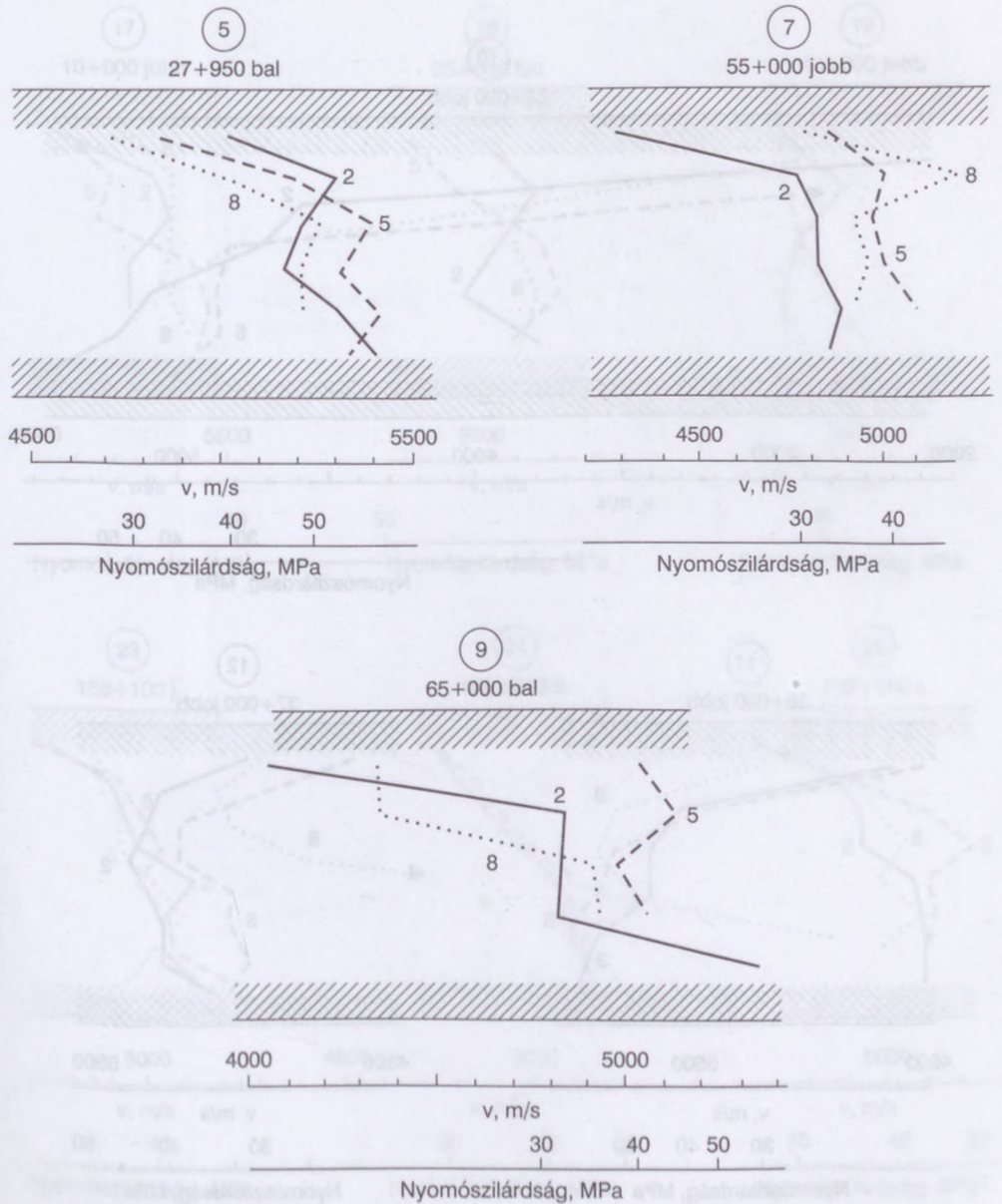
**30.16. ábra.** Ultrahang sebességváltozása a 10. sz. fő közlekedési útról származó betonban [Balázs–Borján–Erdélyi–Liptay–Zimonyi (1971)]



3 mintán kapott eredményt különböztetünk meg. Egy lapon általában az egy-egy útvonalról származó mintákat gyűjtöttük össze.

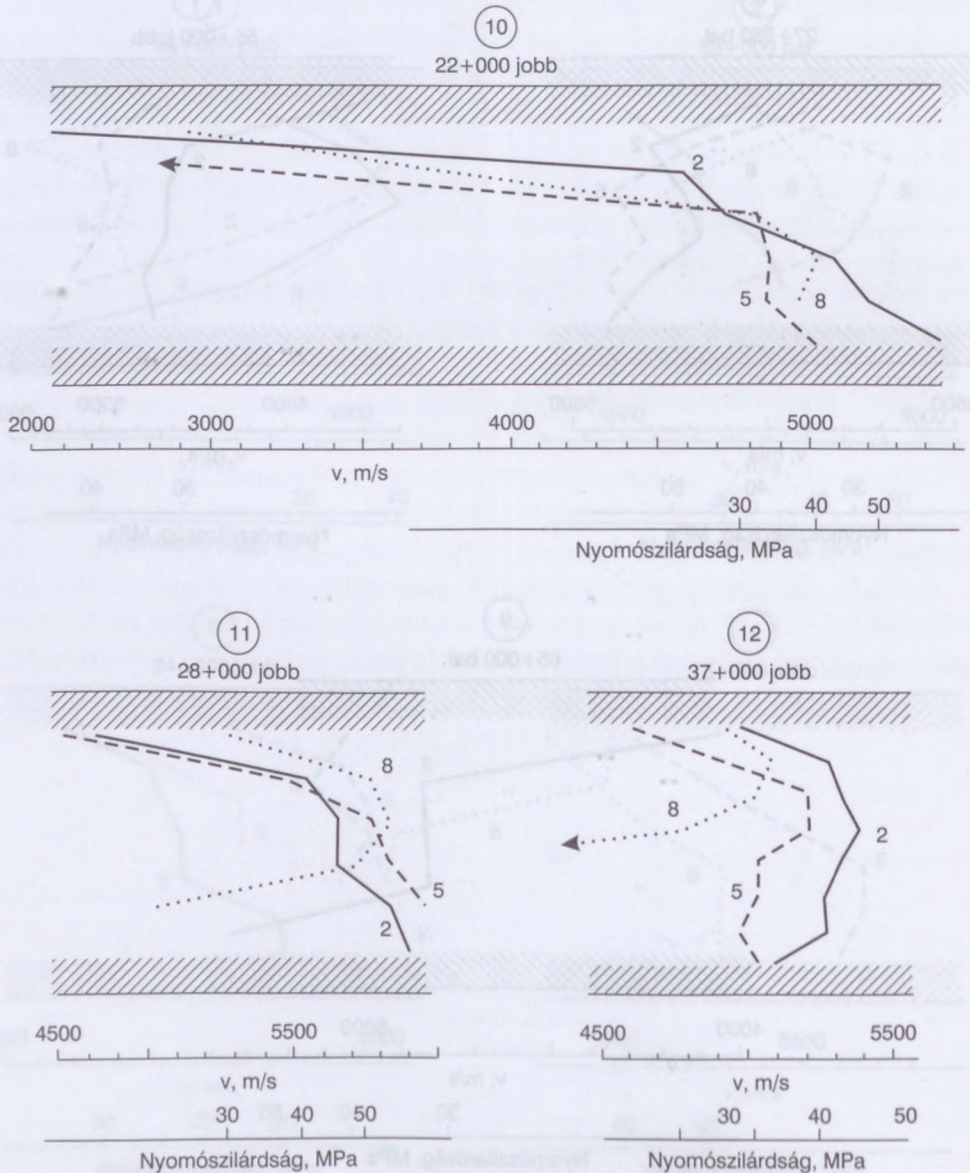
Az ideálisan homogén betont egy magmintán belül egy függőleges vonal, egy mintavételi helyen három egybeeső függőleges vonal jelképezi.

Ezt megközelítő eredményt igen kevés esetben találtunk (pl. 23-as mintavételi helyen).



30.17. ábra. Ultrahang sebességváltozása a 4. sz. fő közlekedési útról származó betonban [Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]

Általában a beton felszíne közelében mindig kisebb a terjedési sebesség; megfelel a korábbi fejezetben a beton felső kérgére tett megállapításoknak ( $m_w/m_c$  nagyobb, péptartalom nagyobb, testsűrűség kisebb). Lefelé a mélységgel általában növekszik a sebesség, de több helyen előfordul, hogy a 6–8 cm mélység után ismét csökken (pl. 1. mintavételi helyen). Ez a teljes rétegvastagságot tekintve elégtelen tömörítési teljesítmény következménye.

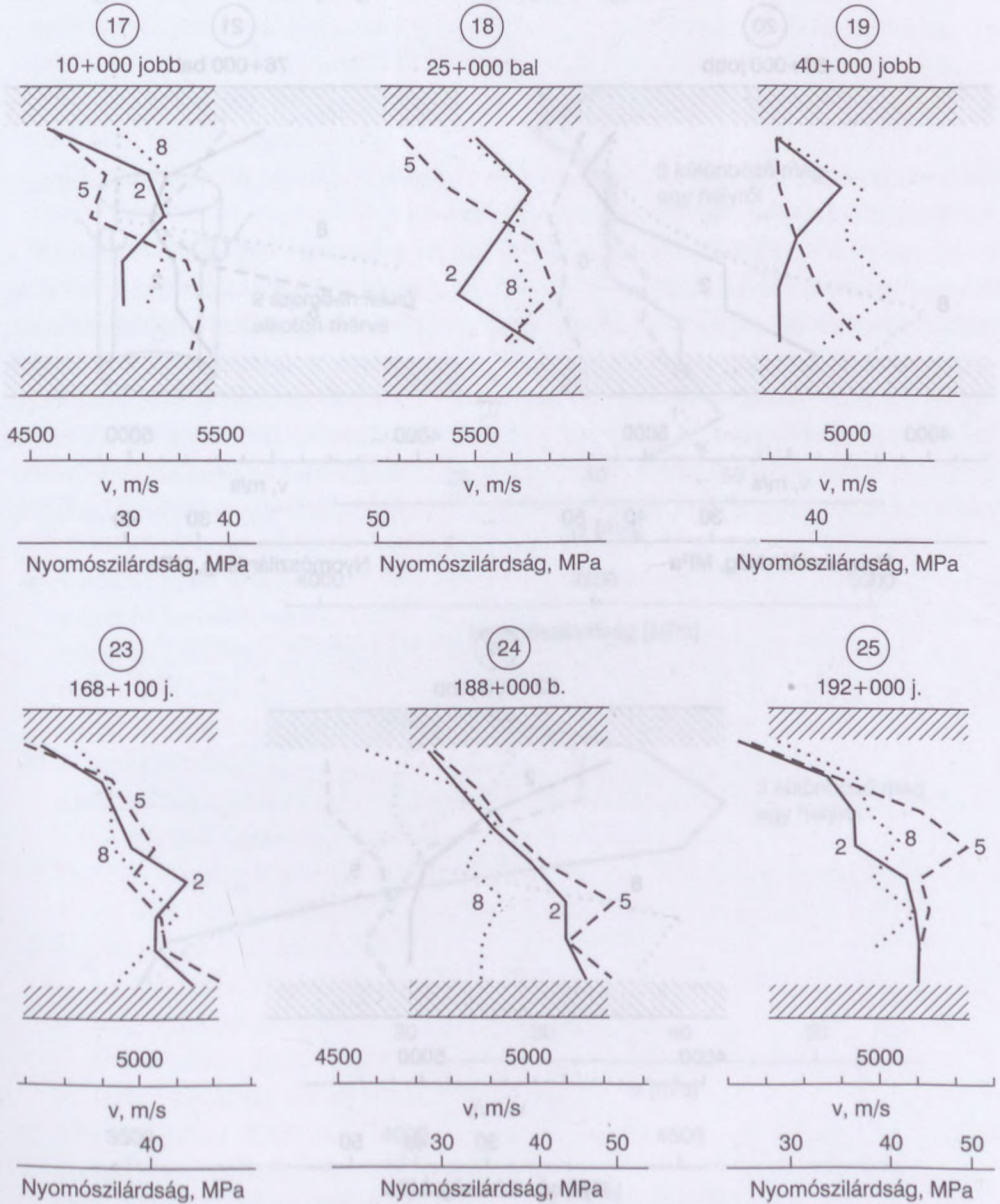


**30.18. ábra.** Ultrahang sebességváltozása a 6. sz. fő közlekedési útról származó betonban II.  
[Balázs–Borján–Erdélyi–Liptay–Zimonyi (1971)]



Egy mintavételi helyen belül előfordul, hogy a görbék jellege és abszolút értéke is nagyjából megegyezik (pl. 10. mintavételi helyen), de nem egy esetben azt találjuk, hogy a jelleg egyezik, de abszolút értékben nem (pl. 4. mintavételi helyen) vagy a jelleg sem egyezik meg (pl. 20. jelű magminták).

Egy egész útvonalon természetesen még nagyobb mértékű eltérések tapasztalhatók mind abszolút értékre, mind a görbék jellegére vonatkozóan.

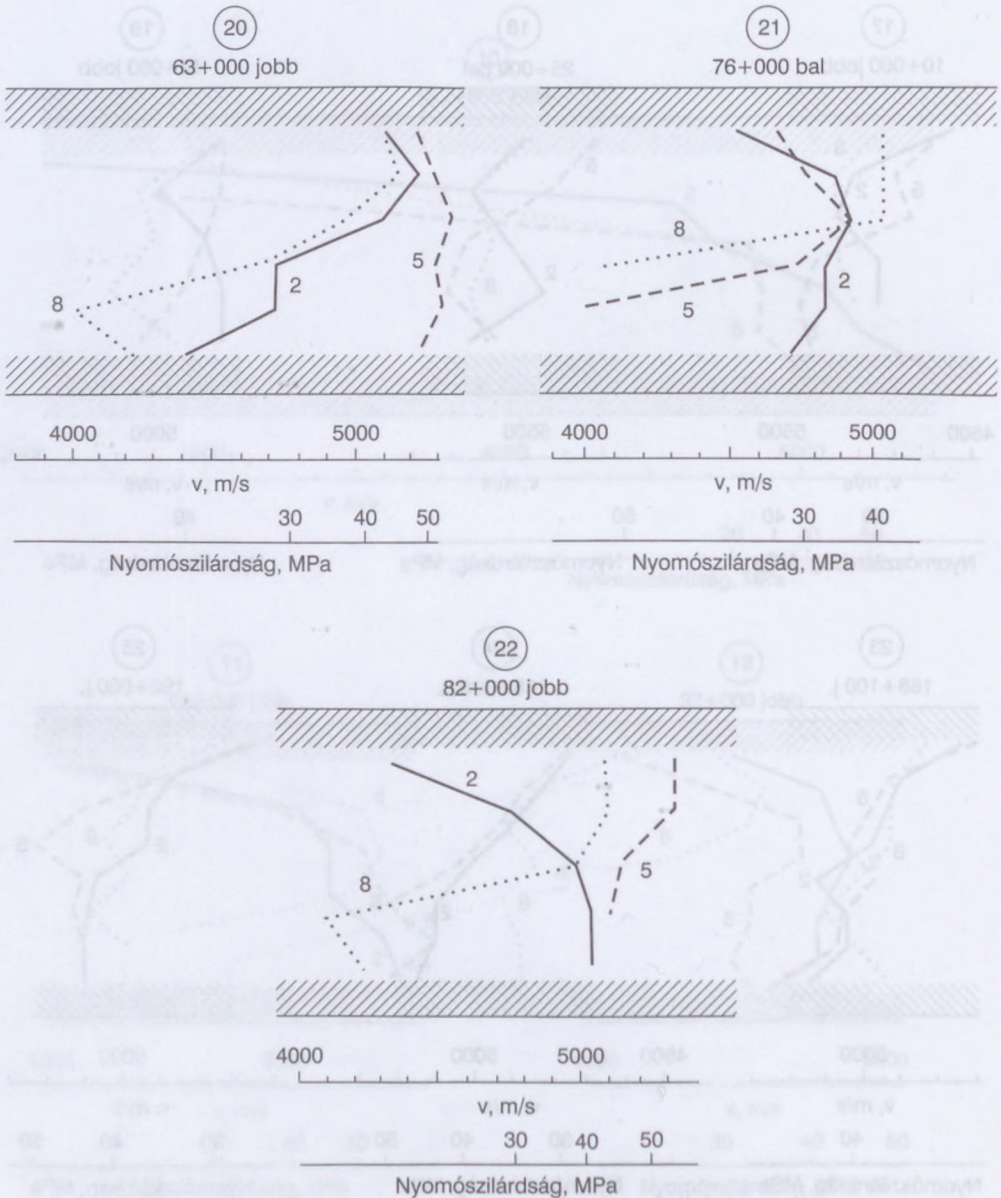


**30.19. ábra.** Ultrahang sebességváltozása a 7. sz. fő közlekedési útról származó betonban [Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]

Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy az útbeton mélységben, egy mintavételeli helyen, és egy útvonalon is nagymérvű inhomogenitást mutat, amit a tervezésnél célszerű figyelembe venni.

A 10/2 jelű henger felszíni része volt nagyon gyenge minőségű.

A 3/2 jelű hengeren a sebesség a mélységgel egyenletesen nőtt, a 23/8 jelű mintán a sebesség eloszlása megközelítette az ideálisan homogén mintáét.

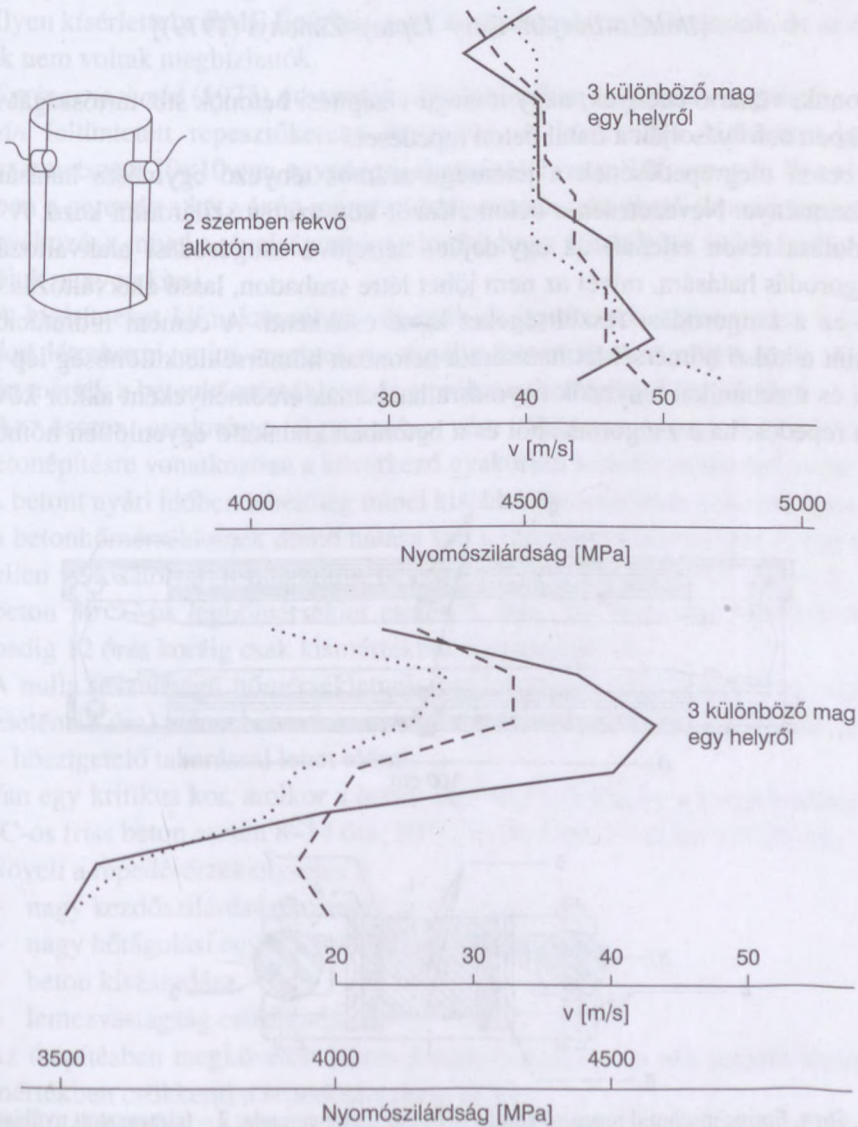


**30.20. ábra.** Ultrahang sebességváltozása a 71. sz. fő közlekedési útról származó betonban [Balázs–Borján–Erdélyi–Liptay–Zimonyi (1971)]



A feltűnő hézagosságtól (zárványosságtól) eltekintve – amelyet néhány mintán tapasztalhattunk – a palástmetszeten található inhomogenitás (nagy adalékanyag-szemek eloszlása) a szerkezeti inhomogenitással (ultrahang sebességváltozása) nem hozható egyértelmű kapcsolatba.

A kapott eredményeket összehasonlítva az M7-es autópályán mért értékekkel, megállapíthatjuk, hogy mind a régi, mind az új útpályabetonoknál nagyjából azonos inhomogenitás adódik mélységben és alaprajzban egyaránt.



30.21. ábra. Az M7-es autópálya betonjának homogenitása  
[Balázs-Borján-Erdélyi-Liptay-Zimonyi (1971)]

Mivel az egyetlen útvonalon tapasztalt eltérések is nagyok, helyes, ha az összes mintavételi helyet együtt is értékeljük, tehát az eltéréseket az útbeton eltéréseinek tekinthetjük.

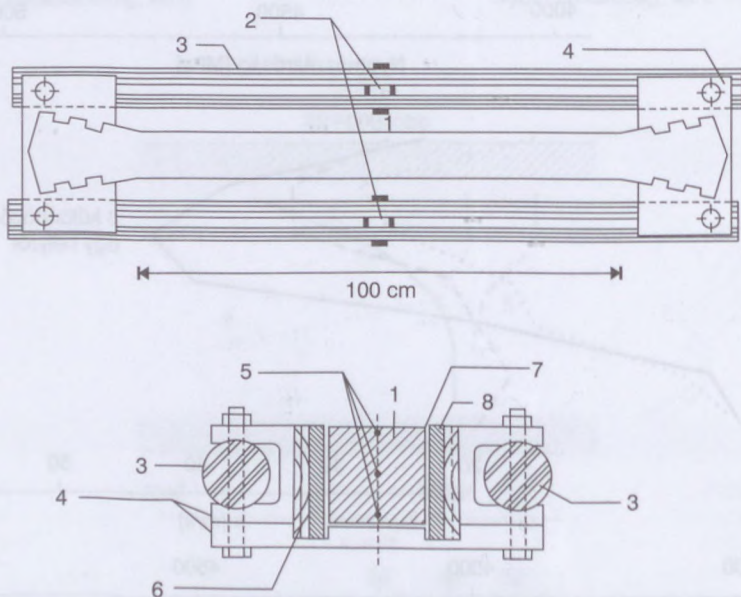
## 30.6. A cement repedésérzékenysége

### 30.6.1. Előzmény

[Balázs–Borján–Cary–Liptay–Zimonyi (1979)]

Útbetonok, víztartó edények, nagy tömegű vízepítési betonok stb. tartósságát nagymértékben befolyásolják a fiatal beton repedései.

A beton megrepedésének a jelensége számos tényező egymásra hatásának a következménye. Nevezetesen a beton először köt, azután szilárdulni kezd. A beton szilárdulása révén ellenáll az egyidejűen létrejövő zsugorodási alakváltozásnak. A zsugorodás hatására, mivel az nem jöhet létre szabadon, lassú alakváltozás is fellép, s ez a zsugorodási feszültségeket kissé csökkenti. A cement hidratációhője, valamint a külső hőmérséklet hatására a betonban hőmérsékletkülönbség lép fel. A fizikai és mechanikai tényezők egymásra hatásának eredményeként akkor következik be repedés, ha a zsugorodásból és a betonban kialakuló egyenlőtlen hőmérsék-



**30.22. ábra.** Springenschmid repesztő kerete 1–10 cm<sup>2</sup> betongerenda; 2 – felragasztott nyúlásmérő; 3 – Ø70 mm speciális acélrúd,  $\alpha=0,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ; 4 – acélszerelvény,  $\alpha=10 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ ; 5 – termoelemek; 6 – fazsalu; 7 – 0,1 mm vastag fólia; 8 – műanyaghab [Springenschmid (1973)]



let-eloszlásból keletkező feszültségek túllépi a beton húzószilárdságát, a hatásokra fellépő alakváltozás eléri a beton nyúlóképességét.

A kutatók és a gyakorlati szakemberek arra törekedtek, hogy kimutassák a befolyásoló tényezők hatását a beton repedésérzékenységére. *Coutinho* gyűrűs vizsgálata abból állt, hogy vasmag köré körgyűrűt betonoztak, melyet a betonozás után azonnal állandó relatív légnedvességtartalmú és hőmérsékletű térben helyeztek el. A repedésérzékenység mértéke az a betonozástól eltelt időtartam volt, amikor a gyűrű az együttes tényezők hatására megrepedt. Beton vizsgálatához 70–80%, habarcs vizsgálatához 55% relatív légnedvességű és 20 °C hőmérsékletű tárolóteret ajánlott.

Ilyen kísérlettel a BME Építőanyagok Tanszéken is próbálkoztunk, de az eredmények nem voltak megbízhatók.

*Springenschmid* (1973) útbetonok repedésérzékenységének vizsgálatára a 30.22. ábrán feltüntetett repesztökeretet használta. A kísérlethez kialakított próbatest keresztmetszete 10×10 cm, egyenes szakaszának hossza 100 cm volt. Ilyen elrendezésben a gerenda a két végén mereven befogottnak tekinthető (hosszirányban gátolt alakváltozás), mivel a távolságtartó acélrudak nagy átmérőjűek és hőtágulási együtt-hatójuk nagyon kicsi.

A kísérleteket klímakamrában végezték és igyekeztek ugyanazokat a körülményeket létrehozni, mint amelyek az útpálya betonjában is megvannak. A kísérlet során mérték a betonhőmérsékletet és a próbatestben fellépő feszültséget.

Az összes eredményt figyelembe véve *Springenschmid* a kísérletből az útbetonépítésre vonatkozóan a következő gyakorlati következtetéseket vonta le:

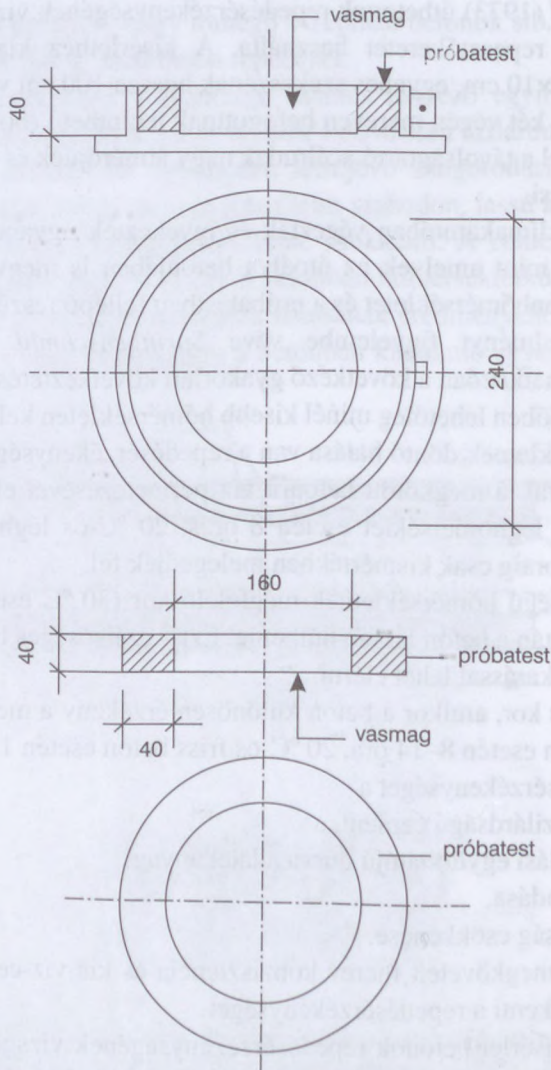
- a) A betont nyári időben lehetőleg minél kisebb hőmérsékleten kell bedolgozni, mert a betonhőmérsékletnek döntő hatása van a repedésérzékenységre. A napsugárzás ellen védőszáttal, a megkötött betonra víz permetezésével el kell érni, hogy a beton 30 °C-os léghőmérséklet esetén 8 óráig, 20 °C-os léghőmérséklet esetén pedig 12 óráig csak kismértékben melegedjen fel.
- b) A nulla feszültségű hőmérsékletnek megfelelő kor (30 °C esetén 12 óra, 20 °C esetén 18 óra) után a beton lassan hűlhet le. Ezt – szélsőséges hőmérséklet esetén – hőszigetelő takarással lehet elérni.
- c) Van egy kritikus kor, amikor a beton különösen érzékeny a megrepedésre. Ez 30 °C-os friss beton esetén 8–14 óra, 20 °C-os friss beton esetén 12–20 óra.
- d) Növeli a repedésérzékenységet a
  - nagy kezdőszilárdságú cement, a
  - nagy hőtágulási együtthatójú durva adalékanyag,
  - beton kiszáradása,
  - lemezvastagság csökkenése.
- e) Az útépítésben megkövetelt merev konzisztencia és kis víz-cement tényező kismértékben csökkenti a repedésérzékenységet.

Míg a gyűrűs kísérlet betonok repedésérzékenységének vizsgálatára kevésbé jó, addig szabványsűrűségű cementpépek vizsgálatára több kutató [*Mailjan* (1968)]

alkalmasnak találta. *Ilantzis* (1958) szerint a megrepedési idő és a befolyásoló paraméterek között használható függvénykapcsolat nem írható fel, ugyanakkor kísérlettel elég jól meghatározható az egyes tényezők hatása a repedésre.

Franciaországban szabványosították a cementpép repedésérzékenységének a vizsgálatát (AFNOR-P 15-434 és AFNOR-P 15-402). Az FD P 15-434 sz., 1960. évi dokumentációs lapja 40 mm magas, 90 mm belső, 127 mm külső átmérőjű gyűrűt írt elő.

A BME Építőanyagok Tanszéken az előbbi gyűrűt módosítottuk azért, hogy a pépgyűrű keresztmetszete azonos legyen a zsugorodási vizsgálatra és a hajlító-húzóvizsgálatra készített hasábok keresztmetszetével.



30.23. ábra. A BME Építőanyagok Tanszéken kidolgozott gyűrűs készülék [Balázs-Borján (1988)]



A repedésérzékenységet úgy vizsgáltuk, hogy 160 mm átmérőjű acélmag körül sablonban 40×40 mm méretű pépgyűrűt készítettünk (30.23. ábra). A sablon alsó része egy acélkorong alaplemez, amelyre felcsavarozható egy hengeres acélmag és ráilleszthető a gyűrű külső zsaluzatát alkotó acélgyűrű. Elkészítés után a szabad felső felületet műanyag fóliával takartuk le. 24 óras korban a külső gyűrűt és az alaplemez eltávolítottuk, és az acélmagot a rajta levő gyűrűvel 65% relatív légnedveségű, 20 °C hőmérsékletű klímakamrába helyeztük. A zsugorodás megindult és a cementkő gyűrű egyre inkább ráfeszült a vasmagra, míg végül elrepedt.

A repedésérzékenység mértékének azt az időtartamot tekintettük, amely a pép megkeverésétől a gyűrű megrepedéséig eltelt. A megrepedés időpontját a gyűrűre felvitt grafitcsík ellenállásának a repedés következtében bekövetkező megváltozásával regisztráltuk [Balázs–Borján–Cary–Liptay–Zimonyi (1979)].

### 30.6.2. A cement repedésérzékenysége

[Balázs–Borján (1988)]

A kutatás keretében vizsgáltuk a cementpépek

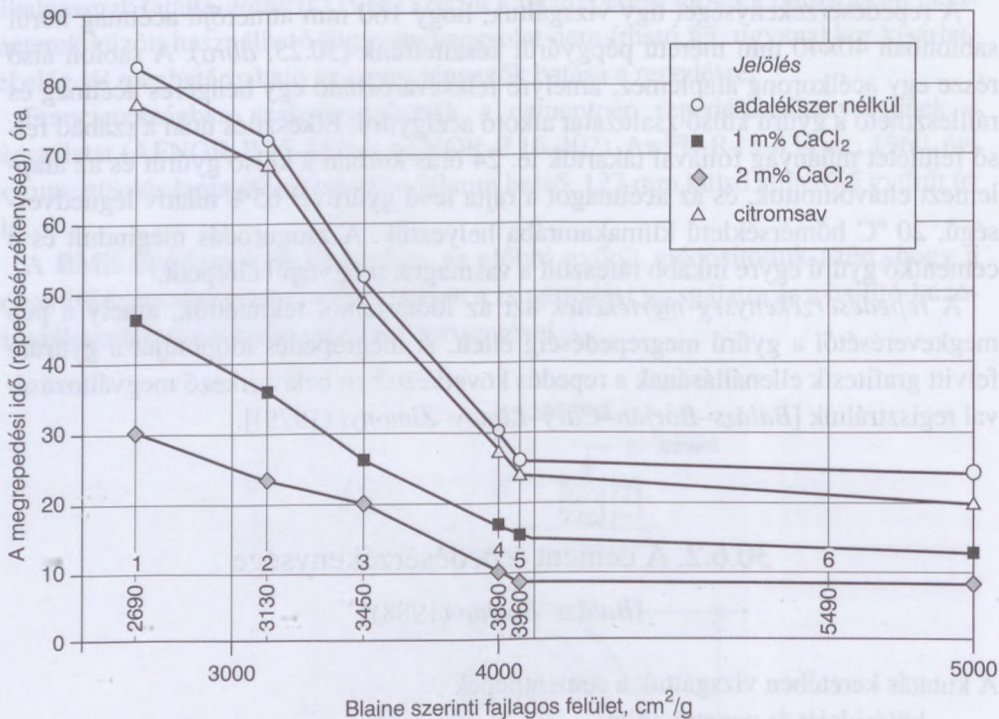
- kötésidőjét és penetrációját,
- szilárdulási ütemét,
- zsugorodását és vízvesztését,
- a  $\text{CaCl}_2$ -nak és a citromsavnak a felsorolt tulajdonságokra kifejtett hatását.

A kísérlet eredményei:

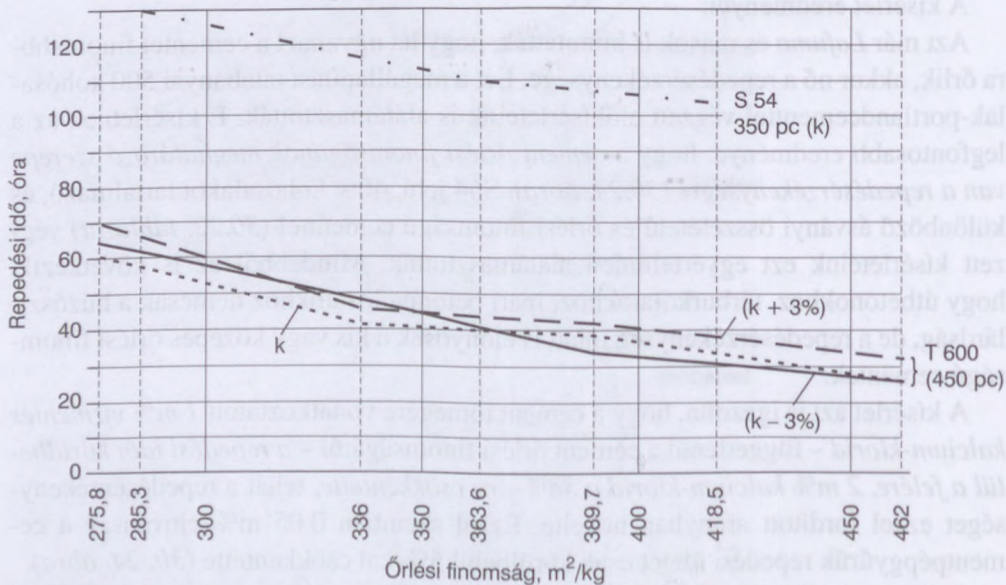
Azt már Lafuma és mások is kimutatták, hogy ha ugyanazt a cementet finomabbra őrlik, akkor nő a repedésérzékenysége. Ezt a megállapítást tatabányai 500 kohósalak-portlandcementtel végzett előkísérleteink is alátámasztották. E kísérletnek az a legfontosabb eredménye, hogy a cement őrlési finomságának meghatározó szerepe van a repedésérzékenységre (30.24. ábra). S54 jelű, 40% kohósalakot tartalmazó, és különböző ásványi összetételű és őrlési finomságú cementtel (30.22. táblázat) végzett kísérleteink ezt egyértelműen alátámasztották. Mindebből az is következik, hogy útbetonokhoz, térburkolatokhoz, ipari betonpadozatokhoz nemcsak a húzószilárdság, de a repedésérzékenység miatt is előnyösek a kis vagy közepes őrlési finomságú cementek.

A kísérlet azt is igazolta, hogy a cement tömegére vonatkoztatott 1 m% vízmentes kalcium-klorid – függetlenül a cement őrlési finomságától – a repedési időt körülbelül a felére, 2 m% kalcium-klorid a 38%-ára csökkentette, tehát a repedésérzékenységet ezzel fordított arányban növelte. Ezzel szemben 0,05 m% citromsav a cementpépgyűrűk repedési idejét csak körülbelül 5%-kal csökkentette (30. 24. ábra).

Sok kutató véleményével egyezően a gyűrűs készülék alkalmas szabványsűrűségű pépek repedésérzékenységének a vizsgálatára. Kísérleteink szerint, ha a keverővíz a



30.24. ábra. Cementpépek repedésérzékenysége a fajlagos felület függvényében [Balázs-Borján (1988)]



30.25. ábra. Az őrlési finomság és a víz-cement tényező kis változásainak hatása a repedési időre [Balázs-Borján (1988)]



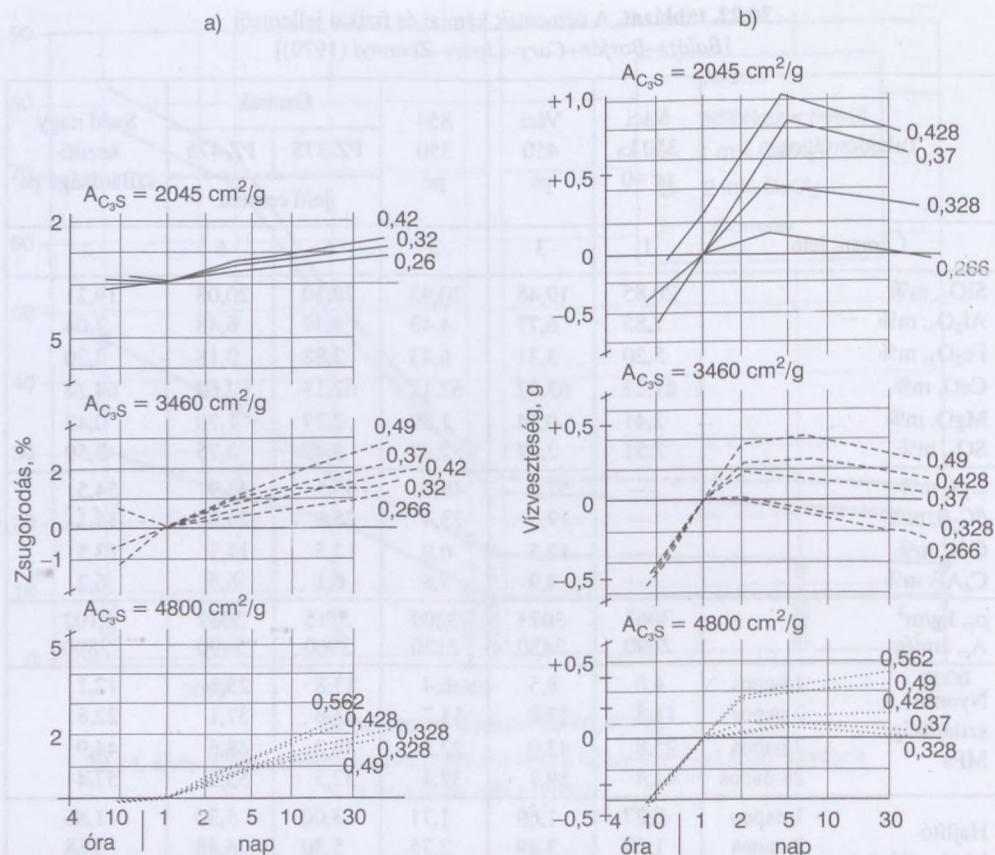
30.22. táblázat. A cementek kémiai és fizikai jellemzői

[Balázs–Borján–Cary–Liptay–Zimonyi (1979)]

Tulajdonságok	Váci 350 ks pc 40	Váci 450 pc	S54 350 pc	Osztrák		Svéd nagy kezdő- szilárdságú pc	
				PZ 375	PZ 475		
				jelű cement			
Cement jele	1	3	2	5	6	4	
SiO <sub>2</sub> , m%	20,85	19,48	20,93	20,10	20,08	19,21	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , m%	7,85	6,77	4,43	6,47	6,48	7,04	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , m%	5,20	3,31	6,43	2,88	2,18	3,20	
CaO, m%	61,22	63,27	62,18	62,13	62,69	64,24	
MgO, m%	2,41	0,54	1,89	2,29	1,70	0,43	
SO <sub>3</sub> , m%	2,51	2,87	2,20	3,47	3,75	3,59	
C <sub>3</sub> S, m%	—	52,0	49,6	43,5	43,9	54,5	
βC <sub>2</sub> S, m%	—	17,5	23,4	25,9	25,8	15,1	
C <sub>3</sub> A, m%	—	12,5	0,9	12,5	14,7	13,5	
C <sub>4</sub> AF, m%	—	4,9	3,8	6,1	6,5	6,2	
ρ <sub>c</sub> , kg/m <sup>3</sup>	3063	3073	3209	3115	3089	3102	
A <sub>c</sub> , cm <sup>2</sup> /g	2690	3450	3130	3960	5490	3890	
Nyomó- szilárdság, MPa	1 napos	4,6	8,5	6,4	13,8	25,6	12,1
	2 napos	11,8	17,8	11,7	23,6	37,1	22,8
	7 napos	25,8	43,0	22,3	38,2	48,6	44,9
	28 napos	41,4	59,7	39,4	52,3	55,2	57,4
Hajlító- húzó szilárdság, MPa	1 napos	0,27	1,69	1,71	3,00	5,30	1,86
	2 napos	1,67	3,49	2,75	5,30	6,48	3,68
	7 napos	4,77	8,71	4,91	7,50	7,93	7,25
	28 napos	8,66	10,55	6,69	8,83	9,02	9,07

kötésvíztől ±3%-kal eltért, az a repedésérzékenység mérőszámát nem befolyásolta lényegesen (30.25. ábra). Míg több szerző utal arra, hogy a mérési eredmények megbízhatóságát rontja a nagy szórás, addig kísérleteink szerint *gondos próbatest-készítéssel és a tárolási körülmények pontos betartásával a szórást le lehet szorítani.*

A gyűrű megrepedési folyamata bonyolult, tekintettel a sok befolyásoló tényezőre. Ilyenek: a húzószilárdság, a húzási rugalmassági modulus, az átlagos zsugorodás, a párolgás, amely egyenlőtlen alakváltozást és belső feszültségeket vált ki, és a lassú alakváltozás. Az azonos körülmények között elvégzett gyűrűs repedésérzékenységi, szilárdsági és zsugorodásvizsgálatok megvilágítják a repedési jelenség bonyolult voltát. *Vegyszer nélküli és citromsav adalékszerrel készített pépek megrepedése akkor következett be, amikor a hajlító-húzó szilárdság visszaesett vagy stagnált, miközben a zsugorodás folyamatosan nőtt.* Ezzel szemben kalcium-klorid adagolásakor rendszerint előbb megrepedt a gyűrű, még a szilárdságcsökkenés bekezdése előtt, stagnáló szilárdság esetén is. Ennek oka az, hogy a kalcium-klorid tartalmú pépek a kötés végétől erősen zsugorodtak, és zsugorodásuk mindvégig



30.26. ábra.  $C_3S$ -pépek zsugorodása (a) ábra és vízvesztése (b) ábra. Az ábrára írt számok a víz/ $C_3S$ -t jelentik [Balázs-Borján (1988)]

nagyobb volt a vegyszer nélküli pékekénél. Különösen érvényes ez a 2 m%  $\text{CaCl}_2$ -tartalmú pépre. Tehát a korábbi megrepedés oka, hogy a húzószilárdság és vele a húzási rugalmassági modulus nem tud lépést tartani a nagy zsugorodással.

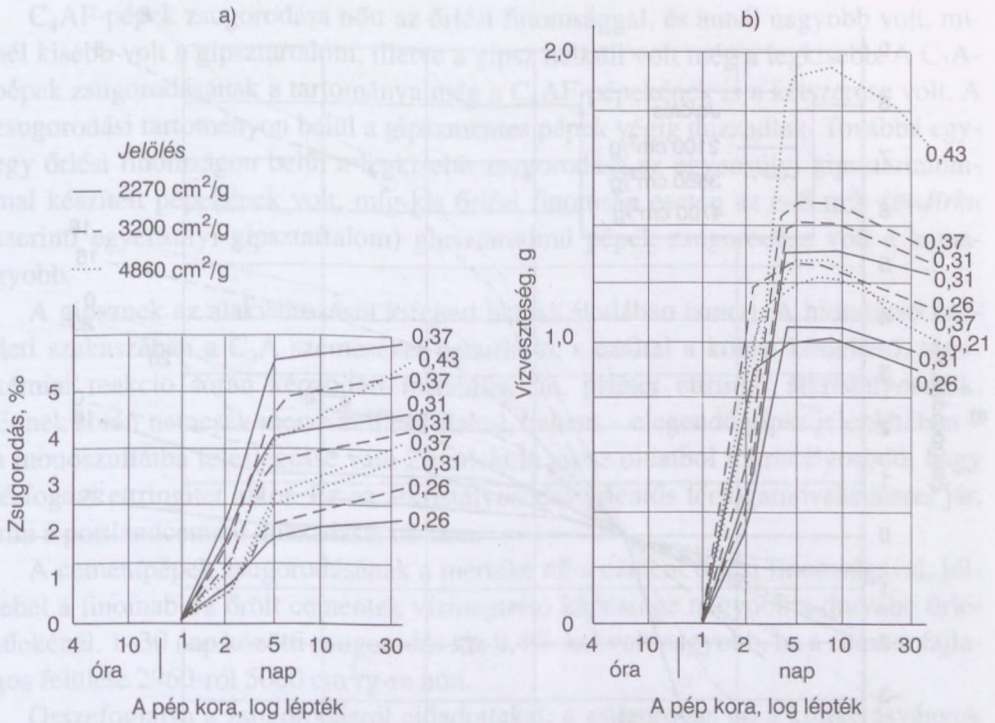
Klinkerásványokkal végzett zsugorodási kísérleteinkkel azt akartuk tisztázni, hogy a cementalkotók hogyan befolyásolják a cement zsugorodását és ezáltal közvetve a repedésképződést. E célból 1 cm×1 cm×5 cm hasárok zsugorodását vizsgáltuk. A 30.26–30.28. ábrák bizonyítják, hogy a legkisebb volt a  $C_3S$ -pépek zsugorodása, és körülbelül kétszer akkora volt a  $\beta C_2S$ -pépeké.  $C_3S$ -pépek zsugorodása mind a  $C_3S$  őrlési finomságával, mind a pép víztartalmával nőtt, jóllehet a legkisebb őrlési finomságú  $C_3S$ -pépek vízvesztése volt a legnagyobb.  $\beta C_2S$ -pépek zsugorodása is nőtt a keverővíz mennyiségének a növelésével, de csak a legkisebb keverővízzel készített pépek zsugorodása nőtt az őrlési finomsággal.

Ennek megvilágítására tekintsük át a zsugorodás magyarázatát.

A megszilárdult pépben a víz elhelyezkedése a következő lehet:

- szerkezeti vagy kémiaileg kötött víz,



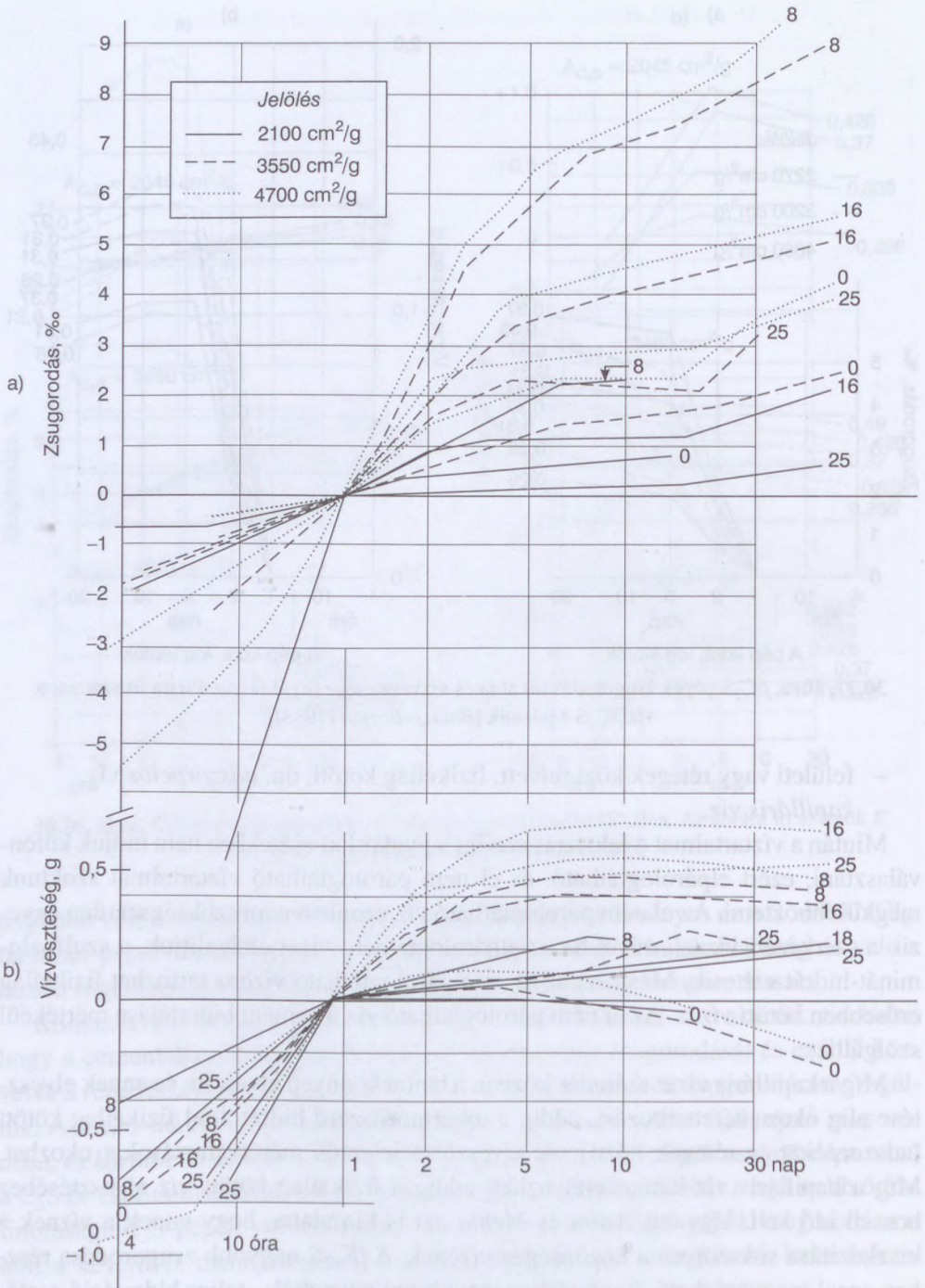


30.27. ábra.  $\beta\text{C}_2\text{S}$ -pépek zsugorodás (a) ábra és vízvesztése (b) ábra. Az ábrára írt számok a víz/ $\beta\text{C}_2\text{S}$ -t jelentik [Balázs-Borján (1988)]

- felületi vagy rétegek közt felvett, fizikailag kötött, ún. *adszorpciós* víz,
- *kapilláris* víz.

Miután a víztartalmat e felosztás szerint a gyakorlati esetekben nem tudjuk különválasztani, ezért elpárologtatható, és el nem párologtatható víztartalmat szoktunk megkülönböztetni. Az el nem párologtatható víz azonban nem szükségszerűen egyezik a szerkezeti vízzel, mivel ha az elpárologtatható vizet eltávolítjuk, a szulfoaluminát-hidrát szétesik. Másrészt az el nem párologtatható vízhez tartozhat fizikailag erősebben kötött víz is. Az el nem párologtatható víz a cement hidratálása mértékéül szolgálhat.

Míg a kapilláris vizet száradás közben a beton könnyen elveszíti, és ennek elvesztése alig okoz méretváltozást, addig a tobermoritszerű hidrát által fizikailag kötött (adszorpciós és rétegek közti) víz elvesztése jelentős méretváltozásokat okozhat. Míg a kapilláris víz hamar eltávozhat, addig a fizikailag kötött víz elvesztéséhez hosszú idő kell. Ugyanis Aroni és Mehta azt is kimutatta, hogy ennek a víznek a viszkozitása sokszorosa a közönséges vízének. A  $\beta\text{C}_2\text{S}$  nagyobb zsugorodása részben azzal magyarázható, hogy térfogategységnyi anyagból – teljes hidratáció esetében – több tobermoritszerű hidrát keletkezik, mint a  $\text{C}_3\text{S}$ -ből. Továbbá a finomabbra őrlött  $\text{C}_3\text{S}$ -ből több tobermoritszerű hidrát keletkezik, ezért száradáskor vízleadása kisebb, mint a durvábbra őrlött cementeké, jóllehet zsugorodásuk nagyobb.



**30.28. ábra.** C<sub>3</sub>A-pécek zsugorodása (a) ábra és vízvesztése (b) ábra. Az ábrára írt számok a gipsztartalmat jelentik [Balázs-Borján (1988)]



C<sub>4</sub>AF-pépek zsugorodása nőtt az őrlési finomsággal, és annál nagyobb volt, minél kisebb volt a gipsztartalom, illetve a gipsz nélküli volt még a legkisebb. A C<sub>3</sub>A-pépek zsugorodásának a tartománya még a C<sub>4</sub>AF-pépekének is a kétszerese volt. A zsugorodási tartományon belül a gipszmentes pépek végig duzzadtak. Továbbá egy-egy őrlési finomságon belül a legkisebb zsugorodása az egyensúlyi gipsztartalommal készített pépekének volt, míg kis őrlési finomság esetén az e=8 m% (e=Jirku szerinti egyensúlyi gipsztartalom) gipsztartalmú pépek zsugorodása volt a legnagyobb.

A gipsznek az alakváltozásra kifejtett hatása általában ismert. A hidratáció kezdeti szakaszában a C<sub>3</sub>A szemcséket beburkoló, s ezáltal a kötést késleltető, topokémiai reakció során képződött instabilis, ún. primer ettringit átkristályosodik. Ennek során nemcsak monoszulfáttá alakul, hanem – elegendő gipsz jelenlétében – a monoszulfátba feleslegessé váló 2 molekula gipsz oldatból kikristályosodó, nagy térfogatú ettringitet alkot. Ez az átkristályosodás jelentős térfogatnövekedéssel jár, ami a portlandcement duzzadását okozza.

A cementpépek zsugorodásának a mértéke nő a cement őrlési finomságával, jól lehet a finomabbra őrlött cementek vízmegtartó képessége nagyobb a durvább őrlésűekénél. 1–30 nap közötti zsugorodás kb. 0,4%-kal volt nagyobb, ha a cement fajlagos felülete 2960-ról 5000 cm<sup>2</sup>/g-ra nőtt.

Összefoglalva a zsugorodásról előadottakat: a zsugorodás nő a klinkerásványok őrlési finomságával, összhangban a cementpépek repedésérzékenységgel. Zsugorodás szempontjából kedvezőbb a C<sub>3</sub>S, mint a βC<sub>2</sub>S. A C<sub>3</sub>A és a C<sub>4</sub>AF klinkerásványpépek zsugorodása igen nagy lehet, de a zsugorodás mértéke nagymértékben függ a pépek gipsztartalmától. Ilyen értelemben ezek a kísérletek alátámasztják a cementpépekkel végzett egyéb repedésérzékenységi kísérletek eredményeit.

### 30.6.3. Az adalékszerek hatása a repedésérzékenységre

[Balázs–Csányi–Gombor (2002)]

Az előzőekben ismertetett kísérletekből kiindulva azt vizsgáltuk, hogy az adalékszerek (a kötésgyorsítót kivéve) hogyan hatnak a cement repedésérzékenységre. E kutatásokat Gombor Péter (2001) építőmérnök hallgató diplomamunkájában foglalta össze. A kutatást két szerzőtársa irányította.

#### 30.6.3.1. A felhasznált anyagok

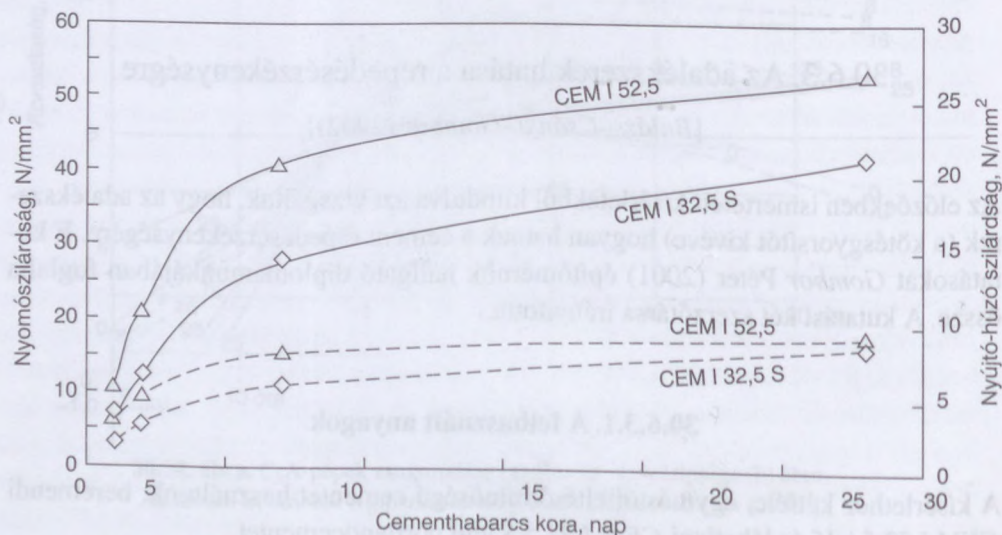
A kísérlethez kétféle, egymástól eltérő minőségű cementet használtunk: beremendi CEM I 52,5 jelű és lábatlani CEM I 32,5 S jelű portlandcementet.

30.23. táblázat. Vizsgált cementek oxidos kémiai összetétele [Gombor (2001)]

Vizsgált jellemző	Vizsgálati szabvány	CEM I 52,5	CEM I 32,5 S
Izzítási veszteség, tömeg%	MSZ EN 196-2	1,25	0,59
Híg sósavban és nátrium karbonátban oldhatatlan rész, tömeg%	MSZ EN 196-2	1,04	0,70
SiO <sub>2</sub> , tömeg%	MSZ EN 196-2	22,24	20,24
CaO, tömeg%	saját módszer*	61,67	63,72
MgO, tömeg%	saját módszer*	2,03	1,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , tömeg%	MSZ EN 196-2	2,90	5,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , tömeg%	MSZ EN 196-2	4,93	3,73
Na <sub>2</sub> O, tömeg%	MSZ EN 196-21	0,42	0,35
K <sub>2</sub> O, tömeg%	MSZ EN 196-21	0,25	0,21
SO <sub>3</sub> , tömeg%	MSZ EN 196-2	3,12	2,83
Kloridtartalom, tömeg%	MSZ EN 196-2	<0,01	<0,01
Szabad CaO, tömeg%	MSZ 525-12	1,01	0,77

\* régi MSZ 525-10 szerint

A CEM I 52,5 jelű, finomra őrölt, nagy szilárdságú portlandcement. A CEM I 32,5 S jelű szulfátálló portlandcementet – a kutatás idején – a Paksi Atomerőmű Átmeneti Hulladékártórája építéséhez azért használták fel, mert a gyártott cementek közül ennek a legkisebb a hidratációhője. A vizsgált cementek kémiai és fizikai jellemzőit a 30.23. táblázatban foglaltuk össze. A szabványos szilárdságokat a 30.29. ábrán szemléltetjük.



30.29. ábra. A cementek szabványos szilárdsága [Gombor (2001)]



30.24. táblázat. Kísérleti cementpépek adalékszer-tartalma [Gombor (2001)]

Cement jele	Adalékszer	
	típusa	mennyisége a cement tömegére vonatkoztatva, %
CEM I 52,5	—	0,0
	Plasztiment-BV40	0,2
		0,5
	Sikament-10 HRB	0,4
		1,2
	Sika-Retarder	0,5
		2,0
		3,0
Sika-Frostschutz	1,0	
CEM I 32,5 S	—	0,0
	Plasztiment-BV40	0,2
		0,5
	Sikament-10 HRB	0,4
		1,2
	Sika-Retarder	0,5
		2,0
		1,0

A kísérletekhez azokat az adalékszereket választottuk ki, amelyeket a Paksi Atomerőmű Átmeneti Hulladékártoló építéséhez is használtak.

A felhasznált adalékszer a *Sika Hungária Kft.*-től származnak.

*Sika Plastiment BV 40*: Módosított lignin-szulfonát alapú betonképlékenyítő adalékszer transzport- és építéshelyi betonok céljára. Azonos bedolgozhatóság esetén növeli a beton szilárdságát és tömörödési hajlamát. Alkalmazásával a keverővíz mennyisége lényegesen csökkenthető (5–15%-ig). Adagolása: 0,2–0,8% a cement tömegére vonatkoztatva. Üzemelő keverőbe adagolható.

*Sikament-10 HRB*: Erős folyósító hatású, formaldehidmentes vinil-kopolimer alapú betonfolyósító adalékszer magas- és mélyépítési betonok céljára. Alkalmazásával jelentősen (30%-ig) csökkenthető a keverővíz mennyisége, nem lép fel kivérzés és szedimentáció. Nagyon jó a konzisztenciatartó képessége. Adagolása: 0,4–2,0% a cement tömegére vonatkoztatva, keverővízbe adagolva.

*Sika Retarder*: Foszfátalapú kötéseleltető adalékszer betonhoz és habarcszhoz. Mellékhatás nélküli adalékszer, késlelteti a cement kötésének kezdetét, amely hatás több tényező függvénye. Adagolása: 0,2–2,0% a cement tömegére vonatkoztatva. Járó keverőbe kell adagolni, a pontos adagolást előkísérlettel kell meghatározni.



*Sika Frostschutz*: Fagyásgátló adalékszer, amely módosított kalciumsók vizes oldatából készül téli betonozáshoz. Kloridmentes, az acélbetétet nem támadja meg. Adagolása: 0,8–1,0% a cement tömegére vonatkoztatva. Járó keverőbe vagy keverővízbe kell adagolni.

A kísérletek során vizsgált cementpépek tervezett adalékszer-tartalmát a 30.24. táblázatban foglaltuk össze.

### 30.6.3.2. A cementpép tulajdonságainak vizsgálata

A cementpépek minden tulajdonságát *Vicat*-készülékkel meghatározott szabványos folyósságú pépen vizsgáltuk.

A kötési idő kezdetét és végét szintén *Vicat*-készülékkel mértük.

A szilárdság meghatározásához – a szabványos cementhabarcsokhoz hasonlóan – 40×40×160 mm méretű hasábokat készítettünk. A próbatesteket – sablonostul – 55–60% relatív nedvességtartalmú térben tároltuk, majd 24±2 óra múlva, a sablonból kivéve, mésztelített vízzel telt kádba helyeztük. A víz hőmérséklete 19±2 °C volt. A 24 órától csak kötéslassító adagolása esetén térünk el jelentősen. A 0,5%-os *Sika-Retardert* tartalmazó péphasábok 24 óras korban még ujjal benyomhatóak voltak, a 2–3%-ot tartalmazókat pedig csak 48–72 óra után lehetett kiszaluzni. Addig fóliával takartuk le a próbatesteket, nehogy kiszáradjanak. Ennél az adagolásnál megfigyeljük, hogy a próbatestek felületi rétege – vízben való tároláskor – kissé megduzzadt.

Az így előkészített próbatesteken 1, 2, 3, 7 és 28 napos korban szilárdsági vizsgálatokat végeztünk: először a hajlító-húzó szilárdságot határoztuk meg 10 cm-es támaszközön, majd a nyomószilárdságot a próbatestek két-két eltört darabján.

A próbatesteket vizsgálat előtt 15 perccel vettük ki a tároló kádból. Ez az idő elegendő volt a testsűrűség meghatározására.

A zsugorodás méréséhez *Leitz-Wetzlar* típusú zsugorodásmérő mikroszkópot használtunk. A próbatestek hosszmeretét úgy választottuk meg, hogy az a mikroszkóp mérési tartományába beleessen (de minél nagyobb pontosság elérése érdekében igyekeztünk hosszú hasábokon mérni).

A cementpépeket külön erre a célra készített zsaluzatba dolgoztuk be. A zsaluelemek belsejét fóliával béleltük ki, hogy a zsalun keresztül víz ne távozhasson el. A cementeket ugyanúgy kevertük, dolgoztuk be, mint a szilárdsági vizsgálatoknál. A tárgymikrométereket a bedolgozás után 30 percen belül elhelyeztük a cementpépeken, kissé benyomva, hogy a péppel együtt mozogjanak alakváltozás közben. A méréseket a bekeveréstől számítva legkésőbb 3 órán belül elkezdtük, attól függően, hogy a keverék kötési ideje hogyan változott. Az első 24 órában több mérést végeztünk, utána naponta egyet, a minták 10 napos koráig. A tárolótér hőmérséklete 20–22 °C, légnedvesség-tartalma 45–55% volt.



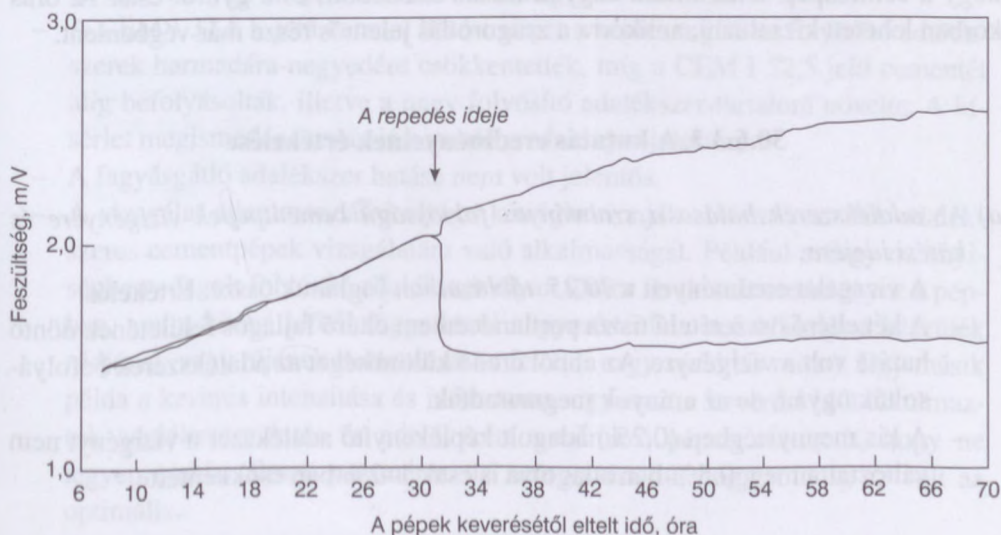
A repedésérzékenységet gyűrűs kísérlettel vizsgáltuk. A gyűrűvel végzett előkísérleteknél már látszott, hogy az eljárás rendkívül érzékeny a próbatestek homogenitására. A keverés vagy a bedolgozás során keletkező bármilyen egyenetlenség (elég-telen keverés, beszoruló buborékok) repedési helyet jelöl ki. Mivel a zsugorodás az egész minta térfogatára kihat, a repedés pedig a leggyengébb keresztmetszetben következik be, az egyenetlenségek a repedési idő megrövidülését okozzák. Kezdetben gondunk volt a regisztrálással is. A repedésérzékenységek érzékelésének a módszerét *Damokos Ádám* tudományos munkatárs dolgozta ki. Alapja, hogy a megszilárdult (többségében  $24 \pm 2$  órás), kizsuzott próbatest palástjára grafitréteget viszünk fel, majd nagy nyúlóképességű gumigyűrűvel rászorítunk egymással szemben négy elektródát (bebetonozva a keresztmetszet gyengült volna).

Elektródaként 0,5 mm átmérőjű rézvezeték szolgált. A gyűrűhöz szimmetrikusan csatlakozó négy elektróda közötti grafitréteg egy *Wheatstone*-híd négy ellenállását képezte. Ha a grafitréteg ellenállása időben változott is (minimálisan), mind a négy negyed ellenállása közel azonosan változott. Két szemben levő elektródát elektromos árammal (percenként 2 másodpercig 5 volt feszültség) tápláltuk, míg a másik két elektróda között a feszültségkülönbség zérus volt. Ha az ellenállások viszonya időben folyamatosan meg is változott, a regisztrátum görbéje folytonos vonal lett.

Bárhol reped is meg a gyűrű, valamelyik ág ellenállása hirtelen megnő, ami a műszer kapcsain feszültségugrást eredményez. A millivolt érzékenységgű regisztráló műszer éles kitéréssel jelzi a repedés időpontját. A 30.30. ábrán jellegzetes grafikont mutatunk be a repedés észlelésére.

A regisztráló berendezés négy egységből állt:

- a vizsgálatérben elhelyezett gyűrűk,
- a kapcsolótábla a tápegységgel, kapcsolóreléekkel, egyenirányító egységekkel,



30.30. ábra. Grafikon a repedés észlelésére [Gombor (2001)]



- nullpontoszáályozó feszültségosztó, külön stabilizált feszültségforrással,
- regisztráló műszer (számítógép).

A percenkénti 2 másodpercig tartó feszültség a kötés menetét nem befolyásolta.

A próbatestek kialakításához a cementet és a szabványos folyóssághoz szükséges mennyiségű vizet habarcskeverőben kevertük össze a szabványos cementvizsgálat keverési programjával. A pépet a szabványos ejtőgéppel dolgoztuk be, de mivel a kötésvízzel készített cementpép tapadása nagyobb, mint a cementhabarcsé, 2×60 ejtést alkalmaztunk a 60 ejtés helyett.

A pépeket több rétegben dolgoztuk be. Minden egyes réteget szurkálással, dön-göléssel buborékmentesítettünk, majd a bedolgozott réteg felérdesítése után vittük fel a következő réteget. A kezdeti tapasztalatok után a homogenizálás érdekében további intézkedéseket tettünk. A CEM I 52,5 jelű cementet a keverés előtt 0,5 mm-es lyukbőségű szitán átszitáltuk, hogy az esetleg összetömörödött cement véletlenül se kerüljön a keverékbe.

A gyűrűket a bedolgozás után azonnal 55–60% relatív nedvességtartalmú térbe helyeztük, és a megrepedésig ott tároltuk. A kizsaluzást többnyire 24±2 órás korban végeztük el, ettől csak a kötéslassítóval készített cementpép esetén tértünk el (ebben az esetben 24 és 72 órás kor közé esett a kizsaluzás). A klimatizált tér az egyensúlyi helyzet beállása miatt lényeges. Részletes bemérése (hőmérséklet, légmozgás, pára-tartalom térbeli és időbeni változása) is komoly munkát igényelt.

Az ismertetett intézkedések hatására a pépgyűrű keresztmetszetében legfeljebb néhány tized milliméter átmérőjű buborékot találtunk, azokat is egyenletesen elosztva, és lényegében tömör törésfelületet nyertünk.

A kísérlet érdekessége volt, hogy a CEM I 52,5 cementtel és 2% Sika–Retarder (kötéskésleltető) adalékszerrel készített gyűrű nem repedt meg! Ennek oka az lehet, hogy a cementpép szilárdulása nagyon lassan kezdődött, és a gyűrűt csak 72 órás korban lehetett kizsaluzni, amikor a zsugorodás jelentős része már végbement.

### 30.6.3.3. A kutatás eredményeinek értékelése

a) *Az adalékszerek hatása a szabványos folyósságú cementpépek vízigényére és kötési idejére*

- A vizsgálat eredményeit a 30.25. táblázatban foglaltuk össze. Értékelés:
- A két eltérő összetételű tiszta portlandcement eltérő fajlagos felületének döntő hatása volt a vízigényre. Az ebből eredő különbséget az adalékszerek befolyásolták ugyan, de az arányok megmaradtak.
- A kis mennyiségben (0,2%) adagolt képlékenyítő adalékszer a vízigényt nem változtatta meg, 0,5%-ban adagolva is csak 1–2%-ban csökkentette.



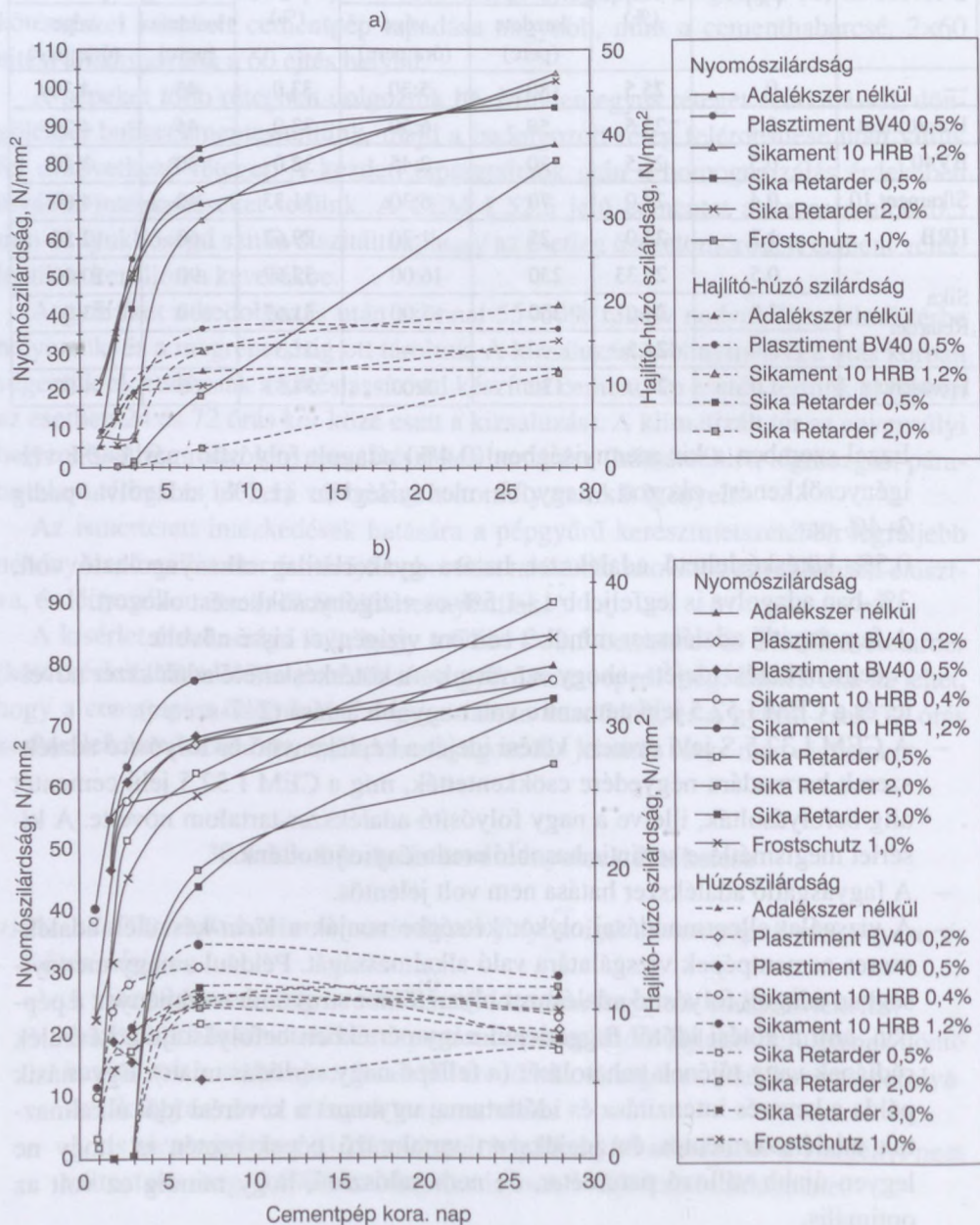
30.25. táblázat. Cementek vízigénye és kötési ideje különböző adalékszerek hatására  
[Gombor (2001)]

Adalékszer fajtája	Adalékszer mennyisége (%)	CEM I 32,5 S cement (Lábatlan)			CEM I 52,5 cement (Beremend)		
		Vízigény (%)	Kötési idő		Vízigény (%)	Kötési idő	
			kezdetete (perc)	vége (óra:perc)		kezdetete (perc)	vége (óra:perc)
—	0	25,5	180	5:30	33,0	45	4:30
Plasztiment	0,2	25,5	50	6:50	33,0	45	4:30
BV40	0,5	23,5	30	2:45	32,0	30	3:40
Sikament 10	0,4	23,0	70	6:30	31,33	40	4:00
HRB	1,2	22,0	25	1:30	29,67	60	12:30
Sika Retarder	0,5	25,33	230	16:00	32,67	90	10:00
	2,0	24,67	280	17:00	31,67	330	23:00
	3,0	24,5	—	—	31,5	—	—
Frostschutz	1,0	26,0	130	8:00	34,33	60	4:00

- Ezzel szemben a kis mennyiségben (0,4%) adagolt folyósító már 1–2% vízigénycsökkenést okozott, nagyobb mennyiségben (1,2%) adagolva pedig 3–4%-ot.
- 0,5% kötészélesztető adalékszer hatása gyakorlatilag elhanyagolható volt, 3%-ban adagolva is legfeljebb 1,–1,5%-os vízigénycsökkenést okozott.
- A fagyásgátló adalékszer mindkét cement vízigényét kissé növelte.
- A cement kötési idejét – ahogy ezt vártuk – a kötészélesztető adalékszer növelte, és a CEM I 52,5 jelű cementre volt nagyobb hatása (2–7-szeres).
- A CEM I 32,5 S jelű cement kötési idejét a képlékenyítő és folyósító adalékszerek harmadára-negyedére csökkentették, míg a CEM I 52,5 jelű cementét alig befolyásolták, illetve a nagy folyósító adalékszer-tartalom növelte. A kísérlet megismétlése során is hasonló eredményre jutottunk.
- A fagyásgátló adalékszer hatása nem volt jelentős.
- A vizsgálat ellentmondásai olykor kétségbe vonják a Vicat-készülék adalékszeres cementpépek vizsgálatára való alkalmasságát. Például a nagy mennyiségben adagolt folyósító adalékszer olyan tömör struktúrát eredményez a pépben, ami a kötési időtől függetlenül nagymértékben befolyásolja a készülék rúdjának vagy tűjének behatolását (a fellépő nagy sűrűlódás miatt). Egy másik példa a keverés intenzitása és időtartama: ugyanazt a keverési időt alkalmaztuk adalékszermentes és adalékszeres tartalmazó pépek esetén is, hogy ne legyen újabb változó paraméter, de nem valószínű, hogy mindig ez volt az optimális.

b) Az adalékszerek hatása a szilárdság időbeli alakulására

A könnyebb értékelhetőség érdekében egymás alatt ábrázoltuk (7 napos korig) a húzószilárdság, a zsugorodás és a repedésérzékenység változását az adalékszerek és a kor függvényében (30.31.–30.33. ábra).

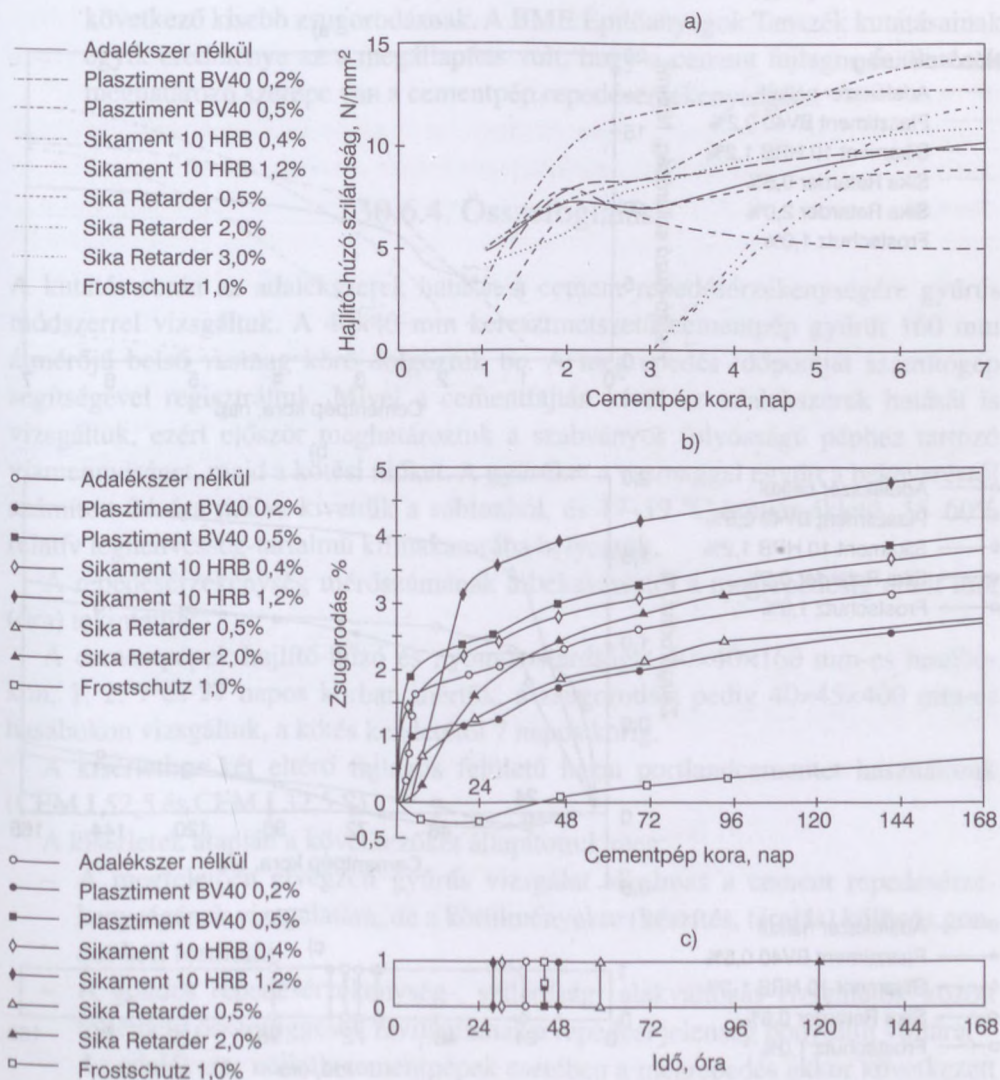


30.31. ábra. Adalékszerek hatása a cementpépek szilárdságára a) CEM I 52,5 jelű (beremendi) cement, b) CEM I 32,5 S jelű (lábatlani) cement [Gombor (2001)]



– A CEM I 32,5 S jelű cement repedésérzékenysége a *folyósítót* (1,2% Sikament 10 HRB) tartalmazó cementpép esetén nőtt a legjobban. Ezt azzal magyarázzuk, hogy a cementpép hajlító-húzó szilárdsága – a megrepedés időpontjáig alig változott, míg a zsugorodás rohamosan nőtt. Ez a folyósító a CEM I 52,5 jelű cement repedésérzékenységét is növelte (az adalékszer nélküliéhez képest), de kisebb mértékben, amit a kezdeti húzószilárdság kedvezőbb alakulásával magyarázunk.

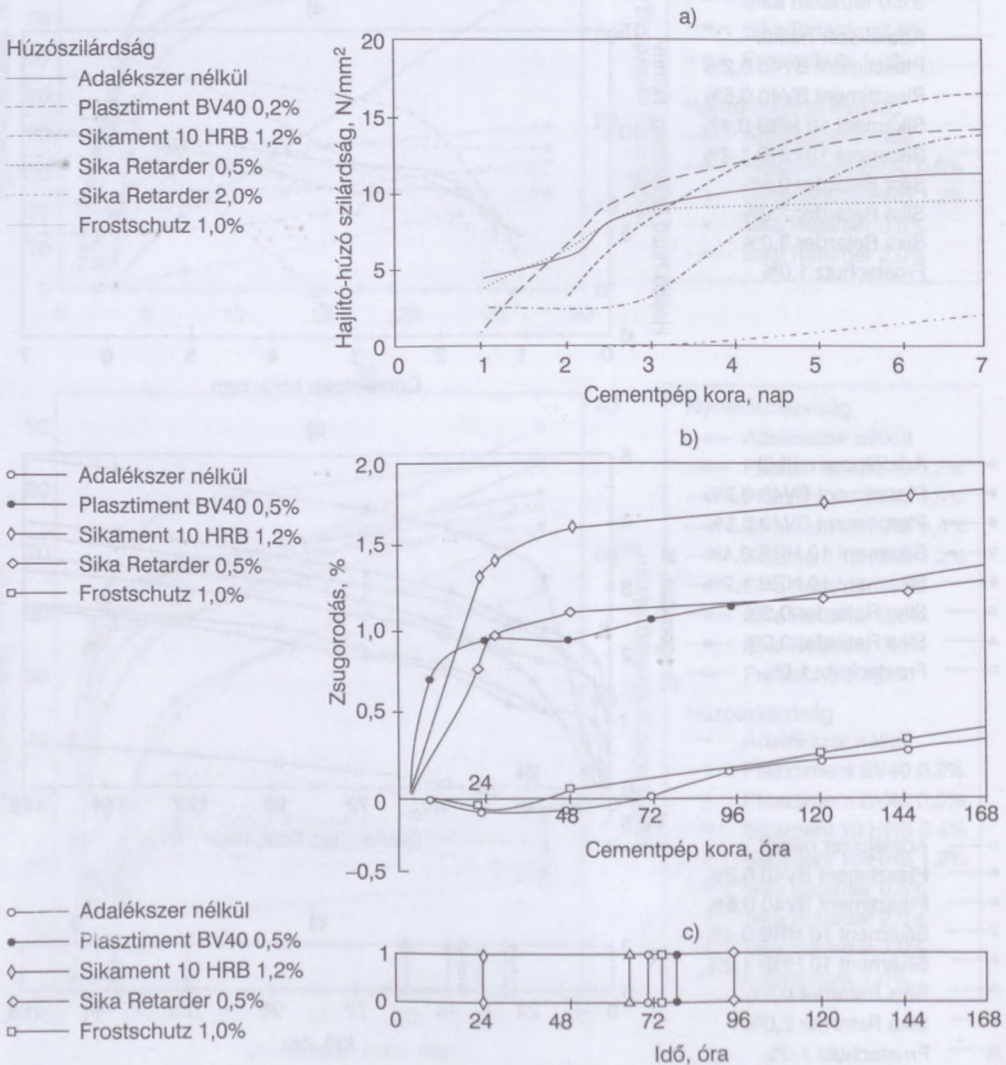
– A *kötéskésleltető adalékszer* (Sika-Retarder) befolyásolta a legkedvezőbben a repedésérzékenységet. Ennek az lehet az oka, hogy a kötés kezdete után roha-



**30.32. ábra.** Adalékszerek hatása a CEM I 52,5 jelű (beremendi) cementből készített pépek tulajdonságaira. a) hajlító-húzó szilárdság, b) zsugorodás, c) repedésérzékenység [Gombor (2001)]

mosan nőtt a húzószilárdság, míg a zsugorodás lassan (a fagyásgátlót kivéve ebben az esetben lett legkisebb a zsugorodás). A 30.33. ábra azt is szemlélteti, hogy a kötéseksleltető adalékszer mennyiségének a növelésével (0,5-ről 2%-ra) lényegesen javult a repedésérzékenység. A pépgyűrűt csak 72 órában tudtuk kiszaluzni és műszerre kötni, és ez a gyűrű egyáltalán nem repedt meg.

- A képlékenyítő adalékszer (Plasztiment BV 40) hatására a repedési idő kismértékben növekedett, aminek okai a következők lehetnek: a cementpép zsugorodása nőtt, ugyanakkor a kezdeti húzószilárdság növekedésének hatása jelentő-



30.33. ábra. Adalékszerek hatása a CEM I 32,5 S jelű (lábatlani) cementből készített pépek tulajdonságaira. a) hajlító-húzó szilárdság, b) zsugorodás, c) repedés ideje [Gombor (2001)]



sebb volt. A CEM I 52,5 jelű cement esetén a húzószilárdság a második napot követően víz- szaesett, ami a megrepedés közvetlen oka lehetett. A Plastiment BV kisebb adagolás esetén jobban növelte a repedési időt, a kisebb zsugorodásnak megfelelően.

– A *fagyásgátló adalékszer* (Frostschutz) mind a két cement esetén nagymértékben csökkentette a zsugorodást, és kismértékben a kezdeti húzószilárdságot. Ezek a hatások a repedési idők kismértékű növekedését eredményezték.

– Az ábrák összehasonlításakor az első, ami szembetűnik, hogy a CEM I 32,5 S jelű cement repedési ideje sokkal nagyobb, mint a CEM I 52,5 jelű cementé, ami köszönhető a kisebb fajlagos felületnek, a kisebb vízigénynek és az ebből következő kisebb zsugorodásnak. A BME Építőanyagok Tanszék kutatásainak egyik eredménye az a megállapítás volt, hogy a cement fajlagos felületének meghatározó szerepe van a cementpép repedésérzékenységre.

### 30.6.4. Összefoglalás

A kutatás során az adalékszerek hatását a cement repedésérzékenységre gyűrűs módszerrel vizsgáltuk. A 40×40 mm keresztmetszetű cementpép gyűrűt 160 mm átmérőjű belső vasmag köré dolgoztuk be. A megrepedés időpontját számítógép segítségével regisztráltuk. Mivel a cementfajtán kívül az adalékszerek hatását is vizsgáltuk, ezért először meghatároztuk a szabványos folyósságú péphez tartozó vízmennyiséget, majd a kötési időket. A gyűrűket a vasmaggal együtt a bekeveréstől számított 24 óra múlva kivettük a sablonból, és 17–19 °C hőmérsékletű, 55–60% relatív légnedvesség-tartalmú klímakamrába helyeztük.

A repedésérzékenység mérőszámának a bekeveréstől a megrepedésig eltelt időt (óra) tekintettük.

A cementpépek hajlító-húzó és nyomószilárdságát 40×40×160 mm-es hasábokon, 1, 2, 7 és 27 napos korban mértük, a zsugorodást pedig 40×45×400 mm-es hasábokon vizsgáltuk, a kötés kezdetétől 7 napos korig.

A kísérlethez két eltérő fajlagos felületű hazai portlandcementet használtunk (CEM I 52,5 és CEM I 32,5 S).

A kísérletek alapján a következőket állapítottuk meg:

- A megfelelően elvégzett gyűrűs vizsgálat alkalmas a cement repedésérzékenységének vizsgálatára, de a körülményekre (készítés, tárolás) különös gondot kell fordítani.
- A gondos repedésérzékenység-, szilárdság- alakváltozás-vizsgálatok között fellelhető összefüggések rávilágítanak a repedési jelenség bonyolult voltára.
- Az adalékszer nélküli cementpépek esetében a megrepedés akkor következett be, amikor a zsugorodás növekedésével nem nőtt arányosan a húzószilárdság



(tehát a húzószilárdság stagnálása vagy a zsugorodás intenzívebb növekedése okozhatta a repedést).

- A kötéskeleltető adalékszer kis mennyiségben adagolva növelte a repedési időt, nagy mennyiségben adagolva a repedés nem következett be. Ennek oka, hogy a kísérlet körülményeit a lassú kötés megváltoztatta (pl. csak a harmadik napon lehetett kizsaluzni a pépeket).
- A képlékenyítő adalékszer növelte a repedési időket, de hatása nem volt jelentős.
- A folyósító adalékszer minden esetben csökkentette a repedési időt és hatása jelentős volt. Ennek két oka is van, egyrészt növelte a zsugorodásokat, másrészt csökkentette a kezdeti húzószilárdságot.
- A fagyásgátló adalékszer hatására nem számottevően, de növekedtek a repedési idők.

A vizsgálati eredmények alapján megfigyelhető volt a kétféle cementfajta eltérő viselkedése, amit elsősorban az eltérő fajlagos felület okozott.

## 30.7. Burkolatalapok

### 30.7.1. Bevezetés

A hidraulikus kötőanyaggal készített burkolatalapok olyan kis szilárdságúak, amit a szabványos 350-es portlandcementjeinkkel és jó kvarckavics adalékanyaggal nagyon nehéz beállítani.

Logikus tehát kisebb kötőerejű anyag felhasználása, amelyeket a burkolatalappal foglalkozó szabvány lehetővé is tesz.

A számításba vehető két hidraulikus pótlék a pernye és a kohósalak. A Betonút-építő Vállalat éveken át megbízta a BME Építőanyagok Tanszékét, hogy végezzen kísérleteket eme két kötőanyag gazdaságos felhasználására.

### 30.7.2. Burkolatalap pernye felhasználásával

#### 30.7.2.1. A pernyéről általában

A pernyék a porszéntüzelésű erőművek elektrosztatikus leválasztójában felhalmozódó égéstermékek, jellegüket tekintve tehát mesterséges ásványi anyagok. Természetes puccolánokhoz hasonló tulajdonságukat, amely lehetővé teszi, hogy kötőanyagokat (cementet, gipszet, meszet) részben vagy teljes mértékben helyettesítsenek, már évtizedekkel ezelőtt felismerték.



Az elektrofiltereken leválasztott pernyét sikeresen használják cementhez hidraulikus kiegészítőként adagolva, habarcsához kötőanyagként és adalékanyagként, továbbá az útépitésben útalapbetonok kötőanyagaként, illetve stabilizált útalapok készítéséhez, föld alatti üregek kitöltő habarcsának kötőanyagaként.

A pernye kémiai összetételét az erőművekben felhasznált kőszén, barnaszén vagy lignit meddőjét képező kőzetek összetétele és az égetés körülményei határozzák meg. A származástól függetlenül azonban, alapvetően a  $\text{SiO}_2$  és az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a két legfontosabb alkotó, ami egyúttal a puccolános aktivitás létrehozásában is jelentős szerepet tölt be. A pernyék emellett számos egyéb, változó mennyiségben előforduló komponens is tartalmazhatnak: vas-oxidokat (főleg  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , de  $\text{FeO}$  és  $\text{Fe}_2\text{O}_4$  is előfordul),  $\text{CaO}$ -ot,  $\text{MgO}$ -ot, alkáli-oxidokat,  $\text{SO}_3$ -ot,  $\text{TiO}_2$ -ot, ritka földfémeket, molibdént, mangánt, berilliumot, germániumot, bórt stb.

Ásványtani összetételüket is a kémiai felépítést befolyásoló tényezők határozzák meg. Általában 60–90% *üveges fázist* tartalmaznak, amely alumínium-szilikátból áll, mérsékelt mennyiségű vas-, nátrium-, magnézium- és titántartalommal. Kristályos alkotóik között kimutattak kvarcot, mullitot, magnetitet, hematitot, anhidritet, földpátokat stb., s tartalmaz bizonyos mennyiségű éghető anyagot is, melynek nagy része szén. A kvarc a pernye legdurvább frakciójában dúsul fel, ezzel szemben pl. az anhidrit és az üveges alkotók túlnyomó része a legfinomabb frakciókban található.

A *hazai pernyéket* kémiai összetételük alapján két csoportra szokás osztani: *bázikus és savanyú típusúakra*. Előbbiek 30–40%  $\text{CaO}$ -ot és csak 20–30%  $\text{SiO}_2$ -ot tartalmaznak, utóbbiakban viszont a  $\text{SiO}_2$ -tartalom dominál (45–60%), míg a  $\text{CaO}$ -tartalmuk 15% alatt van. Az ajkai és inotai erőműben bázikus pernye keletkezik, a bánhidai, oroszlányi, gyöngyösvisontai, pécsi, mátravidéki erőmű pernyéi viszont savanyú típusúak.

A pernyék összetétele tehát nagy változatosságot mutat. Műszeres analitikai vizsgálatok szerint az egyes részecskék összetétele is eltérő lehet, de ez nem befolyásolja lényegesen egyes jól beállított erőművekben a keletkező pernye teljes kémiai összetételét. Minthogy azonban adott szénmező esetén a művelési frontoktól függően az évek folyamán változás következhet be, célszerű a pernyék jellemzésére szolgáló adatokat bizonyos határok között megadni.

### 30.7.2.2. Burkolatalap pernye-mész kötőanyaggal

[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

#### a) Magyar előírások

A kutatás tárgyát képező betonra a Közlekedési Minisztérium előírásait az MSZ-07.3209-81 és MSZ-07.3703-82 tartalmazta. Megnevezése: PK<sub>1</sub> jelű stabilizált kavics (szemcsés anyag), pernye és mész kötőanyaggal telepen keverve.



A nem hidraulikus pernyére vonatkozó követelmények:

- izzítási vesztesége legfeljebb 5 m%,
- a 0,045 mm alatti szemcsék részaránya legalább 45 m%,
- a pernye puccolán-aktivitása legalább 30 mg CaO/g legyen.

A mészhidrát elégítse ki az MSZ 108/3-5 előírásait.

Az adalékanyagra vonatkozó határgörbék:

Szita lyukbőssége, mm	Áthulló rész, m%
0,063	00–400
0,125	02–700
0,250	08–280
0,500	3–120
1	5–180
2	15–400
4	25–570
8	41–830
16	43–880
32	96–100

A mészhidrát és a nem hidraulikus (savanyú) pernye keverési aránya 1:5. A próbahengereket 60 napos tárolás után kell víz- és fagyállósági vizsgálatnak kitenni. Ajánlatos 30, 60 és 120 napig nedves térben tárolt hengerek szilárdságát is meghatározni.

Mértékadó a 60 napos korú betonok hengersizilárdsága:  $\geq 5$  MPa.

Laboratóriumi kísérletek alapján a következő technológiai adatokat kell megadni:

- a tömör száraz testsűrűség alsó határát,
- a legkedvezőbb tömörítési víztartalmat és tűrését,
- a mész- és pernyeadolást,
- az adalékanyag szemmegoszlásának a határgörbéit.

### **b) A kutatás során felhasznált anyagok és tulajdonságaik**

A kísérletekhez három eltérő időpontból származó bánhidaipernye-mintát használunk, melyeket a későbbiek során a következőképpen különböztetünk meg:

Bánhidai I. pernye: 1983. novemberi minta,

Bánhidai II. pernye: 1984. áprilisi minta,

Bánhidai III. pernye: 1984. augusztusi minta.

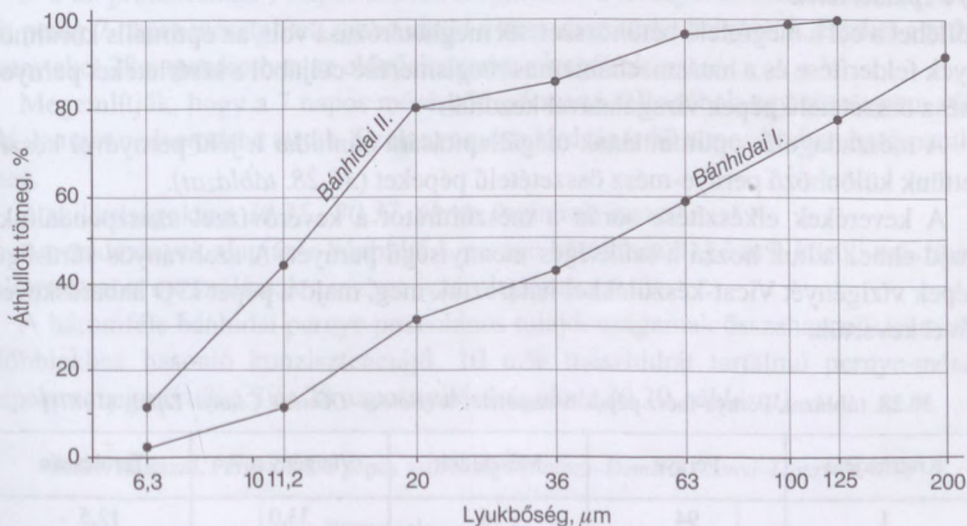
A pernyék oxidos összetételét lúgos feltárás után az MSZ 525 szerinti módszerekkel határoztuk meg.

A vizsgálatok eredményeit a 30.26. táblázatban ismertetjük, ahol a pernyék MSZ 523 előírás szerint vizsgált fizikai jellemzőit is megadtuk.



30.26. táblázat. Pernyék kémiai összetétele (m%), és fizikai jellemzői  
[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

	Bánhidai		
	I.	II.	III.
Izz. veszt.	0,27	0,69	0,44
SiO <sub>2</sub>	49,31	42,72	47,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,75	22,78	19,93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,12	9,26	10,10
CaO	14,37	14,61	14,15
MgO	2,24	3,27	2,98
SO <sub>3</sub>	2,85	3,23	2,93
Ma <sub>2</sub> O	0,04	0,06	0,05
K <sub>2</sub> O	1,77	2,15	0,95
CaO (szabad)	2,26	0	2,45
Sűrűség, kg/m <sup>3</sup>	2258	2506	2386
Fajl. felület, m <sup>2</sup> /kg	238	457	267
Szitammaradék, m%			
0,2 mm	8,1	0	1,0
0,09 mm	21,4	1,3	3,1
0,063 mm	11,7	1,8	19,7



30.34. ábra. Pernyék szemmegoszlási diagramja [Útbetonkísérletek (1984)]

A szokásos fizikai vizsgálatokon túlmenően az I. és II. jelű pernye esetén meghatároztuk a 0,063 mm alatti frakciók szemmegoszlását is *Andreasen*-féle üleptető készülékkel, mérőfolyadékként izopropil-alkoholt használva. A mérési eredményeket a 30.34. ábrán foglaltuk össze.

**30.27. táblázat.** A pernyék puccolános aktivitása AKTIMET készülékkel mérve  
[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Pernye jele	Puccolános aktivitás mg CaO/g
Bánhidai I.	64
Bánhidai II.	102
Bánhidai III.	63

Kétféle pernyéről röntgendiffraktogramot is készítettünk. A felvételek szerint az alábbi kristályos alkotók voltak a mintaanyagokban: kvarc, anhidrit, CaO, mullit, földpát, hematit.

A pernyék puccolános aktivitását AKTIMET készülékkel hasonlítottuk össze, a 30.27. táblázat szerinti értékeket kaptuk.

A kísérletekhez felhasznált mészhidrátot MSZ 108/4 szerint vizsgáltuk, illetve a karbonáttartalmat mintáról felvett derivatogramból számítottuk.

Eszerint a mészhidrát kémiai és fizikai jellemzői:

Nedvességtartalom, m% 3,2

CaCO<sub>3</sub>-tartalom, m% 7,1

Szitamaradék (0,2 mm); m% 3,1

Oltatlan CaO, m% 0

Ca(OH)<sub>2</sub>-tartalom, m% 88,1.

### c) Pépkísérletek

Jóllehet a cél a megfelelő betonösszetétel meghatározása volt, az optimális körülmények felderítése és a hatásmechanizmus megismerése céljából a kísérleteket pernyemész összetételű pépek vizsgálatával kezdtük.

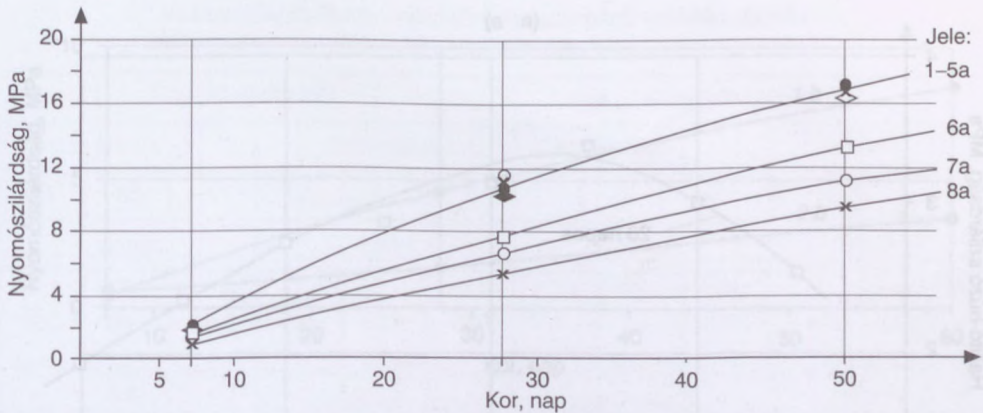
A meszadagolás optimumának megállapítására bánhidai I. jelű pernyével készítettünk különböző pernye-mész összetételű pépeket (30.28. táblázat).

A keverékek elkészítése során a mészhidrátot a keverővízzel szuszpendáltuk, majd ehhez adtuk hozzá a szükséges mennyiségű pernyét. A szabványos sűrűségű pépek vízigényét Vicat-készülékkel határoztuk meg, majd a pépet ISO habarcskeverővel kevertük.

**30.28. táblázat.** Pernye-mész pépek összetétele, % [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísélet jele	Pernye	Mészhidrát	Vízigény m%	Terület cm
1	94	6	33,0	12,5
2	92	8	33,3	12,75
3	90	10	34,2	12,75
4	88	12	34,6	12,75
5	86	14	35,4	12,75
6	84	16	35,9	12,75
7	82	18	36,4	12,5
8	80	20	37,0	12,5





**30.35. ábra.** Pernye-mész pépek nyomószilárdsága a kor függvényében. Tárolás: 7-14 napos korban mésztelített vízben [Útbetonkísérletek (1984)]

Minden összetételből 6 db 4×4×16 cm-es hasábot készítettünk, melyeket 1 napig letakarva hagyunk, majd kiszaluzás után normál hőmérsékletű, zárt térben víz fölé helyezzük.

A 30.28. táblázatban feltüntettük a pépek Vicat-készülékkel meghatározott víz-igényét, valamint szabványos ejtőasztallal mért területét is. Eszerint a vizsgált pép konzisztenciája azonosnak tekinthető.

3–3 db próbatestnek 7 napos korban megmértük a tömegét és szilárdságát, a többi pedig 7 napra mésztelített vízbe, majd újra nedves térbe helyeztük. Ezeket a próbatesteket 28 napos korban az előzőek szerint vizsgáltuk.

Megemlíttjük, hogy a 7 napos mérésből származó félhasábak egy részét nem víz alá, hanem nedves térbe tettük. Ezek nyomószilárdságát 50 napos korban határoztuk meg.

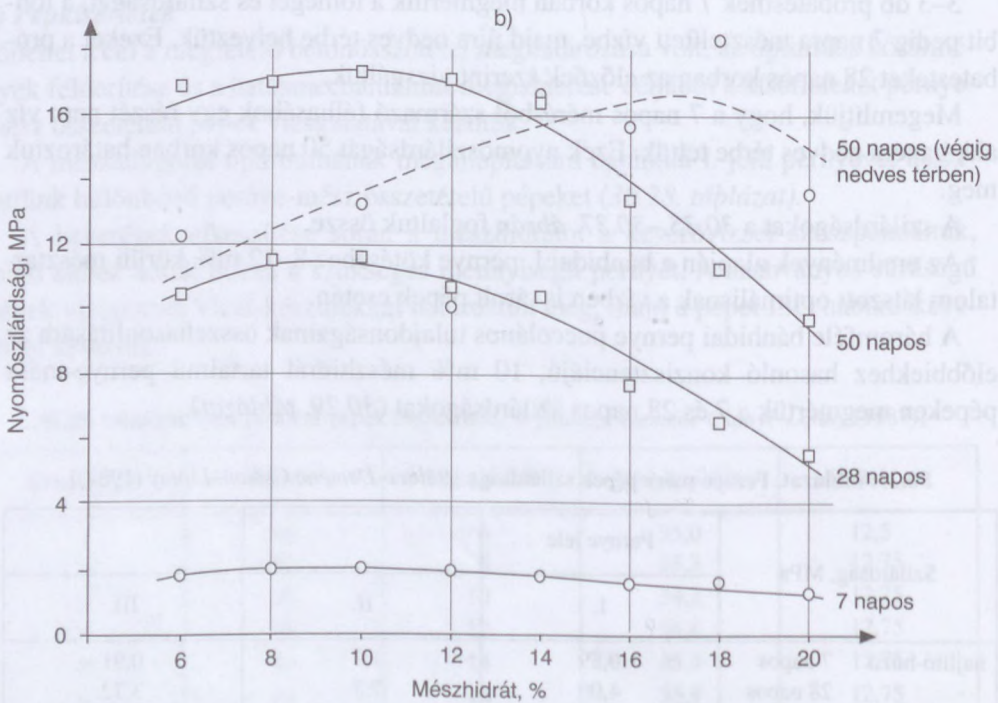
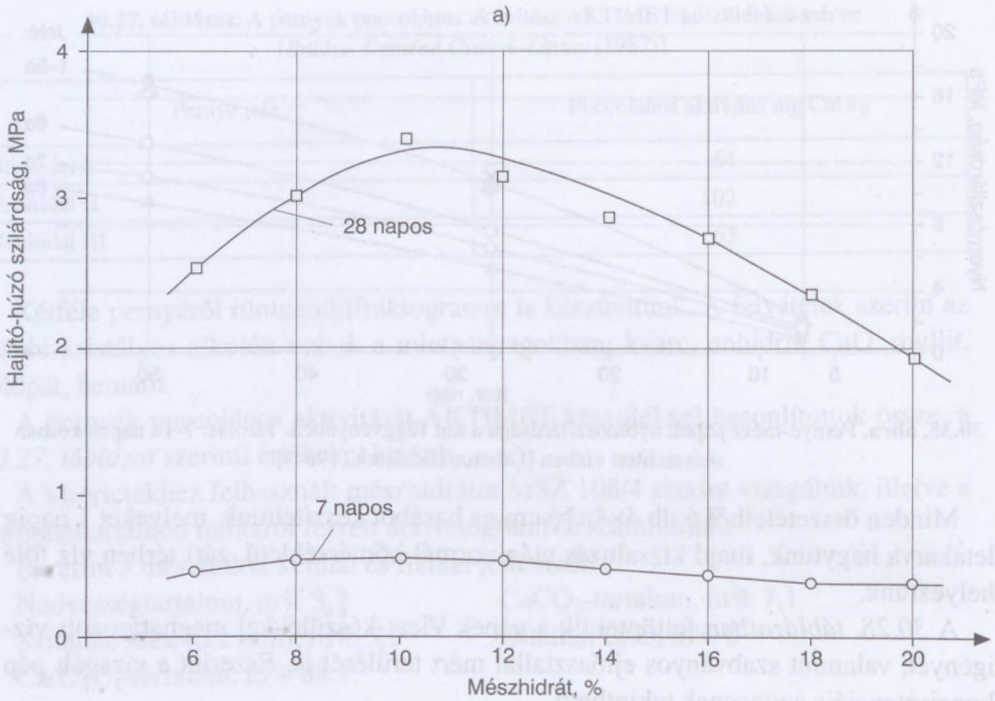
A szilárdságokat a 30.35.–30.37. ábrán foglaltuk össze.

Az eredmények alapján a bányhidai I. pernye kötéséhez 8–12 m% körüli mésztartalom látszott optimálisnak a vízben is tárolt pépek esetén.

A háromféle bányhidai pernye puccolános tulajdonságainak összehasonlítására az előbbiekhöz hasonló konzisztenciájú, 10 m% mészhidrát tartalmú pernye-mész pépeken megmértük a 7 és 28 napos szilárdságokat (30.29. táblázat).

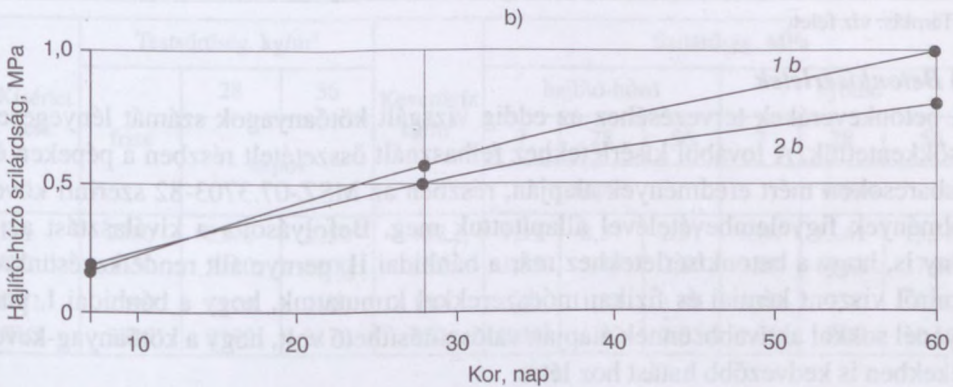
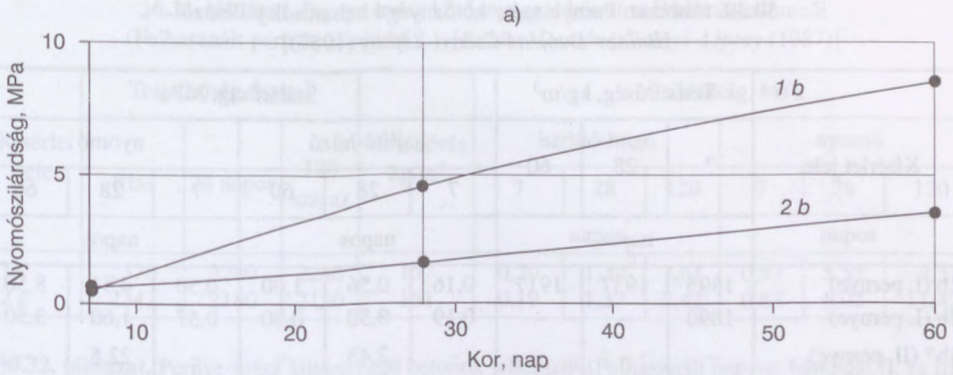
**30.29. táblázat.** Pernye-mész pépek szilárdsága [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Szilárdság, MPa		Pernye jele		
		I.	II.	III.
hajlító-húzó	7 napos	0,89	1,9	0,91
	28 napos	4,00	7,3	3,72
nyomó	7 napos	3,90	7,8	3,75
	28 napos	29,60	43,9	26,60



30.36. ábra. Pernye-mész pécek szilárdsága a mészhidráttartalom függvényében. a) hajlító-húzó szilárdság; b) nyomószilárdság [Útbetonkísérletek (1984)]





30.37. ábra. Pernye-mész pécek szilárdsága a kor függvényében. a) nyomószilárdság; b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek (1984)]

#### d) Habarcskísérletek

A különböző összetételű péceken mért eredményeket figyelembe véve kétféle kötőanyag-keverékkel készítettünk próbatesteket, hogy a pernye-mész összetételű keveréket a szabványcementekkel összehasonlíthassuk. Az 1b jelű keverék 90 m% bányai I. pernyéből és 10 m% mészhidrátból állt, a 2b jelű pedig 80 m% pernyét és 20 m% mészhidrátot tartalmazott.

A próbatesteket – sérülékenyséjük miatt – csak 3 napos korukban vettük ki a formából. A hasábokat 7 napos korukig nedves térben, 7 és 14 napos koruk között mésztelített vízben, majd utána ismét nedves térben tároltuk. A minták a víz alatti tároláskor szemmel látható károsodást szenvedtek (az élek letöredeztek), így a vizsgálatot víz feletti tárolással bányai II. pernyével részben megismételtük. A keverékek fizikai és mechanikai jellemzőit a 30.30. táblázat tartalmazza.

A párhuzamosan vizsgált váci 350 kspc 40 hajlító-húzó szilárdsága 3, 7 és 28 napos korban 2,6 MPa, 5,0 MPa és 6,2 MPa, nyomószilárdsága pedig 11,4 MPa, 27,0 MPa és 44,1 MPa volt.

**30.30. táblázat.** Pernye-mész kötőanyagú habarcsok jellemzői  
[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>			Szilárdság, MPa					
	7	28	60	hajlító-húzó			nyomó		
				7	28	60	7	28	60
	napos			napos			napos		
1b (I. pernye)	1895	1937	1917	0,16	0,56	1,00	0,50	4,51	8,50
2b (I. pernye)	1890	–	–	0,19	0,50	0,80	0,57	1,60	3,50
1b* (II. pernye)	–	–	–	–	2,43	–	–	22,5	–
2b* (II pernye)	–	–	–	–	2,53	–	–	18,4	–

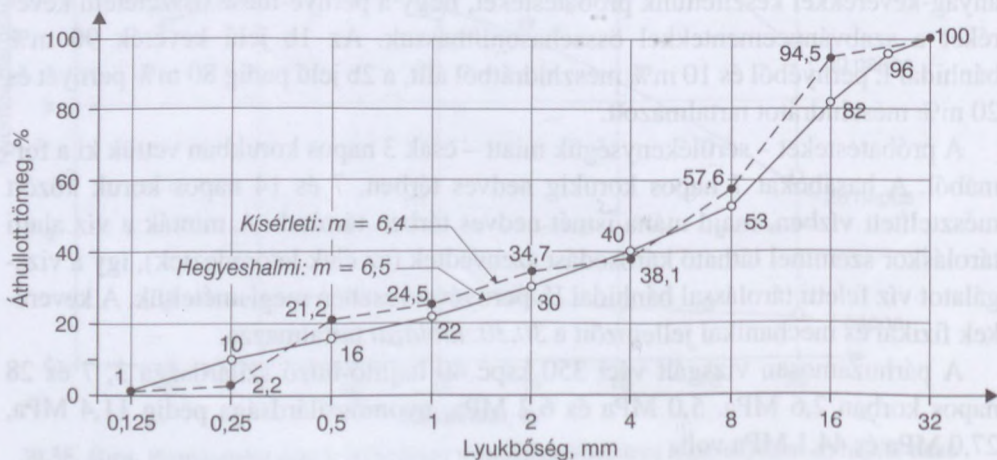
\* Tárolás: víz felett

### e) Betonkísérletek

A betonkeverékek tervezéséhez az eddig vizsgált kötőanyagok számát lényegesen csökkentettük. A további kísérletekhez felhasznált összetételt részben a pépeken és habarcsokon mért eredmények alapján, részben az MSZ-07.3703-82 szerinti követelmények figyelembevételével állapítottuk meg. Befolyásolta a kiválasztást az a tény is, hogy a betonkísérletekhez már a bányhidai II. pernye állt rendelkezésünkre, amiről viszont kémiai és fizikai módszerekkel kimutattuk, hogy a bányhidai I. pernyénél sokkal aktívabb. ennek alapján valószínűsíthető volt, hogy a kötőanyag-keverékekben is kedvezőbb hatást hoz létre.

Mindezekből kiindulva az 1.b és 2.b kötőanyag-összetétellel készítettünk betont (amelyekre a továbbiakban az 1.c, illetve 2.c jelölést használjuk).

A Betonútépítő Vállalat természetes hegyeshalmi homokos kavicsot szándékozott felhasználni, ezért ennek az átlagos szemmegoszlását igyekeztünk megközelíteni (30.38. ábra).



30.38. ábra. Az adalékanyag szemmegoszlási görbéje [Útbetonkísérletek (1984)]



**30.31. táblázat.** Pernye-mész kötőanyaggal készített betonok jellemzői  
(Felhasznált pernye: bánhidai I.) [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>			Keverővíz kg/m <sup>3</sup>	Szilárdság, MPa					
	friss	28 napos	120 száraz		hajlító-húzó			nyomó		
					7	28	120	7	28	120
					napos			napos		
1 c	2370	2240	2240	157	0,20	1,30	2,61	0,87	5,55	9,31
2 c	2342	2180	2150	161	0,19	1,37	2,42	0,83	6,02	11,42

**30.32. táblázat.** Pernye-mész kötőanyagú betonok jellemzői (Felhasznált pernye: bánhidai II. és III.)  
[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>			Keverővíz kg/m <sup>3</sup>	Szilárdság, MPa					
	friss	28	56		hajlító-húzó			nyomó		
		napos			7	28	56	7	28	56
		napos			napos					
II/1	2380	2270	2250	137	1,59	2,34	2,51	6,80	13,41	15,52
II/2	2350	2210	2200	137	1,85	2,45	2,60	7,30	14,62	17,00
III/1	2290	2120	2100	150	0,35	1,55	1,80	1,10	7,70	9,50
III/2	2270	2190	2170	150	0,34	1,80	2,05	1,00	7,72	10,52

A betonokat a következő összetétel szerint készítettük:

- kötőanyag-tartalom 300 kg/m<sup>3</sup>,
- adalékanyag-tartalom 1900 kg/m<sup>3</sup>,
- adalékszer (Barrafluid) 0,5% – a kötőanyag tömegére vonatkoztatva.

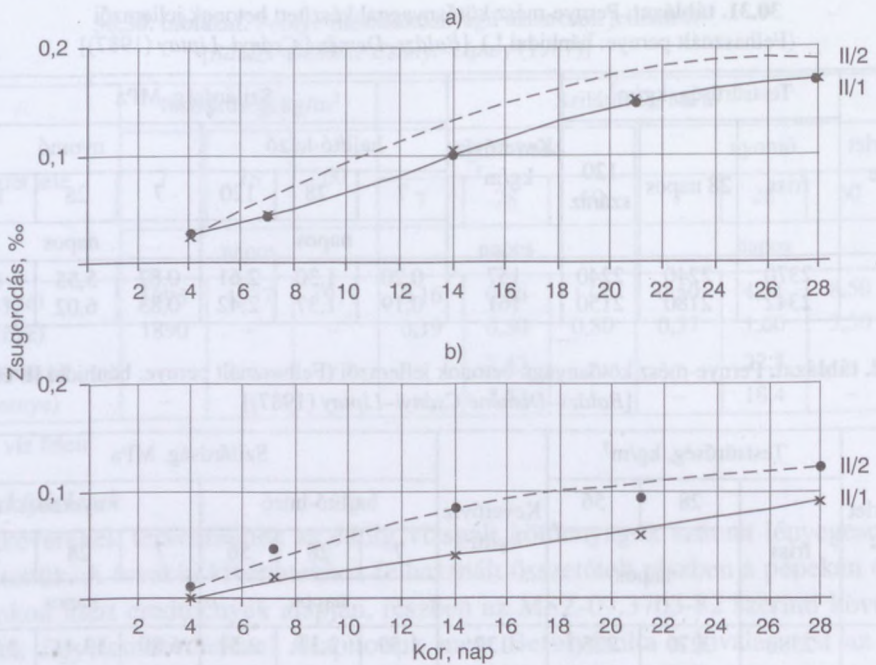
A Barrafluidot minden esetben homogenizáltuk a keverővíz egy részével, majd ezután határoztuk meg a képlékeny (*Glanville* vizsgálat szerint 0,86–0,88-as) konzisztenciához szükséges vízmennyiséget.

A betonkeveréket kézi erővel kevertük és rázóasztalon tömörítettük. A fizikai és mechanikai jellemzők időbeli alakulásának meghatározására 9 db 7×7×25 cm-es hasábot készítettünk. A tömeg és szilárdság adatait a 30.31. táblázatban foglaltuk össze.

A pernyeminőség betonszilárdságra gyakorolt hatásának megismerésére a kísérletet a II. és III. jelű pernyével megismételtük.

A betonösszetétel megegyezett az előbbieken leírtakkal, de ezúttal a keverést kényszerkeverő gépben végeztük. A *Glanville* tömörödési mérőszám 0,79–0,82 közötti volt. A próbatesteket 2 napos korban zsaluztuk ki, majd ezt követően fólia alatt tároltuk.

Az egyes összetételeken meghatározott testsűrűségi és szilárdsági adatokat a 30.32. táblázat tartalmazza.



30.39. ábra. A pernye-mész kötőanyagú betonok zsugorodása [Útbetonkísérletek (1984)]

A betonok zsugorodását 12×12×36 cm méretű hasábokon 254 mm alaphosszú deforméterrel mértük. A mérést három napos korban kezdtük, és a próbatesteket mindvégig kb. 20 °C hőmérsékletű és 55–60% relatív légnedvességű térben tároltuk. A kísérlet eredményeit a 30.39. ábrán foglaltuk össze.

#### f) Fagyállósági vizsgálatok

A pernye (bánhidai I.)-mész összetételű pépekkel, valamint habarcsokkal fagyállósági vizsgálatot végeztünk. Ehhez a 60 napos mérésből származó félhasábokat használtuk fel, amelyeket 2 óránként váltakoztatva 20 °C körüli vízbe, majd mínusz 18–20 °C hőmérsékletű légtérbe helyeztünk, éjszakára pedig szabadon hagytuk. Tíz ciklus után a 30.33. táblázatban megadott nyomószilárdság-értékeket nyertük. Összehasonlításul a ciklikus vizsgálat előtt mért értékeket is feltüntettük.

30.33. táblázat. Pépek és habarcsok nyomószilárdságának változása fagyállósági vizsgálat hatására, MPa (Bánhidai I. pernyét tartalmazó pépek.) [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Pépek		Habarcsok	
	Fagyasztási vizsgálat			
	előtt	után	előtt	után
1	36,7	49,8	8,50	6,4
2	41,2	49,1	3,50	3,0



**30.34. táblázat.** Pernye-mész kötőanyagú betonok fagyállósági vizsgálati eredményei (Felhasznált pernye: bánhidai II. és III.) [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Nyomószilárdság, MPa	
	Fagyasztás nélkül	12 fagyasztási ciklus után
II/1	10,2	9,9
II/2	11,4	10,7
III/1	6,0	5,8
III/2	6,5	5,9

A betonokkal az MSZ-07.3703 által előírt fagyállósági vizsgálatot 15 cm élhosszú kockákon végeztük el. A szabványos fagyasztást a próbatestek 56 napos korában kezdtük el, és összetételenként 3–3 kockát vizsgáltunk. A 12 ciklusos fagyállósági vizsgálat eredményeit a 30.34. táblázat tartalmazza.

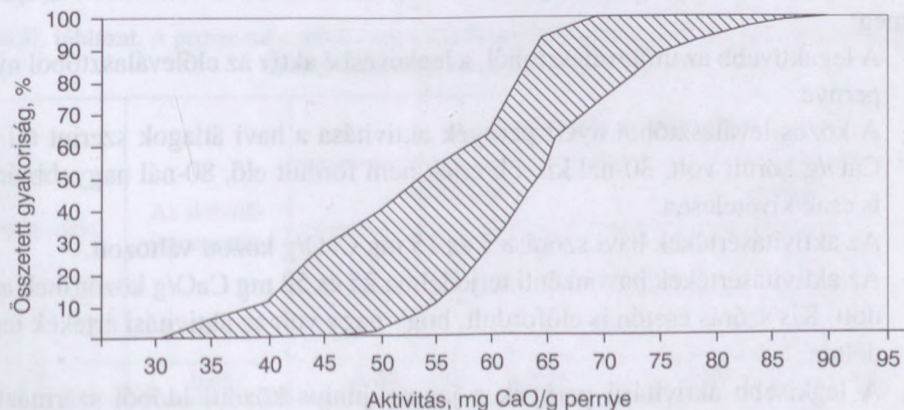
### g) A kísérleti eredmények értékelése

#### $\alpha$ ) A pernye minőségegyenletessége

A pernye kémiai összetétele mellett legfontosabb tulajdonsága a puccolános aktivitása.

A bánhidai pernyéből vett minták, amelyekkel először kísérleteztünk (bánhidai I. és II.), felhívták a figyelmet a pernye aktivitásának időbeni ingadozására. A Bánhidai Erőműben az elő-, közép- és utóleválasztóból, valamint a végsőként távozó keverékből (közös leválasztó) naponta háromszor vesznek mintát, s azokon AKTI-MET-készülékkel ún. puccolános aktivitást határoznak meg, azaz az 1 g pernye által megkötött CaO mennyiségét, mg-ban.

A közös leválasztón 1984-ben keletkezett pernyén mért aktivitásértékeket matematikai statisztikai módszerekkel feldolgoztuk és megszerkesztettük a havi átlagok összegzett gyakoriságvértékeinek burkoló görbéit (30.40. ábra).



**30.40. ábra.** A bánhidai pernye aktivitásának ingadozása a havi átlagok figyelembevételével [Útbetonkísérletek (1984)]

**30.35. táblázat.** Pernyeminták aktivitási értékeinek havi statisztikai jellemzői

[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Mintavétel ideje	Minták száma	Aktivitási értékek		
		Számtani átlaga	Szórása	Terjedelme
január	72	60,62	15,19	43,75
február	77	61,64	9,20	57,91
március	77	53,41	13,22	50,19
április	56	58,97	7,06	41,13
június	52	62,66	5,48	40,78
július	70	53,16	8,05	37,23
augusztus	65	61,05	5,14	43,79
szeptember	77	61,55	3,79	25,76
október	54	60,73	3,34	40,45

**30.36. táblázat.** Pernyeaktivitások statisztikai jellemzőinek alakulása a leválasztás helyének függvényében (októberi adatokból) [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Mintavétel helye	Minták száma	Számtani átlaga	Aktivitások szórása	Terjedelme
Előleválasztó	45	43,99	8,12	43,13
Középleválasztó	47	67,48	7,09	30,87
Utóleválasztó	34	80,96	5,76	24,92
Közös leválasztó	54	60,73	3,24	40,45

A havi értékek ingadozásáról jó tájékoztatást adnak a 30.35. táblázatban összefoglalt statisztikai jellemzők; a mintavétel helyének befolyását pedig a 30.36. táblázatban összefoglalt adatok szemléltetik.

A pernyeaktivitás egyenletességének a vizsgálata során a következőket állapítottuk meg:

- A legaktívabb az utóleválasztóból, a legkevésbé aktív az előleválasztóból nyert pernye.
- A közös leválasztóból nyert pernyék aktivitása a havi átlagok szerint 60 mg CaO/g körüli volt. 30-nál kisebb érték nem fordult elő, 80-nál nagyobb érték is csak kivételesen.
- Az aktivitásértékek havi szórása 3 és 15 mg CaO/g között változott.
- Az aktivitásértékek havonkénti terjedelme 25 és 58 mg CaO/g közöttinek adódott. Kis szórás esetén is előfordult, hogy nagy volt az aktivitási értékek terjedelme.
- A legkisebb aktivitású pernyék a január–június közötti időből származtak. E hónapokban jelentkezett a legnagyobb minőség-ingadozás is. Azt nem vizs-



gáltuk, hogy az ingadozás a szén minőségétől, valamint a szén termelési módjától hogyan függ.

*β) Pernye-mész kötőanyag*

A pernyeminták oxidos összetétele – amely csak kismértékben tért el – és kötőképessége között nem találtunk összefüggést. Az aktivitási értékek (mg CaO/g) és a pernye-mész pépek szilárdsága között azonban már jobb volt az egyezés. A bányhidai II. pernye aktivitását és szilárdságát 1-nek véve a másik két pernye viszonylagos szilárdsága, ha a pernye-mészhidrát arány 90:10 volt, akkor a 30.37. táblázat szerint alakult.

Tehát az ilyen összetételű pép 28 napos szilárdsága áll közel az AKTIMET-tel meghatározott aktivitási viszonyszámhoz.

A 30.26. táblázatból látható, hogy a bányhidai II. pernyének a bányhidai I. pernyénél nagyobb aktivitását elsősorban szemmegoszlásbeli különbség okozza. A II. jelű pernye fajlagos felülete majdnem kétszerese a I. jelűének.

Az azonos konzisztenciához szükséges keverővíz mennyisége, a várakozásnak megfelelően nőtt a mészhidráttartalommal (30.28. táblázat).

A 30.38. ábra szerint a bányhidai I. pernyével akkor kaptunk legnagyobb szilárdságot minden korban, amikor a kötőanyag mészhidráttartalma 10 m% volt, és a próbatesteket 7–14 napos korukig mésztelített vízben tároltuk. Annál a sorozatnál viszont, amelynél a próbatesteket végig kb. 90% relatív nedvességtartalmú térben tartottuk, a 18 m%-os mészhidrát adagolás mutatkozott a legkedvezőbbnek. A 30.26. táblázatból a II. és III. jelű pernyével készített betonok vizsgálati eredményei (30.32. táblázat) szerint egyértelműen a nagyobb mészhidráttartalmú (20 m%) keverékek szilárdsága volt nagyobb. Utóbbi kísérlet során a próbatesteket páradús térben tároltuk. Az optimális pernye-mész arány tehát a tárolás módjától is függhet. Ez az észrevétel annál inkább fontos, mert a burkolólapok utókezelése különböző lehet (nedvesen tartás, védőbevonat). Itt jegyezzük meg, hogy a pernye-mész kötőanyagú rendszerek kezdeti vízben tárolás esetén szétestek.

**30.37. táblázat.** A pernye-mész kötőanyag szilárdsága (Bányhidai I., II. és III. jelű pernyeminták) [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

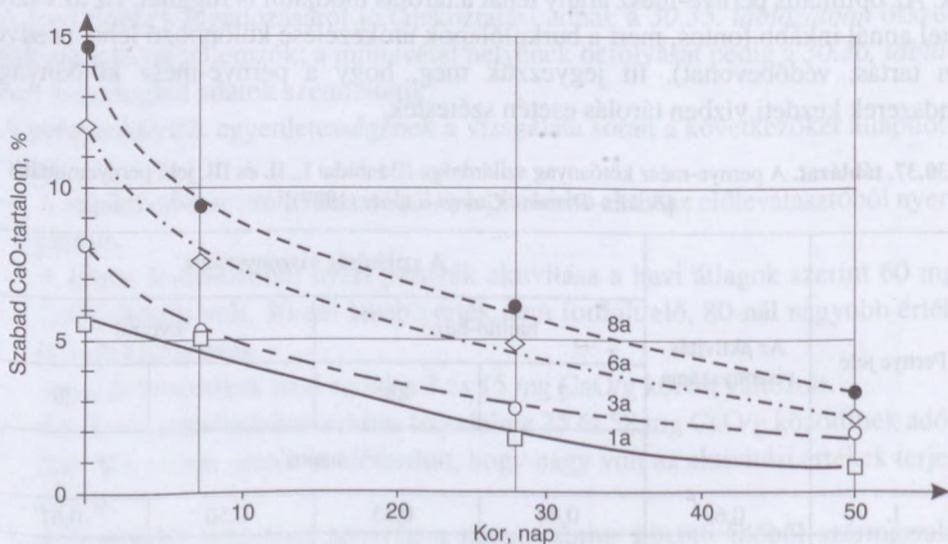
Pernye jele	Az aktivitás viszonyszáma	A szilárdság viszonyszáma			
		hajlító-húzó		nyomó	
		7	28	7	28
		napos			
I.	0,63	0,44	0,55	0,50	0,67
II.	1	1	1	1	1
III.	0,62	0,48	0,51	0,48	0,61

A szilárdulási folyamat kezdetben lassú még 20 °C hőmérsékleten is, de a 28 nap utáni szilárdulás – kedvező körülmények között – nagy. A bányhidai II. pernyével készített pépek utószilárdulása 120 napos korig a következő volt:

Kötőanyag mészhidrátartalma m%	Utószilárdulás, %	
	hajlító-húzó	nyomó-
	szilárdság esetén	
10	200	168
20	177	190

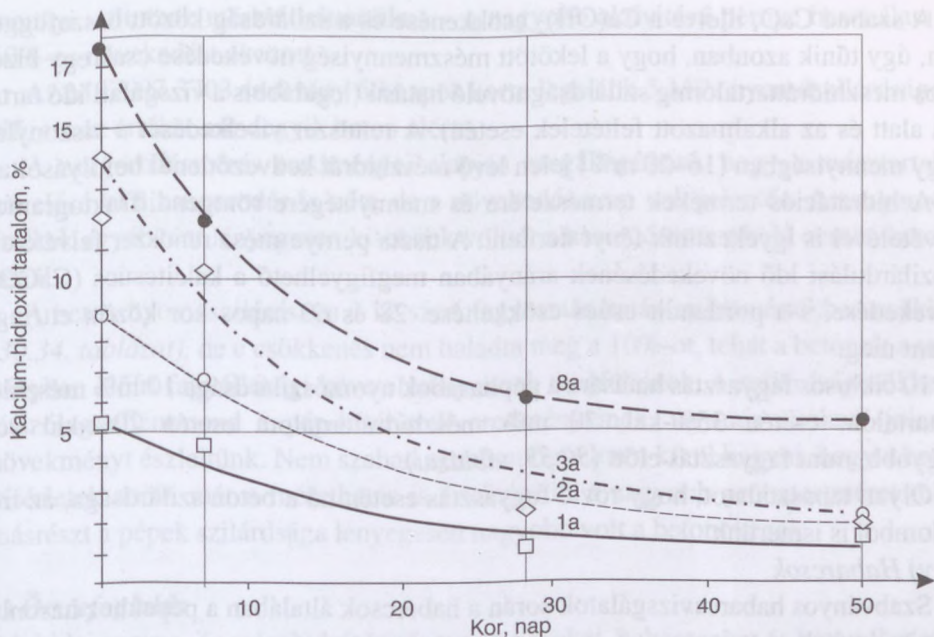
Az MSZ-07.3703 szabvány pernye-mész kötőanyagú keverékekhez a pernyék puccolános aktivitását min. 30 mg CaO/g értékben szabja meg. Indokolt volna annak ellenőrzése, hogy az ilyen kis aktivitású pernyék hogyan viselkednek, mivel előfordulhatnak.

A szilárdulás során végbemenő hidratációs folyamatot kémiai módszerekkel tanulmányoztuk bányhidai I. pernyével készített pépeken. A szilárdsági vizsgálat után a hasábok belső magjából származó részt elporítottuk, majd a felvett derivatogramok felhasználásával kiszámítottuk a minták  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  és  $\text{CaCO}_3$  tartalmát, valamint etilénlikolos extrakcióval, benzolsavas titrálással megállapítottuk azok szabad CaO-tartalmát. Utóbbi értékek időbeni alakulását a 30.41. ábra szemlélteti. Az ábrán a kiindulási szabad CaO-tartalmakkal korrigált adatokat tüntettük fel. A  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -tartalom változását a 30.42. ábra, a  $\text{CaCO}_3$ -tal korrigált  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mennyiségének időbeli változását pedig a 30.43. ábra szemlélteti.

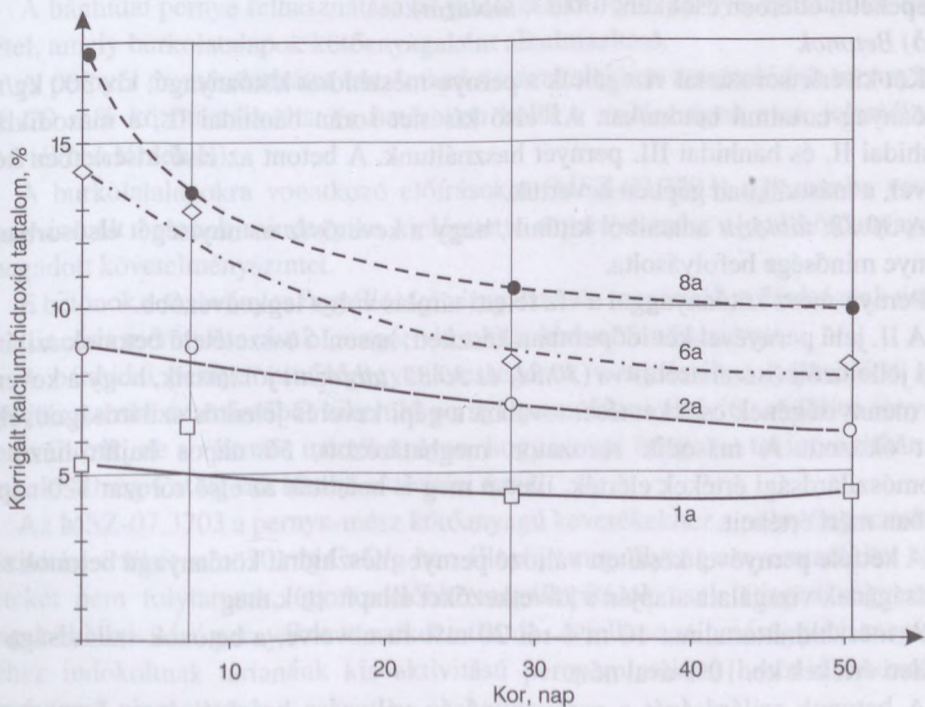


30.41. ábra. Pernye-mész rendszerek szabad CaO-tartalmának időbeli változása [Útbetonkísérletek (1984)]





30.42. ábra. Pernye-mész rendszer kalcium-hidroxid tartalmának változása a kor függvényében [Útbetonkísérletek (1984)]



30.43. ábra. Pernye-mész rendszer korrigált  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tartalmának változása a kor függvényében [Útbetonkísérletek (1984)]

A szabad CaO, illetve a  $\text{Ca(OH)}_2$  csökkenése és a szilárdság között összefüggés van, úgy tűnik azonban, hogy a lekötött mészmennyiség növekedése csak egy bizonyos mészhidrát tartalomig szilárdságnövelő hatású (legalábbis a vizsgálati idő tartama alatt és az alkalmazott feltételek esetén). A rendszer viselkedését a viszonylag nagy mennyiségben (16–20 m%) jelen levő mészhidrát kedvezőtlenül befolyásolta.

A hidratációs termékek természetére és mennyiségére röntgendiffraktogramok felvételével is igyekeztünk fényt deríteni. A tiszta pernye-mész rendszer felvételein a szilárdulási idő növekedésének arányában megfigyelhető a kalcitcsúcs ( $\text{CaCO}_3$ ) növekedése, s a portlandit csúcs csökkenése. 28 és 60 napos kor között ettringit jelent meg.

10 ciklusos fagyasztás hatására a péphasabok nyomószilárdsága 10 m% mészhidrát tartalom esetén 35%-kal, 20 m% mészhidrát tartalom esetén 20%-kal volt nagyobb, mint fagyasztás előtt (30.33. táblázat).

Olyan tapasztalatot, hogy rövid fagyasztás esetén nő a beton szilárdsága, az irodalomból is ismerünk.

#### • $\gamma$ ) Habarcsok

Szabványos habarcsvizsgálatok során a habarcsok általában a pépekhez hasonlóan viselkedtek.

A pernye-mész kötőanyaggal készült testek – a kisebb szilárdság miatt – vízzel szemben fokozottabban érzékenyek, így 10 ciklusos fagyasztás hatására a szilárdság a pépekétől eltérően csökkent (30.33. táblázat).

#### $\delta$ ) Betonok

Két kísérletsorozattal vizsgáltuk a pernye-mészhidrát kötőanyagú, kb.  $300 \text{ kg/m}^3$  kötőanyag-tartalmú betonokat. Az első kísérlet során bánhidai II., a másodikban bánhidai II. és bánhidai III. pernyét használtunk. A betont az első kísérletben kézi erővel, a másodikban gépben kevertük.

A 30.32. táblázat adataiból kitűnik, hogy a keverővíz mennyiségét elsősorban a pernye minősége befolyásolta.

Pernye-mész kötőanyaggal a víz feletti tárolás volt a legkedvezőbb.

A II. jelű pernyével két időpontban készített, hasonló összetételű betonok szilárdsági jellemzőit összehasonlítva (30.31. és 30.32. táblázat) jól látszik, hogy a keverővíz mennyiségének csökkentése, továbbá a gépi keverés jelentős szilárdságnövekedést okozott. A második sorozaton meghatározott, 56 napos hajlító-húzó és nyomószilárdsági értékek elérték, illetve meg is haladták az első sorozat 120 napos korban mért értékeit.

A kétféle pernyével készített változó pernye-mészhidrát kötőanyagú betonok szilárdságának vizsgálata alapján a következőket állapítottuk meg:

A mészhidrát tartalmat 10 m%-ról 20 m%-ra növelve, a betonok szilárdsága az eredeti értékek kb. 10%-ával nőtt.

A betonok szilárdságát a pernyeminőség változása befolyásolta a legnagyobb mértékben: a pernye-mész kötőanyagú rendszerek esetén – függetlenül attól, hogy



mennyi volt azok mészhidrát-tartalma – a nagyobb aktivitású pernye használata kb. 60%-os növekedést okozott.

Az MSZ-07.3703 szabvány 60 napos korra legalább 5 MPa nyomószilárdságot ír elő, ezt az értéket mindegyik beton elérte.

A zsugorodásmérés eredményei alapján megállapítható, hogy a mésztartalom növelésével a zsugorodás is nőtt, de a növekedés nem volt jelentős. A zsugorodási értékek egyébként lényegesen kisebbek voltak a hasonló összetételű cementbetonokénál.

A beton nyomószilárdsága a 12-szeri fagyasztás hatására kismértékben csökkent (30.34. táblázat), de e csökkenés nem haladta meg a 10%-ot, tehát a betonok a szabványban előírt fagyállósági követelményeknek megfelelnek. A szilárdságcsökkenés látszólag ellentmond a pép-kísérletek eredményeinek, ugyanis azoknál jelentős növekményt észleltünk. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy a beton-kísérletek során már a mérőhatás is érvényesült a nagyobb próbatestméret miatt, másrészt a pépek szilárdsága lényegesen nagyobb volt a betonokénál.

### **h) Összefoglalás**

Bánhidai pernye- és mészhidrát kötőanyagú pépeket, habarcsokat és betonokat vizsgáltunk a Betonútépítő Vállalat megbízásából azzal a céllal, hogy alkalmasak-e burkolatalapoknak. Megállapításaink:

A bánhidai pernye felhasználásával kialakítható olyan pernye–mészhidrát összetétel, amely burkolatalapok kötőanyagaként alkalmazható.

A pernyét és mészhidrátot tartalmazó összetételekben a mészhidrát mennyisége 10–20 m% között változhat (e határokon belül a szilárdságok csak jelentéktelen mértékben térnek el).

A burkolatalapokra vonatkozó előírásokat (MSZ-07.3703) figyelembe véve, a megvizsgált betonok mindegyike kielégítette a pernye–mész alapú kötőanyagokra megadott követelményszintet.

E betonok a szabványos fagyállósági vizsgálat után megfelelő szilárdságúak voltak.

Lineáris méretváltozásuk (zsugorodásuk) is kedvezően kicsi volt.

A bánhidai pernye minőségegyenletességének vizsgálatához kapcsolódó adatgyűjtés szerint az erőműből kikerülő pernye puccolános aktivitása időben lényegesen változik, de a változás mértéke olyan, hogy a napi átlagokat tekintve ritkán fordul elő 40 mg CaO/g-nál kisebb aktivitási érték.

Az MSZ-07.3703 a pernye–mész kötőanyagú keverékekhez a pernyék puccolános aktivitási értékét min. 30 mg CaO/g-ban állapítja meg. Ilyen pernyemintákkal kísérleteket nem folytattunk, így az előbbi megállapítások csak átlagos vagy annál nagyobb aktivitású pernyékre vonatkoztathatók. A felhasználhatóság jobb megítéléséhez indokoltnak tartanánk kis aktivitású pernyemintákkal hasonló összetételű rendszerek vizsgálatát is.

### 30.7.3. Útalapbeton pernye-mész-cement kötőanyaggal

[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

#### 30.7.3.1. Bevezetés

Az előző tanulmányban a pernye-mészhidrát kötőanyaggal készített beton tulajdonságait ismertettük. Ez a kötőanyag azonban lassan szilárdul. Nagyobb kezdeti szilárdság eléréséhez cementadagolásra van szükség. E fejezetben azokról a kísérletekről számolunk be, amelyeket pernye-mészhidrát-cement kötőanyaggal végeztünk. Az ilyen betonra magyar előírás nincs.

#### 30.7.3.2. Felhasznált anyagok

A kísérletekhez különböző időpontból származó bánhidai pernyét, váci 350 kspc 40 és váci 450 pc-et és jugoszláv méshidrátot használtunk. A cementek és pernyék kémiai összetételét a 30.38. táblázatban, a fizikai jellemzőket a 30.39. és 30.40. táblázatban tüntettük fel. A méshidrátra vonatkozó kémiai és fizikai vizsgálatok eredményét a 30.41. táblázatban foglaltuk össze.

30.38. táblázat. Pernyék és cementek kémiai összetétele, m%  
[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

	Pernyék jele			Cementek	
	I.	II.	III.	Váci 350 kspc 40	Váci 450 pc
Izzítási veszteség	0,27	0,69	0,44	1,14	1,13
SiO <sub>2</sub>	49,31	42,72	47,33	24,14	19,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,75	22,78	19,39	7,16	5,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,12	9,26	10,10	2,22	2,62
CaO	14,37	14,61	14,15	58,40	64,67
MgO	2,24	3,27	2,98	2,75	1,72
SO <sub>3</sub>	2,85	3,23	2,93	2,23	2,47
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,06	0,05	0,10	0,10
K <sub>2</sub> O	1,77	2,15	0,95	0,32	0,46
CaO <sub>szabad</sub>	2,26	0	2,45	1,72	2,10

30.39. táblázat. Pernyék fizikai jellemzői, aktivitása [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Pernyék jellemzői	I.	II.	III.
Sűrűség, kg/m <sup>3</sup>	2258	2506	2386
Fajlagos felület, m <sup>2</sup> /kg	238	457	267



30.39. táblázat folytatása

Szemmegoszlás, m%			
> 0,2 mm	8,1	0	1,0
0,02–0,09 mm	21,4	1,3	3,1
0,09–0,063 mm	11,7	1,8	19,7
< 0,063 mm	48,8	96,6	76,5
Aktivitás (AKTIMET-készülékkel) CaO mg/g pernye	64	102	63
Pernye-mész pépek szilárdsága, MPa*			
hajlító-húzó			
7 napos	0,85	1,9	0,91
28 napos	4,0	7,3	3,72
nyomó			
7 napos	3,9	7,8	3,75
28 napos	29,6	43,9	26,6

\* Vizsgálati paraméterek: mészhidrát tartalom 10 m% keverés ISO habarcskeverőben  
 terület: 13,5 cm méret: 40 × 40 × 160 mm  
 tárolás: kb. 95% relatív nedvességtartalmú térben.

30.40. táblázat. Cementek fizikai jellemzői [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Cement jele	Váci 350 kspc 40		Váci 450 pc	
Sűrűség, kg/m <sup>3</sup>	3068		3087	
Fajlagos felület, m <sup>2</sup> /kg	301		345	
Szítamaradék, m%				
0,2 mm	0,1		0	
0,09 mm	4,8		8,4	
Vízigény, m%	30		29	
Főzőpróba	megfelelt		megfelelt	
Vízpróba	megfelelt		megfelelt	
Kötési idő, óra				
kezdet	5		3	
vége	6		4	
Szilárdság, MPa	Hajlító-húzó	Nyomó	Hajlító-húzó	Nyomó
3 napos	2,6	11,4	3,7	20,0
7 napos	5,0	27,0	6,5	40,0
28 napos	6,2	44,1	7,1	50,4

30.41. táblázat. A mészhidrát kémiai és fizikai jellemzői [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Nedvességtartalom, m%	0,67
Szítamaradék 0,2 mm-en, m%	2,9
Ca(OH) <sub>2</sub> -tartalom, m%	84,95
CaCO <sub>3</sub> -tartalom, m%	11,44
Egyéb összetevők, m%	1

### 30.7.3.3. Pépkísérletek

A pernye-mész összetételű pépekkel végzett vizsgálatunk eredményei szerint 8–12 m% körüli mészhidrát-adagolás optimális a bányai pernye kötéséhez. Az MSZ-07.3703-82 (A kötőanyag nélküli és a hidraulikus kötőanyagú burkolatalapok) viszont a mészhidrát és a nem hidraulikus pernyék keverési arányát 1:4 értékben határozza meg. Emiatt a további kísérleteinknél kétféle mészhidrátmennyiséggel dolgoztunk: 10, illetve 20%-kal, a pernye tömegére vonatkoztatva. Ilyen mészhidrát-tartalmak esetén azt vizsgáltuk, hogy változó minőségű és mennyiségű cementadagolás hogyan befolyásolja a rendszer viselkedését és a szilárdságát.

Váci 350 kspc 40 és váci 450 pc cement, valamint az I. jelű pernye felhasználásával a 30.42. táblázat szerinti összetételű pépeket készítettük el.

A pépek konzisztenciáját habarcterülés-mérővel minden esetben 12,50–12,75 cm közötti értékre állítottuk be. A keverést a száraz anyagok többszöri összesztálása után, ISO-habarcskeverővel végeztük. A szilárdsági vizsgálatokhoz és a lineáris méretváltozás meghatározására 40×40×160 mm-es próbatesteket készítettünk, melyeket kb. 95% relatív légnedvesség-tartalmú térben (nedves térben) tároltuk.

Vizsgálatokat végeztünk annak meghatározására is, hogy a különböző korban ható víz alatti tárolás milyen változásokat okoz a szilárdságban. Ehhez a hasábok egy részét 7–14 napos, egy másik részét 28–35 napos koruk között mésszel telített vízben tartottuk.

30.42. táblázat. Pernye-mész-cement pépek összetétele, m%  
[Balázs-Deméné Csányi-Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Pernye	Mészhidrát	Cement	
			Váci 350 kspc 40	Váci 450 pc
1	90	10	0	0
2	80	20	0	0
3	80	10	10	0
4	75	10	15	0
5	65	10	25	0
6	70	20	10	0
7	65	20	15	0
8	55	20	25	0
9	80	10	0	10
10	75	10	0	15
11	65	10	0	25
12	70	20	0	10
13	65	20	0	15
14	55	20	0	25
15	0	0	100	0
16	0	0	0	100



**30.43. táblázat.** Pertye–mész–cement pépek hajlító–húzó szilárdságának változása eltérő tárolási módok esetén, MPa [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Kor, nap					
	7	28		60		
	A	A	B	A	B	C
1	0,99	3,96	3,75	3,48	2,21	3,13
2	0,75	4,23	4,01	3,37	3,26	3,27
3	1,43	4,47	4,12	4,08	3,84	3,91
4	1,93	5,01	4,12	3,24	3,23	3,82
5	2,17	5,67	5,00	4,95	3,91	4,47
6	0,93	3,70	4,45	3,94	4,00	5,00
7	0,83	4,41	4,56	3,81	3,72	4,17
8	1,49	4,31	4,62	5,05	3,43	6,23
9	0,89	4,06	4,76	4,40	4,25	4,02
10	1,34	3,82	4,91	4,80	4,95	5,70
11	2,88	4,68	6,41	5,25	3,75	5,85
12	0,61	3,23	4,10	2,55	3,30	5,10
13	1,36	4,18	4,91	4,20	4,65	3,45
14	3,36	3,44	7,04	4,20	4,05	4,50

Tárolási módok jelölése: A – nedves térben, B – 7–14 napos kor között víz alatt,  
C – 28–35 napos kor között víz alatt.

**30.44. táblázat.** Pertye–mész–cement pépek nyomószilárdságának változása eltérő tárolási módok esetén, MPa [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

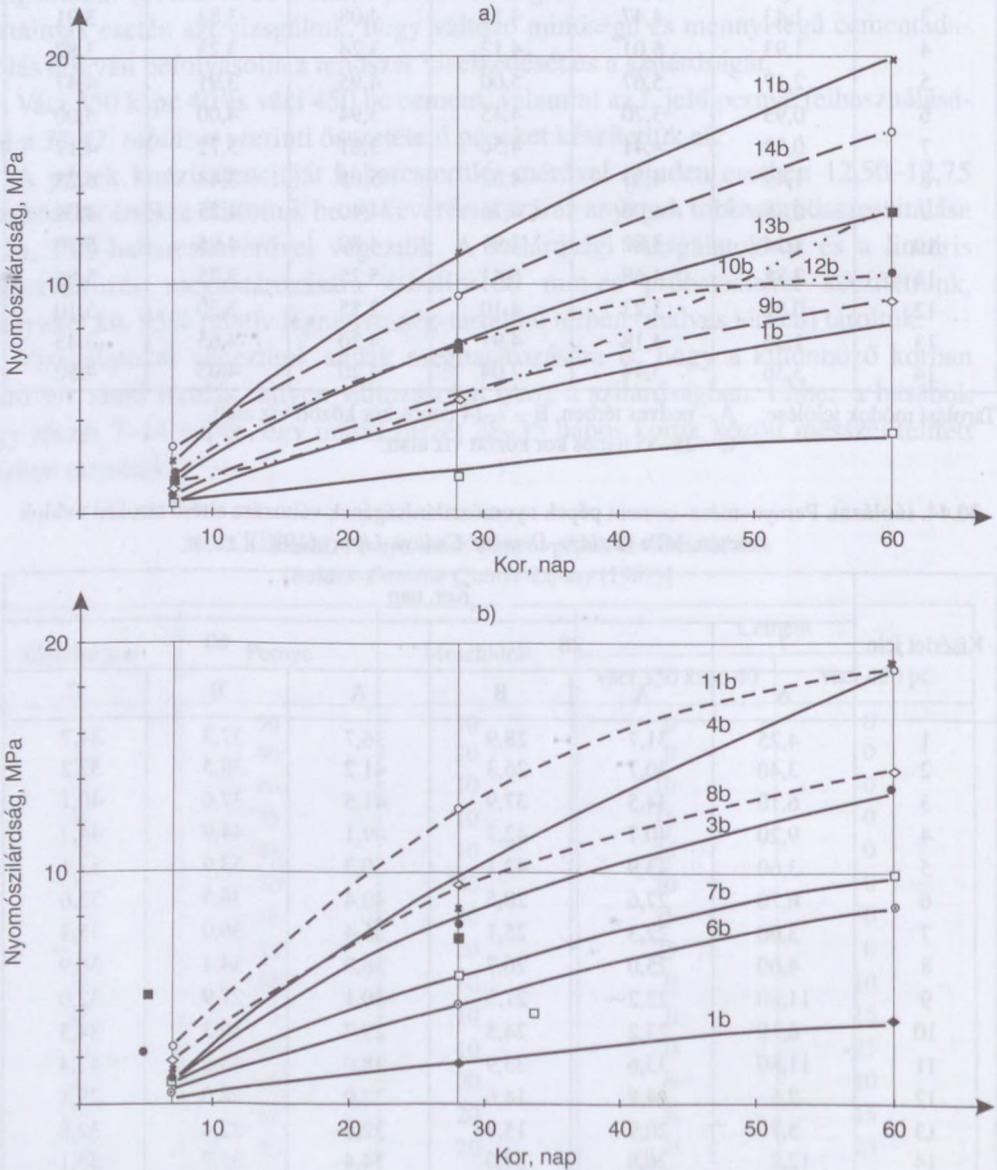
Kísérlet jele	Kor, nap					
	7	28		60		
	A	A	B	A	B	C
1	4,25	31,7	28,9	36,7	37,3	34,7
2	3,40	30,7	26,3	41,2	38,5	37,2
3	6,10	34,5	37,9	41,5	37,6	40,1
4	9,20	40,7	42,7	49,1	44,9	44,7
5	3,60	43,9	42,1	50,3	53,9	53,1
6	6,70	27,6	20,5	40,4	36,5	35,6
7	3,60	22,3	25,1	36,4	36,0	35,3
8	4,00	25,0	26,7	38,9	34,4	36,9
9	11,80	22,2	21,5	30,1	27,9	32,0
10	6,10	23,2	24,5	29,7	36,3	34,5
11	11,80	33,6	33,9	38,0	44,6	42,4
12	2,5	14,8	14,6	22,0	28,0	29,1
13	5,7	20,9	15,9	32,0	32,4	32,8
14	12,2	26,8	24,0	34,4	35,7	38,1

Tárolási módok jelölése: A – nedves térben, B – 7–14 napos kor között víz alatt,  
C – 28–35 napos kor között víz alatt.

A 7, 28 és 60 napos korban meghatározott szilárdsági jellemzőket a 30.43. és 30.44. táblázatban foglaltuk össze.

A nyomószilárdság korfüggését a 30.44. ábrán, lineáris méretváltozását a 30.45. ábrán mutatjuk be.

A cementet nem tartalmazó, továbbá a legkisebb, illetve legnagyobb mennyiségű cementet tartalmazó pépekből készített próbatesteken Graf.–Kaufmann-készülékkel lineáris méretváltozást határoztunk meg. Ennél a vizsgálatnál 7 és 14 napos koruk



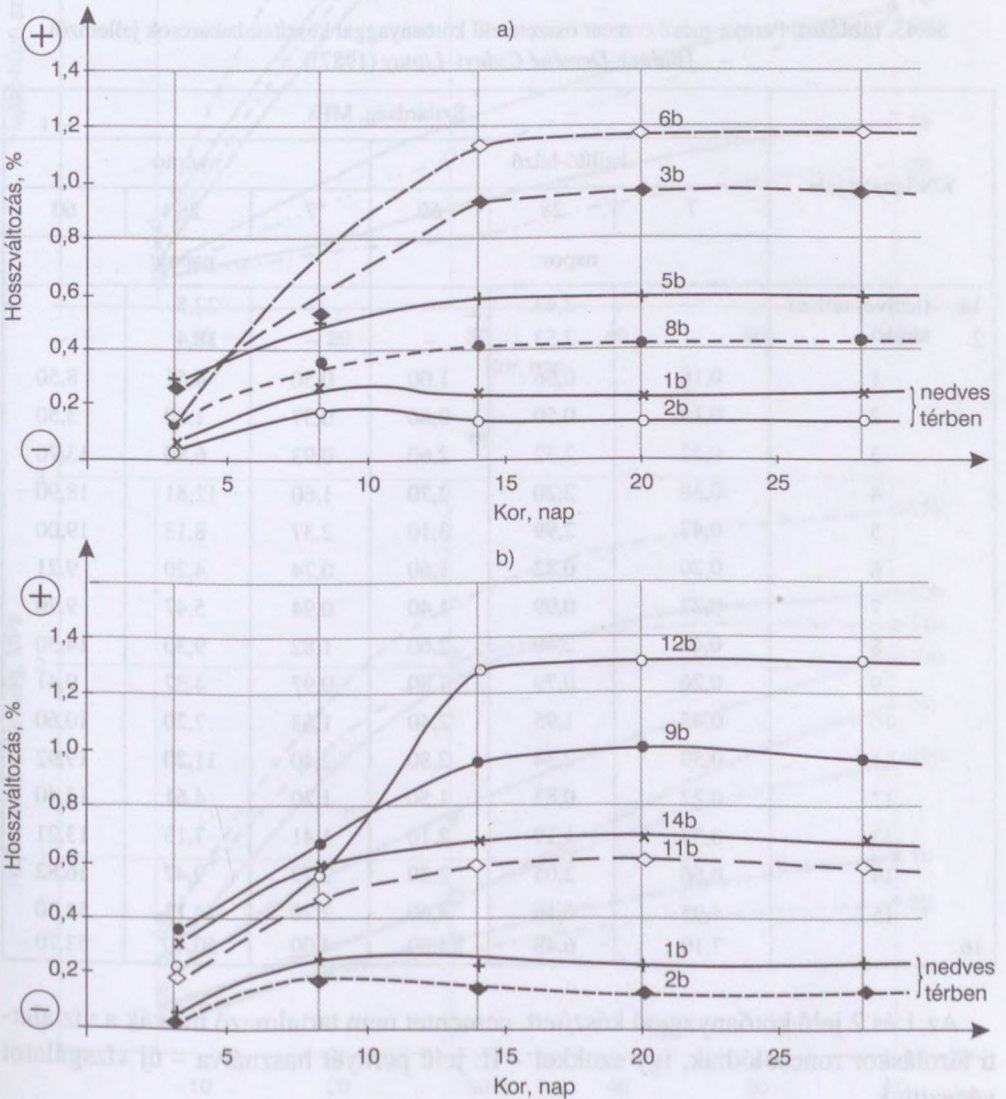
30.44. ábra. Pertye-mész-cement pépek nyomószilárdsága, tárolás: nedves térben  
a) cement: váci 450 pc, b) cement: váci 350 kspc 40 [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]



között vízben tároltuk a hasábokat, ezt megelőzően és a későbbiek során pedig nedves térben tároltuk azokat. A 3, 7, 14, 21 és 28 napos korra vonatkozó szilárdságot határoztuk meg.

A mész-pernye összetételű pépek esetén a vizsgálat nem teljes, ezek a minták ugyanis a víz alatti tároláskor olyan mértékben megrepedtek, ami a mérést zavarta.

A megismételt vizsgálathoz a II. jelű pernyével készítettünk próbatesteket (összehasonlítóként az 5 és 14 jelű összetételekkel is), s azokat a mérés tartamán nedves térben tároltuk.



**30.45. ábra.** Pernye-mész-cement pépek lineáris méretváltozása.

a) cement: váci 350 kspc 40, b) cement: váci 450 pc

[Balázs-Deméné Csányi-Liptay (1987)]

### 30.7.3.4. Habarcskísérletek

Az 1–16 jelű keverékek kötőerejének összehasonlítására a szabványos cementvizsgálatnak megfelelően 40×40×160 mm-es próbatesteket készítettünk.

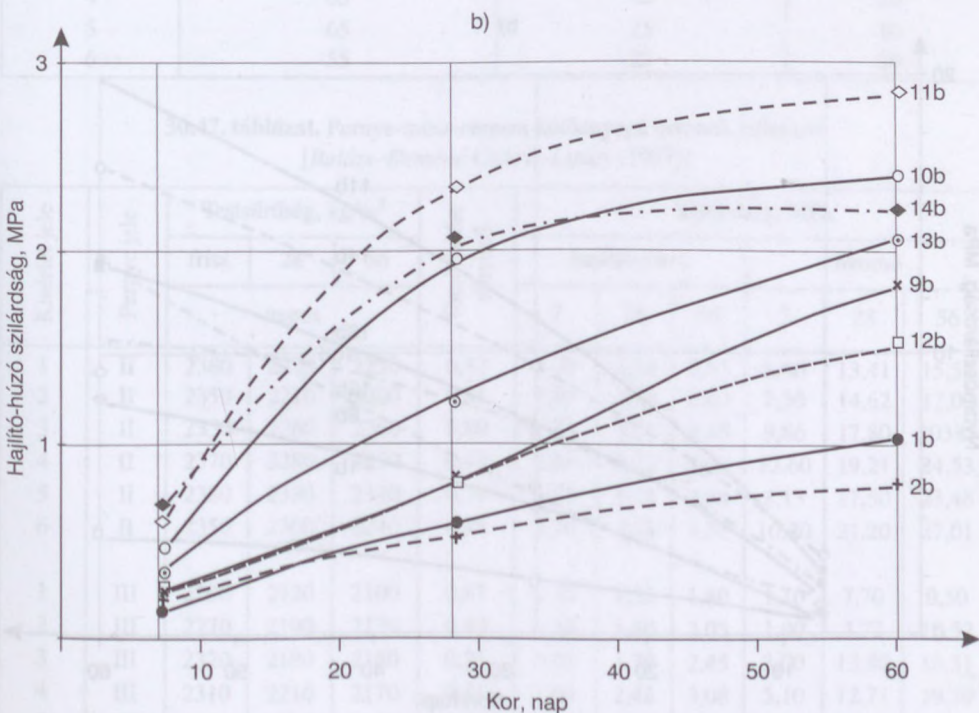
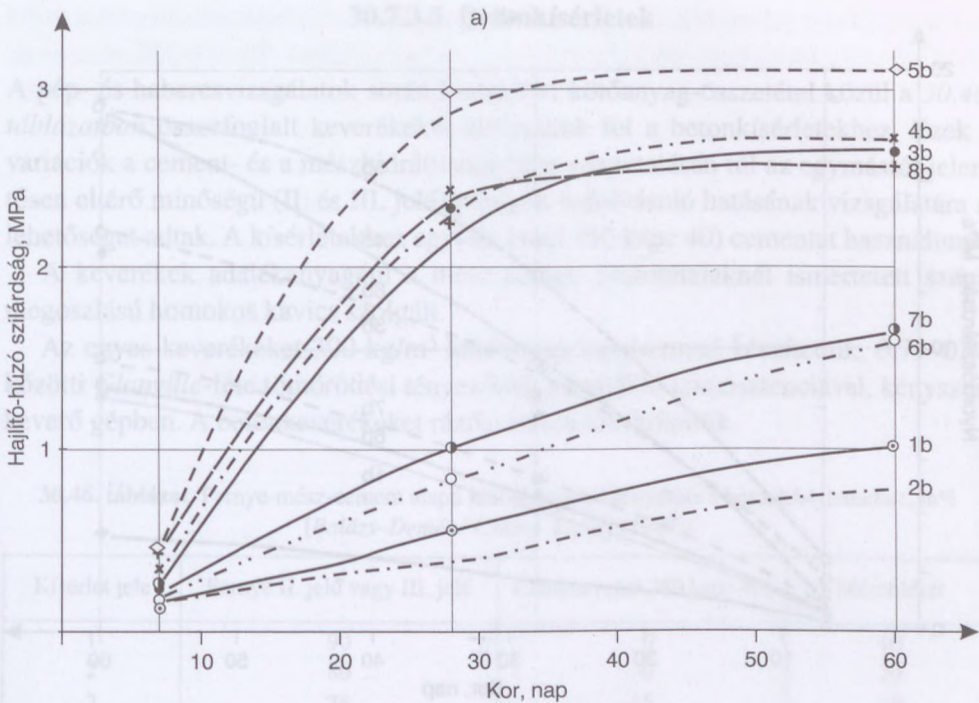
A hasábokat 7 napos korukig nedves térben, 7 és 14 napos koruk között telített meszes vízben, majd utána ismét nedves térben tároltuk. A 7, 28 és 60 napos korban mért szilárdsági jellemzőket a 30.44. táblázatban foglaltuk össze. A szilárdságok alakulását a kor és az összetétel függvényében a 30.46.–30.47. ábrákon mutatjuk be.

**30.45. táblázat.** Pernye-mész-cement összetételű kötőanyaggal készített habarcsok jellemzői  
[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kötőanyag jele		Szilárdság, MPa					
		hajlító-húzó			nyomó		
		7	28	60	7	28	60
		napos			napos		
1	(nedves térben	–	2,43	–	–	22,5	–
2	tárolt)	–	2,53	–	–	18,4	–
	1	0,16	0,56	1,00	0,50	4,51	8,50
	2	0,19	0,50	0,80	0,57	1,60	3,50
	3	0,22	2,32	2,60	0,93	6,80	13,70
	4	0,38	2,20	2,70	1,60	12,81	18,90
	5	0,47	2,99	3,10	2,37	8,13	19,00
	6	0,20	0,82	1,60	0,74	4,20	9,21
	7	0,27	0,99	1,40	0,94	5,47	9,70
	8	0,44	2,40	2,60	1,82	9,30	14,30
	9	0,26	0,79	1,80	0,97	4,87	9,41
	10	0,43	1,95	2,40	1,63	7,20	10,60
	11	0,59	2,34	2,80	2,40	11,20	19,92
	12	0,22	0,83	1,50	1,20	4,61	13,40
	13	0,33	1,19	2,10	1,41	7,13	13,21
	14	0,66	2,05	2,20	2,72	9,47	16,82
	15	4,95	6,16	4,60	2,70	44,13	52,30
16		7,10	6,48	4,80	4,00	50,40	53,70

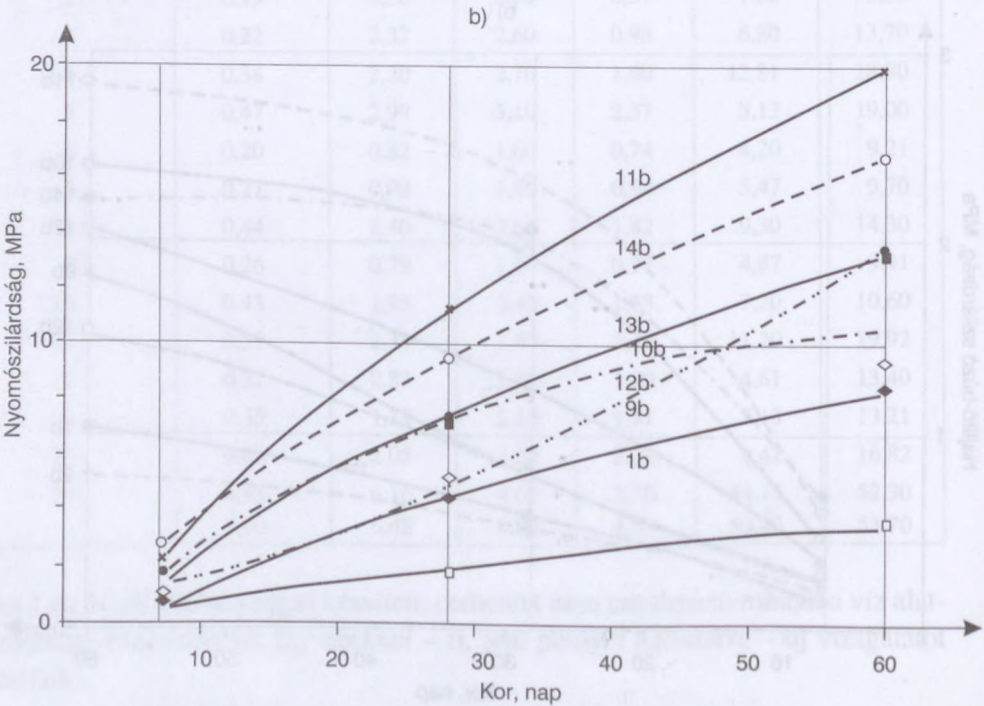
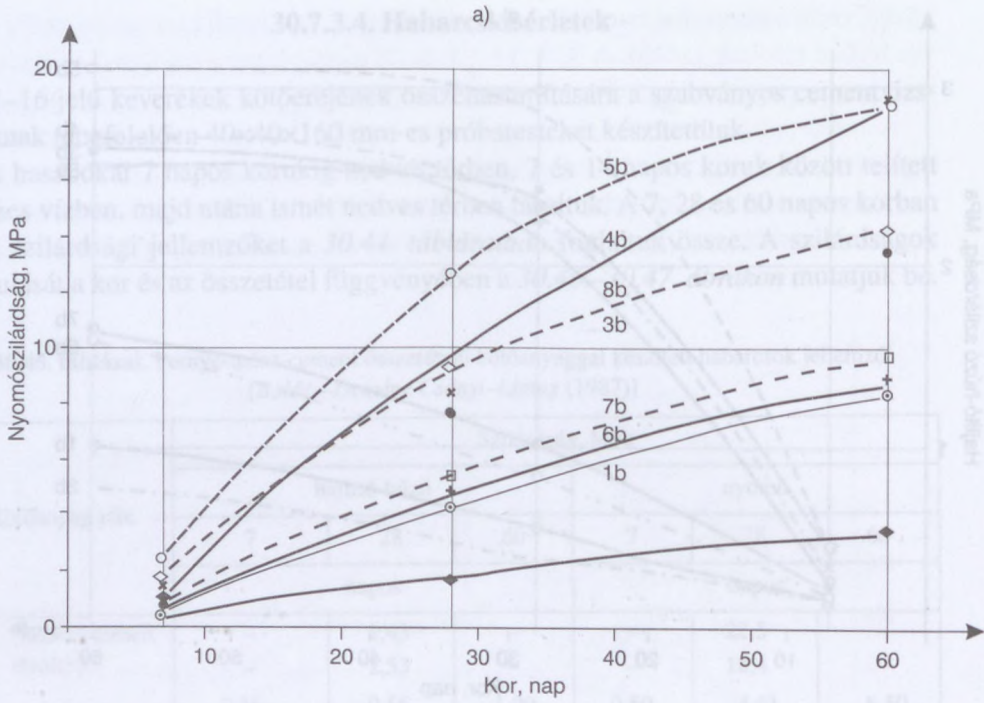
Az 1 és 2 jelű kötőanyaggal készített, cementet nem tartalmazó minták a víz alatti tároláskor roncsolódtak, így ezekkel – II. jelű pernyét használva – új vizsgálatot végeztünk.





30.46. ábra. Pertye-mész-cement kötőanyagú habarcsok hajlító-húzó szilárdsága.

a) cement: 350 kspc 40, b) cement: váci 450 pc [Balázs-Deméné Csányi-Liptay (1987)]



**30.47. ábra.** Pertye-mész-cement kötőanyagú habarcsok nyomószilárdsága.

a) cement: váci 350 kspc 40, b) cement: váci 450 pc [Balázs-Deméné Csányi-Liptay (1987)]



### 30.7.3.5. Betonkísérletek

A gép- és habarcsvizsgálatok során kialakított kötőanyag-összetétel közül a 30.46. táblázatban összefoglalt keverékeket használtuk fel a betonkísérletekhez. Ezek a variációk a cement- és a mészhidrátmennyiség változtatásán túl az egymástól jelentősen eltérő minőségű (II. és III. jelű) pernyék befolyásoló hatásának vizsgálatára is lehetőséget adtak. A kísérletekhez egyféle (váci 350 kspc 40) cementet használtunk.

A keverékek adalékanyagául a mész-pernye összetételeknél ismertetett szemmegoszlású homokos kavics szolgált.

Az egyes keverékeket  $300 \text{ kg/m}^3$  kötőanyag-tartalommal készítettük, 0,79–0,82 közötti *Glanville*-féle tömörödési tényezőnek megfelelő konzisztenciával, kényszerkeverő gépben. A betonkeverékeket rázóasztalon tömörítettük.

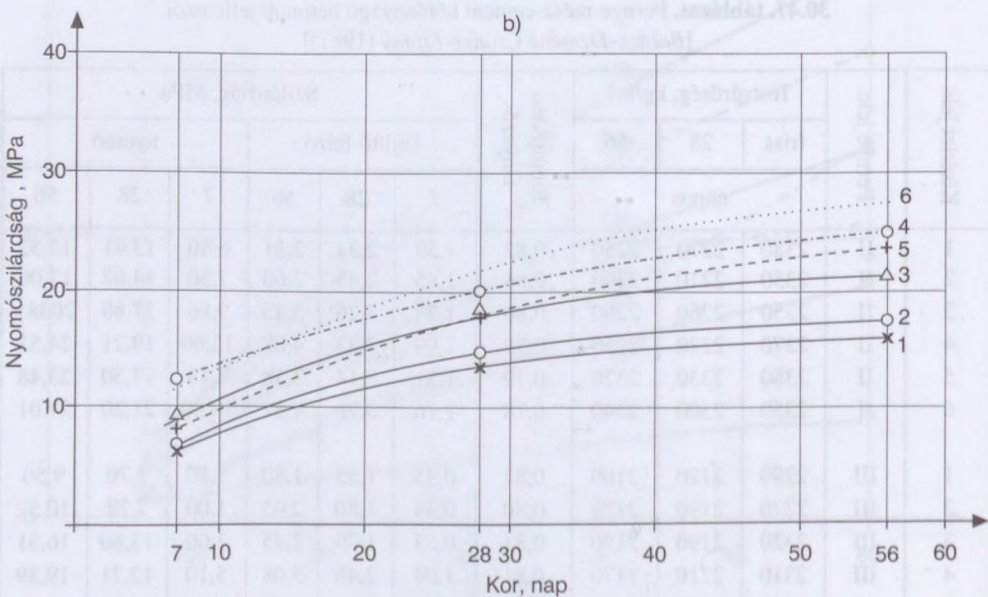
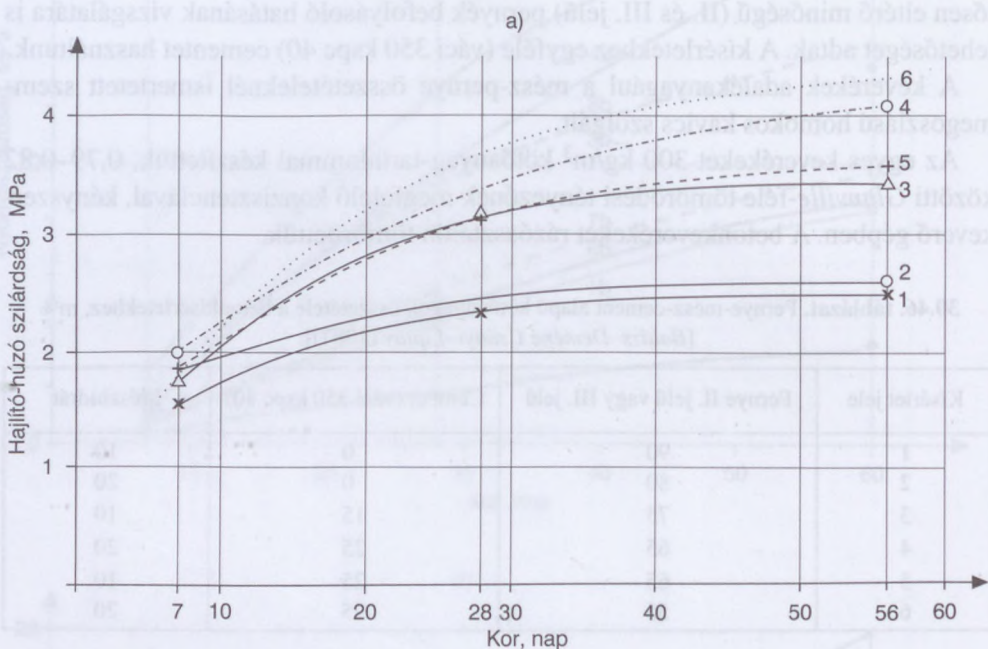
**30.46. táblázat.** Pernye-mész-cement alapú kötőanyagok összetétele a betonkísérletekhez, m%  
[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Pernye II. jelű vagy III. jelű	Cement (váci 350 kspc 40)	Mészhidrát
1	90	0	10
2	80	0	20
3	75	15	10
4	65	25	20
5	65	25	10
6	55	25	20

**30.47. táblázat.** Pernye-mész-cement kötőanyagú betonok jellemzői  
[Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Pernye jele	Testsűrűség, $\text{kg/m}^3$			Tömörödési tényező	Szilárdság, MPa						
		friss	28	56		hajlító-húzó			nyomó			
						7	28	56	7	28	56	
		napos										
1	II	2380	2270	2250	0,82	1,59	2,34	2,51	6,80	13,41	15,52	
2	II	2350	2210	2200	0,81	1,85	2,45	2,60	7,30	14,62	17,00	
3	II	2350	2260	2260	0,80	1,74	3,26	3,45	9,86	17,80	20381	
4	II	2370	2280	2250	0,79	1,99	3,23	4,08	12,60	19,21	24,53	
5	II	2380	2330	2320	0,79	1,81	3,14	3,58	8,13	17,50	23,48	
6	II	2350	2300	2240	0,78	1,76	3,78	4,31	10,20	21,20	27,01	
1	III	2290	2120	2100	0,87	0,35	1,55	1,80	1,10	7,70	9,50	
2	III	2270	2190	2170	0,80	0,34	1,80	2,05	1,00	7,72	10,52	
3	III	2320	2190	2180	0,81	0,63	1,79	2,45	3,00	13,80	16,31	
4	III	2310	2210	2170	0,81	1,04	2,48	3,08	5,10	12,71	19,39	
5	III	2350	2180	2150	0,79	0,99	2,67	3,15	4,90	13,52	18,00	
6	III	2360	2180	2140	0,79	1,26	2,19	3,46	5,41	13,91	21,48	

A szilárdsági jellemzők és a lineáris méretváltozás meghatározásához, valamint az MSZ-073703-82-ben előírt fagyállósági vizsgálatokhoz 70×70×250 mm-es és 120×120×360 mm-es hasáb, illetve 150×150×150 mm-es kocka próbatesteket készítettünk.



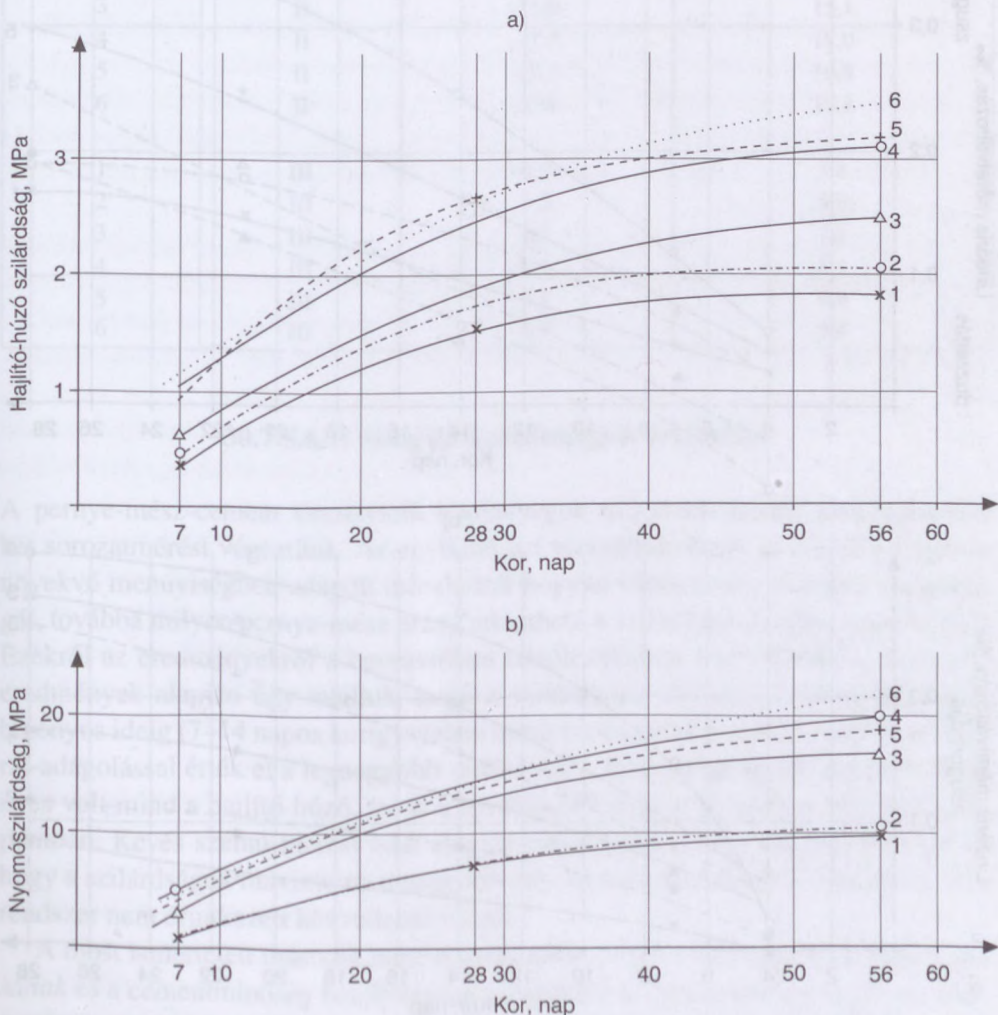
30.48. ábra. II. jelű pernyével készített betonok szilárdsága. a) hajlító-húzó szilárdság, b) nyomószilárdság [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]



A próbatesteket – elsősorban a cementet nem tartalmazó összetételek kisebb kezdeti szilárdsága miatt – 2 napos korban zsaluztuk ki, majd ezt követően fólia alatt tároltuk.

A kétféle pernyével készített 70×70×250 mm-es hasábokon 7, 28 és 56 napos korban testsűrűséget és szilárdsági jellemzőket mértünk. Az erre vonatkozó eredményeket a 30.47. táblázatban foglaltuk össze. A nyomószilárdság értékeivel kapcsolatban hangsúlyozzuk, hogy azok – a hasábokon végzett mérés miatt – minden esetben testszilárdságot jelentenek. A szilárdsági jellemzők időfüggését a 30.48.–30.49. ábrákon szemléltetjük.

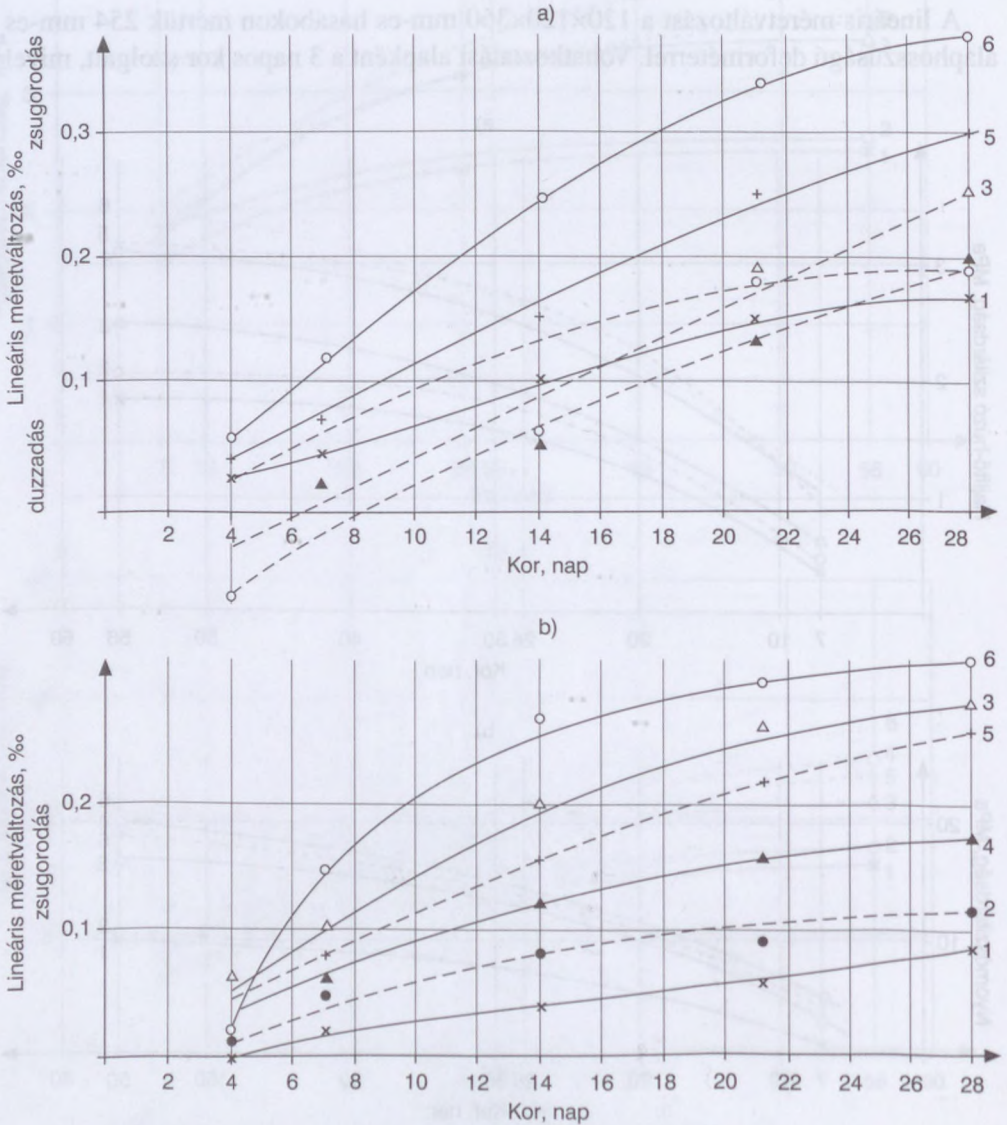
A lineáris méretváltozást a 120×120×360 mm-es hasábokon mértük 254 mm-es alaphosszúságú deforméterrel. Vonatkoztatási alapként a 3 napos kor szolgált, mivel



30.49. ábra. III. jelű pernyével készített betonok szilárdsága. a) hajlító-húzó szilárdság, b) nyomószilárdság [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

egyek keverékek laza, nedves felületén a mérőbűtykök helyzete csak ekkorra stabilizálódott. A próbatesteket a mérés ideje alatt 20 °C körüli, 55–60% relatív nedvességtartalmú térben tároltuk. A méretváltozás időfüggéséről készült a 30.50. ábra.

A fagyállósági próbához készített próbatestek közül a cementet is tartalmazókkal 28 napos koruk után, míg a csak pernyét és mészhidrátot tartalmazó kockákkal 56 napos koruk után kezdtük el a vizsgálatot. Ennek során a próbatesteket 8 órás időtartamra  $-18 \pm 0,5$  °C-os klímasekrenybe helyeztük, majd 16 órán át  $20 \pm 0,5$  °C-os vízben tároltuk.



30.50. ábra. Betonok zsugorodása. a) II. jelű pernyével, b) III. jelű pernyével [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]



12 ciklus után a felengedett, vízzel telített próbatesteken nyomószilárdságot határoztunk meg. Elvégeztük a szobahőmérsékleten tárolt etalonok összehasonlító szilárdsági vizsgálatát is, amelyhez mérés előtt a kockákat vízzel telítettük. A fagyállósági próba eredményét a 30.48. táblázatban foglaltuk össze.

**30.48. táblázat.** Fagyállósági vizsgálat eredményei [Balázs–Deméné Csányi–Liptay (1987)]

Kísérlet jele	Pernye jele	Nyomószilárdság, MPa	
		Fagyasztás nélkül	12 fagyasztási ciklus után
1	II	10,2	9,9
2	II	11,4	10,7
3	II	15,6	15,1
4	II	17,9	18,0
5	II	17,1	16,8
6	II	20,8	19,8
1	III	6,0	5,8
2	III	6,5	5,9
3	III	8,3	7,8
4	III	9,1	8,1
5	III	9,7	9,0
6	III	9,9	9,4

### 30.7.3.6. A vizsgálati eredmények értékelése

A pernye-mész-cement összetételű kötőanyagok tulajdonságainak megismerésére két sorozatmérést végeztünk. Az egyiknél azt vizsgáltuk, hogy az I. jelű pernyéhez növekvő mennyiségben adagolt mészhidrát hogyan változtatja a rendszer szilárdságát, továbbá milyen pernye-mész arány tekinthető a szilárdság alapján optimálisnak. Ezekről az eredményekről a bevezetőben közölt cikkben számoltunk be. A mérési eredmények alapján úgy találtuk, hogy a szilárdulási folyamat korai szakaszában bizonyos ideig (7–14 napos korig) vízben tárolt próbatestek 8–12% közötti mészhidrát-adagolással érték el a legnagyobb szilárdságot. Ez a megállapítás egyaránt érvényes volt mind a hajlító-húzó, mind a nyomószilárdságra és minden vizsgálati időpontban. Kevés számú mérési adat alapján megfigyeltünk egy olyan jelenséget is, hogy a szilárdságok maximuma a nagyobb mészhidrát-tartalmak felé tolódott el, ha a rendszer nem érintkezett közvetlenül vízzel.

A most ismertetett második mérési sorozathoz, amellyel a cementadagolás hatásának és a cementminőség befolyásának vizsgálatát kívántuk elvégezni, olyan kötőanyag-összetételeket választottunk, melyek 15–20 m%-ban adagolt kétféle cement (váci 350 kspc 40 és váci 450 pc) mellett 10, illetve 20 m% mészhidrátot tartalmaz-



tak. A 20 m%-os mészhidrát-adagolást részben az előbb ismertetett megfigyelés, részben pedig az indokolta, hogy az utépítési gyakorlatban a pernye-mész összetételű kötőanyagokhoz általában 4–5:1 tömegarányú keverést ajánlanak. A vizsgálatokat természetesen csak pernyét és meszet tartalmazó kötőanyagokkal is elvégeztük. A mérési eredményeket a következőkben összegezzük.

### **a) Pépkísérletek**

A különféle tárolási módok hatása csak a cementet nem tartalmazó kötőanyagok esetén volt egyértelmű. Egyrészt a végig nedves térben tárolt minták szilárdsága fölülmulta azokét, amelyeket meghatározott ideig vízben is tartottunk, másrészt minél korábbi időpontban érte víz a rendszert, annál jelentősebbé vált a szilárdságcsökkenés.

A megvizsgált pépek szilárdsági jellemzői – a nyomószilárdság adatait figyelembe véve – a következőképpen függtek a különféle paramétereiktől:

A cementet nem tartalmazó minták szilárdságának időbeli alakulását a mészhidrát-tartalom (10 vagy 20 m%) lényegében alig befolyásolta, kivéve a 60 napos értékeket, ekkorra ugyanis a 20 m% mészhidrátot tartalmazó keverékek szilárdsága valamivel kedvezőbbé vált.

Váci 350 kspc 40 hozzáadás hatására a 10 m% mészhidrát-tartalmú minták szilárdsága minden időben meghaladta a csak mészből és pernyéből álló keverékekét. A 20 m% mészhidrátal készített próbatestek szilárdsága kezdetben kisebb volt, s csak 60 napos korra érte el, illetve haladta meg a cementet nem tartalmazó keverékek szilárdságát.

A váci 450 pc-t tartalmazó keverékek esetén a szilárdság az előbbiekhöz képest kisebb ütemben nőtt, továbbá a 60 napos értékek is jóval elmaradtak a cement nélküli keverékeken mért értékekhez viszonyítva.

A 10, 15 és 25%-os cementadagolásra vonatkozó eredmények szerint – a várakozásnak megfelelően – a nagyobb cementmennyiség nagyobb szilárdságot eredményezett.

Amint az előbbiekből is kitűnt, a kohósalak-tartalmú heterogén cement kedvezőbb hatású volt, mint a tiszta portlandcement, ami arra utal, hogy a kohósalak gerjeszti a pernye-mész rendszer szilárdulási folyamatát.

A pépeken mért szilárdság nagysága következőképpen alakult:

A csak pernyét és meszet tartalmazó összetételek hajlító-húzó szilárdsága 7 és 28 napos kor között jelentősen nőtt, utána a növekedés üteme lelassult és 60 napos korban 3,2 MPa értéket ért el mind 10, mind 20 m% mészhidrát adagolásakor. Cement jelenlétében a szilárdság növekedése felgyorsult, de a 60 napos érték csak 25% cementtartalom esetén ért el nagyobb értéket (5 MPa-t).

A nyomószilárdság időbeli növekedése hasonlóan alakult. A pernye-mészhidrát összetételű minták nyomószilárdsága 60 napos korban 37 MPa körüli volt, a cemen-



tet is tartalmazó keverékeken mért értékek pedig 35–50 MPa között ingadoztak, a cement- és mészhidrát-tartalomtól függően.

A lineáris méretváltozás eredményei szerint a rendszer jelentős mértékben duzzadt a szilárdulási folyamat közben. Nagyobb mértékű duzzadást mindig a több meszet tartalmazó összetételekben mértünk (1,3%). Növekvő cementadagolással a méretváltozás felére csökkent.

A felhasznált mészhidrát nem tartalmazott oltatlan meszet, így a duzzadás növelésében csak annyi szerepet játszhatott, hogy mennyiségének növelésével a rendszer vízigénye megnőtt, s lazább szerkezet alakult ki.

Az I. jelű pernye szabad CaO-tartalma viszont hidroxidok kialakulása révén okozhatott duzzadást. Ezt az is alátámasztja, hogy a szabad meszet nem tartalmazó II. jelű pernye használatakor lényegesen kisebb volt a méretváltozás.

Sajnos, a csak pernyéből és mészből álló keverékek a víz alatti tároláskor szétesetek, így nem tudtuk azokat a többivel összehasonlítani. Utólag meghatároztuk e két összetétellel, valamint kétféle cementtel készített keverék nedves térben bekövetkező méretváltozását. Ehhez a kísérlethez azonban már II. jelű pernyét használtunk, s így a közölt kedvező eredmények csak tájékoztató jellegűek.

### **b) Habarcskísérletek**

A szabványos habarcsvizsgálatok során az egyes kötőanyagok hatása a pépkísérletekhez viszonyítva egyértelműbben alakult.

Legkisebb hajlító-húzó és nyomószilárdságot a pernye-mész kötőanyaggal készített testek esetén mértünk, s e keverékek a viszonylag kis szilárdság miatt a vízzel szemben is érzékenyebbé váltak. A víz alatti tárolás hatására a 20 m% mészhidrát-tartalmú habarcs szilárdsága elmaradt a 10 m%-oshoz viszonyítva.

A cementet is tartalmazó kötőanyaggal készített habarcsok szilárdsága a cement-tartalommal mindenkor nőtt és a kétféle cement hatása is nagyjából azonossá vált. Az adalékanyaggal *felhígított* rendszerben nem érvényesült a kohósalak-tartalom korábban említett gerjesztő hatása.

Ezek a vizsgálatok is azt igazolták, hogy a 10 m% mészhidrátot tartalmazó pernye-mész-cement kötőanyagok szilárdsága kedvezőbb a 20 m% mészhidrát-tartalmúakhoz viszonyítva.

### **c) Betonkísérletek**

A pernye-mész, illetve pernye-mész-cement összetételű anyagokkal készített betonokhoz – a pép- és habarcskísérletek eredményei alapján – a kedvezőbb hatású váci 350 kspc 40-et használtuk, továbbá kétféle pernyét. Utóbbiak közül a II. jelű pernye extrém nagy, míg a III. jelű átlagos puccolános aktivitású pernyefajtának felelt meg.

A hajlító-húzó és nyomószilárdsági értékek időfüggését mutató ábrák szerint a cementhozzáadás, valamint a cementmennyiség növelése a habarcsmintáknál tapasztaltakhoz hasonlóan befolyásolta a rendszerek viselkedését.



Az MSZ-07 3703-82 a pernye-mész kötőanyagú betonok 60 napos nyomószilárdságára min. 5 MPa-t ír elő, amit az általunk vizsgált valamennyi betonminta elért, illetve meghaladt már 28 napos korban.

A III. jelű pernyével készített pernye-mész kötőanyagú betonok 60 napos hajlító-húzó szilárdsága 1,8–2 MPa körüli, nyomószilárdsága pedig 10 MPa körüli volt. Ehhez képest a 15–25 m% cementadagolás hatására a szilárdsági értékek másfélszeresére nőttek.

A pernyék puccolános aktivitásának hatása jól tanulmányozható a kétféle pernyével készített betonok vizsgálati eredményeinek összevetésével. A nagy fajlagos felületű II. jelű pernye felhasználásával készített betonok hajlító-húzó szilárdsága 30–40, míg nyomószilárdsága 20–70%-kal nőtt a III. jelű pernyét tartalmazó mintákéhoz viszonyítva. A legjelentősebb növekedés a cement nélküli betonok esetén következett be.

A szilárdulási folyamat tartamán valamennyi betonminta zsugorodott, s a zsugorodás mértéke a cementadagolás hatására nőtt. A 28 napos korban mért legnagyobb érték is 0,4% alatti volt.

Az MSZ 3703-82 a pernye-mész kötőanyagú betonok fagyállósági vizsgálatánál 10% nyomószilárdság-csökkenést enged meg. Ezt az értéket egyetlen vizsgált összetételű minta szilárdságcsökkenése sem haladta meg.

### 30.7.3.7. Összefoglalás

Útalapbetonok készítéséhez felhasználható pernye-mész és pernye-mész-cement összetételű kötőanyagokkal végeztünk összehasonlító kísérleteket. Ennek során megállapítottuk, hogy átlagos puccolános aktivitású bányahidai pernye 10 m% mészhidráttal keverve alkalmas kötőanyag útalapbetonok készítéséhez. Az ilyen kötőanyagú betonok nyomószilárdsága már 28 napos korra eléri az előírt minimális értéket.

A 10 m%-nál több mészhidráatot tartalmazó pernye-mész keverékekkel készített betonok esetén csak jelentéktelen szilárdságnövekedés tapasztalható.

A pernye-mész kötőanyagú betonok kezdeti vízérzékenysége nagy, szilárdsága viszont kicsi. Vizsgálati eredményeink szerint, ha a mészhidrát mellett 15–25% cementet is adagolunk a pernyéhez, a szilárdulás üteme felgyorsul és a vízérzékenység csökken.

Nagyobb puccolános aktivitású, azonos származási helyű pernye használata kedvezően befolyásolja mind a kezdeti, mind a végzilárdságot.

A fagyállósági vizsgálatok azt bizonyították, hogy a pernye-mész-cement kötőanyagú betonok már 28 napos korban megfelelnek az igénybevételhez előírt követelményeknek, a cement nélkül készített betonok pedig 60 napos koruk után teljesítik azt.



## 30.7.4. Útalapbeton kohósalak kötőanyaggal

### 30.7.4.1. Előzmény

[Balázs (1994)]

A granulált kohósalak rejtett hidraulikus tulajdonságait *Langen* fedezte fel 1862-ben. 1865-ben kohósalakkal mint adalékanyaggal mesterséges követ állítottak elő, miután a Ruhr-vidéken megkezdtek a kohók koksztüzelését és 1861-ben bevezették azt az eljárást, amely során a vályúba kifolyatott izzó kohósalakot erős vízszugárral hűtötték le. 1879-ben alapították az első kohósalak-granuláló üzemet. *Prüssing* kimutatta, hogy nem minden kohósalak javítja a cement tulajdonságait. Ő kezdte el a kohósalakcement gyártását. *Tetmajer* kezdeményezésére 1880-ban kezdték el a mészsalakcement gyártását. Ő kimutatta azt is, hogy a levegőn lehűtött bázikus kohósalak is hidraulikus, de értékesebb a granulált kohósalak, amellyel ugyanolyan szilárdság érhető el, mint a jó portlandcementtel. 1886-ban leírta a kohósalak-portlandcement gyártását. Innen számítják a kohósalak-portlandcement alkalmazásának a kezdetét.

A kohósalak (*Varga–Polinszky*: Kémiai technológia II. kötet, 291. oldal) kémiaiilag ugyanazokból az alkotókból áll, mint a portlandklinker, csak kisebb a mésztartalma és néhány – a cementgyártás szempontjából értéktelen – alkotót tartalmazhat (pl. MgO, szulfidok, karbid).

A gyorsan lehűtött salak üvegszerűvé dermed meg. Ez az állapot azonban nincs egyensúlyban. Alkalikus víz hatására a cementhez hasonlóan bomlik és víz felvétele közben megszilárdul.

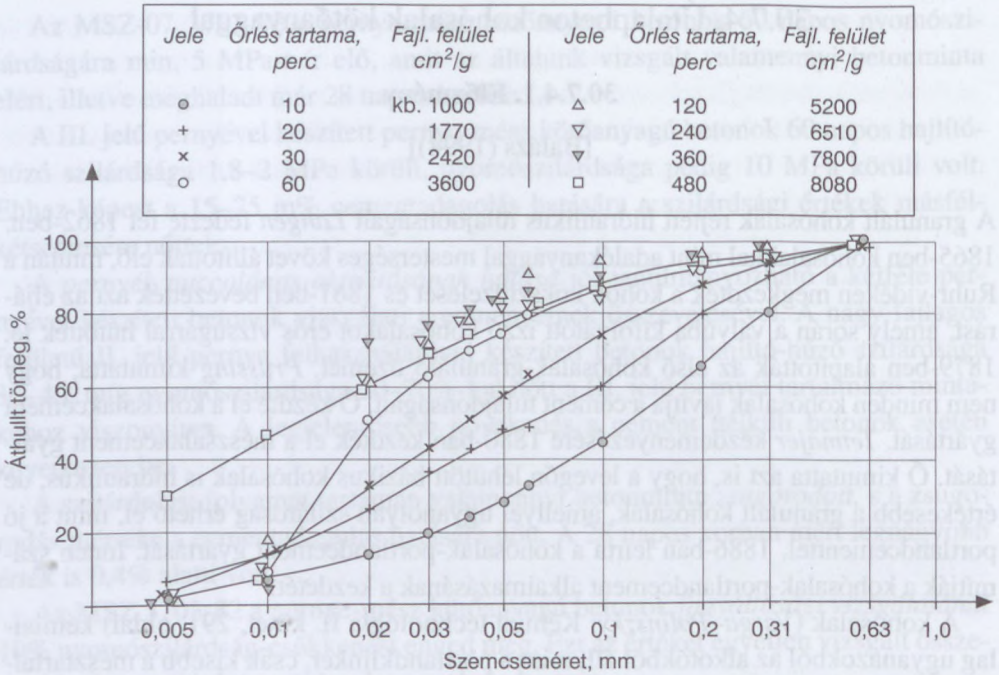
Ha a salakot lassan hűtik le, akkor kikristályosodnak az ún. salakásványok, amelyek közül a gehlenit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) kismértékben kötőképes, a többi azonban hidraulikus szempontból értéktelen.

Azokról a kísérletekről számolunk be, amelyeket a kis szilárdságú, ún. útalapbetonokkal kapcsolatosan a Betonútépítő Vállalat megbízásából folyó kutatás keretében végeztünk.

### 30.7.4.2. Kötőanyag-kísérletek

[Útbetonkísérletek 22 (1977)]

Előző kísérleteink azt mutatták, hogy a kohósalak őrlési finomságának a növelésével arányosan nő a habarcs nyomó- és húzószilárdsága. Ezért a kísérletek kibővítése során az őrlésfinomság további növelését is tervbe vettük. A különböző őrlési finomságú kohósalakok szemmegoszlására és fajlagos felületére jellemző adatokat a 30.51. ábrán foglaltuk össze. A kohósalakok fajlagos felülete kb. 100 és 800 m<sup>2</sup>/kg között változott.



30.51. ábra. A kohósalakok szemmegoszlása [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

30.49. táblázat. A szabványos cementvizsgálattal közel egyező kohósalak-kísérletek terve és a friss habarcs jellemzői [Útbetonkísérletek 22. (1977)]

Kísérlet jele	Keverővíz, g	Mészhidrát	Habarcs területése, cm	Készítés napja	Habarcs kora a vízbe helyezéskor nap	Kohósalak fajlagos felülete, m <sup>2</sup> /kg
21	290	–	12,5	1980.	5	kb.100
22	290	–	14	1.16.	5	177
23	260	–	13	1.16.	5	242
24	230	–	12,5	1.16.	5	360
25	220	–	13,5	1.16.	5	520
26	280	10	12,5	1.21.	5	kb.100
27	250	10	13	1.21.	5	177
28	230	10	12,5	1.21.	5	242
29	230	10	12,5	1.21.	5	360
30	220	10	13	1.25.	5	520
31	210	–	13,5	1.25.	5	651
32	200	–	12	1.25.	5	780
33	210	–	13,5	1.30.	5	808
34	210	10	13	1.30.	5	651
35	210	10	13	1.30.	5	780
36	210	10	12,5	1.30.	5	808



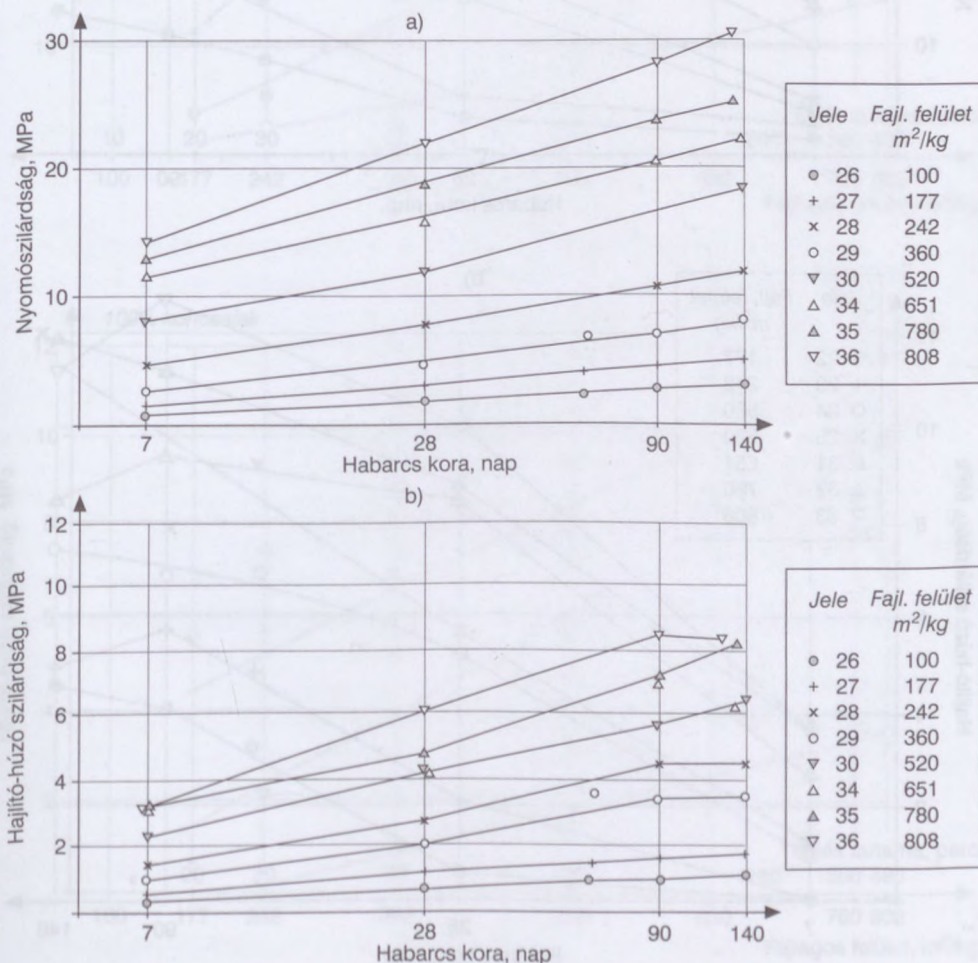
A kohósalak-őrleményekkel a 30.49. táblázatban feltüntetett habarcskísérleteket végeztük el. A habarcskísérletek közelítően megegyeztek az MSZ 523 szabványban leírtakkal. A különbség:

A cementet a kötőanyag helyettesítette, amely kohósalak volt a 21–25 és 31–33 kísérleteknél, és 90% kohósalak és 10% mészhidrátpor volt a 26–30 és a 34–36 kísérletek során.

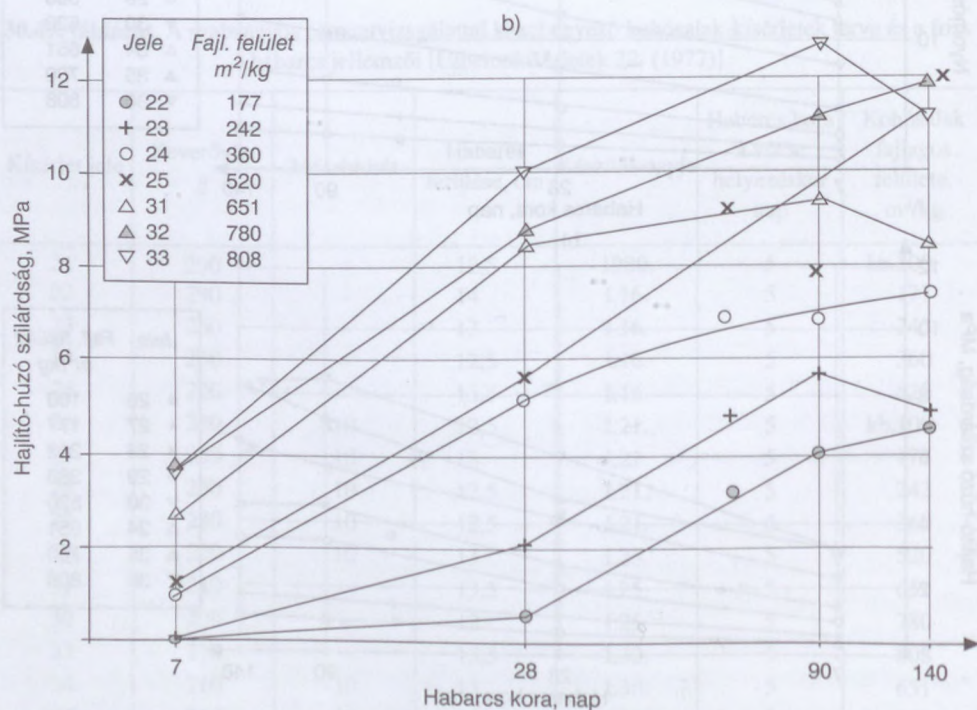
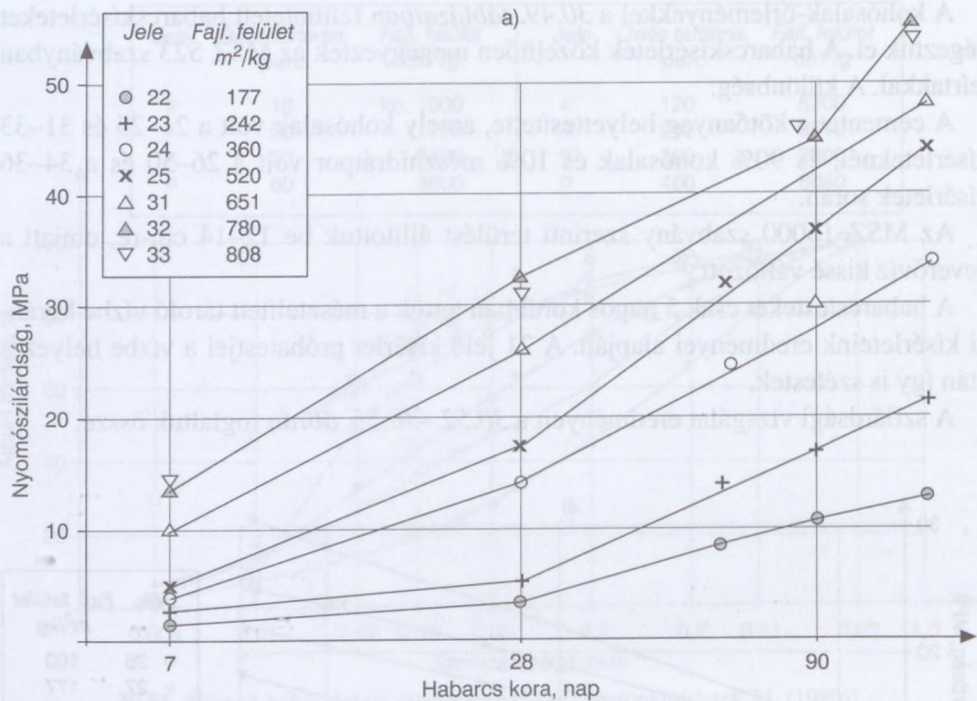
Az MSZ 16000 szabvány szerinti területét állítottuk be 12–14 cm-re, emiatt a keverővíz kissé változott.

A habarcszesteket csak 5 napos korukban tettük a mésztelített tároló vízbe korábbi kísérleteink eredményei alapján. A 21 jelű kísérlet próbatestjei a vízbe helyezés után így is szétestek.

A szilárdsági vizsgálat eredményeit a 30.52.–30.55. ábrán foglaltuk össze.

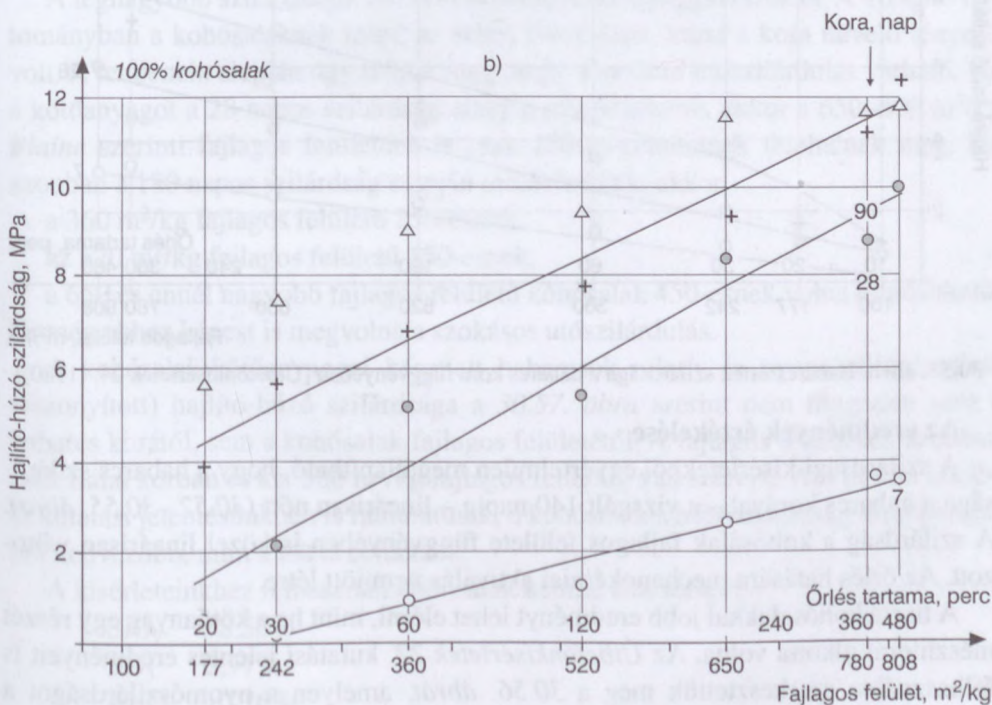
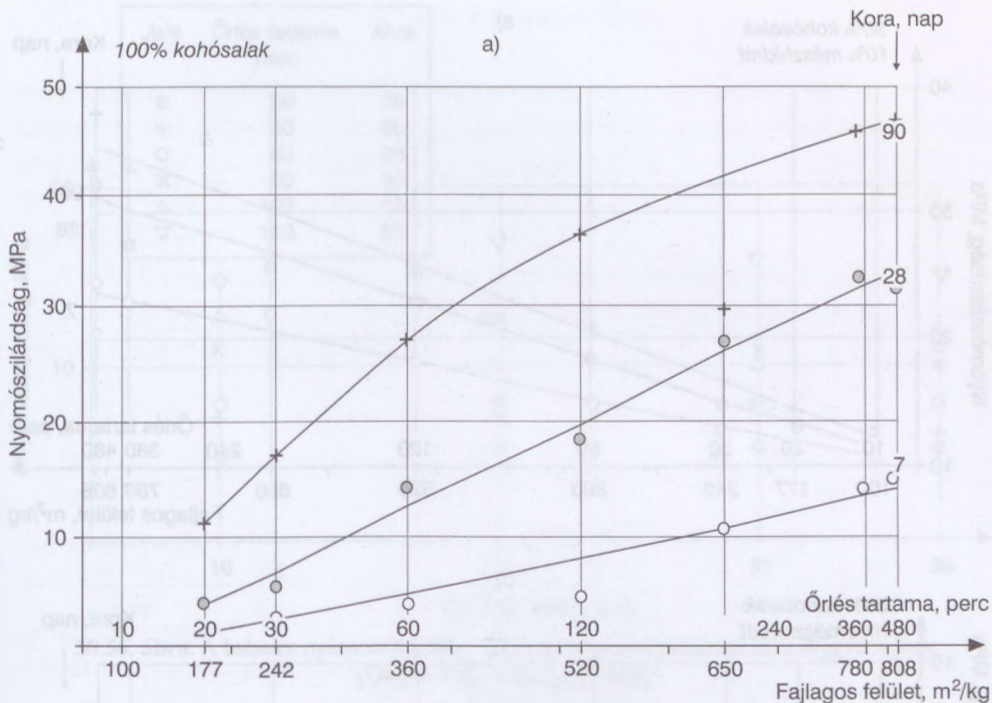


30.52. ábra. Habarcszestek szilárdsága a habarcs kora függvényében. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

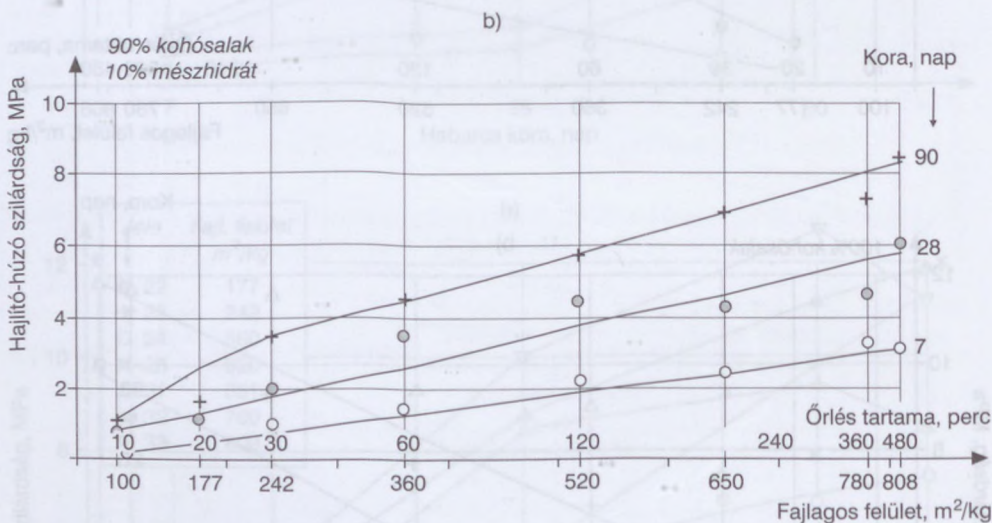
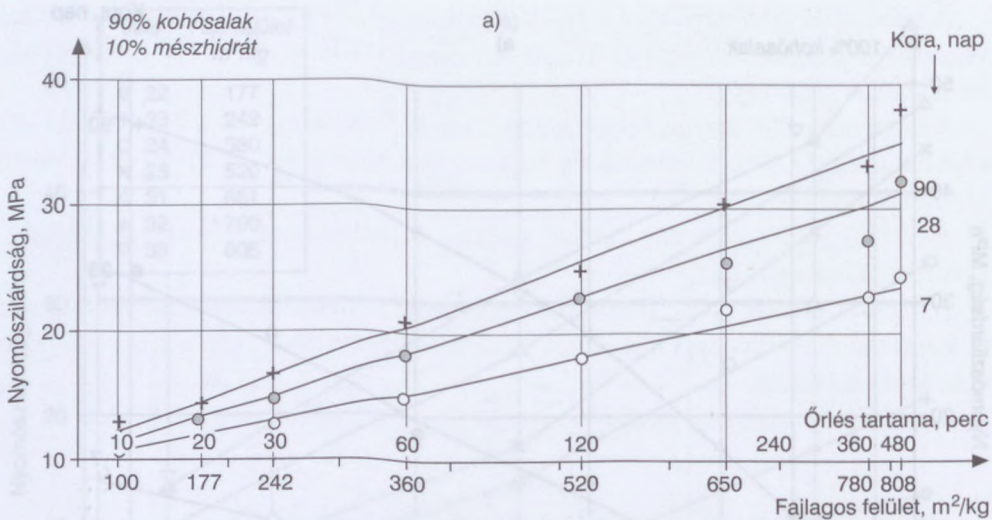


30.53. ábra. Habarcscetek szilárdsága a habarcscora függvényében. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]





30.54. ábra. Habarcestestek szilárdsága a habarcs kora függvényében. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]



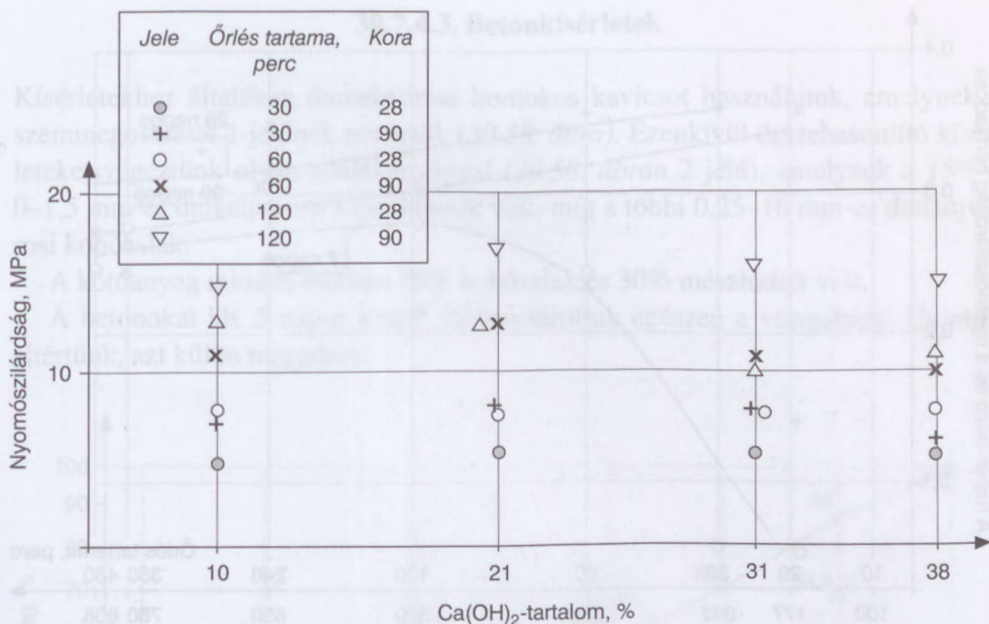
30.55. ábra. Habarcestestek szilárdsága a habarcs kora függvényében [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

### Az eredmények értékelése

A szilárdsági kísérletekből egyértelműen megállapítható, hogy a habarcs szilárdsága a habarcs korával – a vizsgált 140 napig – lineárisan nőtt (30.52.–30.55. ábra). A szilárdság a kohósalak fajlagos felülete függvényében is közel lineárisan változott. Az őrlés hatására mechanokémiai aktiválás nem jött létre.

A tiszta kohósalakkal jobb eredményt lehet elérni, mint ha a kötőanyag egy részét mészhidrát alkotta volna. Az *Útbetonkísérletek* 22. kutatási jelentés eredményeit is felhasználva szerkesztettük meg a 30.56. ábrát, amelyen a nyomószilárdságot a kötőanyag mészhidrátartalma függvényében ábrázoltuk. A mészhidrát mennyisége – a vizsgált kb. 40%-ig – alapvetően nem befolyásolta a szilárdságot.





30.56. ábra. A habarcs nyomószilárdsága a kötőanyag mészhidrát-tartalma függvényében [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

A legnagyobb szilárdságot tiszta kohósalak-kötőanyaggal érték el. A vizsgált tartományban a kohósalaknak mind az őrlési finomsága, mind a kora növelő tényező volt. A tendencia alapján úgy ítéljük meg, hogy a további utószilárdulás várható. Ha a kötőanyagot a 28 napos szilárdság alapján minősítenénk, akkor a 650–800 m<sup>2</sup>/kg Blaine szerinti fajlagos felületűek is csak 250-es cementnek felelnének meg. Ha azonban a 180 napos szilárdság alapján minősítenénk, akkor

a 360 m<sup>2</sup>/kg fajlagos felületű 250-esnek,

az 520 m<sup>2</sup>/kg fajlagos felületű 350-esnek,

a 650 és ennél nagyobb fajlagos felületű kohósalak 450-esnek volna minősíthető.

És még ehhez képest is megvolna a szokásos utószilárdulás.

A kohósalak-kötőanyaggal készített habarcsok relatív (a nyomószilárdsághoz viszonyított) hajlító-húzó szilárdsága a 30.57. ábra szerint nem független sem a habarcs korától, sem a kohósalak fajlagos felületétől. A fajlagos felületnek azonban csak fiatal korban és kb. 500 m<sup>2</sup>/kg fajlagos felületig van szerepe. Amint arra korábbi kutatási jelentésünkben is rámutattunk, a kohósalak a húzószilárdság szempontjából kedvezőbb, mint a tiszta cementek.

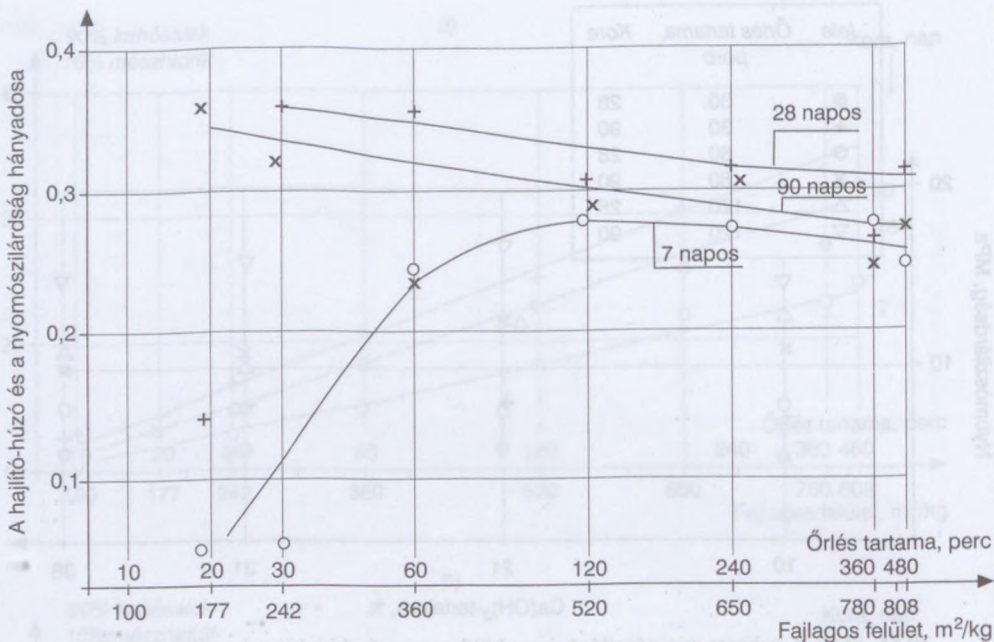
A kísérleteinkhez felhasznált kohósalak kémiai összetétele:

SiO<sub>2</sub> 38,56%

SO<sub>3</sub> 2,97%

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10,76%

CaO 40,80%



30.57. ábra. A hajlító-húzó szilárdság és a nyomószilárdság viszonya a fajlagos felület függvényében [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

MgO 4,35%

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,7%

izzítási növekedés 1,2%

A röntgendiffrakciós vizsgálat szerint ez a kohósalak kristályos fázist csak nyomokban tartalmazott, fő tömegét üveges váz alkotta. Elsősorban kalcium-alumínium-szilikátokból áll, melyek a belithez hasonlóan lassan szilárdulnak. A nagy fajlagos felületű kohósalaknak (>500 m<sup>2</sup>/kg) a 60–70%-a 30 μm-nél kisebb, és feltehető, hogy teljes keresztmetszetükben hidratálódnak. A nagyobb szemcséknél a belsejében – az instabil állapot következtében – idővel bekövetkezhet átalakulás az inaktív kalciumszilikátok irányába. Ez azonban a vizsgált időtartamig nem valószínű, hogy bekövetkezett.

A habarcestesteket kb. 60 napos korban derivatográfiai vizsgálatnak vetettük alá.

A diagramokból az nem mutatható ki, hogy a mészhidrát a kohósalakkal reakcióba lép. Viszont 900–1000 °C hőmérsékleten tömegnövekedéssel járó reakció játszódik le mészhidrát jelenlétében.

Végül megjegyezzük, hogy az eltört próbatesteknek (habarcsnak és betonnak) kékes törésfelülete és kénes szaga volt.

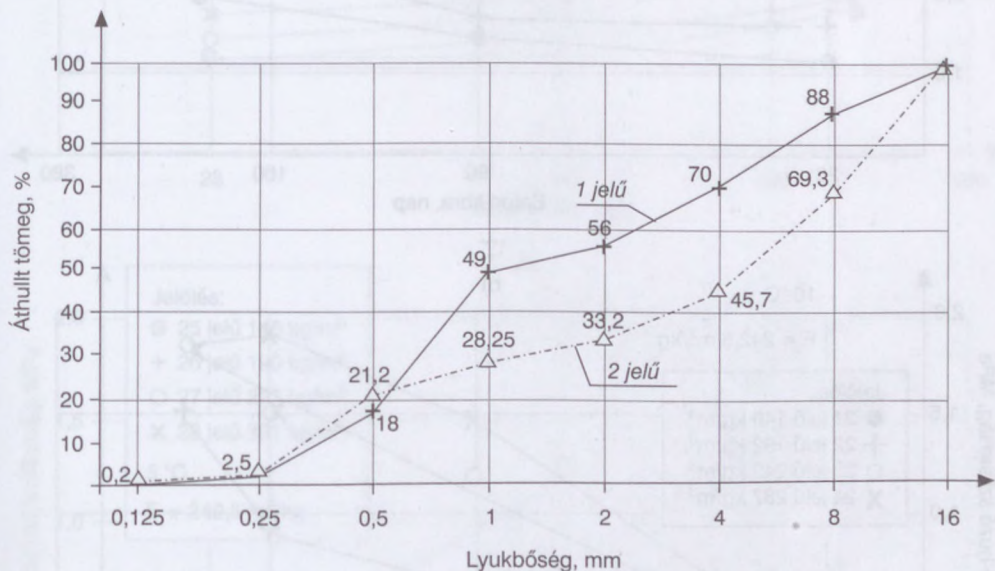


### 30.7.4.3. Betonkísérletek

Kísérletekhez általában dunaújívárosi homokos kavicsot használtunk, amelynek a szemmegoszlását 1 jelűnek neveztük (30.58. ábra). Ezenkívül összehasonlító kísérleteket végeztünk olyan adalékanyaggal (30.58. ábrán 2 jelű), amelynek a 15%-a 0–1,5 mm-es dunaújívárosi kvarchomok volt, míg a többi 0,25–16 mm-es dunaújívárosi kohósalak.

A kötőanyag minden esetben 70% kohósalak és 30% mészhidrát volt.

A betonokat kb. 5 napos kortól vízben tároltuk egészen a vizsgálatig. Ha ettől eltértünk, azt külön megadjuk.



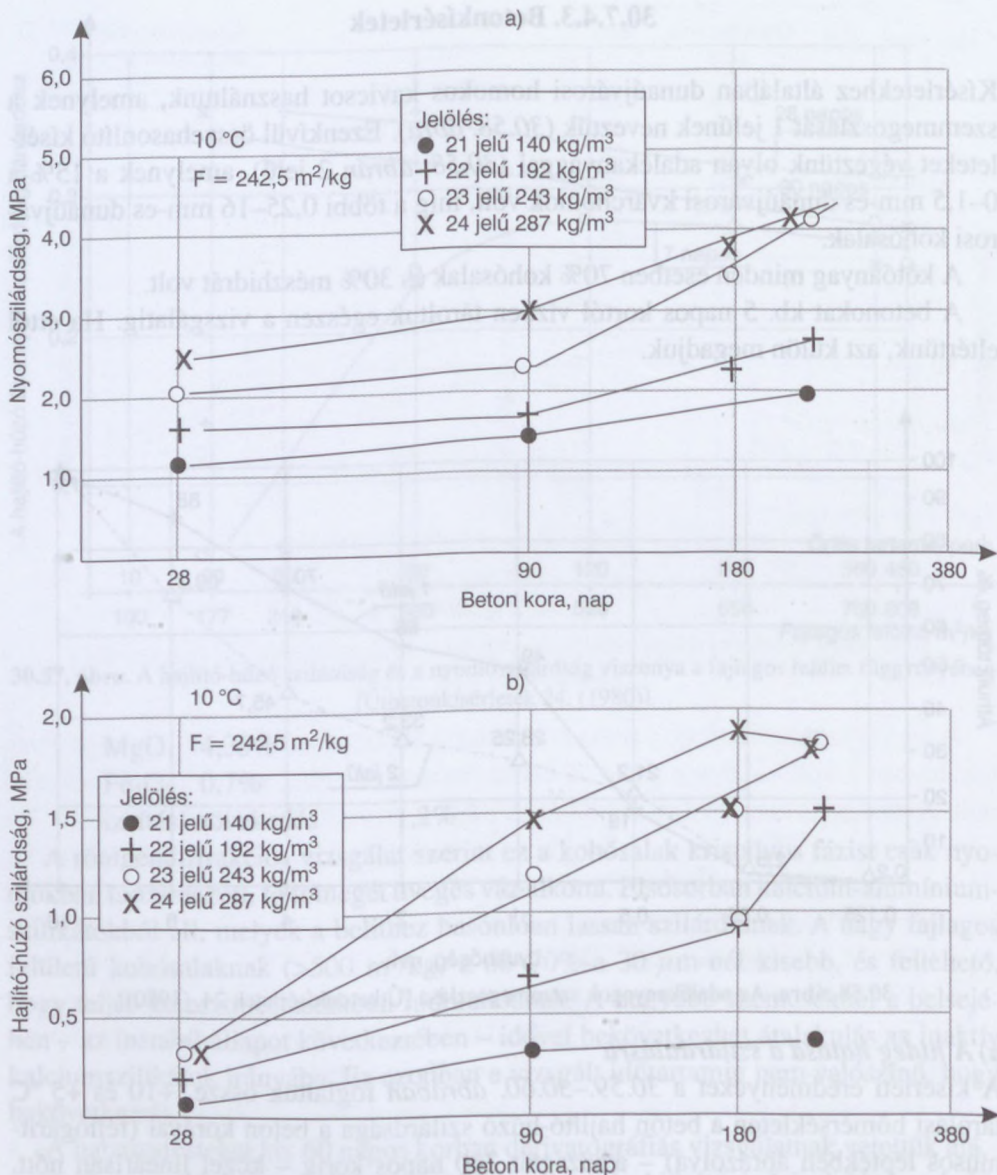
30.58. ábra. Az adalékanyagok szemmegoszlása [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

#### a) A hideg hatása a szilárdulásra

A kísérleti eredményeket a 30.59.–30.60. ábrában foglaltuk össze. +10 és +5 °C tárolási hőmérsékleten a beton hajlító-húzó szilárdsága a beton korával (féllogaritmikus léptékben ábrázolva) – a vizsgált 260 napos korig – közel lineárisan nőtt. Ugyanilyen léptékben ábrázolva a nyomószilárdságot, a növekmény a beton korával egyre nagyobb lett.

A hajlító-húzó szilárdság és a nyomószilárdság viszonyára egyértelműen megállapítható, hogy függ a

- beton korától (28 napos korban még kisebb, mint később, de 90, illetve 180 napos kortól ez a hatás lényegesen csökken);
- a kötőanyag-tartalomtól (telítetlen betonok esetében lényegesen kisebb, mint péptelített, illetve túltelített betonok esetén);

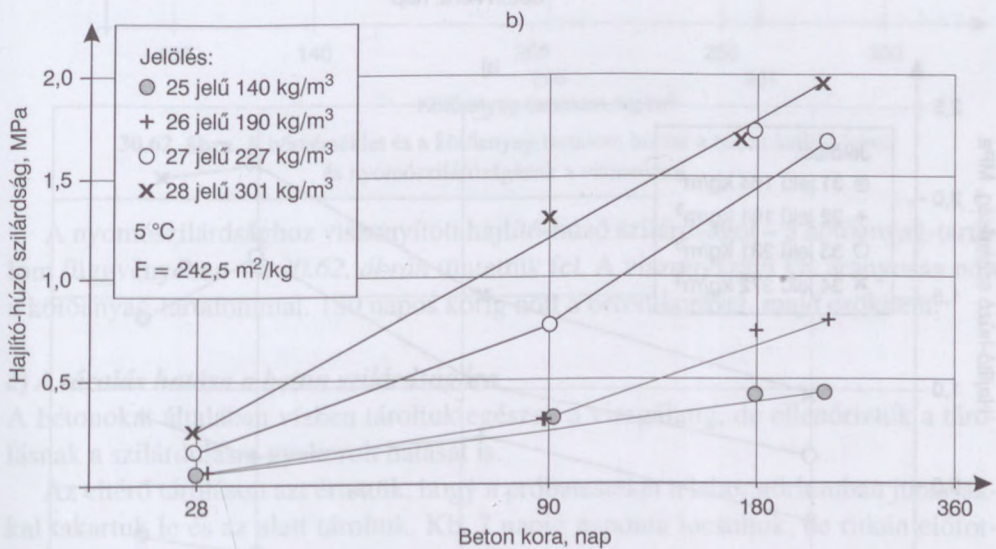
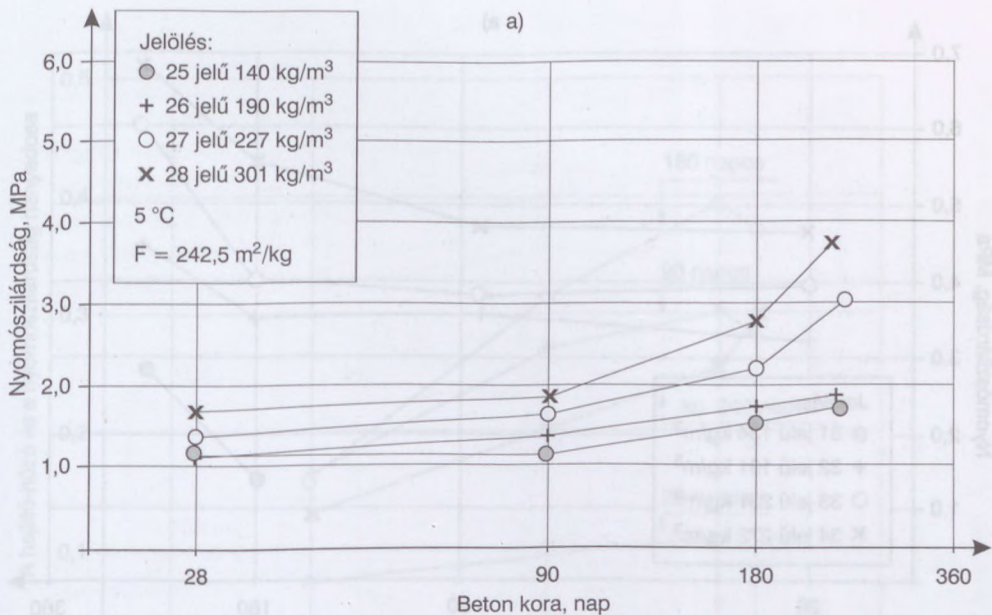


30.59. ábra. A beton szilárdulása 10 °C hőmérsékleten. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

– és függ a hőmérséklettől is. Úgy tűnik, hogy az 5–10 °C hőmérsékleten tárolás kedvező a viszonzszám szempontjából (a 20 °C hőmérsékleten tároltéhoz hasonlóan).

A betonok szilárdságát a tárolási hőmérséklet függvényében is vizsgáltuk. Minél idősebb a beton, annál inkább csökken a kisebb hőmérséklet szilárdságcsökkentő hatása. A tendencia nem egyforma nyomó-, illetve hajlító-húzó szilárdság esetén.



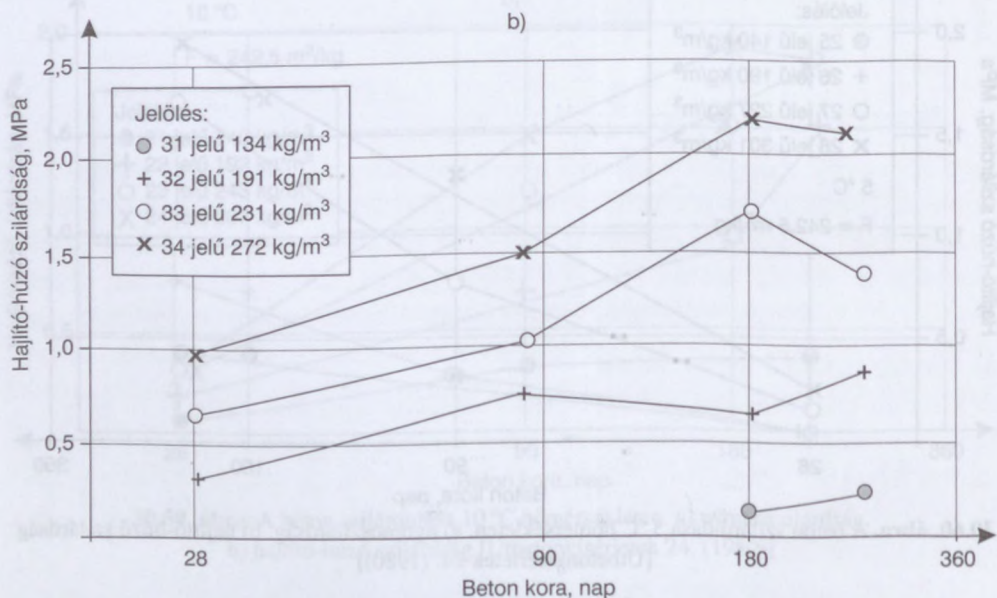
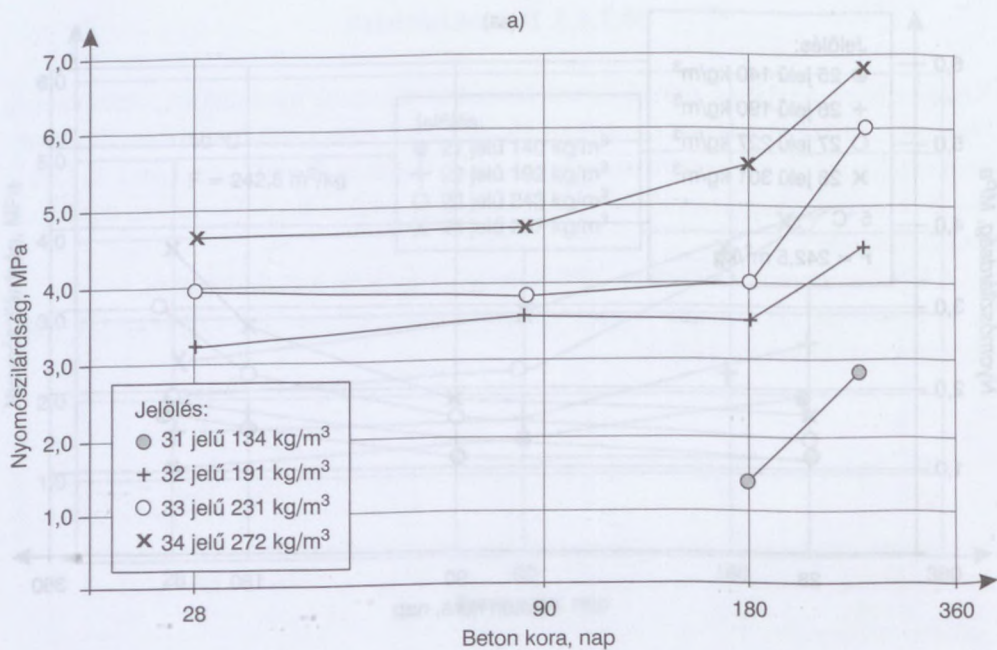


30.60. ábra. A beton szilárdulása 5 °C hőmérsékleten. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

### b) Az adalékanyag hatása

A 2 jelű salak adalékanyaggal készített betonok szilárdságának időbeni alakulását a 30.61. ábrán foglaltuk össze.

A 2 jelű adalékanyag, azonos korú betonnak nagyobb a szilárdsága, mint az 1 jelű kvarckavics-adalékanyagúé. Mivel lényegesen eltér a finomsági modulusok (mindkét esetben helyi építőanyagok lehetőleg természetes állapotban felhasználá-

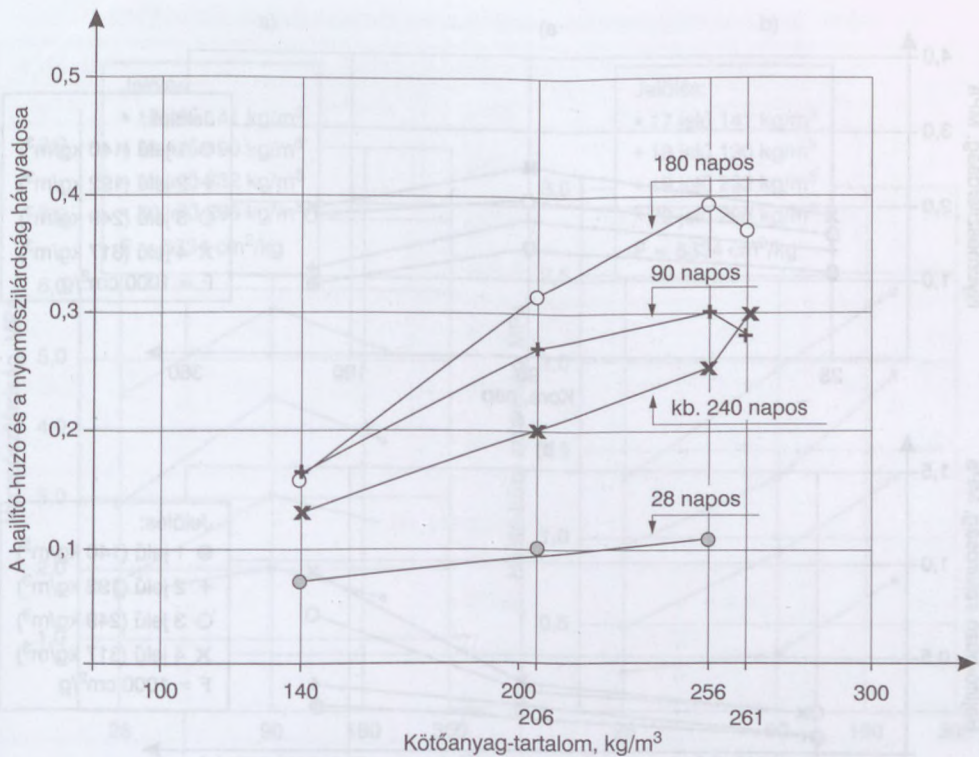


30.61. ábra. Kohósalak adalékanyagú betonok szilárdulása. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

sa volt a cél), a 30.61. ábrán csak a salak-adalékanyagos beton szilárdulását vizsgáltuk.

A nyomószilárdság a vizsgált 260 napig növekvő tendenciájú, míg a hajlító-húzó szilárdság 180 napos kor után fele esetben csökkent.





30.62. ábra. A hőmérséklet és a kötőanyag-tartalom hatása a beton hajlító-húzó és nyomószilárdságának a viszonyára

A nyomószilárdsághoz viszonyított hajlító-húzó szilárdságot – a kötőanyag-tartalom függvényében – a 30.62. ábrán tüntettük fel. A viszonyszám kb. arányosan nőtt a kötőanyag-tartalommal. 180 napos korig nőtt a beton korával, majd csökkent.

### c) A tárolás hatása a beton szilárdságára

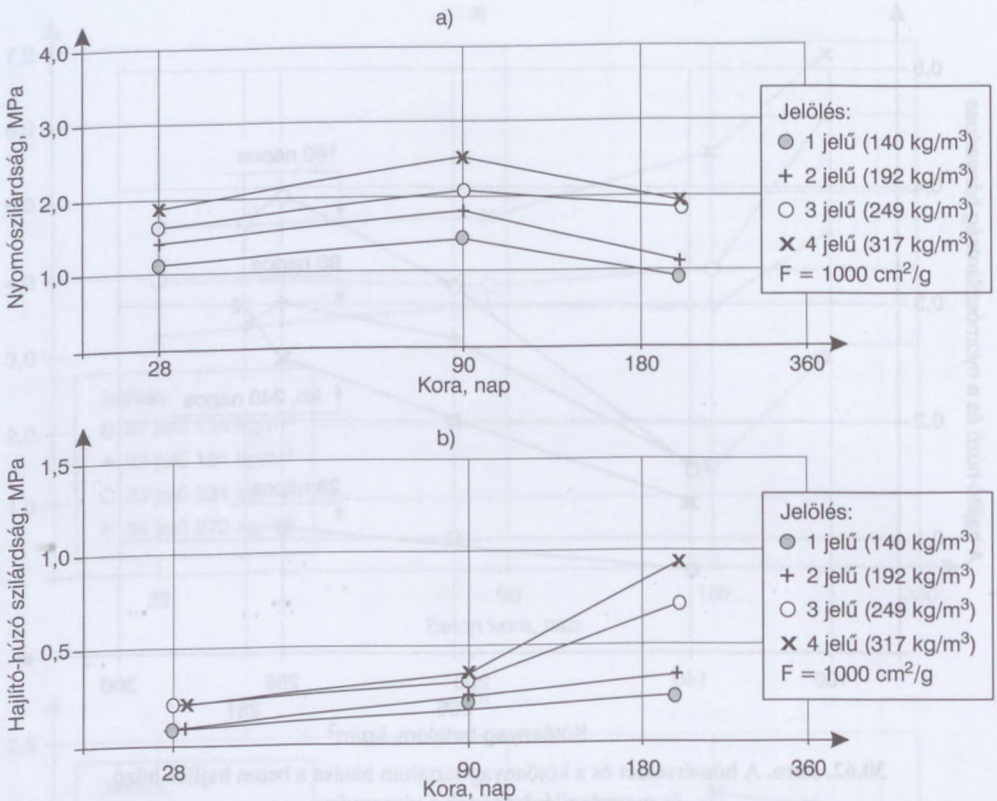
A betonokat általában vízben tároltuk egészen a vizsgálatig, de ellenőriztük a tárolásnak a szilárdulásra gyakorolt hatását is.

Az eltérő tároláson azt értettük, hogy a próbatesteket a laboratóriumban jutazsákkal takartuk le és az alatt tároltuk. Kb. 7 napig naponta locsoltuk, de ritkán előfordulhatott, hogy víz folyt alá.

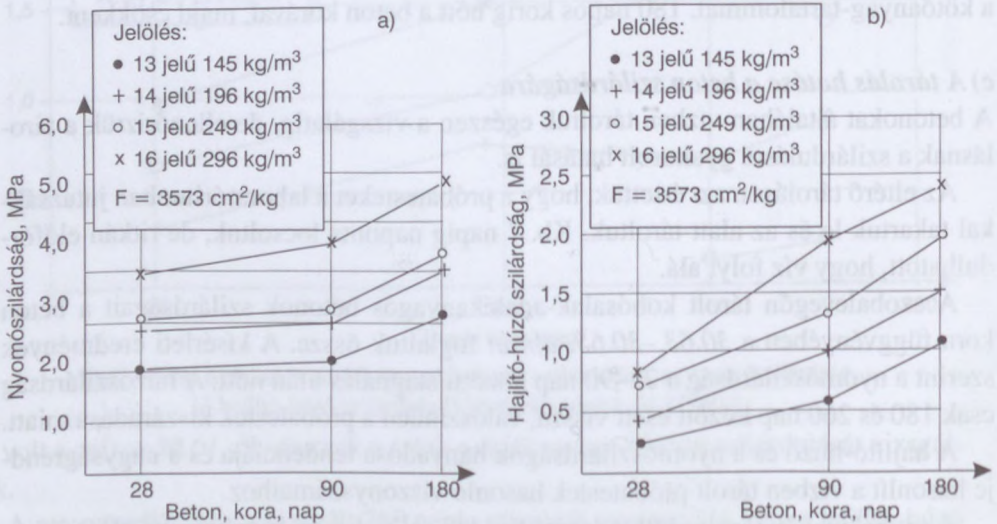
A szobalevegőn tárolt kohósalak-adalékanyagok szilárdságait a beton kora függvényében a 30.63.–30.65. ábrán foglaltuk össze. A kísérleti eredmények szerint a nyomószilárdság a 28–90 nap közötti stagnálás után nőtt. A húzószilárdság csak 180 és 260 nap között esett vissza, valószínűen a próbatestek kiszáradása miatt.

A hajlító-húzó és a nyomószilárdságok hányadosa tendenciája és a nagyságrendje hasonlít a vízben tárolt próbatestek hasonló viszonyszámaihoz.

A szobalevegőn tárolás különösen a kezdeti szilárdságot befolyásolta előnyösen.

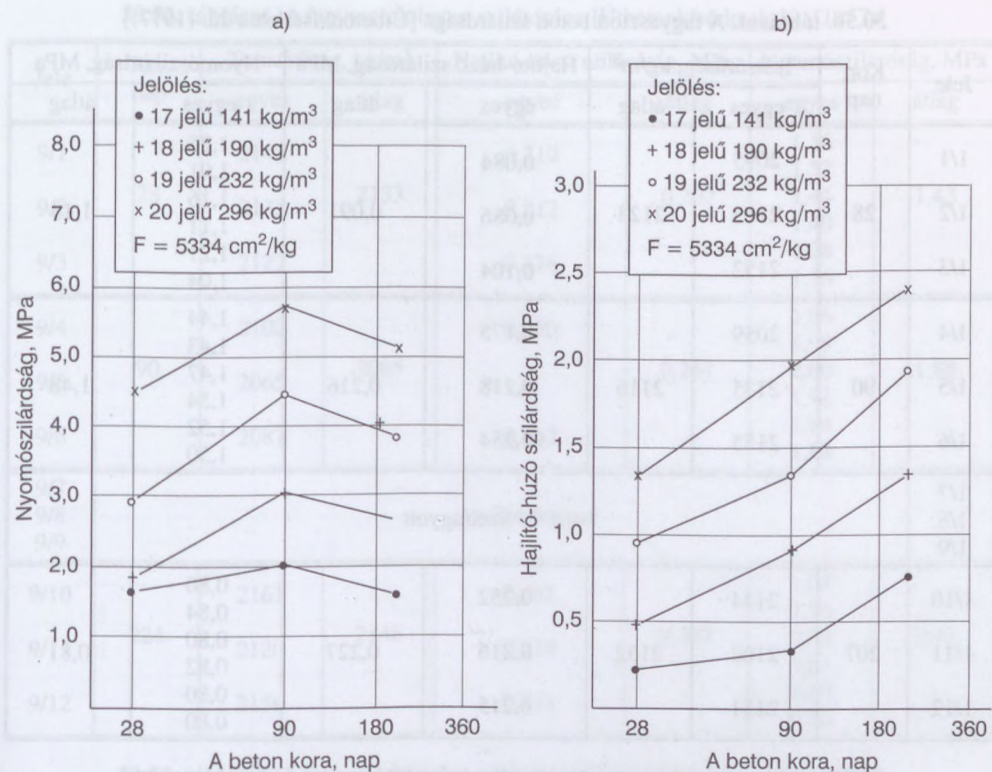


**30.63. ábra.** A beton szilárdsága a beton kora függvényében. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]



**30.64. ábra.** A beton szilárdsága a beton kora függvényében. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]





30.65. ábra. A beton szilárdsága a beton kora függvényében. a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

#### d) A betonok fagyállósága

Az 1–20 jelű betonokat fagyasztási kísérletnek vetettük alá.

A vizsgálat során a KMPSz Vt 5–72 A talajstabilizáció tervezésének laboratóriumi vizsgálatai c. ágazati szabvány előírásait tartottuk szem előtt.

Az első ütemben az 1–4, 9–12 és 17–20 jelű betonokat fagyasztottuk úgy, hogy azokat vízzel telt edénybe tettük, majd az edényt tettük a ciklusidőnek megfelelően a fagyasztókamrába, illetve a kb. 20 °C-os vízbe.

A második ütemben az 5–8 és a 13–16 jelű betonokat fagyasztottuk úgy, hogy azokat lyuggatott fenéklapú edénybe tettük, és abban az edényben tartva helyeztük a fagyasztókamrába, illetve vízbe.

A kísérleti eredményeket a 30.50.–30.54. táblázatban foglaltuk össze. Takarékosági okokból a fenti 20 betonból csoportonként egynek az eredményeit ismertetjük. E kísérletek befejeztével meghatároztuk a nem fagyasztott betonok szilárdságát is.

A kétféle fagyasztás közül a végig vízben tárolás jelentett nagyobb igénybevételt. A próbatetek nagy része szétfagyott. A fagyasztott próbatetek szilárdsága minden esetben kisebb volt, mint a nem fagyasztottaké, de egyértelműen megállapítható,

**30.50. táblázat.** A fagyasztott beton szilárdsága [Útbetonkísérletek 22. (1977)]

Jele	Kor, nap	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>		Hajlító-húzó szilárdság, MPa		Nyomószilárdság, MPa	
		egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag
1/1	28	2095	2123	0,084	0,091	1,25 1,01	1,13
1/2		2123		0,086		1,16 1,11	
1/3		2152		0,104		1,21 1,04	
1/4	90	2059	2116	0,175	0,216	1,44 1,43	1,48
1/5		2135		0,218		1,47 1,54	
1/6		2155		0,254		1,52 1,50	
1/7 1/8 1/9	Szétfagyott						
1/10	207	2144	2132	0,252	0,227	0,80 0,84	0,81
1/11		2102		0,216		0,80 0,82	
1/12		2151		0,215		0,80 0,80	

**30.51. táblázat.** A fagyasztott beton szilárdsága [Útbetonkísérletek 22. (1977)]

Jele	Kor, nap	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>		Hajlító-húzó szilárdság, MPa		Nyomószilárdság, MPa	
		egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag
5/1	28	2178	2191	0,199	0,206	1,46 1,42	1,44
5/2		2186		0,206		1,50 1,48	
5/3		2210		0,214		1,38 1,38	
5/4	90	2220	2209	0,217	0,214	1,52 1,60	1,65
5/5		2204		0,205		1,64 1,76	
5/6		2202		0,219		1,72 1,68	
5/7 5/8 5/9	Szétfagyott						
5/10	198	2290	2295	0,226	0,217	0,92 0,88	0,91
5/11		2323		0,198		0,88 0,80	
5/12		2273		0,225		1,00 1,00	



**30.52. táblázat.** A fagyasztott beton szilárdsága [Útbetonkísérletek 22. (1977)]

Jele	Kor nap	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>		Hajlító-húzó szilárdság, MPa		Nyomószilárdság, MPa		
		egyed	átlag	egyed	átlag	egyed	átlag	
9/1	28	2142	2133	0,219	0,202	1,56	1,43	
9/2		2133		0,212		1,52		
9/3		2123		0,176		1,44		
9/4	90	2102	2085	0,260	0,261	1,96	1,88	
9/5		2065		-		1,98		
9/6		2087				0,262		2,00
								1,72
9/7	Szétfagyott							
9/8								
9/9								
9/10	224	2161	2146	0,461	0,483	1,04	0,93	
9/11		2120		0,519		1,16		
9/12		2156		0,474		0,88		

**30.53. táblázat.** A fagyasztott beton szilárdsága [Útbetonkísérletek 22. (1977)]

Jele	Kor nap	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>		Hajlító-húzó szilárdság, MPa		Nyomószilárdság, MPa					
		egyed	átlag	egyed	átlag	egyed	átlag				
13/1	28	2207	2210	0,253	0,239	-	2,02				
13/2		2191		0,209		2,20					
13/3		2232		0,256		1,94					
13/4	90	2269	2269	0,579	0,584	2,16	2,20				
13/5		2253		0,543		1,84					
13/6		2285		0,631		1,96					
13/7	188	2245	2246	1,141	1,199	2,32	3,10				
13/8		2254		1,239		3,20					
13/9		2239		1,217		2,96					
13/10	211	2139	2662	239	0,239	3,04	0,54				
13/11		Szétfagyott									
13/12											

**30.54. táblázat.** A fagyasztott beton szilárdsága [Útbetonkísérletek 22. (1977)]

Jele	Kor nap	Testsűrűség, kg/m <sup>3</sup>		Hajlító-húzó szilárdság, MPa		Nyomószilárdság MPa,			
		egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag		
17/1	28	1933	1916	0,222	0,224	1,54	1,62		
17/2		1902		0,220		1,72			
17/3		1912		0,230		1,70			
17/4	90	2175	2195	0,347	0,338	2,12	1,99		
17/5		2187		0,335		2,04			
17/6		2222		0,333		1,92			
17/7	180			0,11	0,11	1,28	1,22		
17/8		Szétfagyott				1,16			
17/9									
17/10	214	2189	2189	0,775	0,772	1,60	1,51		
17/11		2189		0,712		1,48			
17/12		2188		0,831		1,44			

hogy a nagyobb kötőanyag-tartalmúak és nagyobb fajlagos felületű kohósalakkal készítették jobban ellenálltak a fagynak.

**e) A betonok rugalmassági modulusa**

A 10–12 jelű kvarckavics-adalékanyagos és a 31–34 jelű kohósalak-adalékanyagos betonnak meghatároztuk a rugalmassági modulusát és egyes esetekben felvettük a teljes feszültség-összenyomódási  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramot. A mérést 12×12×36 cm-es hasábkon végeztük el. A betonok összetételét a 30.55. táblázat tartalmazza.

A rugalmassági modulusokat úgy határoztuk meg, hogy a hasábszilárdság 0,1–0,3-szeresének megfelelő feszültségtartományban 10-szeri terheléssel-tehermentesítéssel kiejtettük a maradó alakváltozást. Ezt a rugalmassági modulusot jelöltük  $E_{0,3}$ -mal.

A hasábszilárdságokat és az  $E_{0,3}$  rugalmassági modulusokat a 30.56. táblázatban foglaltuk össze.

A betonok hasábszilárdságát a kötőanyag-tartalom függvényében a 30.66. ábrán tüntettük fel.

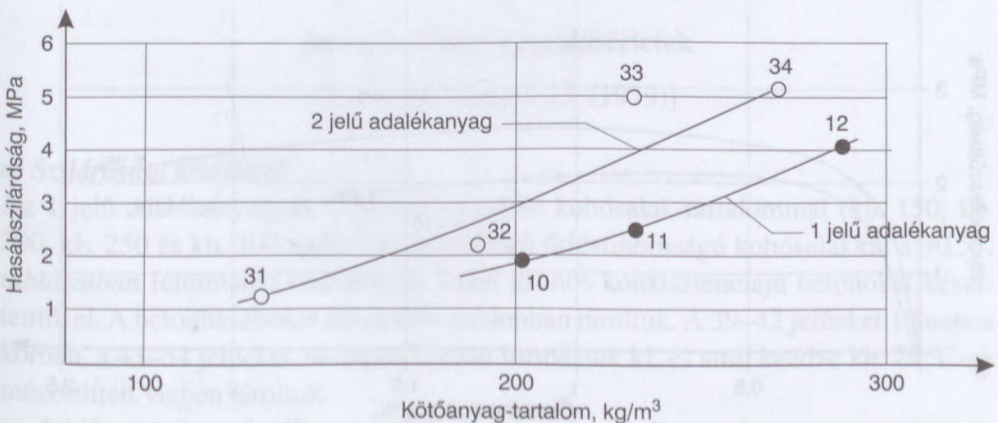


30.55. táblázat. A friss beton összetétele

Beton jele	Adalékanyag	Kohósalak fajlagos felülete, cm <sup>2</sup> /g	Kötőanyag: víz: adalékanyag	Kötőanyag, kg/m <sup>3</sup>
10	1	2425 (30 perces őrlés)	1:1,1:9,5	193
11			1:1,88:7,4	242
12			1:0,75:6	292
31	2	2425 (30 perces őrlés)	1:1,8:13,3	138
32			1:1,25:9,5	188
33			1:1,12:7,0	240
34			1:0,9:6	272

30.56. táblázat. A friss beton összetétele

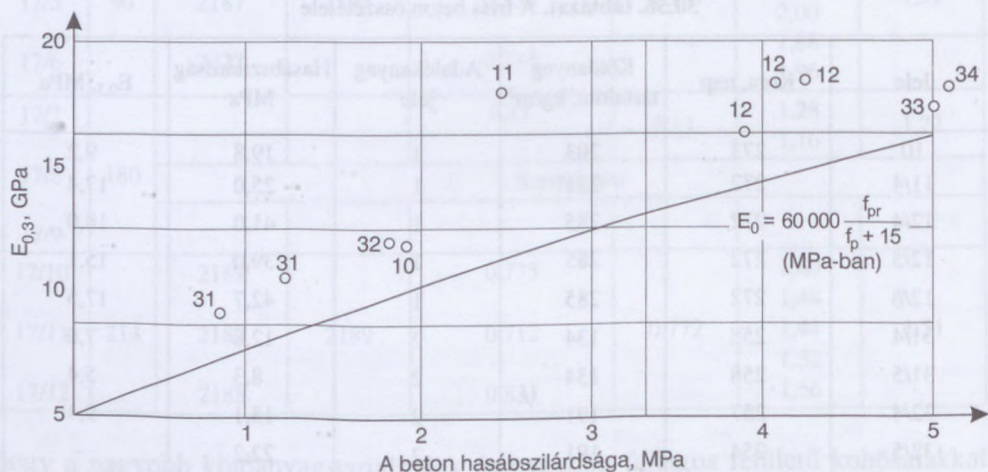
Jele	Kora, nap	Kötőanyag tartalom, kg/m <sup>3</sup>	Adalékanyag jele	Hasábszilárdság MPa	E <sub>0,3</sub> , MPa
10	273	203	1	19,8	9,2
11/4	272	231	1	25,0	17,4
12/4	272	285	1	41,0	18,0
12/5	272	285	1	39,0	15,1
12/6	272	285	1	42,7	17,5
31/4	258	134	2	12,8	7,0
31/5	258	134	2	8,3	5,4
32/4	257	191	2	18,1	9,4
32/5	254	191	2	22,2	–
33/4	236	231	2	50,0	16,5
34/4	236	272	2	50,7	17,8
34/5	236	272	2	50,7	–



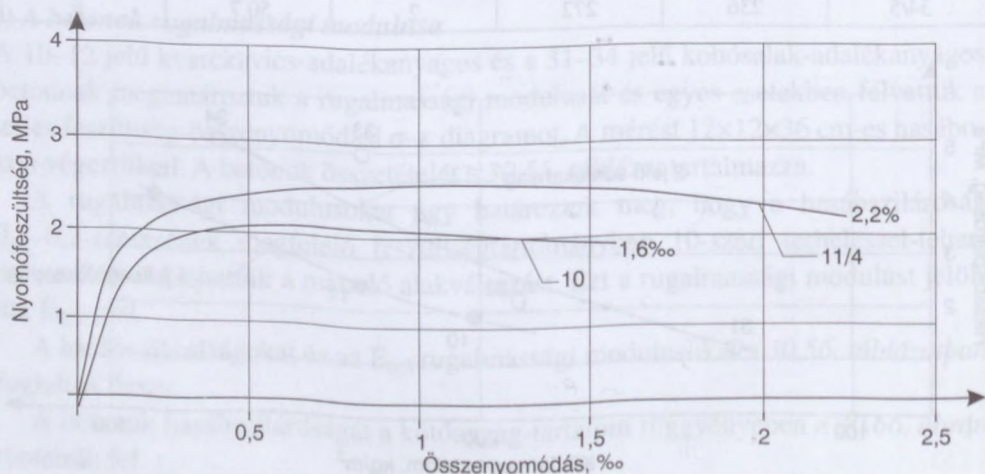
30.66. ábra. A betonok hasábszilárdsága a kötőanyag-tartalom függvényében [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

Az  $E_{0,3}$  rugalmassági modulusokat a hasábszilárdság függvényében a 30.67. ábrán ábrázoltuk. Az ábrán megrajzolt folytonos vonal a Roš által megadott képlet szerinti kezdeti rugalmassági modulusot szemlélteti a hasábszilárdság ( $f_{pr}$ ) függvényében. A kísérletből kapott rugalmassági modulusok e görbe felett helyezkednek el. Ez azzal magyarázható, hogy a betont vízben tároltuk egészen a vizsgálatig. Mivel a víz összenyomhatatlan, ezért a vízzel telített beton rugalmassági modulusa nagyobb lesz, mint a vízzel csak részben telítetté. A képlet – véleményünk szerint – használható a kezdeti rugalmassági modulus becslésére.

Végül a vizsgált betonok  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramjait a 30.68.–30.70. ábrákon foglaltuk össze. Mindegyik betonnak nagy volt a képlékeny alakváltozása. A kohósalak-adalékos betonoké nagyobb volt a kvarckavics-adalékosokénál.

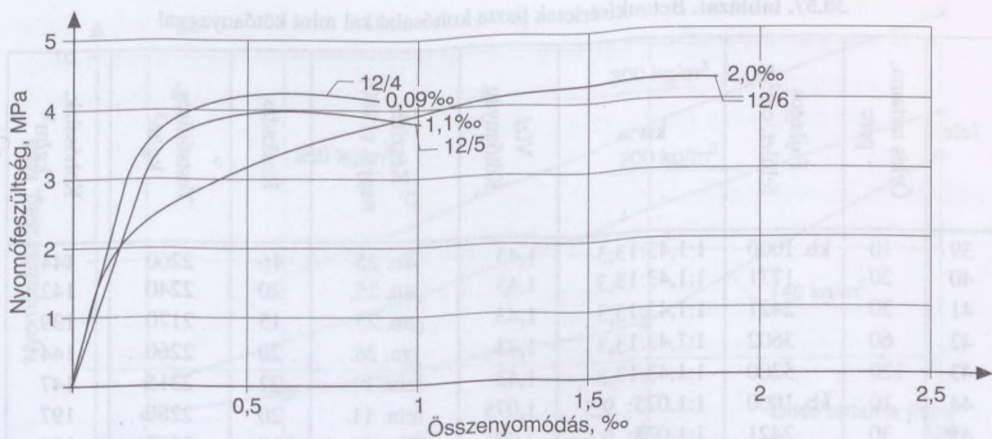


30.67. ábra. A kezdeti rugalmassági modulus a hasábszilárdság függvényében [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

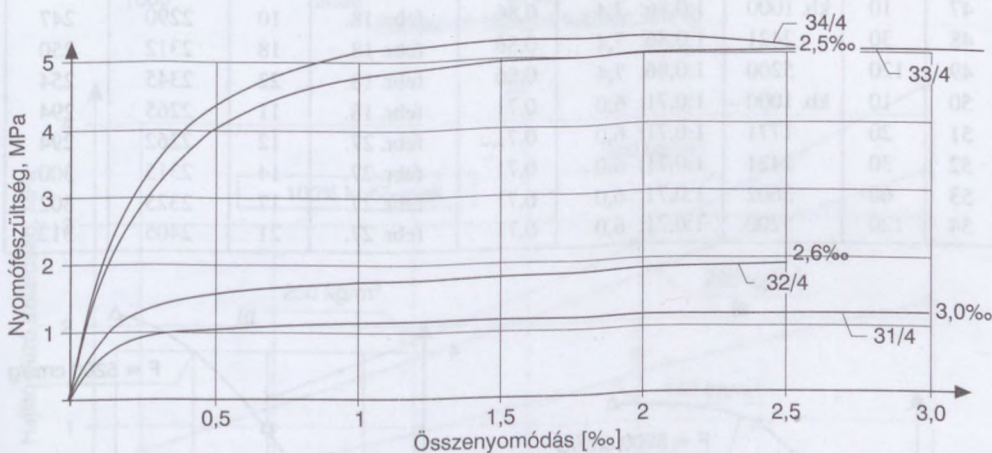


30.68. ábra. 10 és 11 jelű betonok  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramja [Útbetonkísérletek 24. (1980)]





30.69. ábra. 12 jelű betonok  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagramja [Útbetonkísérletek 24. (1980)]



30.70. ábra. 31-34 jelű betonok  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagramja [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

#### 30.7.4.4. Újabb betonkísérletek

[Útbetonkísérletek 23. (1979)]

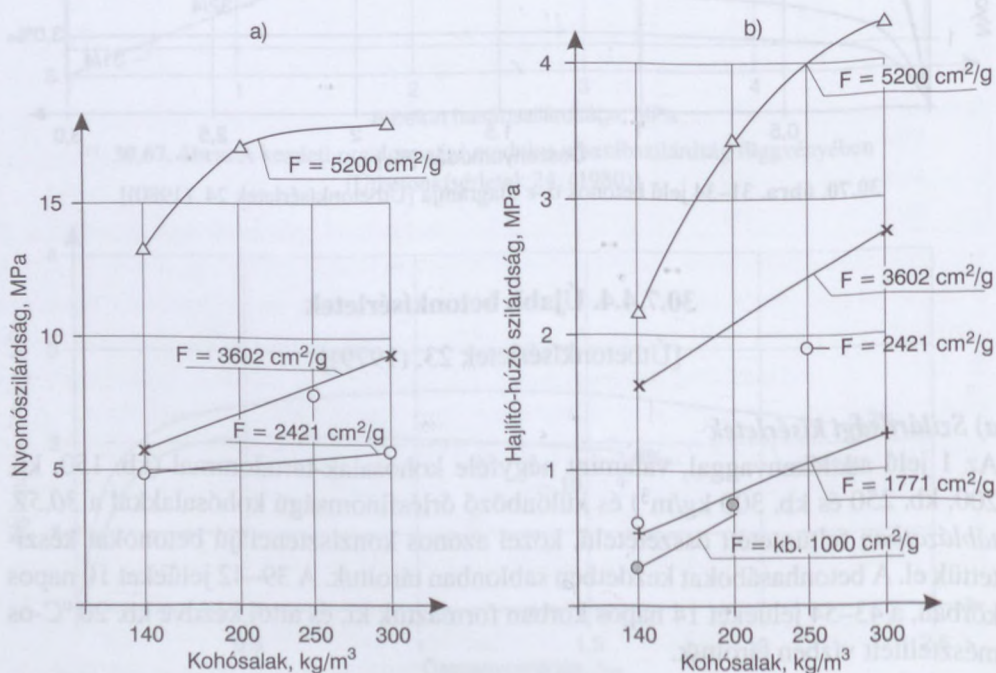
##### a) Szilárdsági kísérletek

Az 1 jelű adalékanyaggal, valamint négyféle kohósalak-tartalommal (kb. 150, kb. 200, kb. 250 és kb. 300 kg/m<sup>3</sup>) és különböző őrlésfinomságú kohósalakkal a 30.57. táblázatban feltüntetett összetételű, közel azonos konzisztenciájú betonokat készítettük el. A betonhasábokat kezdetben sablonban tároltuk. A 39-42 jelűeket 10 napos korban, a 43-54 jelűeket 14 napos korban formáztuk ki, és attól kezdve kb. 20 °C-os mérszélített vízben tároltuk.

A kiformázás során, illetve vízbehelyezés után a próbatestek egy része szétázott. 28 napos korban így kevés eredményünk volt. A rendelkezésünkre álló idő alatt a 28,

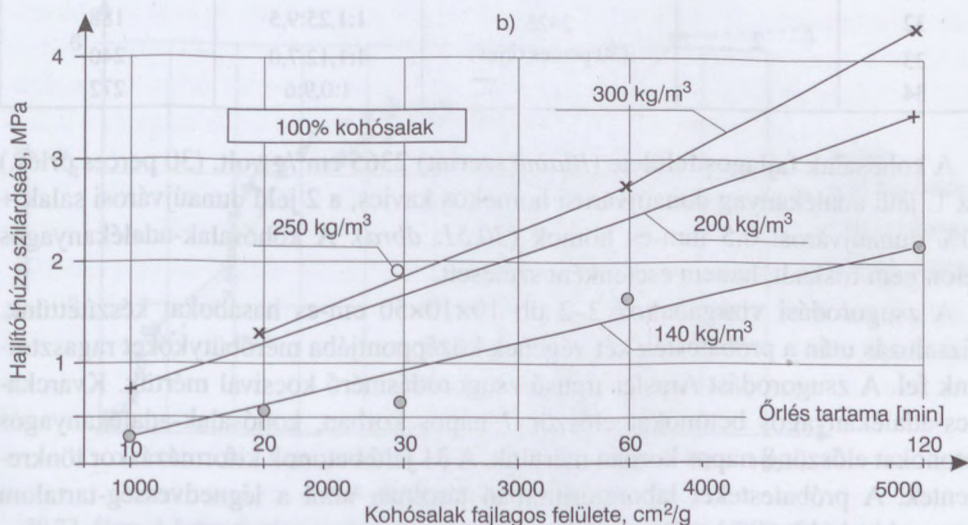
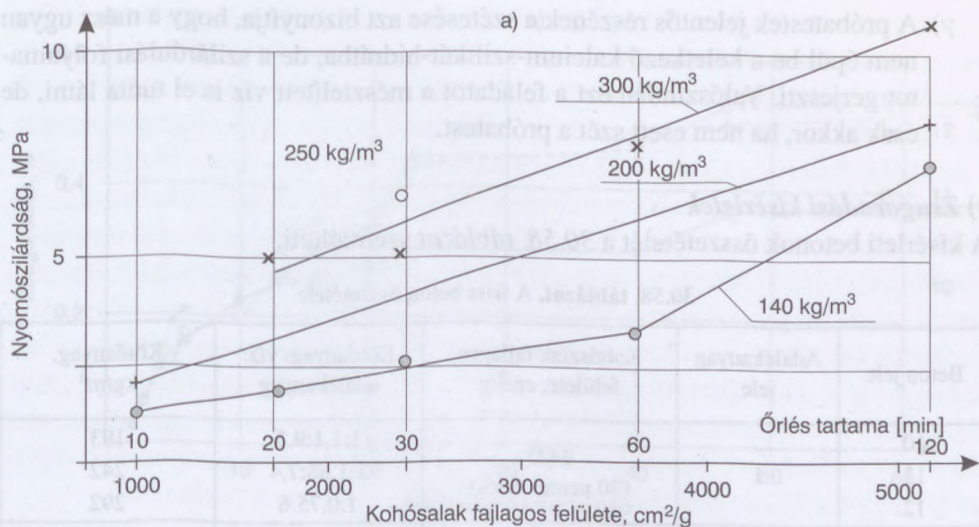
30.57. táblázat. Betonkísérletek tiszta kohósalakkal mint kötőanyaggal

Jele	Örlés tartama, perc	Fajlagos felület, cm <sup>2</sup> /g	k:v:a	Víz/ Kötőanyag	Készítés napja, (1980)	Roskadás	Testtűrség, kg/m <sup>3</sup>	Kohósalak, kg/m <sup>3</sup>
39	10	kb. 1000	1:1,43:13,3	1,43	jan. 25.	16	2260	144
40	20	1771	1:1,43:13,3	1,43	jan. 25.	20	2240	142
41	30	2421	1:1,43:13,3	1,43	jan. 25.	15	2170	139
42	60	3602	1:1,43:13,3	1,43	jan. 26.	20	2260	144
43	120	5200	1:1,43:13,3	1,43	febr. 11.	22	2315	147
44	10	kb. 1000	1:1,075: 9,5	1,075	febr. 11.	20	2280	197
45	30	2421	1:1,075: 9,5	1,075	febr. 11.	18	2285	198
46	120	5200	1:1,075: 9,5	1,075	febr. 11.	22	2310	200
47	10	kb. 1000	1:0,86: 7,4	0,86	febr. 18.	10	2290	247
48	30	2421	1:0,86: 7,4	0,86	febr. 18.	18	2312	250
49	120	5200	1:0,86: 7,4	0,86	febr. 18.	22	2345	254
50	10	kb. 1000	1:0,71: 6,0	0,71	febr. 18.	11	2265	294
51	20	1771	1:0,71: 6,0	0,71	febr. 27.	12	2262	294
52	30	2421	1:0,71: 6,0	0,71	febr. 27.	14	2315	300
53	60	3602	1:0,71: 6,0	0,71	febr. 27.	17	2325	302
54	120	5200	1:0,71: 6,0	0,71	febr. 27.	21	2405	312



30.71. ábra. A kb. 90 napos beton szilárdsága. a) nyomószilárdság; b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]





30.72. ábra. A kb. 90 napos beton szilárdsága a kohósalak órlesi finomsága függvényében.  
a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

a 90 napos vizsgálatot végeztük, de az eltérő készítési és azonos vizsgálati idő miatt koruk eltérő volt.

A kísérleti eredmények alapján az alábbiakat állapítjuk meg:

- a) A rendelkezésre álló – viszonylag kevés – adatból szerkesztettük meg a 30.71. ábrát. A beton kohósalak-tartalma növekedésével mind a nyomó-, mind a hajlító-húzó szilárdság nőtt. A hajlító-húzó szilárdság növekménye nagyobb fajlagos felületű kohósalak használata esetén nagyobb volt.
- β) Hasonlóan a szabványos kötőanyag-kísérletekhez a szilárdság – 90 napos korban – kb. arányosan nőtt a fajlagos felülettel (30.72. ábra).

γ) A próbatestek jelentős részének a szétesése azt bizonyítja, hogy a mész ugyan nem épül be a keletkező kalcium-szilikát-hidrátba, de a szilárdulási folyamatot gerjeszti. Valószínűen ezt a feladatot a mésztelített víz is el tudta látni, de csak akkor, ha nem esett szét a próbatest.

### b) Zsugorodási kísérletek

A kísérleti betonok összetételét a 30.58. táblázat szemlélteti.

30.58. táblázat. A friss beton összetétele

Beton jele	Adalékanyag jele	Kohósalak fajlagos felülete, cm <sup>2</sup> /g	Kötőanyag: víz: adalékanyag	Kötőanyag, kg/m <sup>3</sup>
10	1	2425 (30 perces őrlés)	1:1,1:9,5	193
11			1:1,88:7,4	242
12			1:0,75:6	292
31	2	2425 (30 perces őrlés)	1:1,8:13,3	138
32			1:1,25:9,5	188
33			1:1,12:7,0	240
34			1:0,9:6	272

A kohósalak fajlagos felülete (*Blaine* szerint) 2365 cm<sup>2</sup>/g volt. (30 perces őrlés.) Az 1. jelű adalékanyag dunaujvárosi homokos kavics, a 2 jelű dunaujvárosi salak + 10% dunaujvárosi 0,5 mm-es homok (30.51. ábra). A kohósalak-adalékanyagos beton nem roskadt, hanem esetenként szétesett.

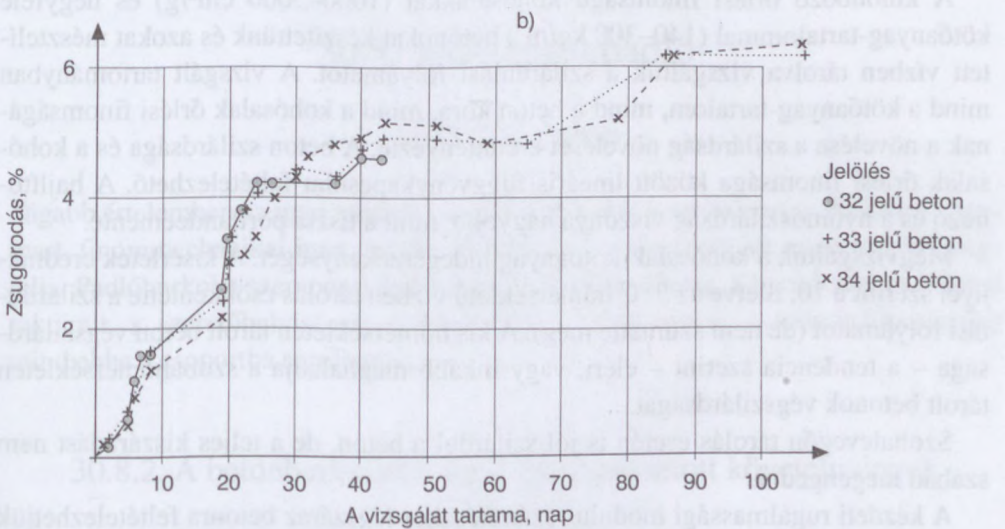
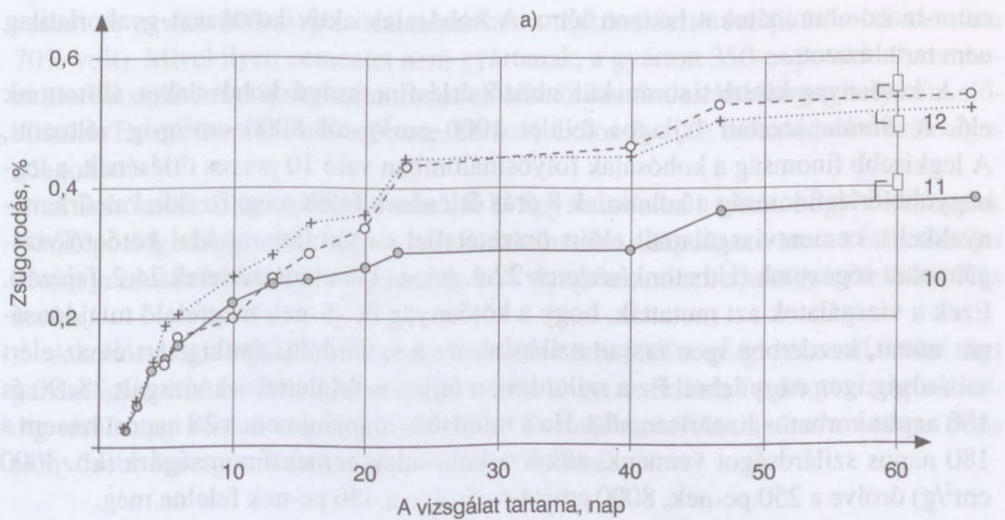
A zsugorodási vizsgálathoz 2–2 db 10×10×50 cm-es hasábokat készítettünk. Kizsaluzás után a próbatestek két végének középpontjába mérőbütyköket ragasztottunk fel. A zsugorodást Amsler típusú zsugorodásmérő kocsival mértük. Kvarckavics-adalékanyagos betonokat először 7 napos korban, kohósalak-adalékanyagos betonokat először 8 napos korban mértünk. A 31 jelű betonok kiformázáskor tönkrementek. A próbatesteket laboratóriumban tároltuk, ahol a légnedvesség-tartalom nagyon kicsi (40–60%) volt.

Az átlageredményeket a 30.73. ábrán szemléltettük.

A kétféle beton zsugorodása között nagy a különbség. A kvarckavics-adalékanyagos betonok zsugorodása megfelelt a várakozásnak. A zsugorodás nagy része lejátszódott az első 20 nap alatt, a nagyobb kötőanyag-tartalmú betonnak nagyobb volt a zsugorodása és a zsugorodás nagyságrendje is megfelelt a cementkötésű betonokénak.

A kohósalak-adalékanyagos betonok zsugorodása lassabban játszódott le, mint a kvarckavics-adalékanyagosaké és egy nagyságrenddel nagyobb volt annál. A kötőanyag-tartalomtani eltérés a zsugorodást számottevően nem befolyásolta.





30.73. ábra. A betonok zsugorodása. a) kvarckavics-adalékanyagos, b) kohósalak-adalékanyagos [Útbetonkísérletek 24. (1980)]

### 30.7.4.5. Összefoglalás

A kutatás célja az volt, megvizsgáljuk, hogy a dunaújvárosi granulált kohósalakot milyen feltételek között lehet kötőanyagként felhasználni. Továbbá feladat volt dunaújvárosi természetes adalékanyaggal, illetve kohósalakkal kis szilárdságú beton kikísérletezése.

A vizsgált kohósalak teljesen üveges szerkezetű volt, amely képes volt arra, hogy vízzel a cement szilárdulása során is keletkező kalcium-hidro-szilikátokat és kal-

cium-hidro-aluminátokat hozzon létre. A kohósalak aktív kovasavat gyakorlatilag nem tartalmazott.

A kötőanyag-kísérlet során különböző őrlésfinomságú kohósalakot állítottunk elő. A *Blaine* szerinti fajlagos felület 1000 cm<sup>2</sup>/g-tól 8000 cm<sup>2</sup>/g-ig változott. A legkisebb finomság a kohósalak folyósmalomban való 10 perces őrlésének, a legnagyobb őrlésfinomság a kohósalak 8 órás őrlésének felelt meg. Ezekkel az őrlémennyekkel a cementvizsgálatnál előírt összetétellel és tárolási móddal kötőerő-vizsgálatokat végeztünk (Útbetonkísérletek 22.4. fej. és Útbetonkísérletek 24.2. fejezet). Ezek a vizsgálatok azt mutatták, hogy a kötőanyag BC<sub>2</sub>S-nek megfelelő tulajdonságot mutat, kezdetben igen lassan szilárdul, de a szilárdulás éveig tart és az elért szilárdság igen nagy lehet. Ez a szilárdság a fajlagos felülettel – a vizsgált 28, 90 és 180 napos korban – lineárisan nőtt. Ha a minősítés alapjául nem a 28 napos, hanem a 180 napos szilárdságot vennénk, akkor a kohósalak cementfinomságúra (kb. 3000 cm<sup>2</sup>/g) őrlve a 250 pc-nek, 8000 cm<sup>2</sup>/g-ra őrlve a 450 pc-nek felelne meg.

A különböző őrlési finomságú kohósalakkal (1000–5000 cm<sup>2</sup>/g) és négyféle kötőanyag-tartalommal (140–300 kg/m<sup>3</sup>) betonokat készítettünk és azokat mésztelített vízben tárolva vizsgáltuk a szilárdulási folyamatot. A vizsgált tartományban mind a kötőanyag-tartalom, mind a beton kora, mind a kohósalak őrlési finomságának a növelése a szilárdság növelését eredményezte. A beton szilárdsága és a kohósalak őrlési finomsága között lineáris függvénykapcsolat feltételezhető. A hajlítóhúzó és a nyomószilárdság viszonya nagyobb, mint a tiszta portlandcementé.

Megvizsgáltuk a kohósalak-kötőanyag hidegérzékenységét. A kísérletek eredményei szerint a 10, illetve az 5 °C hőmérsékletű vízben tárolás csökkentette a szilárdulási folyamatot (de nem szüntette meg). A kis hőmérsékleten tárolt beton végszilárdsága – a tendencia szerint – eléri, vagy inkább meghaladja a szobahőmérsékleten tárolt betonok végszilárdságát.

Szobalevegőn tárolás esetén is jól szilárdul a beton, de a teljes kiszáradást nem szabad megengedni.

A kezdeti rugalmassági modulus számításakor légszáraz betonra feltételezhetjük a *Roš*-képlet érvényességét.

A kvarckavics-adalékanyagos beton a vártak megfelelően 0,4–0,6%-ot zsugorodott. A kohósalak-adalékanyagos beton zsugorodása ennek kb. a 10-szerese volt. Ennek okát tovább kellene vizsgálni.

12-szeres fagyasztási ciklussal vizsgáltuk a beton fagyállóságát. A kis fajlagos felületű kohósalakkal készített, kis kötőanyag-tartalmú betonok általában szétfagytak, a többinek is lényegesen csökkent a szilárdsága a nem fagyasztottéhoz képest.

A kohósalaknak mint kötőanyagnak a felhasználása során figyelembe kell venni, hogy a kohósalak ugyan nem lép reakcióba a mésszel, de a szilárdulási folyamat elindításához alkalikus közegre szükség van. Külföldön állítanak elő 20% klinkert és 80% kohósalakot tartalmazó portlandcementet. Az alkalikus közeget ez esetben a cement szilárdulása során felszabaduló Ca(OH)<sub>2</sub> biztosította. Hazánkban a hejő-



csabai és a váci 300-as pc. összetételében megközelítette ezt (kohósalak-tartalma 70% volt). Mivel ilyen cementet nem gyártanak, a gyártott 350-es pc-ekkel szembeni kisebb szilárdsági igény miatt indokolt lehet a kohósalak kötőanyag helyszíni előállítás. Ez esetben, ha nincs benne klinker, akkor 5–10% mészhidrátot szükséges adagolni.

A kohósalak felhasználása során azt is figyelembe kell venni, hogy a kohósalak kötőképessége függ attól, hogy a kohósalak instabil állapotban van, s a felhasználni kívánt granulált kohósalakot ugyanúgy kell vizsgálni, mint cementgyári felhasználás során.

A kohósalakot legalább cementfinomságúra (kb. 3000 cm<sup>2</sup>/g) célszerű őrölni. Azt gazdasági számításokkal célszerű eldönteni, hogy az őrlésre fordított energia meddig térül meg kémiai energia (szilárdság) formájában. Valószínűen a nedves őrlés előnyösebb (energiatakarékosabb) a száraz őrlésnél.

## 30.8. Ipari betonpadló

### 30.8.1. Fogalma

Tágabb értelemben az ipari termelés igen széles körű, a nehézipart, cellulozo-, vegyipart, finommechanikai ipart, textil-, élelmiszer-, gyógyszeripart mind magába foglalja. Padlóburkolat szempontjából az ipar, a mezőgazdaság, a kereskedelmi hálózat raktárait, a szerelőhelyiségeit, a laboratóriumi helyiségeit, a szervizállomásokat mind ebbe a csoportba sorolhatjuk.

### 30.8.2. A betonburkolattal szemben támasztott követelmények

A betonburkolattal szemben támasztott követelmények közé sorolhatók:

- Kellő teherbírás (a gördülő, csúsztatott, ütő-, lökésszerű terhelésre ne repedezzen meg).
- Kopási ellenállás (a felületi töredezés, porlás az egészségre káros, azonkívül élelmiszer-, finommechanikai üzemekben a terméket is tönkretetheti).
- Kellő vegyi ellenállás (savak, lúgok, olajok, zsírok, vegyszerek hatására ellenállás).
- Szikrabiztonság.
- Csúszásmentesség.
- Repedésállóság (a hibás tervezés, kivitel, zsugorodás, kiüregelődés miatt repedések léphetnek fel).
- Fagyállóság, ha a burkolat szabadban van.

h) Sózásállóság, ha a burkolatot télen sózzák.

*A meghibásodások visszavezethetők alábbiakra*

a) Hibás szerkezetre (a terhelés helytelen feltételezése, hibás fugatervezés és kivitel, nem megfelelő és korróziós anyag elvezetése, nem megfelelő alépítmény).

b) Hibás kivitelre (porozó felületréteg, felületi pattogzás, zsugorodási repedések, hibás betonszilárdítás).

c) Túl gyenge, illetőleg rossz anyagminőségre (ez kopás, terhelés hatására repedés, vegyszer okozta károsodás).

Továbbiakban vezérfonalnak a hazánkban az ipari padló terén legnagyobb tapasztalatú *Polgár* László ügyvezető igazgató *Új tendenciák az ipari padlók építésében* című cikkét tekintettük.

### 30.8.3. Történeti visszatekintés

[*Polgár* (1995)]

#### 30.8.3.1. Ipari padlók az Európai Unióban

1987-ben és 1991-ben rendezték meg az első, illetve második nemzetközi *Iparipadló-konferenciát* Esslingenben. Az első konferencia 612 oldalas, a második konferencia 800 oldalas kiadványa átfogóan ismerteti az ipari padlókkal kapcsolatos problémákat és megoldásokat – ebben a vonatkozásban a legjobban használható anyagoknak mondhatók.

A ma is legtöbbet idézett szakkönyv, *Lohmayer: Betonpadlók az ipari építésben – csarnokokban és szabad téren*, 1988-ban jelent meg németül harmadik kiadásban, szintén összefoglaló tartalmú. Az *Industriebau* kiadvány mellékleteiben szinte napra készen követhetők a tendenciák.

Csupán Németországban mintegy 17 millió  $m^2$  ipari padlót építenek évente, 40–50-szer annyit, mint Magyarországon (1995). Érthető tehát, hogy részletesebb szakirodalom áll az építők rendelkezésére, aminek tanulmányozása alapján a következő általános tendenciák állapíthatók meg:

- Az alépítménnyel szembeni követelmények egyre szigorúbbak (a minimálisan megkövetelt ágyazási tényező  $k=0,06 \text{ N/m}^3$ ).
- a vákuumozás kiszorulóban van a betonkészítésből, helyette szuperfolyósítókkal csökkentik le a víz-cement tényezőt.
- A padló alá bitumenes szigetelést csak a pincékben készítenek, és ha a talajvíz a padló alsó síkja közelében van (kevesebb mint egy méterre).
- A padló alá két réteg polietilén fóliát teszünk, amely csúszóréteggént is működik.



- A dilatációs táblák méretének növelésére törekszenek (10×10 m-ig).
- A napi padlóépítés minimális teljesítménye 600 m<sup>2</sup>, lézerautomatával vezérelt betonterítő gépek esetében 3000–4000 m<sup>2</sup>.
- A padlószervezetek 60%-a vasalatlan, esetleg acélszállal erősített.
- A hegesztett hálók visszaszorulnak, azokat kizárólag bordázott betonacélból készítik.
- Az előírt betonszilárdság C25/30 (ENV 206).
- A kopásállóságot speciális szárazhabarcs kötés előtti bedörzsölésével, beglettelésével növelik.
- A műanyag bevonatok esetében az azonnali felvitelre törekszenek, az epoxi-burkolathoz a felületet golyószórással durvítják.

A betonpadlók kivitelezéséhez használt korszerű berendezések között a 90-es évek *slágere* a *Laser Screed* betonpadló-készítő gép. A gép hidraulikusan működtetett, 7 m-ig kinyúló teleszkopikus karjának végén van a 4 m fesztávolságú terítő teknő. Ennek mindkét végén lézerezékelő van. A bedolgozó egységet számítógép vezérli. A fix síkú lézersugár a teknő mindkét oldalán levő lézerezékelőkre impulzusokat ad. Ezeket az impulzusokat dolgozza fel a számítógép ötször másodpercenként és adja a parancsot ugyanilyen ritmusban a magasság korrigálására.

A géppel csak vasalatlan vagy acélszállal beton készíthető. A transzportbetont közvetlenül a bedolgozás helyén, a bedolgozó gépbe ürítik. A géppel nyolcórás műszakban 2500 m<sup>2</sup> betonpadló készítése lehetséges. Mindezek alapján érthető, hogy a korábban ismert módszerek – vezető sín, vibrogerenda, vákuumozás – miért szorultak háttérbe. Az építési idők rövidülése, a számítógéppel vezérelt berendezések így forradalmasítják az ipari padlók építését is.

A padlóépítési téma természetesen az Európai Unióban sincs kimerítve. A konferenciák megrendezésének főbb indokait idézte *Polgár* (1995) a bevezető előadásból.

- Hiányoznak a teljes körű, egységes műszaki irányelvek, szabályok.
- Nincs olyan irodalom, amely a legújabb helyzetet megfelelően feldolgozná.
- Az új, illetve javított tulajdonságú anyagok bevezetésében végbemenő jelentős fejlődés az alkalmazás módszereit is megváltoztatja.
- Le kell vonni a káresetek tanulságait, amelyek az anyagokkal és technológiákkal kapcsolatos ismeretek hiánya miatt fordultak elő.
- Mindezek miatt (német területen!) halaszthatatlanul szükséges teendők (1995):
- A gyakorlat számára olyan segédletek készítése, amelyek a szakembereknek felvilágosítást adnak a legfontosabb kérdésekre és a betanításhoz is megfelelő tájékoztatást tartalmaznak.
- A megbízó és a vállalkozó együttdolgozásához az alapok megteremtése.
- A vegyi anyagokkal – elsősorban a savvédelemmel – kapcsolatos szabályok és felelősség tisztázása.



### 30.8.3.2. A hazai helyzet

[Polgár (1995)]

Az ipari padlókkal kapcsolatos, átfogó magyar nyelvű szakirodalom szinte teljesen hiányzik. A tervezői kiírások alig változtak az elmúlt 20 év alatt (1995).

A külföldi építész irányításával készített terveken – nálunk is – megjelentek a nyugati padlószerkezetek. Például az ASA Építőipari Kft. által készített padlók már európai szintű elvárásoknak felelnek meg. Az ilyen padlókat tervező *Plan 31 Mérnök Kft.* és a kivitelező *ASA Építőipari Kft.* a fejlesztés elismeréséül megkapta az *Innovációs Nagydíjat*.

Hazai viszonylatban számottevő – legalább 50 000 m<sup>2</sup>/év – ipari padló-referenciával a fentiekén kívül a *HÍRŐS Építőipari Kivitelező, Szolgáltató és Tervező Kft.* (Kecskemét, Bajnok u. 3.) rendelkezik. Más, ipari padló készítésére specializálódott kivitelező kevés. Az egész témát úgy kezeli a szakma, mint ha valami nagyon egyszerű, kis jelentőségű dologról volna szó. Az ellenkezőjének bizonyítása céljából tekintsünk meg néhány szám adatot arra vonatkozólag, hogy milyen súllyal szerepel egy ipari vagy kereskedelmi csarnok építési költségei között a padló. Az egyszerűség kedvéért az összehasonlítást csak a padló–teherhordó szerkezet–tető bontásban végezzük el. E célból vizsgált [Polgár (1999)] egy 6×24 m pillérállású, 6 m belmagasságú csarnokot a *Plan 31 – ASA* vázszerkezettel, a már ismert megoldásokkal, egy *olcsó* (pl. egyszerű raktár) és egy *drága* (pl. élelmiszerüzem) padlóval.

Az egyes szerkezetrészek ára a következő (1995):

- Padló I. (olcsó): 25 cm homokos kavics ágyazat, 2 réteg PE fólia, 15 cm betonlemez C25 minőségi jelű, géppel simítva: 3000, Ft/m<sup>2</sup>.
- Padló II. (drága): 25 cm zúzalékos ágyazat, 2 cm finom kiegyenlítő réteg, 2 réteg PE fólia, 25 cm vasalt betonlemez C25 minőségű, 8/150/150 mm-es dupla hálós vasalással, 2 mm vastag epoxitartalmú műanyag burkolat (nagy teherbírású, kopásálló, vegyszerálló „szuper” padló): 13 000,- Ft/m<sup>2</sup>.
- Vasbeton váz: vasbeton kehelyalapok, befogott vasbeton pillérek, feszített vasbeton tetőgerendák: 5000,- Ft/m<sup>2</sup>.
- Tető trapézlemez, ásványgyapot hőszigetelés, mechanikusan rögzített csapadékvíz elleni szigetelés: 6000, Ft/m<sup>2</sup>.

*A szerkezetek összes költsége*

- az I. alternatívában 14 000,- Ft/m<sup>2</sup>, ebből a padlószerkezet ára 21,4%.



## 30.8.4. Tervezés, építés

### 30.8.4.1. Tervezés: alapelvek, terhek, zsugorodás

[Polgár (1995)]

Az ipari padló szerkezetének megválasztása az *építész és a statikus* közös feladata, aminek során az építmény technológiai követelményei és a rendelkezésre álló kivitelezési technológiák egyaránt meghatározóak. A szerkezetet a statikus tervező méretezi, aki ha lelkiismeretesen kezd hozzá, mindjárt az elején nehézségei támadnak az alapelvek és a szabványok kiválasztásában.

Az EC 2T.1/2.2.1.1. szakasz szerinti teherbírasi határállapotba azok az állapotok tartoznak, amelyek a tartószerkezet tönkremenetelével az élet- és vagyónbiztonságot veszélyeztetik. A padlók esetében eléggé nyilvánvaló, hogy a *használhatósági határállapotok a mértékadóak* (alakváltozás, repedések, beton károsodása stb.), ezért a használhatósági kritériumokat kell nagyon pontosan meghatározni.

A használhatósági határállapotokra az EC 2/2.3.4. szakasza szerint a biztonsági tényező ajánlott értéke 1,0, amelyet a nemzeti szabályozásnak kell pontosítania. Ebből is látszik, hogy milyen sürgős lenne a padlók méretezésének szabályozása.

Az MSZ 15020 alapján nem olyan egyértelmű a határállapot megválasztása, mint az EC szerint. A tervezők az MSZ 15020/2.4. szakaszára hivatkozva (bármilyen jellegű törés a szerkezetben) gyakran a padlóra is a teherbírasi határállapotot tekintik a méretezés alapjának. Feltételezhető azonban, hogy az MSZ alkotói a megfogalmazáskor nem éppen a padlólemez törésére gondoltak, hiszen a drasztikus elmozdulás kizárása miatt ennek kockázata lényegesen kisebb, mint a tartószerkezet töréséé általában. A padlókat az MSZ alapján is a használati határállapotra kell méretezni – legalábbis szerinte –, mégpedig elsősorban a repedéskorlátozási határállapotra. Ilyenkor a terhek alapértékével szabad számolni, de figyelembe kell venni más, az adott szerkezet működőképességét befolyásoló hatások érvényesülését is.

A tartószerkezet meghatározó igénybevételei általában a terhekből adódnak, a hőmérséklet-változás, zsugorodás hatása jelentéktelenebb. A padlók esetében azonban sokszor tapasztalhatjuk, hogy a szerkezet már akkor átreped, amikor még terhelést sem kapott. Ezért a padlólemez méretezésekor a zsugorodásból származó igénybevételeket a terhekével azonos súllyal kell vizsgálni.

A terhekből adódó igénybevételek számításához a legtöbbször a rugalmasan ágyazott lemezekre vonatkozó, ún. Westergaard-képleteket használják, amelyeknek egyes tényezői önmagukban is alapos megfontolást igényelnek. Így pl. egyetlen P koncentrált erő esetében

$$\sigma_{\max} = \frac{0,316P}{h^2} \left( \log \frac{Eh^3}{kr^4} - 0,436 \right)$$



ahol

- $E$  a beton rugalmassági tényezője, amelynek értéke más egy targonca esetében (rövid idejű teher) és ismét más a raktárpalcokból adódó teherre. Az előbbi esetben  $E=20\,000\text{ N/mm}^2$ , míg az utóbbiban  $10\,000\text{ N/mm}^2$ -rel számolhatunk;
- A  $k$  ágyazási tényező terhelési vizsgálattal határozható meg, ez ma még nem jellemző. A külföldi gyakorlat szerint  $k_{\min}=0,06\text{ N/mm}^3$  már igen jó érték (a lépésben haladó, 5 t keréknyomású teherautó ne hagyjon 5 mm-nél mélyebb nyomot);
- $r$  a terhelési felület helyettesítő sugara, amelynek meghatározásához pontos (rendszerint hiányzó) adat szükséges a polcláb vagy targoncakerék méretéről stb.;
- Végül  $h$  a padlólemez vastagsága, amit az ökölszabályok szerint szokás felvenni.

A jellemzők ismeretében, illetve tisztázása után a húzófeszültségek kiszámítása már csak egy-egy képletbe való behelyettesítést igényel.

A zsugorodás hatását – a tapasztalata szerint – a szerkezettervezők többnyire elfelejtik számításba venni. Kétségtelen, hogy ha szabadon elmozdulhatna a beton-tábla az alépítményen, a zsugorodás hatásával nem kellene foglalkozni, mert a rövidülést semmi sem gátolná. A gátlást viszont nem tudjuk teljesen kizárni, de a mértéke nagyon tág határok között mozoghat.

Ha az alépítmény egyenetlen, a beton beékelődik az ágyazatba, és átrepedése még jelentős mennyiségű betonacéllal sem akadályozható meg. Újabban egy vagy két réteg polietilén fólia csúszóréteggént való beépítésével szereztek kedvező tapasztalatokat, de a fólia csak akkor csökkenti jelentős mértékben a súrlódást – és ezáltal a zsugorodás okozta húzófeszültséget –, ha alatta sima ágyazat van. Ez elérhető pl. úgy, hogy az ágyazatra kb. 2 cm homokterítést készítenek, és arra terítik a fóliát, amely egyben a talajpára elleni szigetelésül is szolgál.

A tényleges igénybevétel függ a zsugorodás, illetve rövidülés mértékétől is. A zsugorodás mértékének csökkentésére nagy erőfeszítéseket tesznek a padlóépítő cégek. A csökkentés eszközei: a cementtartalom csökkentése, a víz-cement tényező csökkentése, adalékszerek és új technológiák alkalmazása.

A vasalatlan betonpadlóknál a fő problémát az jelenti, hogy a betonlemez átrepedése után új, rövidebb zsugorodási egységek képződnek és a repedés a zsugorodás folytatódása miatt tovább nyílik. Vasalt padlók esetében – legyen az hegesztett hálavasálás vagy csak acélhaj – lényegében megmarad az eredetileg tervezett dilatációs egység.

Az eddigiekből látható, hogy a zsugorodás figyelembevétele a méretezésnél csak pontatlanul lehetséges. Egy  $q$  terhelésű,  $l$  hosszúságú,  $h$  vastagságú lemezben a zsugorodás okozta húzófeszültség közelítően

$$\sigma = \frac{\mu q l}{h}$$



A zsugorodás mértékét befolyásoló  $\mu$  súrlódási tényező jelentősen függ a kivitelezési technológiától.

### 30.8.4.2. Kivitelezés

[Polgár (1995)]

A padlószerkezet sajátosságai miatt viszonylag *nagy húzószilárdságú, kis zsugorodású beton készítésére kell törekedni*. Ennek elérésére az 1970-es évek vége felé kezdett elterjedni Magyarországon a vákuumozás, amely akkor a padlóképzési problémák *üdvözítő* megoldásának tűnt. Az elve egyszerű: a vákuumozással eltávolítják a kapillárisokban levő vizet a betonból, s eközben a nyomás tömöríti is a betont. Akkor még nem tudhattuk, hogy Nyugat-Európában már újabb technológiák kezdtek kiszorítani a vákuumozást. Az egyik legnagyobb padlóképző európai cég – amely a debreceni Metro áruház padlójának felső rétegét is kivitelezte, és évi kb. 7 millió m<sup>2</sup>-rel előkelő helyet foglalt el a padlóépítő cégek között – az 1980-as évek elejétől már csak folyósítóval dolgozik, a vákuumozást abbahagyta. Az ASA Építőipari Kft., amely – még mint 31 ÁÉV – Magyarországon az elsők között volt a vákuumozás alkalmazásában, 1991-ben tért át az AVENARIUS cég RAVENIT 77 márkajelű folyósítójának használatára. A HIRÖS Kft. sohasem vákuumozott, hanem az intenzív betontömörítést – nagy hatásfokú préslevegős vibrátorokkal, nagy frekvenciájú finiserrel – érte el, és a debreceni Metro áruház építésénél szintén áttért a folyósító használatára. Az Európai Unióban szinte kizárólag folyósítóval dolgoznak, és kb. 0,45 víz-cement tényezővel.

Mindemellett bizonyos esetekben, pl. vékonyabb betonréteg készítésekor, hűvös időben indokolt lehet a vákuumozás azért, hogy előbb legyen járható a friss beton. A vezetőgerendák segítségével lehúzott beton helyett ma már gyakran csak rövidebb finiserrel húzzák le a beton felületét. A lézeres szintező segít a szint tartásában. Ez a technológia természetesen begyakorlottságot, ügyességet követel. A ma még gyakori tervezői kiírás mint vákuumbeton, bazalt adalékanyag stb., sok esetben már elavult, mert a megkívánt húzószilárdság, kis zsugorodás más módszerekkel, ezektől függetlenül is teljesíthető.

A padló készítésének technológiája szorosan összefügg azzal, hogy *milyen burkolati réteg kerül a betonlemezre*. A következőkben a leggyakrabban alkalmazott iparipadló-burkolatokat említjük meg.

A betonpadló saját levében simítva a legrégebbi szerkezet, amely a mai technológiák esetén azt jelenti, hogy a betonozás után kb. 4–5 óra elteltével először tárcsás, majd lapátos gépi simítóval simítják le a felületet. A C25/30 jelű beton esetében ezzel a technológiával 8–10 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup> kopásállóságú betonpadló készíthető.



Nagyobb kopásállósági igény esetén szükség lehet kb.  $5 \text{ kg/m}^2$  (színigény esetén kb.  $7 \text{ kg/m}^2$ ) kopásálló szárazhabarcs bedörzsölésére, beglettelésére. A szárazhabarcsban levő adalékanyag keménységétől, a szárazhabarcs márkájától és a bedolgozás minőségétől függően akár  $5 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  kopásállóság is elérhető. A bedolgozás technológiája hasonló a saját levében simításéhoz.

A hazai gyakorlatban esztrichen általában magnezitesztrichet értenek, a nedves esztrich felhordása azonban mást jelent. A koptató szárazhabarcs bedörzsöléséhez képest az a különbség, hogy az üzemben előre elkészített száraz keveréket az építéshelyen vízzel megfelelő konzisztenciájúra keverik és habarcsszivattyúval (vagy kézi módszerrel) terítik el a 6–8 órás betonra, kb. 5 mm vastagságban, majd néhány óra múlva a szárnyas simítóval fényesre glettelik. Az előzőekhez képest főleg esztétikailag kedvezőbb, egységesebb színű felület készíthető ezzel a módszerrel (természetesen jóval nagyobb áron).

A műanyagok közül a leggyakrabban alkalmazottak:

- Az *impregnálás*, amellyel a mintegy  $0,2 \text{ kg/m}^2$  anyag beivódik a betonba, a cementport jobban megkötve, így kedvezőbb pormentesség érhető el.
- Egyszeri vagy kétszeri impregnálás után két vagy három réteg műanyag kenéssel (kb.  $0,5 \text{ kg/m}^2$  anyag felhordásával) különböző színekben tetszetős felület állítható elő.
- A műanyag burkolat 2–3 cm összvastagságú, több rétegből áll. Az építető és a tervező ma már alig tud eligazodni a hazai piacon is bőséges műanyagbetonkínálatban. A műanyag burkolatok legfőbb hátránya a nagy ár mellett az, hogy a betonban a burkolat felhordásakor csak minimális nedvesség lehet (a mai műszerekkel eléggé pontosan mérhető a betonban levő nedvesség), és emiatt sokszor csak 2–3 hónappal a betonozás után hordható fel a műanyag burkolat. A felületet a felhordás előtt golyószórással, intenzív porelszívással kell alkalmassá tenni a burkolat fogadására. A műanyag burkolatok főleg élelmiszeripari üzemekben lehetnek a kerámiaburkolatok konkurensei. Előnyük a kerámiaburkolatokkal szemben a könnyebb tisztíthatóság és a kisebb sérülékenység.

### 30.8.5. Nemzetközi iparipadló-konferencia

[Polgár (1995, 1999)]

A németországi Esslingenben négyévenként nemzetközi iparipadló-konferenciát rendeznek. Az 1995. és 1999. évi konferenciáról Polgár László számolt be. Ezekből a cikkekből válogattunk az alábbiak szerint.

A fő témák 1999-ben: beton, szálbeton, esztrich, alapozás, parkolóházak, speciális padlók, karbantartás, egészség és környezet, kémiai ellenálló képesség, repedés-



áthidalás, nedvesség, elektromos vezetőképesség, információ, szabályozások, vizsgálati módszerek, műanyagok.

Jelen ismertető csak ezen kérdésvetéssel kapcsolatos álláspontokra tér ki.

Meglepő volt a szélsőséges nézetek összecsapása, konferenciához illő kedélyességgel és udvariassággal, de keményen.

Az egyik szélsőséget G. Lohmayer képviselte. Lohmayer szerint a betonpadlók mintegy 80%-a ma is készülhetne vasalás nélkül, inkább vastagabb, jó minőségű betont, mint vékonyabb vasaltat javasol.

A másik szélsőséges álláspontot képviselte J. Schumacher (IVH cég, a Rinol csoport tagja, a szentgotthárdi OPEL és a győri AUDI üzemek padlóján keresztül nálunk is ismert). Schumacher a hegesztett hálós vasalás híve, meglepően legújabbán csak felső vasalást pártol, bennmaradó acéllemez dilatációs hézagképzéssel.

A harmadik álláspont a szálbetonosok képviselője, Z. Falkner véleménye. Falkner előadásának címe hangzik a legjobban: *Betonpadlók használati viselkedése különféle vasalási koncepciók esetén.*

A cikk összefoglalása:

*Jelen cikk megmutatja, hogy a betonpadlók tervezésének és kivitelezésének legfőbb kritériuma a használati állapot. Feltétlenül fontos a követelmények szakszerű rögzítése, mely az építési szerződés alapjául szolgál. A reklámprospektusok ezt nem tudják helyettesíteni. A hézagmentes betonpadlók összehasonlításával megmutattuk, minden feladatra több változat is számításba jöhet. A változatok összevetésekor azonban figyelembe kell venni, hogy a különféle vasalási koncepciók egyenértékűség-összevetése lehetetlen. Ezt itt a vasbeton-acélszálbeton összevetésével dokumentáltuk.*

Az elméleti fejtegetéseken túl mégiscsak a piac döntése a valóság, mely egyértelműen a szálbetonok terjedését mutatja az ipari betonpadlók megvalósulásánál.

Az ipari padlók nem tekinthetők klasszikus vasbeton tartószerkezeteknek, törésük általában nem jár rendkívül nagy kárral, a tényleges kárt az üzemvitel zavarása jelenti, mely az üzemi technológiától függően lehet nagyon jelentős vagy jelentéktelen. Egy magas raktár esetében pl. megbénulhat az üzemelés, a targoncák működésképtelenné válnak nagyobb padlóhibáknál. Hasonlóan szigorúak a követelmények azokban az üzemekben, ahol néhány nap kiesés is rendkívüli károkat okozat. (Pl. nagyon automatizált autógyárban.) Így a megengedhető kockázat mértékét a használó ismeri. Teljes mértékben repedésmentes és hézagmentes padlót lehetséges pl. feszítés és szálbeton kombinációjával elérni, de ezért már az építetőnek mélyen kell a zsebébe nyúlania.

Elégge egybehangzó volt az előadók véleménye viszont abban, hogy a padlók viselkedését legalább olyan mértékben meghatározza az alépitmény, mint maga a betonpadló. Bizonytalan, illetve gyenge teherbírású alépitményre, talajra kerülő padló esetében a szálbetont nem szabad alkalmazni, mivel ekkor feltétlenül nagyobb törési biztonság kell, azaz a padlót vasbeton lemezként kell kezelni.



Igen jó alépitmény esetén a betonpadló vasalás nélkül is megfelelhet, jellemző *Lohmayer* véleménye, miszerint a betonpadlók cca. 70%-ába egyáltalán nem kellene vasalás, ha legalább 30 h (h a betonpadló vastagsága) távolságokban hézagok vannak. Az üzemeltetők azonban egyre kevésbé bírják elviselni a túl sűrű hézagokat, nagy az igény a hézagmentes padlókra. Elsősorban ezeken a területeken van esély arra, hogy acélszál alkalmazásával növelhető a hézagtávolság 50–100-szoros lemezvastagság (pl. 20 cm vastag C25/30 betonpadló 30 kg/m<sup>3</sup> 60/0.80 szállal, vagy 40 kg/m<sup>3</sup> 60/1.0 szállal 20×20 m táblákban is elképzelhető, ha minden fázist gondosan megterveztek és kiviteleztek.)

### 30.8.6. Néhány sikeres padlószerkezet

[*Polgár* (1995)]

Néhány sikerrel megvalósított ipari padlószerkezetet említ *Polgár* a Plan 31 Mérnök Kft. és az ASA Építőipari Kft. gyakorlatából

1. *Bauwelt áruház eladótéri padlója* (Budapest, Keresztúri út): 25 cm jól tömörített ágyazaton PE fóliaterítés, 18 cm vastag vasalatlan betonlemez C20/25 jelű betonból, impregnálással és kétszeri ICOSIT kenéssel, 5×6 és 6×6 m-es táblákra osztva, vágott hézagokkal (a betont RAVENIT 77 folyósítóval készítették).

2. *Bauwelt áruház eladótéri padlója* (Szeged): 25 cm jól tömörített ágyazaton polietilén fólia terítés, 15 cm vastag Dramix acélhajbeton 20 kg/m<sup>3</sup> acélhajjal, C20/25 jelű betonból (RAVENIT 77 folyósítóval), AVENARIUS szárazhabarcs-be-dörzsöléssel, kész padlóként egy ütemben kivitelezve.

3. *Stollwerk üzemcsarnok padlója*: kőzúzalékos ágyazaton (32 cm) polietilén fólia, 18 cm vastag vasalatlan betonlemez C20/25 betonból, 3 hónap múlva felhordott, kb. 2,5 mm vastag RINOL műanyag padlóburkolattal.

4. *Metro áruházak* (Budapest) padlója: 25 cm homokos kavics ágyazaton polietilénfólia-terítés, 15 cm vastag, hegesztett hálóval vasalt betonlemez (kb. 9 kg/m<sup>2</sup> BHB 55.50 minőségű háló), ágyazó habarcsba bevibrált kerámiaburkolat.

5. *Metro áruház* (Debrecen) padlója: 25 cm homokos kavics ágyazaton 5 cm aljzatbeton, polietilénfólia-terítés, 18 cm vastag C25/30 jelű acélhajjas betonlemez 20 kg/m<sup>3</sup> Dramix ZC 60/100 száladagolással, 5 mm vastag ROCLAND nedves esztrich felhordásával, egy ütemben véglegesre készítve.



## 30.8.7. Egyrétegű ipari betonpadozat betontechnológiájának kidolgozása

[Egyrétegű (1969)]

### 30.8.7.1. A kutatás tárgyára vonatkozó adatok

#### a) A kutatás célja

A kutatás célja – kapcsolódva a kopásálló betonok kutatásához – a kivitelezés számára általában rendelkezésre álló adalékanyag-féleségek, váci 600-as (ma 42,5 jelű) cement és a szokványos bedolgozási technológia figyelembevételével – a BME Építőanyagok Tanszékén végzett kísérletek alapján – az egyrétegű ipari betonpadozatok célszerű összetételének megadása.

#### b) A kutatás indokoltsága

A kutatás költségeit közvetve az *ÉM. 23. sz. Állami Építőipari Vállalat* biztosította. Így a kutatási feladatok is az *ÉM. 23. sz. ÁÉV*-nál felmerült problémákból adódtak. A Vállalat évek óta gyártott ipari betonpadozatokat, többnyire egy rétegből. Két réteg esetén a felső réteget egy kopásálló kéreg alkotta. A Vállalat számára előnyös volt, ha a teljes betonvastagságot egy rétegből tudta előállítani, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága 22–25 mm volt.

Az egyrétegű betonpadozat esetén a padozattal szemben támasztott követelményt a hajlító-húzó szilárdság és a kopással szembeni ellenállás mértéke szabja meg.

E kutatás során feltételeztük, hogy a Vállalatnak váci 600-as cement állt rendelkezésére. A Vállalat különböző eredetű adalékanyagokkal, mint pl. andezit, a csepeli osztályozó által előállított osztályozott dunai homokos kavics adalékanyaggal és kivételes esetben zalahalápi bazaltzúalékkal rendelkezett. A korábbi évek során elsősorban bazaltzúalékos betont vagy homokos kavics adalékanyaggal készített aljzatbetont és bazaltzúalékos koptatóréteget állítottak elő. Az építési biztonság, a váltakozva rendelkezésre álló adalékanyagok indokoltá tettek olyan kísérleteket, amelyek alapján – a változó körülményeknek megfelelően – meg lehet választani a beton összetételét és építési technológiáját.

#### c) A kutatás módszere

*α)* Megvizsgáltuk a kísérlet során felhasznált alapanyagok legfőbb műszaki jellemzőit. Így pl. a cement vegyi összetételét és mechanikai tulajdonságait, az adalékanyag szemmegoszlását, alaki tényezőit.

*β)* Háromféle adalékanyaggal (csepeli osztályozott homokos kavics, zalahalápi bazalt és szobi andezit), háromféle cementtartalommal (250, 350 és 450 kg/m<sup>3</sup>), általában háromféle víz-cement tényezővel készítettünk 7×7×25 cm méretű betonhasábokat, amelyeken meghatároztuk harmadpontos terheléssel

(feszítáv 24 cm) a beton hajlító-húzó szilárdságát, majd próbatestek eltört darabjain a nyomószilárdságát. A próbatestek egyik darabjából a *Bauschinger-Böhme*-féle vizsgálathoz szükséges 7,07 cm élhosszúságú próbatestet fűrészeltünk ki. E próbatestek kopását kiszáritott állapotban vizsgáltuk.

- y) Az elvégzett kísérletek alapján javaslatot dolgoztunk ki az egyes adalékanyagok feltételezésével az optimálisnak ígérkező betonösszetételre és építéstechnológiára.

### 30.8.7.2. A kutatás részletes leírása

#### *A kutatás során felhasznált anyagok*

A kutatás során a DCM által szállított *váci 600-as cementet* használtunk fel, melynek kémiai összetételét és ásványi összetételét a 30.59. táblázatban tüntettük fel.

A cement a szabványban előírt szilárdságkövetelményeket kielégítette.

#### *A kísérlet során felhasznált adalékanyagok:*

Az ÉM 23. ÁÉV által használt és rendelkezésünkre bocsátott 0/5 mm-es homok (1. jelű), továbbá 5/12 és 12/22 mm szemnagyságú szobi andezit. Ezek szemmegoszlási görbéit a 30.74. ábrán tüntettük fel.

A csepeli osztályozóból a Tanszékre szállított 0/3 és 3/5 mm-es homok, 5/15 és 15/30 mm-es kavics. A szemmegoszlási görbéit a 30.75. ábrán tüntettük fel.

A zalahalápi bazaltbányából származó 2/5, 5/12, 12/22 frakciójú nemes zúzalék és a 30.76. ábrán feltüntetett 2. jelű homok.

30.59. táblázat. A cementek kémiai és ásványi összetétele [Egyrétegű (1969)]

Kémiai összetétel:			
Izzítási veszteség		%	2,00
SiO <sub>2</sub>		%	20,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		%	5,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		%	3,12
CaO		%	64,03
MgO		%	1,19
SO <sub>3</sub>		%	2,37
sűrűség		g/cm <sup>3</sup>	3,081
fajlagos felület Blaine szerint		cm <sup>2</sup> /g	3480
A cement ásványi összetétele:			
C <sub>3</sub> S	%	%	55,3
C <sub>2</sub> S	%	%	18,4
C <sub>3</sub> A	%	%	10,4
C <sub>4</sub> AF	%	%	9,7
CaSO <sub>4</sub>	%	%	4,1
MgO	%	%	1,2



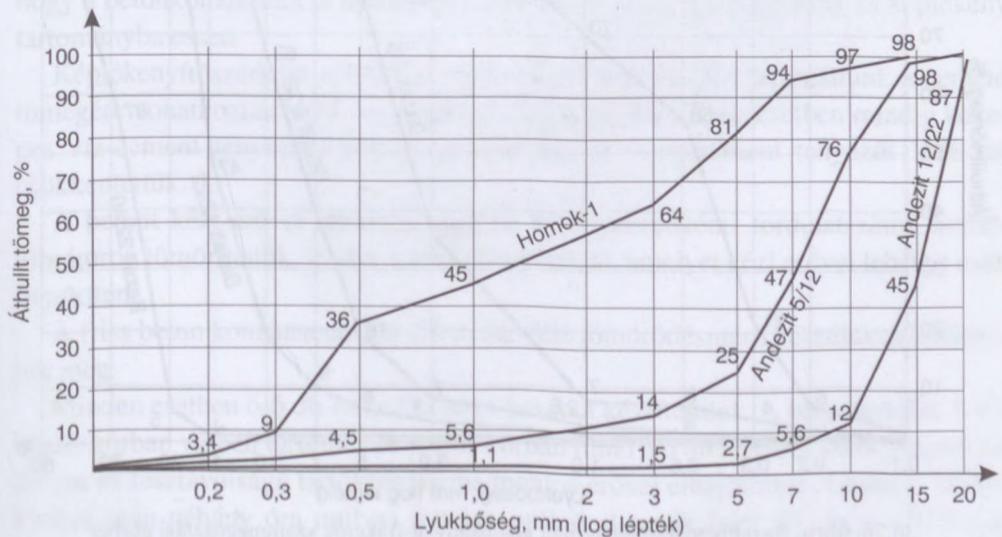
30.60. táblázat. A szemalak jellemzése [Egyrétegű (1969)]

Adalékfajta	Adalékanyag-frakció	A szemalak százalékos megoszlása			
		zömök	lemezes	hosszúkás	lemezes és hosszúkás
Dunakavics	3/5	68	1	1	30
	5/15	58	10	0	32
	15/30	52	15	5	28
Bazalt	2/5	20	39	19	22
	5/12	22	26	23	29
	12/22	33	20	15	31
Andezit	5/12	17	25	25	33
	12/22	21	35	24	20

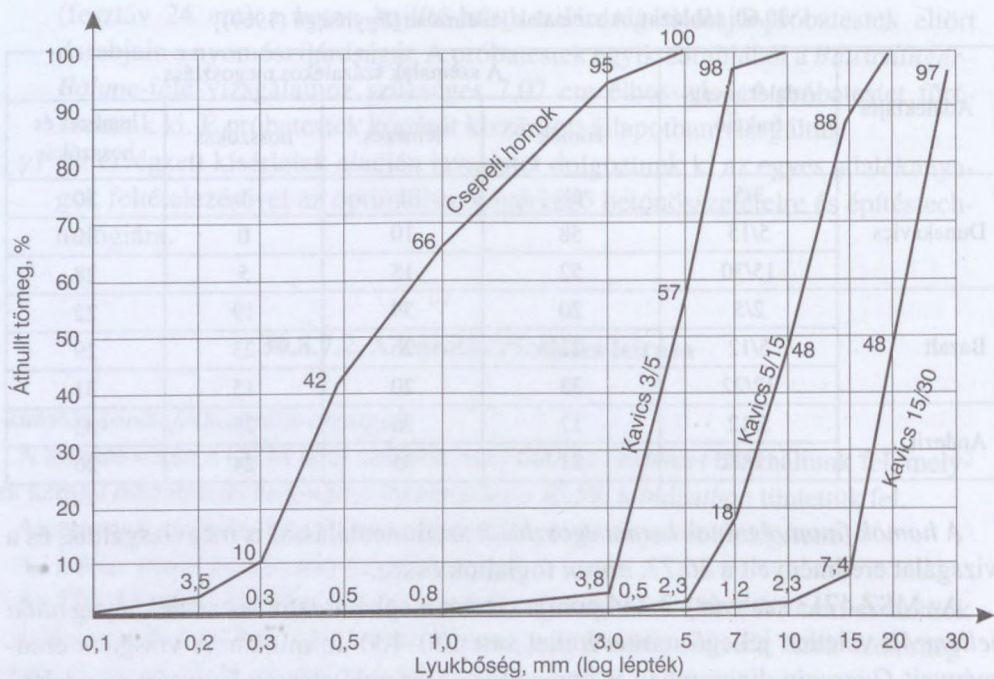
A homok finomrészének szemmegoszlását szedimentálással is megvizsgáltuk, és a vizsgálat eredményeit a 30.77. ábrán foglaltuk össze.

Az MSZ 4713 szabvány 3.234 pontja szerint meghatároztuk az adalékanyag alaki jellemzőit véletlen jellegű mintavétellel vett 100–100 db mintán. A vizsgálat eredményeit *Quervain*-diagramban is ábráztuk. A szemléletesség kedvéért az adalékanyag-frakciókat lefényképeztük és a szemalak jellemzésére szolgáló adatokat a 30.60. táblázatban is összefoglaltuk.

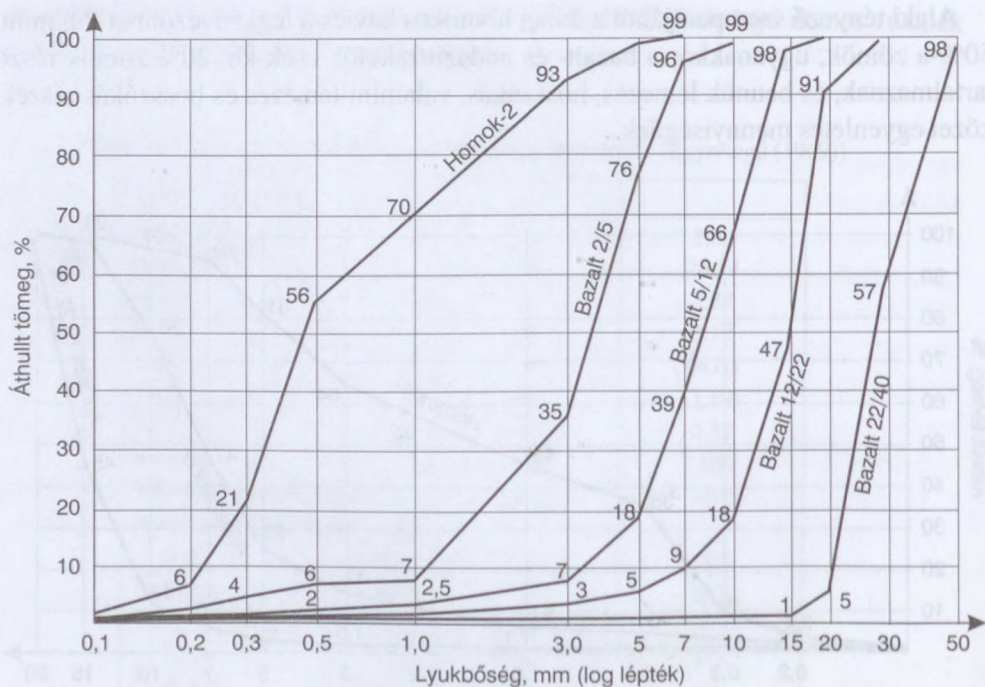
Alaki tényező szempontjából a dunai homokos kavics a legkedvezőbb, több mint 50%-a zömök, ugyanakkor a bazalt- és andezitfrakciók csak kb. 20% zömök részt tartalmaznak, és bennük lemezes, hosszúkás, valamint lemezes és hosszúkás részek közel egyenletes mennyiségűek.



30.74. ábra. Andezitbetonhoz felhasznált frakciók szemmegoszlási görbéi [Egyrétegű (1969)]

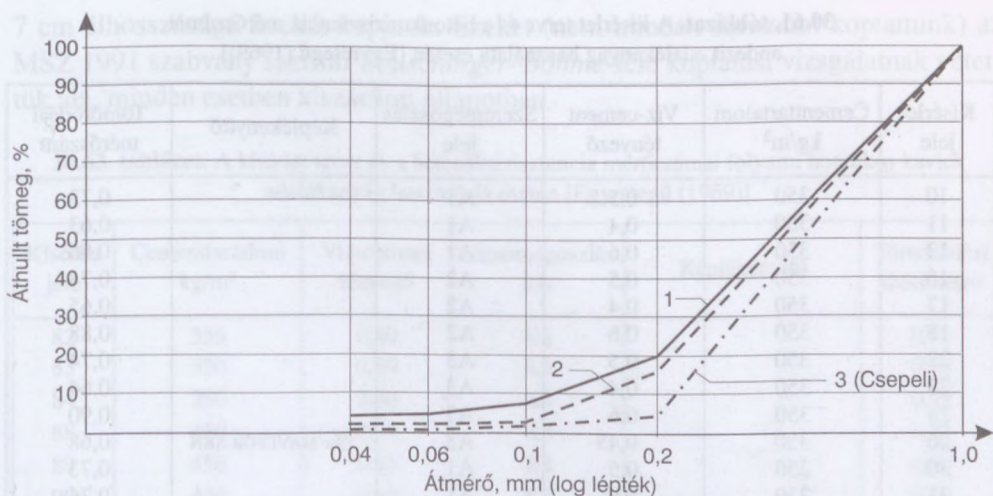


30.75. ábra. Csepeli osztályozott homokoskavics-frakciók szemmegoszlási görbéi [Egyrétegi (1969)]



30.76. ábra. Bazaltbetonba felhasznált adalékanyag-frakciók szemmegoszlási görbéi [Egyrétegi (1969)]





30.77. ábra. A homok szemmegoszlása [Egyrétegű (1969)]

### A kísérlet leírása

A kísérleti betonok tervét a 30.61.–30.63. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatok adalékanyag-fajtánként tartalmazzák a kísérlet jelét, a beton cementtartalmát, víz-cement tényezőt, az adalékanyag szemmegoszlásának jelét, a felhasznált képlékenyítőszer mennyiségét, a készítés napját és a friss beton konzisztencia-mérőszámát.

Minden esetben kiszárított adalékanyaggal dolgoztunk. Az adalékanyagot a 30.74.–30.77. ábrákon feltüntetett frakciókból állítottuk össze. Adalékanyag-fajtánként 2 vagy 3 szemmegoszlási görbét állítottunk elő (30.78.–30.80. ábra), lehetőleg úgy, hogy különböző adalékanyagokkal előállított görbék közel azonosak legyenek.

A cementmennyiségként 3-féle 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 a cement tömegére vonatkoztatott 3%-os (szokásos) adagolásban. Ilyen esetben mindig közepes víz-cement tényezőjű betont készítettünk és a víz-cement tényezőt 10%-kal csökkentettük.

A betont kézi erővel kevertük meg és 3000 percenkénti fordulatszámú asztalvibrátoron tömörítettük, kivéve a képlékeny betont, amelyet kézi erővel lehetett csak tömöríteni.

A friss beton konzisztenciáját *Glanville*-féle tömörödésmérő készüléken határoztuk meg.

Minden esetben 6-6 db 7×7×25 cm-es hasábot készítettünk. A betontesteket 1–28 napos korban vízben tároltuk. 28 napos korban mind a 6 db hasábot vizes állapotban 24 cm-es fesztávolságú tartóként harmadpontos erővel elhajlítottuk. Utána (a vízből kivétel után néhány óra múlva) minden próbatest egyik felét 50 cm<sup>2</sup>-es felületen nyomási vizsgálatnak vetettük alá, míg a másik felét elfűrészeltük úgy, hogy közel

**30.61. táblázat.** A kísérlet terve és a betonkonzisztencia mérőszámai andezit adalékanyag használata esetén [Egyrétegű (1969)]

Kísérlet jele	Cementtartalom kg/m <sup>3</sup>	Víz-cement tényező	Szemmegoszlás jele	Képlékenyítő	Tömörödési mérőszám
10	350	0,5	A1		0,73
11	350	0,4	A1		0,63
12	350	0,6	A1		0,86
16	350	0,5	A2		0,74
17	350	0,4	A2		0,65
18	350	0,6	A2		0,88
22	350	0,5	A3		0,74
23	350	0,4	A3		0,64
24	350	0,6	A3		0,90
26	350	0,45	A3	3‰ MAVEFOR SKN	0,68
30	250	0,5	A1		0,73
31	250	0,6	A1		0,76
32	250	0,7	A1		0,80
36	250	0,5	A2		0,73
37	250	0,6	A2		0,82
38	250	0,7	A2		0,89
42	450	0,3	A1		0,60
43	450	0,4	A1		0,73
44	450	0,5	A1		0,90
48	450	0,3	A2		0,64
49	450	0,4	A2		0,72
50	450	0,5	A2		0,92
51	250	0,54	A	13‰ MAVEFOR SKN	0,72
52	250	0,54	A2		0,65
53	450	0,36	A1		0,64
54	450	0,36	A2		0,61

**30.62. táblázat.** A kísérlet terve és a betonkonzisztencia mérőszámai bazalt adalékanyag használata esetén [Egyrétegű (1969)]

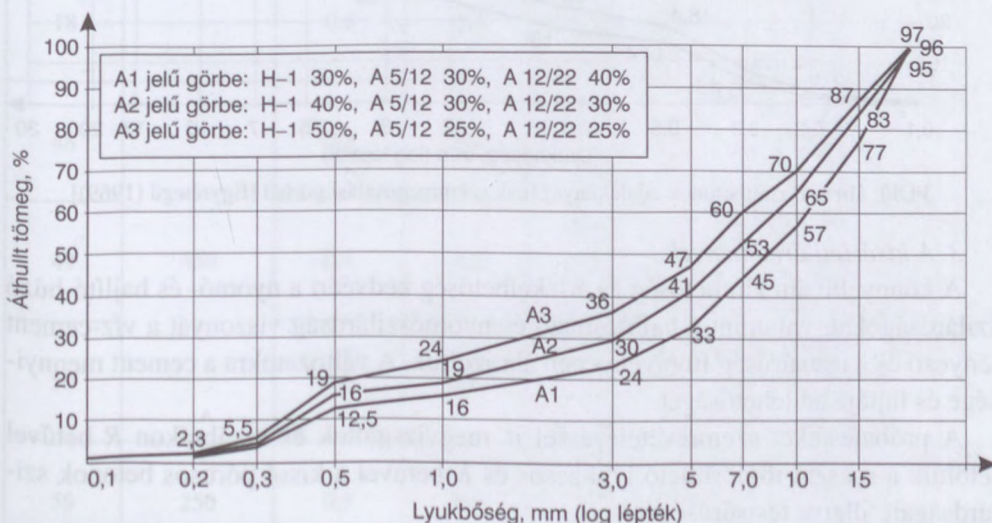
Kísérlet jele	Cementtartalom kg/m <sup>3</sup>	Víz-cement tényező	Szemmegoszlás jele	Tömörödési mérőszám
4	350	0,5	B2	0,73
5	350	0,4	B2	0,66
6	350	0,6	B2	0,89
58	250	0,6	B2	0,75
59	250	0,5	B2	0,71
60	250	0,7	B2	0,82
64	450	0,35	B2	0,64
65	450	0,45	B2	0,74
66	450	0,55	B2	0,99
70	350	0,4	B1	0,65
71	350	0,5	B1	0,74
72	350	0,6	B1	0,92
76	450	0,35	B1	0,60
77	450	0,45	B1	0,72
78	450	0,55	B1	0,95



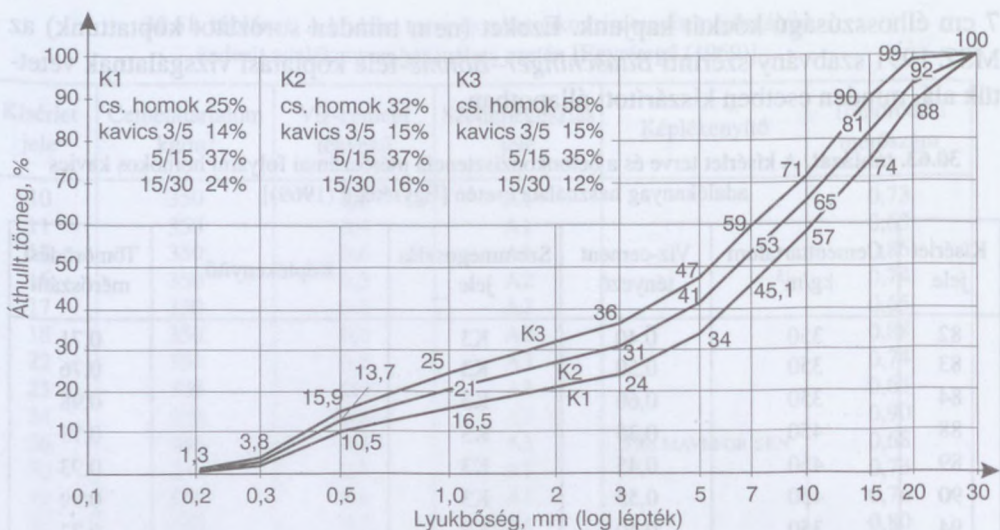
7 cm élhosszúságú kockát kapjunk. Ezeket (nem minden sorozatot koptattunk) az MSZ 1991 szabvány szerinti *Bauschinger-Böhme*-féle koptatási vizsgálatnak vetettük alá, minden esetben kiszárított állapotban.

**30.63. táblázat.** A kísérlet terve és a betonkonzisztencia mérőszámai folyami homokos kavics adalékanyag használata esetén [Egyrétegű (1969)]

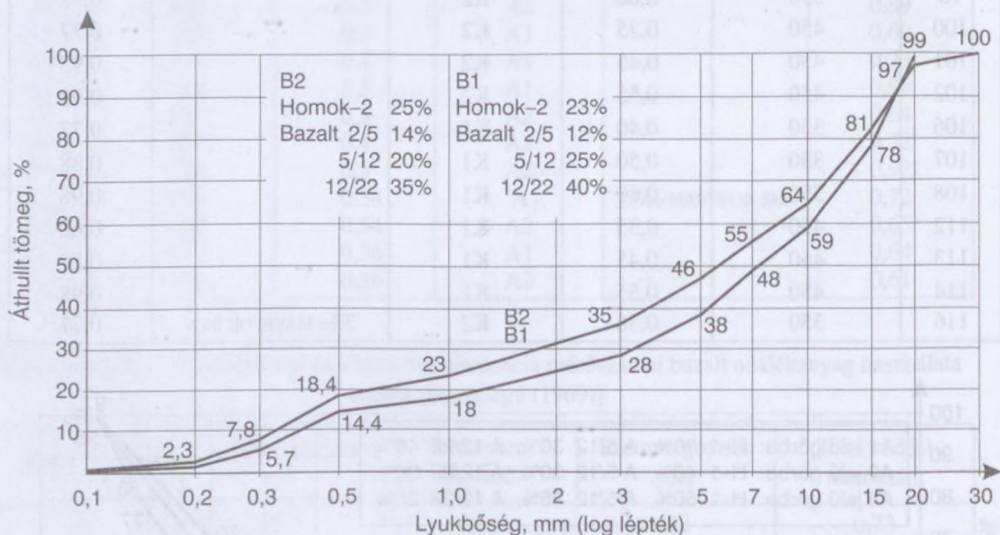
Kísérlet jele	Cementtartalom kg/m <sup>3</sup>	Víz-cement tényező	Szemmegoszlás jele	Képlékenyítő	Tömörödési mérőszám
82	350	0,40	K3		0,71
83	350	0,50	K3		0,76
84	350	0,60	K3		0,98
88	450	0,35	K3		0,73
89	450	0,45	K3		0,93
90	450	0,55	K3		0,99
94	350	0,40	K2		0,72
95	350	0,50	K2		0,93
96	350	0,60	K2		0,98
100	450	0,35	K2		0,77
101	450	0,45	K2		0,95
102	450	0,55	K2		0,98
106	350	0,40	K1		0,77
107	350	0,50	K1		0,88
108	350	0,60	K1		0,98
112	450	0,35	K1		0,68
113	450	0,45	K1		0,89
114	450	0,55	K1		0,98
116	350	0,36	K2	3‰ MAVEFOR, SKN	0,77



**30.78. ábra.** Andezitbetonok adalékanyagának szemmegoszlási görbéi [Egyrétegű (1969)]



30.79. ábra. Kavicsbetonok adalékanyagának szemmegoszlási görbéi [Egyrétegy (1969)]



30.80. ábra. Bazaltbetonok adalékanyagának szemmegoszlási görbéi [Egyrétegy (1969)]

### 3. A kísérleti eredmények

A könnyebb áttekinthetőség és értékelhetőség kedvéért a nyomó- és hajlító-húzó szilárdságokat, valamint a hajlító-húzó és nyomószilárdság viszonyát a víz-cement tényező és a testsűrűség függvényében ábrázoltuk. A változatokra a cement mennyisége és fajtája ad lehetőséget.

A próbatesteket szemrevételezéssel is megvizsgáltuk és az ábrákon *R* betűvel jelöltük a rosszul tömöríthető lyukacsos és *K* betűvel a kissé pórusos betonok szilárdságait, illetve testsűrűségét.



A kopási vizsgálat során 4–4 db próbatest egyenletes kopásának a mértékét határoztuk meg mm-ben és g-ban száraz koptatással. A kopás mértékének átlagos értékeit a 30.64. táblázatban foglaltuk össze.

30.64. táblázat. A beton kopása Bauschinger–Böhme-féle berendezésen vizsgálva [Egyrétegi (1969)]

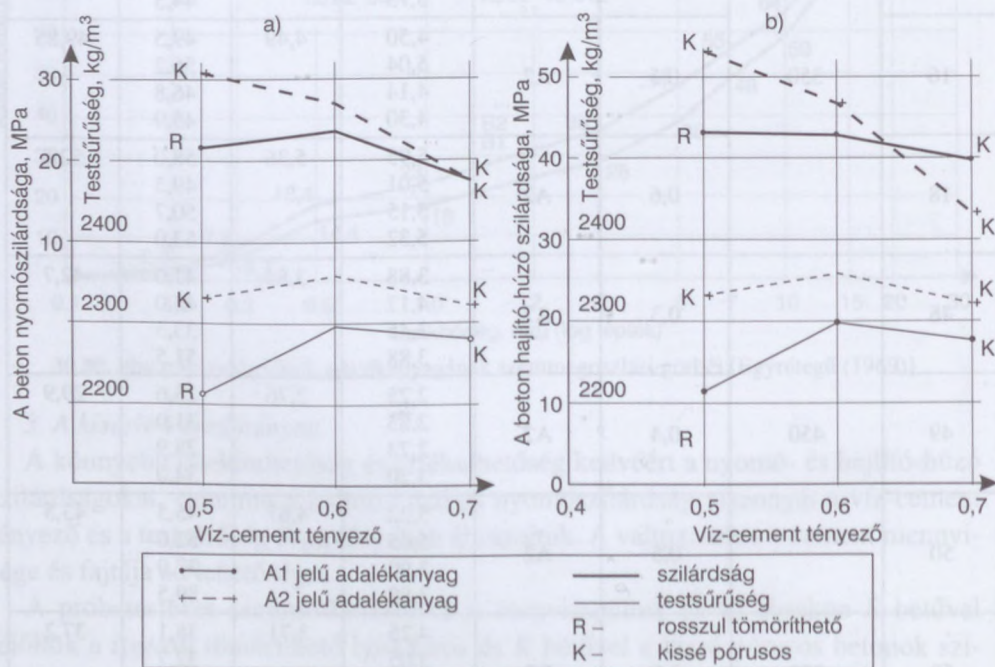
Kísérlet jele	Cement-tartalom kg/m <sup>3</sup>	Víz-cement tényező	Adalék-anyag jele	Kopás mértéke			
				mm		g	
				egyés	átlag	egyés	átlag
36		0,5	A2	3,75	4,22	43,0	47,7
				4,38		52,0	
				4,53		48,0	
				4,22		47,7	
37	250	0,6	A2	3,50	4,29	35,5	48,8
				4,28		49,0	
				4,10		41,5	
				5,30		50,0	
38		0,7	A2	5,82	5,60	58,0	57,9
				4,75		52,0	
				5,33		58,0	
				6,50		63,5	
17		0,4	A2	3,59	4,06	44,0	47,09
				4,52		50,3	
				4,42		49,5	
				3,73		44,5	
16	350	0,5	A2	4,50	4,49	49,5	49,85
				5,04		56,2	
				4,14		46,8	
				4,30		45,9	
18		0,6	A2	5,95	5,36	58,0	52,8
				5,01		49,5	
				5,15		50,7	
				5,32		53,0	
48		0,3	A2	3,88	3,84	41,0	42,7
				4,17		45,0	
				3,45		33,3	
				3,88		51,5	
49	450	0,4	A2	2,25	2,76	25,6	29,9
				2,85		31,0	
				2,73		28,9	
				3,20		34,0	
50		0,5	A2	5,22	4,67	45,5	43,5
				5,65		52,0	
				3,90		37,0	
				3,80		39,5	
59	250	0,5	B2	4,25	3,71	38,1	37,2
				3,05		32,7	
				3,65		37,4	
				3,90		36,9	

#### 4. A kísérleti eredmények értékelése

a) A friss beton tömörödési mérőszáma jól megmutatja a különböző adalékanyag-fajták alaki jellemzői közötti különbséget. Ugyanis az  $A_1$ ,  $B_1$  és  $K_1$ , valamint  $A_2$ ,  $B_2$ ,  $K_2$ , végül az  $A_3$  és  $K_3$  (30.81.–30.83. ábra) jelű szemmegoszlási görbék közel azonosak, így azonos betonösszetétel esetén a konzisztencia-mérőszámoknak is azonosnak kellene lenniük. Mivel az adalékanyag vízfelszívásában nincs lényeges különbség, a tömörödési mérőszámok eltérése egyúttal az alaki tényezőben levő eltérésre utal. Hasonlítsunk össze néhány adatot. A dunai homokos kavics adalékanyaggal készített beton a legkönnyebben bedolgozható azonos víz-cement tényező esetén.

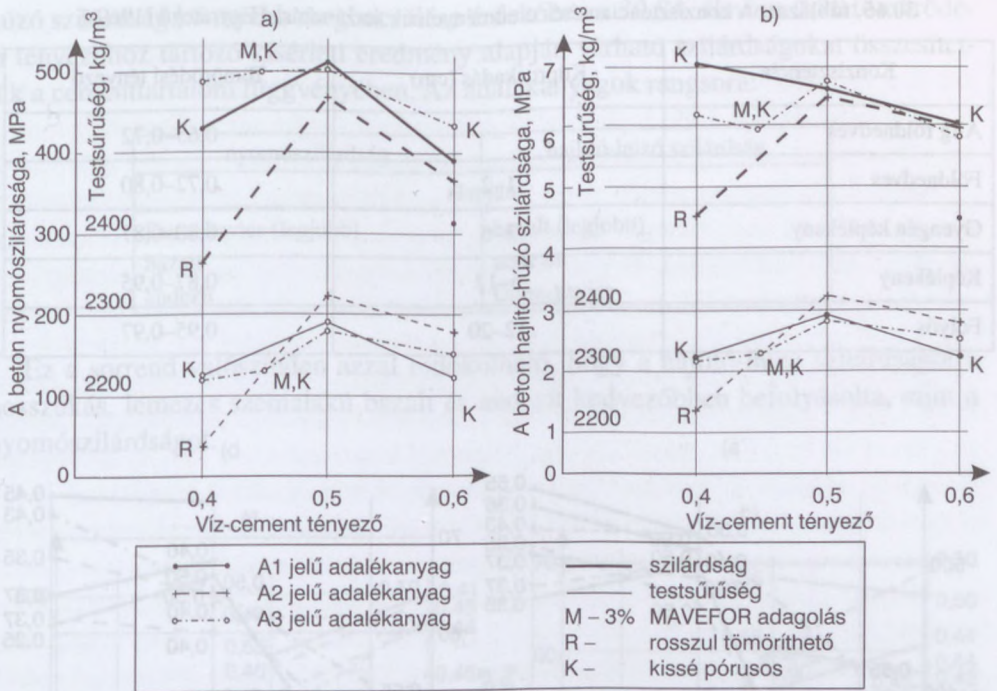
b) A beton bedolgozhatósága – nagy kiterjedésű vasalatlan lemezek esetében – a rendelkezésre álló tömörítő eszköztől, illetve a beton konzisztenciájától függ. Az ÉVM. 23. sz. Állami Építőipari Vállalat a rendelkezésére álló tömörítő eszközökkel a földnedves és a gyengén képlékeny konzisztencia határán levő betont tud hatékonyan tömöríteni. A konzisztenciát az MSZ 4719 szabvány szerint a rokadási mértékkel kell jellemezni. Kísérleteink során a tömörödési mérőszámot használtuk a konzisztencia jellemzésére, ezért megadjuk az átszámításhoz szükséges táblázatot (30.65. táblázat).

A rendelkezésünkre álló eszközökkel jól bedolgozhatónak 0,80 tömörödési mérőszámmal jellemezhető betonkeveréket tekintjük. A várható nyomó- és hajlító-

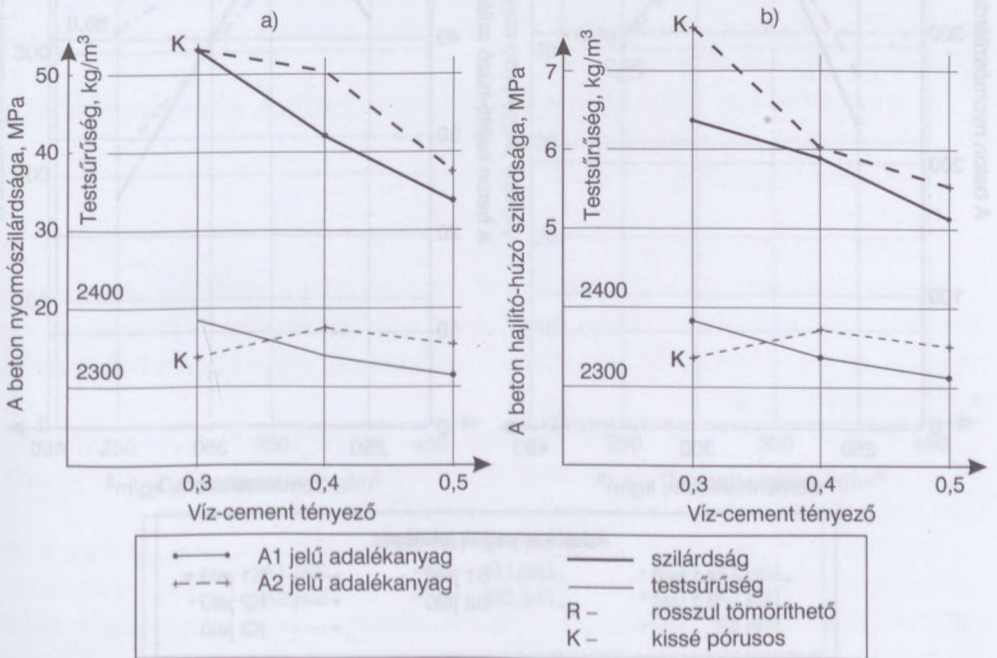


30.81. ábra. A beton szilárdsága és testsűrűsége a víz-cement tényező függvényében (250 kg/m<sup>3</sup> váci 600-as). a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Egyrétegű (1969)]





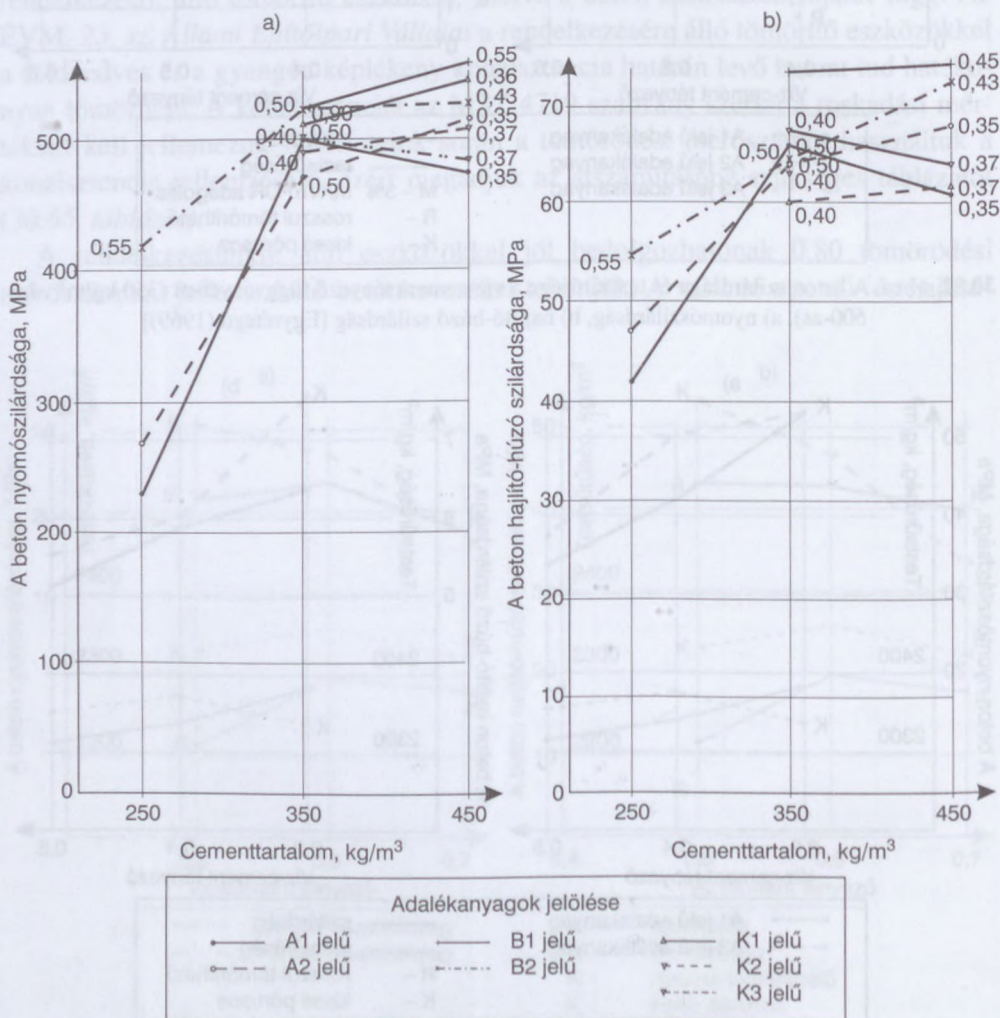
30.82. ábra. A beton szilárdsága és testsűrűsége a víz-cement tényező függvényében ( $350 \text{ kg/m}^3$  váci 600-as). a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Egyrétegű (1969)]



30.83. ábra. A beton szilárdsága és testsűrűsége a víz-cement tényező függvényében ( $450 \text{ kg/m}^3$  váci 600-as). a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Egyrétegű (1969)]

30.65. táblázat. A konzisztenciamérés eredményeinek átszámítása [Egyrétegi (1969)]

Konzisztencia	Kúproskadás (cm)	Tömörödési tényező
Alig földnedves	–	0,65–0,72
Földnedves	1–2	0,72–0,80
Gyengén képlékeny	2–6	0,80–0,87
Képlékeny	6–12	0,87–0,95
Folyós	12–20	0,95–0,97



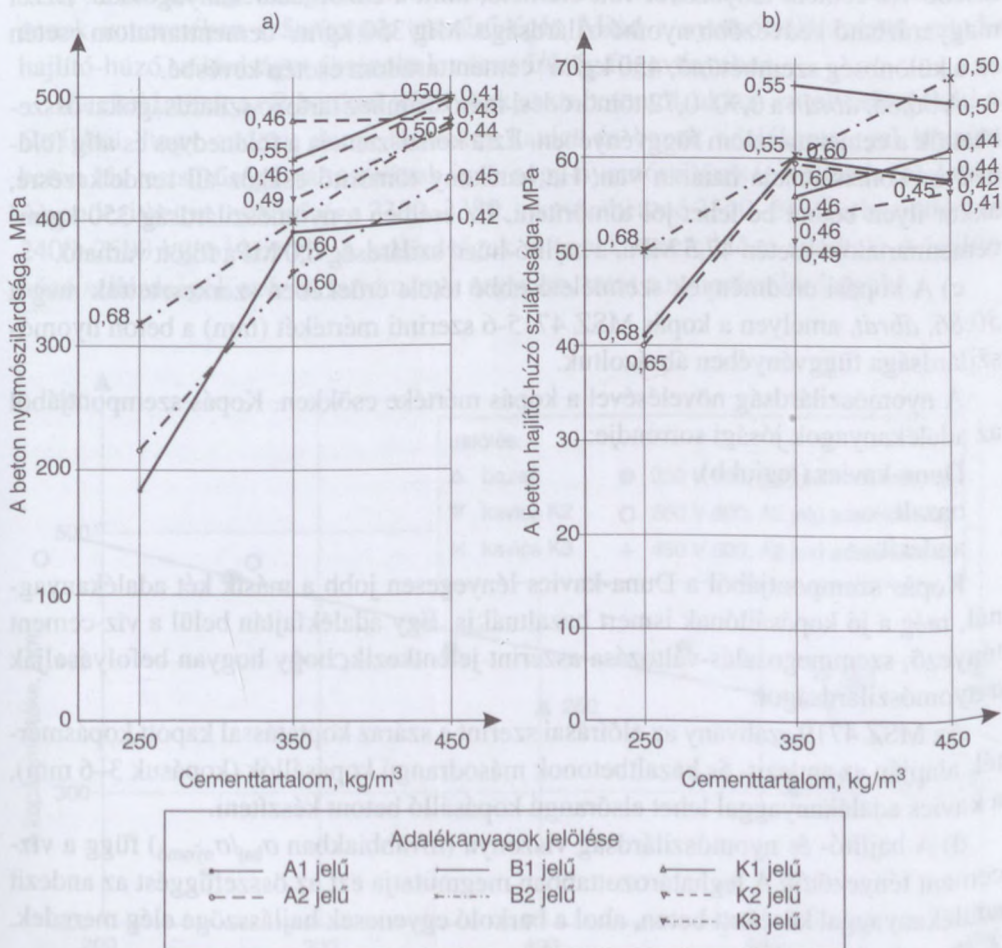
30.84. ábra. A beton szilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési mérőszám kb. 0,80).  
a) nyomószilárdság, b) hajlító-húzó szilárdság [Egyrétegi (1969)]



húzó szilárdság könnyebb megbecslése érdekében a 30.84. ábrán a 0,80 tömörödési tényezőhöz tartozó kísérleti eredmény alapján várható szilárdságokat összesítettük a cementtartalom függvényében. Az adalékanyagok rangsora:

nyomószilárdság	hajlító-húzó szilárdság
alapján	
Duna-kavics (legjobb)	bazalt (legjobb)
bazalt	andezit
andezit	Duna-kavics

Ez a sorrend valószínűen azzal indokolható, hogy a hajlító-húzó szilárdságot a hosszúkás, lemezes szemalakú bazalt és andezit kedvezőbben befolyásolta, mint a nyomószilárdságot.



30.85. ábra. A beton szilárdsága a cementtartalom függvényében (tömörödési mérőszám kb. 0,70)-  
a) nyomószilárdság; b) hajlító-húzó szilárdság [Egyrétegű (1969)]

A szilárdság 250–350 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom között a cementtartalomtól lényegesen függ, 350–450 kg/m<sup>3</sup> cementmennyiség esetén kevésbé. A 350 kg/m<sup>3</sup> tehát célszerűen választott cementtartalom, amellyel az 5,0 MPa 28 napos nyomószilárdságot, valamint az 5,0 MPa hajlító-húzó szilárdságot (gondosan utókezelt betont, a hajlítóvizsgálat során vízzel telített próbatestet feltételezve) lehet elérni.

Andezit adalékanyag esetén azonban csak a 35 MPa nyomószilárdságra lehet biztonságosan számítani. Ezentúl az adalékfajtajával és a szemmegoszlás változtatással lehet valami javulást elérni. Bár az 1. jelű szemmegoszlással majdnem mindig jobb szilárdságot értünk el 350 és 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalommal, mint a 2., illetve 3. jelűvel, a gyakorlat számára javasoljuk a 2. jelű szemmegoszlást.

Az ábrákon a kísérleti eredményeket jelentő jelek mellé a víz-cement tényezőt is feltüntettük. Megfigyelhetjük, hogy kedvezőbb alaki tényezője miatt a dunai homokos kavicssal készített beton 0,80-nal jellemzett konzisztenciája mindig lényegesen kisebb víz-cement tényezővel volt elérhető, mint a zúzott adalékanyagokkal. Ezzel magyarázható kedvezőbb nyomószilárdsága. Míg 350 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom esetén ez a különbség szembetűnő, 450 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom esetén kevésbé.

A 30.85. ábrán a 0,70–0,72 tömörödési mérőszámhoz tartozó szilárdságokat összeítettük a cementtartalom függvényében. Ez a konzisztencia a földnedves és alig földnedves konzisztencia határán van. Ha hatékony tömörítő eszköz áll rendelkezésre, akkor ilyen betont be lehet jól tömöríteni. Ez esetben a nyomószilárdság 350 kg/m<sup>3</sup> cementtartalom esetén 47,5 MPa, a hajlító-húzó szilárdság 6,0 MPa fölött várható.

c) A kopási eredmények szemléletesebbé tétele érdekében szerkesztettük meg a 30.86. ábrát, amelyen a kopás MSZ 4715-6 szerinti mértékét (mm) a beton nyomószilárdsága függvényében ábrázoltuk.

A nyomószilárdság növelésével a kopás mértéke csökken. Kopás szempontjából az adalékanyagok jóságai sorrendje:

- Duna-kavics (legjobb),
- bazalt,
- andezit.

Kopás szempontjából a Duna-kavics lényegesen jobb a másik két adalékanyagnál, még a jó kopásállónak ismert bazaltnál is. Egy adalékfajtan belül a víz-cement tényező, szemmegoszlás-változása aszerint jelentkezik, hogy hogyan befolyásolják a nyomószilárdságot.

Az MSZ 4719 szabvány az előírásai szerint a száraz koptatással kapott kopásmérték alapján az andezit- és bazaltbetonok másodrangú kopásállók (kopásuk 3–6 mm), a kavics adalékanyaggal lehet elsőrangú kopásálló betont készíteni.

d) A hajlító- és nyomószilárdság viszonya (továbbiakban  $\sigma_{haj}/\sigma_{nyomó}$ ) függ a víz-cement tényezőtől. A leghatározottabban megmutatja ezt az összefüggést az andezit adalékanyaggal készített beton, ahol a burkoló egyenesek hajlásszöge elég meredek. A függvénykapcsolat



$$\frac{\sigma_{haj}}{\sigma_{nyomó}} = 0,33 + 0,27 \cdot \frac{m_w}{m_c}$$

összefüggéssel fejezhető ki. A nem jól tömörített betonok szilárdságának viszony-számai eltérnek a tömör betonokétól.

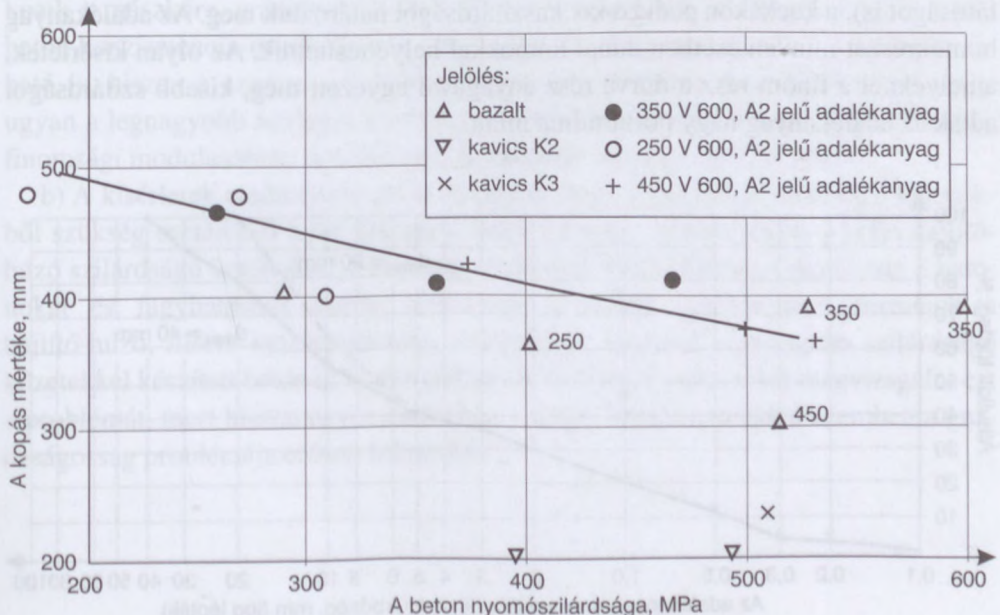
Kavicsbeton esetén hasonló, de számszerűen ettől eltérő a törvényszerűség.

Bazaltbeton esetén szintén nő a víz-cement tényező növekedésével a  $\sigma_{haj}/\sigma_{nyomó}$  viszonyszám, de az előbbieknél kisebb mértékben.

A kísérleti eredmények kis száma miatt általános érvényű törvényszerűség nem állítható fel, de a kísérleti eredmények megmutatják azt, hogy a víz-cement tényező növekedésével nagyobb mértékben csökken a nyomószilárdság, mint a hajlító-húzó szilárdság.

e) A szilárdsági vizsgálat előtt minden esetben megmértük a beton tömegét és annak ismeretében számítottuk testsűrűségét. Mind a nyomószilárdságot, mind a hajlító-húzó szilárdságot ábrázoltuk a testsűrűség függvényében.

Ha eltekintünk az R betűvel jelölt lyukacsos betontól, akkor azt olvashatjuk ki az ábrából, hogy andezit dunai homokos kavics és bazalt adalékanyaggal készített beton kis testsűrűségű változásának igen nagy nyomószilárdság-változás felel meg. Az andezitbeton testsűrűsége 2300–2380, a kavicsbetoné 2350–2430, a bazaltbetoné 2400–2500 kg/m<sup>3</sup> közötti. A szilárdságok is ennek megfelelően adódtak. A hajlító-húzó szilárdságok szórási tartománya nagyobb, mint a nyomószilárdságoké.



30.86. ábra. A kopás mértéke a nyomószilárdság függvényében [Egyrétegű (1969)]

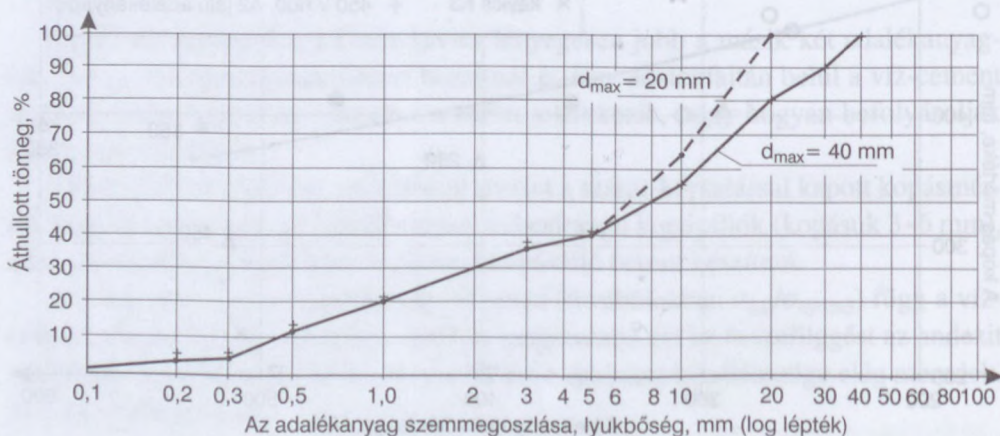
### 30.8.8. Kis szilárdságú kőzetek felhasználása padozati beton adalékanyagaként

Az 5 cm-es bazaltbeton kopóréteggel, illetve műgyanta koptatóréteggel ellátott padozati beton alsó rétege fagyhatásnak kitéve nincs. Éppen ezért a padozati beton alsó rétegeként számításba jöhetnek olyan kisebb szilárdságú kőzetek, amelyeket adalékanyagként felhasználva, velük a megkívánt szilárdságot el lehet érni.

Ennek alátámasztására az alábbiakban néhány kísérleti eredményt mutatunk be az Építőanyagok Tanszéken e tárgyban az OVH megbízásából végzett *Betontechnológiai kísérletek kis szilárdságú kőzetekkel* című kutatásokról. A kísérletek során a következő adalékanyagokkal készítettünk betonokat:

- dunai homokos kavics,
- pilisvörösvári dolomit,
- zebegényi mészkő,
- égett gránit,
- ürömi homokkő.

A kísérletsorozatot 20 mm, illetve 40 mm legnagyobb szemmagyságú adalékanyaggal végeztük el. A szemmegoszlási görbék átlagos értékeit a 30.87. ábrán tüntettük fel. A beton cementtartalma  $350 \text{ kg/m}^3$  váci 600-as cement volt. A 20 mm legnagyobb szemmagyságú adalékanyaggal készített betonból  $7 \times 7 \times 25$  cm-es hasábokat, a 40 mm legnagyobb névleges szemmagyságú adalékanyaggal készített betonból pedig  $15 \times 15 \times 70$  cm-es hasábokat és 20 élhosszúságú kockákat készítettünk. A hasábokon a 28 napos hajlító-húzó szilárdságot (a kisebb hasábokon a nyomószilárdságot is), a kockákon pedig a kockaszilárdságot határoztuk meg. Az adalékanyag homokrészét minden esetben dunai homokkal helyettesítettük. Az olyan kísérletek, amelyeknél a finom rész a durva rész anyagával egyezett meg, kisebb szilárdságot adtak az adalékanyag nagy portartalma miatt.



30.87. ábra. Az adalékanyag szemmegoszlása [Egyrétegű (1969)]



**30.66. táblázat.** Gyengébb minőségű adalékanyagokkal készített betonok szilárdsága és konzisztencia-mérőszámai [Egyrétegű (1969)]

Adalékfajta	$d_{\max}$	Víz-cement tényező	Tömörödési szám	Nyomó-szilárdság N/mm <sup>2</sup>	Hajlító-húzó szilárdság N/mm <sup>2</sup>
Duna-kavics	20	0,73	0,82	40,3	4,69
Pilisvörösvári dolomit	20	0,50	0,69	62,0	6,39
Zebegényi mészkő	20	0,50	0,74	40,0	5,09
Égetett gránit	20	0,54	0,72	40,7	4,44
Ürömi homokkő	20	0,63	0,72	42,4	5,18
Duna-kavics	40	0,65	0,76	51,6	5,23
Pilisvörösvári dolomit	40	0,66	0,92	41,7	3,11
Zebegényi mészkő	40	0,59	0,71	40,2	5,15
Égetett gránit	40	0,56	0,74	40,6	3,83
Ürömi homokkő	40	0,57	0,74	43,8	4,90

Arra törekedtünk, hogy a beton konzisztenciája közel azonos legyen. Ezt a 30.66. táblázat szerint csak közelítően sikerült elérni. A konzisztencia inkább a 0,75 tömörödési mérőszámmal volt jellemezhető és 0,70–0,80 közé esett. A nyomó- és hajlító-húzó szilárdságok átlagértékeit a 30.66. táblázatban foglaltuk össze.

A kísérleti eredményekből az alábbi következtetéseket vontuk le:

a) A 20 mm, illetőleg 40 mm legnagyobb névleges szemnagyságú adalékanyaggal készített betonok nyomó- és hajlító-húzó szilárdsága között nem volt észrevehető különbség akkor, amidőn a konzisztencia-mérőszámuk is azonos volt. Ez vonatkozik a mészkőre, gránitra és a homokkőre. A másik két adalékanyaggal készített beton konzisztencia-mérőszáma ezekétől, illetőleg még egymásétól is eltért. Ez várható is, hiszen a szemmegoszlási görbéket megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy ugyan a legnagyobb névleges szemnagyságban van eltérés, de sem az adalékanyag finomsági modulusában, sem fajlagos felületében lényeges eltérés nincs.

b) A kísérletek eredményei azt is mutatják, hogy a gyengébb minőségű kőzetekből szükség esetén elő lehet állítani a kellő nyomó-, és különösen a kellő hajlító-húzó szilárdságú betonokat. A kopástól védőréteg beiktatásával védeni lehet a betonokat és fagyhatásnak kiteve nincsenek, a döntő igénybevételi formájuk a hajlító-húzó, illetve nyírószilárdság, amelyeknek azonban a gyengébb szilárdságú kőzetekkel készített betonok is ellenállhatnak. Érdeemes volna tehát megvizsgálni ezt a problémát, mert hiszen egyes esetekben a drága bazaltzúalékkal szemben a gazdaságosság problémája erősen felmerülhet.



## 30.8.9. Útátjáró előre gyártott elemekből

[Tápai–Kanda (2009)]

A vasúti átjárókon szinte lehetetlen zökkenőmentesen áthaladni.

### **Előzmények**

A szakemberek régóta keresik a megfelelő megoldást, és most a Könyves Kálmán körút és Gyáli út kereszteződésében egy újszerű, előre gyártott szerkezetet építettek az 1-es villamos pályájába.

A kereszteződés rendkívüli terhelésnek van kitéve, hiszen az M5 autópályára tartó forgalom – korábban az igen nagy kamionforgalom – rendkívüli mértékben vette igénybe a kereszteződést, a felújítás, átépítés halaszthatatlanná vált.

A BKV Zrt. több alternatíva megvizsgálása után az Edilon-Sedra előre gyártott vasbeton lemezes megoldást választotta. A vizsgálat során azt is megállapították, hogy ezzel a rendszerrel a legrövidebb a forgalomkorlátozás, két hétvégi lezárással a kereszteződés átépíthető.

Az Edilon-Sedra holland cég a tervezéssel az Arcus Mérnöki Iroda Kft.-t, a kivitelezéssel a Normálnyomtáv Kft.-t bízta meg.

A holland cég a speciális íves, vályús vasbeton elemeket kezdetben Hollandiából akarta importálni, de a BVM Épelem Kft.-nél tett látogatása után erről a szándékáról lemondott, mert meggyőződött arról, hogy a magyar cég is alkalmas, és kellően felkészült a kényes feladat megoldására.

Az átépítés teljes körű koordinálására, a mérnöki feladatok ellátására az MHV-Cosinus Kft. kapott megbízást.

### **A kísérleti vágányrendszer**

A vasbeton elemek 6000×2200×400 milliméteres méretűek. A vágány, illetve a Vignol-sín befogadását az elemekben kialakított íves vályúk biztosították. A kereszteződés ívben fekszik, ezért az elemek alaprajzi mérete ennek megfelelően trapéz, és a sín befogadására szolgáló vályúk követik az ívet.

A betonnal szembeni követelmények:

- nyomószilárdság jele C40/50,
- fagyállóság jele f100,
- vízzáróság jele vz4,
- kopásállóság jele k25.

A 12,1 tonna tömegű elem normál vasbeton szerkezet. A vasalást B 60.50 minőségű betonacél felhasználásával készítették. A beépített szerelvények normál, melegen hengerelt idomacélokból vannak.

Az alépitmény kellő teherbírását 200 milliméter vastag Ckt biztosította, melyre haránt irányban előre gyártott gerendákat helyeztek el, az irány és a felszín biztosítására. Az elemek és a Ckt közötti hézagot C16/20 fagyálló betonnal kitöltötték.



Az Edilonos vágányépítési technológiával Magyarországon most alkalmaztak először előre gyártott elemet.

### **Gyártástechnológia**

Az elemekkel szemben támasztott igen nagy minőségi követelmény miatt merev sablonos (aggregát rendszerű) gyártást kellett alkalmazni. A szigorú méretpontosság követelte meg a merev sablont, a nagy teljesítőképességű beton az aggregátrendszerrel, mert a rázóasztalon való tömörítéssel megfelelő tömörséget lehet elérni.

A pontos geometria tartása érdekében a gyártás a beépítési helyzethez képest fordított helyzetű, ezért kizsaluzás után azokat meg kell fordítani (30.11. fénykép). A megfordítás után a sínvályút zsaluzó sablont kiserelik. Ez a zsaluzat biztosítja az elemekben elhelyezendő sínek geometriáját, így az ívhűséget, nyomtávot (30.12. fénykép).

A sablon felületének megfelelő előkészítése után a sínvályú nagy pontosságú, íves zsaluzatát rögzítik, majd az elembe kerülő szerelvényeket helyezik el.

Az előre szerelt vasváz beépítése után ellenőrizni kell, hogy a vasalás ne érintkezzen fémesen a szerelvényekkel, ezáltal biztosítva az elemek megfelelő elektromos ellenállását.

A betonozást többszörösen ellenőrzött és kipróbált recept szerint készítették. Az elemek betonja igen nagy igénybevételnek van kitéve, nagyon erősek a korróziós hatások (olvasztósó-hatás, fagyás), de a mechanikai igénybevétel (nagy tengelynyomású járművek, koptató hatás) is jelentős.

A betonösszetétel:

- 430 kg/m<sup>3</sup> CEM I 42,5 jelű tiszta portlandcement,
- mosott, osztályozott homokos kavics, zúzott kavics és uzsabányai bazalt,
- 0,38 víz-cement tényező,
- folyósító adalékszer,
- légbuborékképző a fagy- és olvasztósó-állóság elérésére.

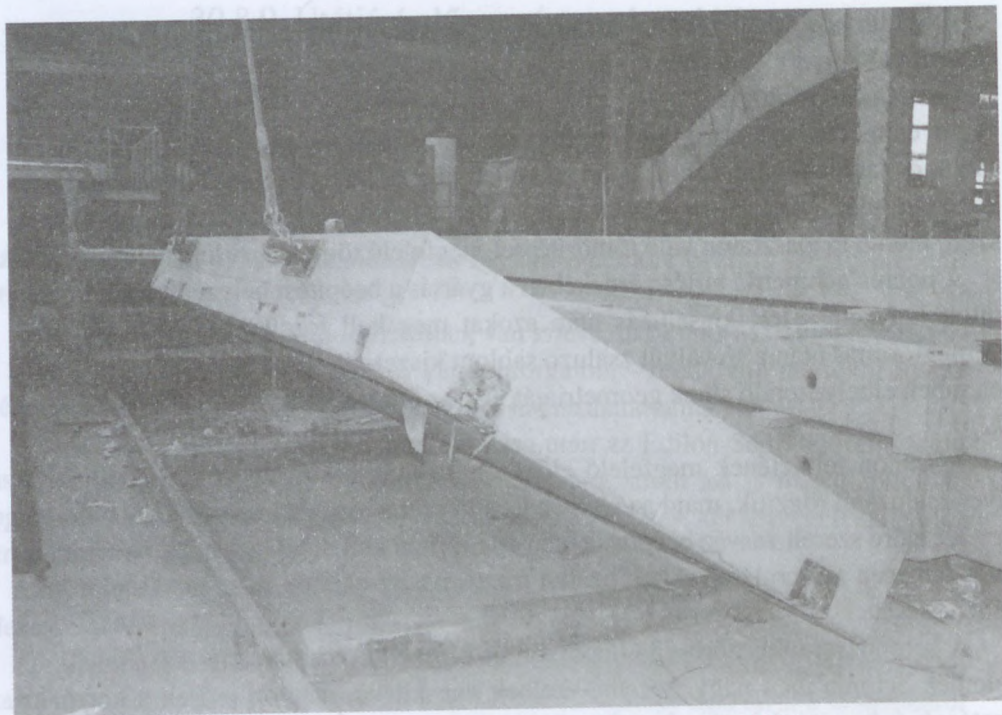
Az elkészített elem a 30.13. fényképen látható.

### **Kivitelezés**

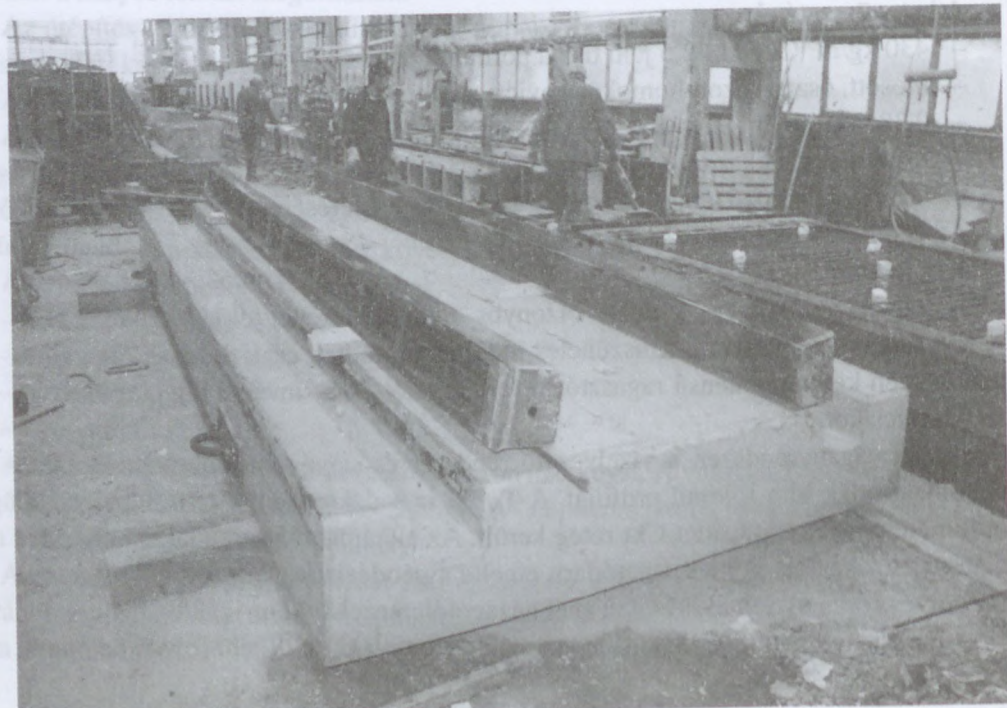
A vágányzár rövidege miatt bizonyos munkafázisokat előre kellett hozni. A helyszínen az éjszakai üzemszünetes időszakban tudtak csak dolgozni. A gyártó telephelyén kétkomponensű ragasztóval felragasztották a sínvályú aljára a betervezett gumicsíkot.

A régi vágányrendszer, a vízelvezető rendszer és szívóponthi kábelek elbontása után alakították ki a földmű profilját. A  $T_{rg}^{395}$  százalékra tömörített földműre 200 milliméter vastag tömörített Ckt réteg került. Az alátámasztó gerendák elhelyezése után az előkészített elemeket autódaru emelte a geodéziaiilag kitűzött helyükre. Az ellenőrzés során észlelt eltéréseket acél hézgalólemezekkel korrigálták.

A panelek elhelyezése után az aláöntés következett C16/20 jelű folyós betonnal, folyamatos vibrálással.

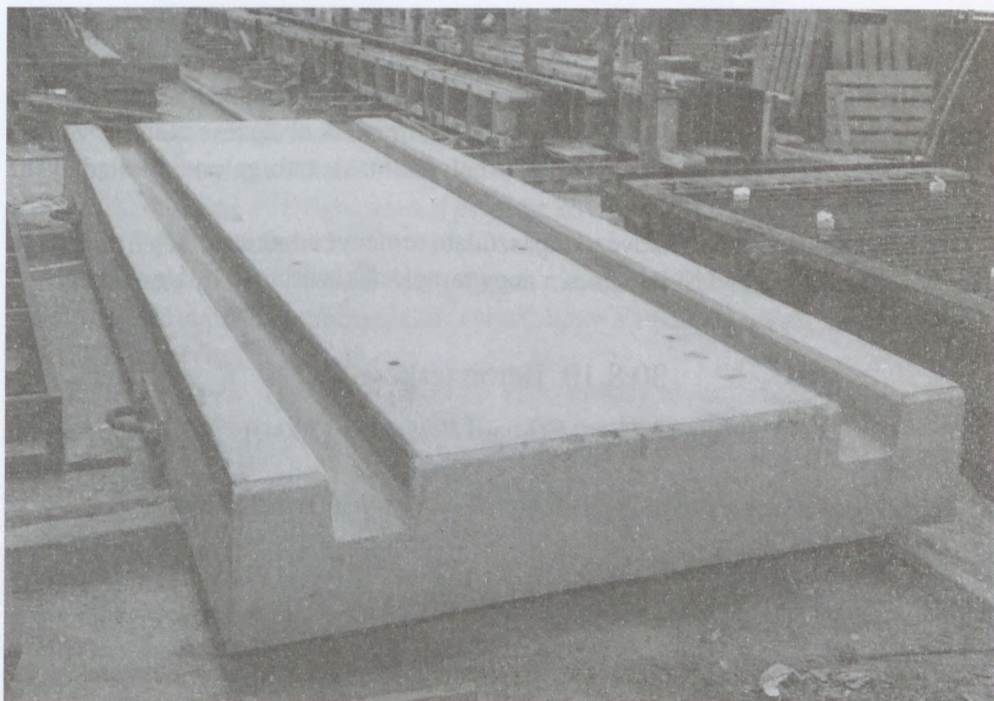


30.11. fénykép. Az elemek fordítása [Tápai–Kanda (2009)]



30.12. fénykép. A síncsatorna-képző kiserelése [Tápai–Kanda (2009)]





30.13. fénykép. Az elkészített elem [Tápai–Kanda (2009)]



30.14. fénykép. Az elkészített átjáró [Tápai–Kanda (2009)]

Ezután beemelték a síneket, rögzítették az Edilon-módszerrel, kétkomponensű, műgyantás kiöntéssel.

A kiöntőanyag megszilárdulása után a panelek közötti hézagokat is kiöntötték az Edilonos hézagkiöntő anyaggal, majd a befejező munkák elvégzése után (szívópon-  
tok elhelyezése, vízvezetés és burkolat-helyreállítás) a forgalomnak átadták az útátjárót (30.14. fénykép).

Az eltelt néhány hónap kedvező tapasztalata reményt adott arra, hogy ez a rendszer hosszú távú megoldást jelentsen a nagy terhelésű közúti útátjárók esetében.

## 30.8.10. Beton térkövek

[Dagmar Theis–Eckhard Bohlmann (2004)]

Külföldi szerzők cikkét használtuk fel, amelyet Asztalos István fordított.

### 30.8.10.1. Fogalma

A betonból készített térkövek olyan építőelemek, amelyeket közlekedési utak, gyalogos járdák és terek felületének burkolására használnak. Különböző formában és különféleképpen kiképzett járófelülettel gyártják.

Formájuk alapján léteznek négyzet, téglalap alakú és hatszögletű térkövek, illetve számos fajtája létezik a különböző alakú térköveknek. A beton térkövekkel szemben támasztott követelményeket a DIN 18501 szabvány tartalmazza Németországban (30.67. táblázat).

**30.67. táblázat.** A DIN 18501 szerinti követelmények [Theis–Bohlmann (2004)]

Alapanyagok:	Cement Adalékanyagok Kiegészítő anyagok	DIN 1164 I. rész DIN 4226 I. rész szerint Fagy- és olvasztósó-álló Fagy- és olvasztósó-állóság nem romolhat
Minőség:	Struktúra Oldalfelület Együttdolgozás	Zárt, repedésmentes Ép Szilárd kapcsolat a kopóréteg és a magbeton között
Alak és méret:	Kiemelt magasságok Hosszúság Mérettűrés	60, 80, 100, 120, 140 mm max. 280 mm Hossz/szélesség: $\pm 3$ mm Magasság: $\pm 5$ mm Hasasság: $\leq 2(3)$ mm
Nyomószilárdság:	Középtérték (5 kő): Egyedi érték: 10%-o fraktilis ( $\geq 10$ kő):	$\leq 60$ N/mm <sup>2</sup> $\leq 50$ N/mm <sup>2</sup> $\leq 50$ N/mm <sup>2</sup>
Fagy- és olvasztósó-állóság		Az igénybevétel szerint



### 30.8.10.2. A térkövek követelményei

#### További követelmények

Ezek a követelmények a gyakorlati adottságokból következnek, a függelékben részletesebben megtalálhatók.

**Zöldszilárdság:** A térköveknek a gyártást követően olyan szilárdnak kell lenniük, hogy ne deformálódjanak.

**Rakatszilárdság:** A rakatképzés idejére – általában 1-2 napon belül – a köveknek kellő szilárdságúaknak kell lenniük ahhoz, hogy a rakatképzésből származó igénybevételeket elviseljék.

**Színezett kövek:** Egyenletes, intenzív szín, csekély kivirágzás.

### 30.8.10.3. A térkövek előállítása és gyártástechnológiája

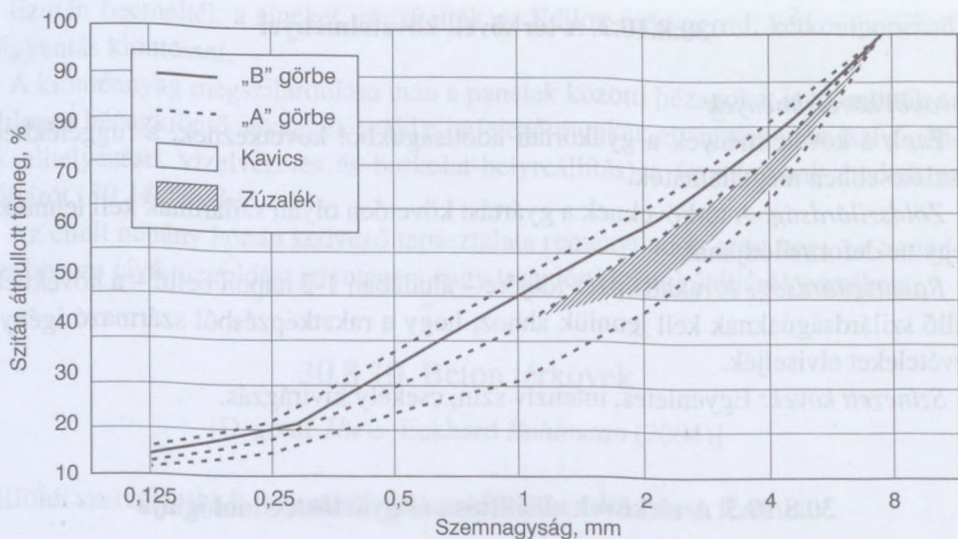
#### A betonösszetétel követelményei

A térkövek betonjának olyan összetételűnek kell lennie, hogy a megfelelőségi és minőségi követelményeket teljesítse, azaz a cement, a kiegészítő anyag, az adalék-

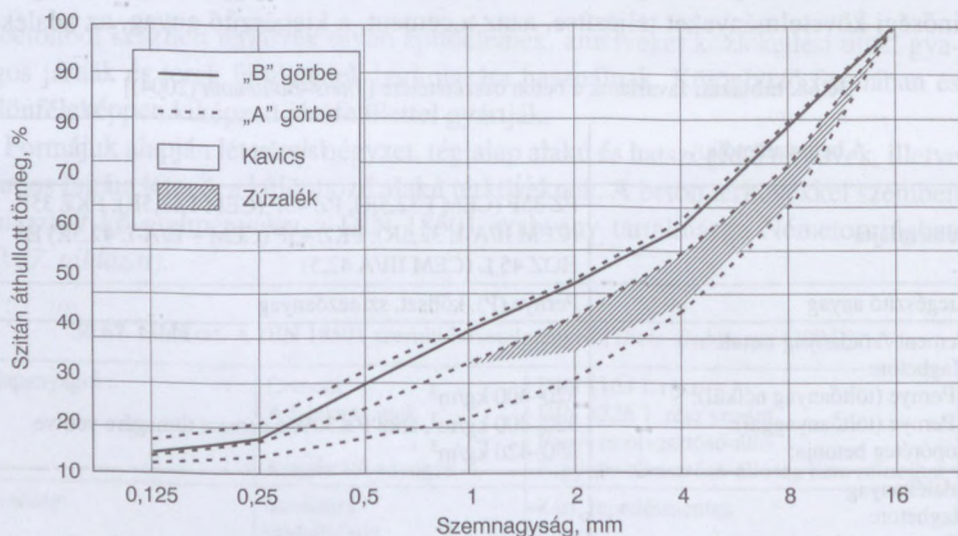
30.68. táblázat. Javaslatok a beton összetételére [Theis-Bohlmann (2004)]

A beton alkotója	Javaslat
Cementfajta	PZ 35F (CEM I 32,5R), PZ 45F (CEM I 42,5R), PKZ 35F (CEM II/A-L 32,5R), PKZ 45F (CEM + II/A-L 42,5R) ÉS HOZ 45 L (CEM III/A 42,5)
Kiegészítő anyag	Pernye (P), kőliszt, színezőanyag
Cement-/kötőanyag-tartalom Magbeton: – Pernye (töltőanyag nélkül): – Pernye (töltőanyaggal): Kopóréteg betonja:	320–400 kg/m <sup>3</sup> 320–400 kg/m <sup>3</sup> , ahol P ≤ 30% a cement tömegére vetítve 350–420 kg/m <sup>3</sup>
Adalékanyag Magbeton: – Szemnagyság:  – Szemmegoszlási görbe  Kopóréteg betonja:	Kavics: 8–16 mm, rendszerint 8 mm Zúzalék: 5–11 mm, rendszerint 11 mm Úgy kell felépíteni, hogy természetes tömörségű legyen. A homok finomrész tartalmára ügyelni kell. Javasolt: Kavicsnál: B 8 vagy B 16, Zúzaléknál: A/B 8 vagy A/B 16 (lásd: 30.88. és 30.89. grafikonokat)
Víz-cement tényező	0,35–0,4
Adalékszer, folyósítószer, légpórusképző	rendszerint 0,2%-tól a cement tömegére vetítve

\* A táblázatban német és osztrák cementek szerepelnek. A megfelelő magyar cementet e könyv elején lévő táblázatból választhatják ki. A táblázat a hazánkban gyártott cementeket tartalmazza.



30.88. ábra. 8 mm-es szemmagyságú térkövek előállításához ajánlott szemszerkezeti görbe [Theis-Bohlmann (2004)]



30.89. ábra. 16 mm-es maximális szemmagyságú térkövek előállításához ajánlott szemszerkezeti görbe [Theis-Bohlmann (2004)]

anyag, a víz és adott esetben az adalékszer fajtája és mennyisége egymással megfelelően összhangolt legyen.

Az elméleti követelmények és gyakorlati adottságok összehasonlításával kísérletet tettek arra, hogy a minőségileg jó térkövek előállításához szükséges betonösszetételt meghatározzák. A megnevezett szabályok természetesen nem minősülnek szabadalmi receptnek, mivel a térkőgyártó üzemekben az eredményt további tényezők is befolyásolhatják. A 30.68. táblázatban megnevezett ajánlatokat javasolják a prob-



lémák megoldásához. A 30.88. és 30.89. ábrán a térkövek előállításához előnyös szemszerkezeti görbe látható a szemnagyság függvényében.

#### *Térkövek előállítása és tárolása*

##### *Előállítás*

A térköveket vibrópréseléses eljárással, különböző gyártóberendezésekkel (blokkgyártók) állítják elő:

1. Palettás blokkgyártó berendezés

2. Többrétegű blokkgyártó berendezés:

– helyhez kötött blokkgyártó berendezés,

– önjáró blokkgyártó berendezés (tojógép).

A térköveket a gyártás után azonnal kiszalazzák, ezért azoknak megfelelő *zöldszilárdságot* kell mutatniuk. Egy paletta, illetve egy réteg térkő előállításának ütem-ideje rendszerint 20–45 másodperc között van.

##### *Tárolás*

A friss térköveket a gyártás módja szerint tárolják:

– *Palettás blokkgyártó berendezés*

Magas-polcokon; lezárva (elkülönített térben) vagy a gyártócsarnokban és részben lezárva.

– *Többrétegű blokkgyártó berendezés*

A gyártott rakatban; elkülönítetten a gyártócsarnokban vagy tojógépnél a gyártás helyén.

Az egyik tárolás hátránya, hogy az általában nyitott gyártócsarnokok huzatosak. Egy huzatmentes, de megfelelően szellőztetett tárolókamrában (szárítókamrának is nevezik) tárolás minden esetben előnyösebb lenne. Ideálisnak mondható a tárolókamrákban egy kiegészítő mennyezeti fűtés, illetve egy megfelelő fűdém-szigetelés, amely megakadályozza a fűdémén képződő kondenzvizet, illetve annak lecsepegését a betonfelületre és ezáltal gátolja a kivirágzás képződését is.

A térkövek az évszaktól függően különböző időtartamig maradnak az úgynevezett szárítókamrákban, illetve a csarnok tárló helyén (nyáron rendszerint 1 napig, ősszel és tavasszal – a külső hőmérséklet függvényében – 2-3 napig).

A térkövek végül belső tárolás során az udvaron egymásra kerülnek és lefedés nélkül, vagy zsugorfóliázva csomagolják azokat (vigyázat: párasodás!). A legjobb az lenne, ha a legfelső kőréteg alá egy műanyag fóliát vagy egy erős papírt helyeznénk, hogy a víz lejutását az alsó rétegekbe megakadályozzuk és ezáltal csökkentenénk a kivirágzási hajlamot.

#### **30.8.10.4. A térkövekben fellépő hibák okai**

A térkövek minőségét sokféle tényező befolyásolja. A betonösszetétel, az alapanyag kiválasztása, valamint a gyártás és tárolás a termék minőségére mind hatással vannak. A 30.69.–30.71. táblázatban felsorolták a legfontosabb ráhatási tényezőket, valamint a lehetséges hibákat.



**30.69. táblázat.** A betonösszetétel hatása és az alapanyag kiválasztása [Theis–Bohlmann (2004)]

		Hatás	
Cement	Hibás cementfajta	Csökkent szilárdság, porózus szerkezet (kivirágzási hajlam!)	
	Túl kis szilárdsági osztály		
Kiegészítő- anyag	Töltőanyag: Túl nagy töltőanyag-tartalom (a cement tömegre vetítve)	Csökkent szilárdság, a fagy- és olvasztósó-ellenállóság csökkenése	
	Színező anyag: Túl kevés szín, sovány betonkeverék*	Kis színintenzitás	
Adalék- anyag	Összetétel	Túl durva Túl finom	Rossz tömöríthetőség, porózus szerkezet, a beton „ragad”, növekvő vízigény
	Szennye- ződés	Szerves, változó	Csökkent szilárdság, leválások, csekély tartósság
	Szín	Nagy eltérés a szintől	Kis színintenzitás és rövid színtartósság
Víztartalom	Túl nagy	Kis „zöldszilárdság”, kihasodás, bélyegre ragadás, világosabb színek, kisebb tartósság	
	Túl kicsi	A kő túl száraz, rossz összetartási viszonyok, rossz szerkezet, nyitott járófelület, alacsony tömörség, vízfelvevő képesség növekszik, kis fagyállóság	
Adalékszer	Túl nagy adagolás	Kis „zöldszilárdság”, kihasodás, bélyegre ragadás	

\* kis cementtartalmú keverék

**30.70. táblázat.** A gyártás hatása [Theis–Bohlmann (2004)]

		Hatás
Forma kitöltése	Túl rövid	Kő magassága túl alacsony
	Túl gyors	Egyenetlen töltés, rossz tömörítés
	Túl lassú	Túltöltött beton, kőmagasság túl magas
Tömörítés	Túl rövid	Szilárdság, csekély tartósság
	Túl hosszú	Kopóréteg bélyegre ragad, leválás, laza szerkezet lehetséges
	Egyenetlen	Ferde felület, repedésképződés, lepattogzás
Forma	Kopott	Életlen szélek, alakatlan kinézet, egyenetlen járófelület
Kő lerakása*	Pontatlan	Repedésképződés, lepattogzás, a kövek összeomlása

\* többretegű blokkgyártó berendezésnél az egyes rétegek pontatlan elhelyezése

**30.71. táblázat.** A raktározás hatása [Theis–Bohlmann (2004)]

		Hatás
Nyitott, huzatos csarnokokban		Gyors, felületi kiszáradás („szomjazás”) hiányos hidratációt okoz, és a külső vízhatásoknál (eső) megnő a kivirágzásra való hajlam
Zárt, szűk kamrákban megfelelő friss levegő nélkül		Nem elég CO <sub>2</sub> : az oldott kalcium-hidroxid nem köt meg, kivirágzás a külső vízre megnő
Zárt, hideg, szigetelés nélküli csarnokokban		Kondenzvíz képződés a födémén, a vízcseppek kivirágzáshoz vezethetnek
Zsugorfóliában bepárasodás, hideg környezet		A kondenzvíz-képződés kivirágzáshoz vezet
Lefedés nélkül		A rakat átnedvesedésekor a víz az alsó rétegekből alig tud kiszáradni, nő a kivirágzás



### 30.8.10.5. Beton adalékszerek térkövekhez

*Az adalékszerek hatása a térkövekben*

Azok az adalékszerek, amelyeket térkövek gyártása során használnak, rendszerint betonképlékenyítőként vagy nedvesítőszerként hatnak. Ez utóbbi termékek plasztifikátorként honosodtak meg.

A plasztifikátorok és képlékenyítők hozzájárulnak a kövek jobb minőségéhez. Csak akkor fejtik ki teljesen hatásukat, ha a betonösszetételre és a térkövek gyártására vonatkozó alapvető követelményeket betartják. A plasztifikátorok kihatnak a friss és a megszilárdult beton tulajdonságaira, amint azt a 30.72. és a 30.73. táblázat mutatja.

#### **Adalékszerek használatának előnyei**

a) *A termelés gazdaságosabb:*

- rövidebb a gyártási idő,
- jobbak a töltési viszonyok és jobb a tömöríthetőség,
- kisebb a kopása,
- kevesebb a selejt,
- egyenletesebb a termelés

**30.72. táblázat.** Az adalékszerek hatása a friss beton tulajdonságaira [Theis–Bohlmann (2004)]

	Hatás
A keverék homogenizálása	Jobb bedolgozhatóság, jobb töltési viszonyok (egyenletesség, töltési idő), könnyebb kizsaluzás, jobb tömörítési készség
Az összetartó képesség javítása	Csekélyebb mértékű érzékenység a víztartalom ingadozásával szemben
A tömörítési készség javítása	Tömörebb, homogénebb struktúra
Pépképződés fokozása	Zárt felületek gyorsabb képződése

**30.73. táblázat.** Az adalékszerek hatása a megszilárdult beton tulajdonságaira [Theis–Bohlmann (2004)]

	Hatás
A szilárdság megemelkedése	„Zöldszilárdság”, rakatszilárdság, 28 napos végszilárdság
A szilárdság szórásának csökkenése	Egyenletesebb minőség
Tömörebb struktúra és adott esetben a kapilláris pórusok hidrofóbizálódása	Kivirágzásra való hajlam csökkenése
Tömörebb struktúra és mikrolégbuborékok bevezetése	A fagy- és olvasztósó-állóság javítása

- b) *Jobb a minőség*
  - nagyobb a szilárdság,
  - jobb a tartósság,
  - kisebb a kivirágzásra való hajlam,
  - egyenletesebb a termékek színe.
- c) *Kevesebb a reklamáció*

### 30.8.10.6. Beton térburkolatoknál figyelembe veendő szempontok

[Kömlő (2000)]

*Kömlő* (2000) szerint beton térburkolatok választása esetén figyelembe kell venni az alábbiakat:

Nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy burkolat alatti közművek üzemeltetése törvényszerű felbontásokhoz vezet. Ausztriai felmérések szerint minden új burkolatot a megépítését követő 3 éven belül legalább egyszer felbontanak. A felbontások gyakorisága természetesen szoros összefüggésben van az úttest alatt vezetett közművek állapotával. A hagyományos beton- vagy aszfaltburkolatok felszedése komoly felszerelést igényel, a felszedett anyag elhelyezése a környezetvédelmi előírások miatt egyre költségesebb. A felület foltozásakor a régi és az új burkolat csatlakozásainál nagy a repedések kialakulásának veszélye.

A térburkoló kövek felszedésének eszközigénye minimális, a roncsolás nélkül felszedett burkolatot újra vissza lehet építeni. A javítási munkák nyomai maradéktalanul eltűnnek. A kisebb felvonulással járó, több részletre tagolható, párhuzamosan végezhető munkák kisebb mértékben, rövidebb ideig zavarják a közlekedést és a lakókörnyezetet.

A beton burkolókövek közötti hézagok a környezet vízháztartása szempontjából fontos szerepet játszanak, a csapadékvíz ezeken keresztül a talajba juthat. Ez a nedvesség a környező növényzet számára létfontosságú. Egyik hazai nagyvárosunk parkjában száz évnél öregebb fák száradtak ki, a sétány szilárd burkolatának megépítését követő években. A csapadékvizet áteresztő burkolattal ez megelőzhető lett volna. Másik komoly gond, hogy a víz-, sőt légmentesen záró burkolatok esetében a teljes csapadékvizet a csatornahálózatnak kell felvennie. Minél kiépítettebb a burkolt terület, annál kisebb mennyiségű nedvesség jut a talajba, illetve annál nagyobb a csapadékvíz elvezetését végző csatornahálózatra, sőt a felszíni vizekre nehezedő terhelés. Németországban a gazdaság dinamikus növekedésének idején készült zárt burkolatokat folyamatosan váltják ki a nedvességet áteresztő térburkolatokra, kifejezetten a csatornahálózat tehermentesítésének érdekében.

*Lányi* (2000) – tapasztalatai alapján – egyértelműen állítja, hogy aki tartós térkőburkolat vagy betonelem gyártására akar berendezkedni, annak a versenyképesség



megőrzése érdekében növelni kell a gyártás és a gyártástechnológia színvonalát. Ehhez elengedhetetlen a céltudatos betontervezés és a megfelelő, modern adalékszer-  
rek használata.

### 30.8.11. Kéregerősített betonpadlók, ipari padlók segédanyagai

#### 30.8.11.1. Murexin műgyanta padlóbevonati rendszer, ipari padlók általában

A szerkesztendő szöveget Bakos Ferencről, a Murexin Kft. alkalmazástechnikai vezetőjétől kaptuk.

A Murexin Kft.-nek többéves piaci tapasztalata van általában az epoxigyanta kötőanyagú aljzatok terén. Továbbiakban egy kis áttekintést nyújtunk a sokoldalú felhasználási lehetőségről és kialakítási módszerről.

A Murexin kiváló minőségű termékeket kínál extrém igénybevételekre. Például nagy terheléseknek kitett gyártócsarnokokban, vegyi üzemekben, ahol saválló bevo-  
nat szükséges, vagy kórházi műtőkben, melyeknek könnyen tisztíthatóknak kell lenniük.

A vállalat a színkártyában szereplő színek széles választékában kínálja az epoxi padlóbevonatait. A különböző követelmények miatt nemcsak sima, hanem érdes felületű padlóbevonati rendszerek is rendelkezésre állnak, így biztosítva az abszolút csúszásmentességet.

A követelményektől függően különböző padlóbevonati rendszerek javasolhatók, így partnereiknek leginkább megfelelő rendszerterméket tudnak szállítani.

A Murexin padlóbevonatok a legnagyobb mechanikai és kémiai terhelhetőség mellett garantálják az egyedi, kreatív színválasztékot is.

#### **Előnyök:**

- önterülő,
- nagyon vegyszerálló,
- oldószermentes,
- nagyon kopásálló,
- 130 különböző színben választható,
- könnyen tisztítható,
- állandó minőségű,
- különböző felületkialakítási lehetőség,
- kvarchomokkal tölthető.

#### **Meggyőző érvek:**

- Az ipari szférában használatos betonpadlók vagy esztrichek nem alkalmasak tartós terhelésre.
- Nagyon fontos a kémiai és a mechanikai terhelésekkel szembeni különleges ellenálló képesség.

- Nagyfokú biztonsági követelményeknek is megfelel (munkavédelem, környezetvédelem).
- Használatspecifikus követelmények (vezetőképesség, élelmiszer-biztonság).

### **Murexin padlóbevonatok választéka**

#### **– Alapozás, kiegyenlítő réteg, habarcsréteg**

#### **– Bevonatok ipari követelményekhez**

- impregnálás, vékonybevonat, struktúrakialakítás és kvarchomokbeszórás,
- bevonatok: epoxi- és PU bevonatok fedőbevonat nélkül, illetve fedőbevonattal,
- hengerelhető és önterülő bevonatok

#### **Bevonatok speciális követelményekhez**

- vezetőképes rendszer,
- különleges alapfelületek (aszfalt),
- páraáteresztő rendszer,

#### **Színezés és dekoratív rendszerek**

- nagy színválaszték a padlóbevonatokhoz,
- kőszőnyeg.

### **Az alapfelülettel szemben támasztott követelmények**

A cementkötésű felületeknek száraznak, teherbírónak, jó tapadásúnak, valamint olaj-, zsír-, por-, laza részektől és más szennyeződéstől mentesnek kell lennie. Az epoxibevonat megfelelő tapadásához az alapfelülettel szemben a következő követelményeket kell betartani:

- Tapadószilárdság: min. 1,5 N/mm<sup>2</sup>.
- Nyomószilárdság: min. 22,5 N/mm<sup>2</sup>.
- Maradék nedvességtartalom: max. 3,5% (CM mérés).

### **Felületvédelem**

Mit tekintünk a legmegfelelőbb felületvédelemnek? Mindig a padlóburkolattal szemben állított követelmények határozzák meg. Különös figyelmet kell szentelni a majdani használat során felmerülő vegyi és mechanikai hatásokra, ugyanakkor elengedhetetlenül fontos a csúszásmentesség kialakítása, érdesség képzése. Alapvetően négyféle felületkezelési eljárást különböztetünk meg – az impregnálástól kezdve a vékony bevonaton, vastag bevonaton keresztül egészen a habarcspadlóig.

### **Impregnálás**

Murexin **EP 1 Epoxi impregnáló** oldószeres, mélyreható, színtelen, kétkomponensű epoxigyanta. Cementkötésű és nedvszívó alapfelületek pormentesítésére, kéregerősítésére, sav-, lúg-, olaj- és üzemanyagálló impregnálására, valamint kopásállóság javítására. Akár mattnedves alapfelületre is felhordható.

Az impregnálás lényege, hogy az egyébként porózus betonfelület felső néhány milliméteres rétegébe beszívódva igen erős felületi szilárdítást ér el, egy alig észlelhető filmréteget képezve a külső kérgen, megakadályozva a cementszemcsék leve-



gőbe jutását, felületi kavicsok kipergését, valamint a felületre jutó folyékony vagy szilárd anyagok leszívódását, kártételét.

### Vékony bevonat

A **Murexin EP 20 Epoxibevonat** oldószermentes, kétkomponensű, önterülő, színes epoxigyanta. Padló- és oldalfal felületek kopás-, ütés- és vegyszerálló bevonatának készítésére. Felülete fényes és sima.

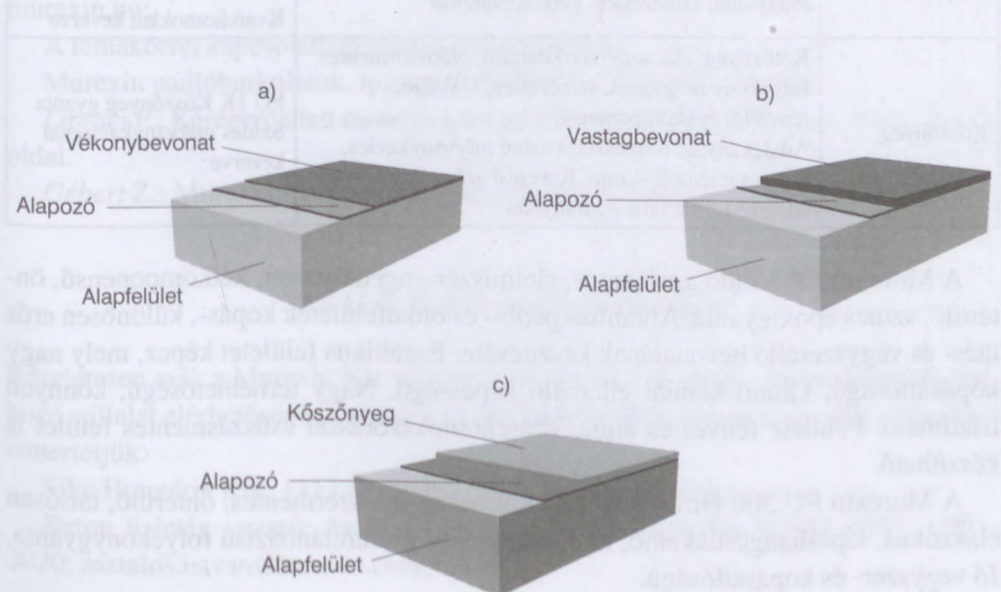
A **Murexin PU 40 Poliuretán vékonybevonat** oldószermentes, színes, kétkomponensű poliuretángyanta bázisú vékony bevonat. Megnyerő optikai megjelenésű felületet ad, amely nagy kopás-, vegyi- és UV állóságú, valamint fényálló.

A kis és közepes mechanikai igénybevételekre alkalmas vékony bevonatok nedves üzemek falbevonataként és kerámiaburkolatok alternatívájaként is használható.

A műgyanták nagy esztétikai és szilárdsági igények kielégítésére is alkalmasak. Ezek rendszerben alkalmazandók, melynek elemei meghatározott sorrendben követik egymást.

A **Murexin EP 70 BM** többcélú epoxigyanta, amely oldószermentes, modifikált, sárgásan áttetsző, töltetlen anyag. Vastag rétegben is kikeményedik, ütésálló, nem szappanosodik, és feszültségmentes az alapfelülettel szemben. Alapozásra, párazárásra, bevonatnak, fedőrétegnek, valamint műgyantahabarc készítéshez is alkalmazható.

Az alapozás megszilárdulása – 24 óra – után az **EP 35 epoxibevonat** következik, mely oldószermentes, kétkomponensű, homokkal töltött, önterülő epoxigyanta. Alkalmas esztétikus, közepes és nagy mechanikai igénybevételű padlóbevonatok előállításához. Nagy terhelhetőségű, magas kopásállóságú, kitűnő kémiai ellenálló képességű és könnyen tisztítható. Igény szerint csúszásmentes kialakítással készíthető, homokszórt felületek képezhető.



30.90. ábra. A Murexin bevonatok rendszerfelépítése [Murexin Kft. (2010)]

30.74. táblázat. A bevonatok rendszerfelépítése [Murexin Kft. (2010)]

Murexin vékonybevonat – rendszerfelépítés			
	Tulajdonság	Típus	Típus
Alapozó	Alacsony viszkozitású, oldószermentes, színezett folyékony műgyanta, kétkomponensű	EP 20 Epoxibevonat	PU 40 Poliuretán vékonybevonat
Vékonybevonat	Oldószermentes, színezett folyékony műgyanta, kétkomponensű	EP 20 Epoxibevonat	PU 40 Poliuretán vékonybevonat

Murexin vastagbevonat – rendszerfelépítés				
	Tulajdonság	Típus	Típus	Típus
Alapozó	Kis viszkozitású, oldószermentes folyékony műgyanta, színezetlen, kétkomponensű.	EP 70 BM Epoxygyanta	EP 70 BM Epoxygyanta	EP 70 BM Epoxygyanta
Vastagbevonat	Oldószermentes, kétkomponensű, színezett folyékony műgyanta	EP 3 Epoxibevonat	EP 35 Epoxibevonat	PU 300 HIREs Poliuretán bevonat

Murexin dekoratív rendszer – rendszerfelépítés		
	Tulajdonság	Típus
Alapozó	Kis viszkozitású, oldószermentes, folyékony műgyanta, színezetlen, kétkomponensű	EP 70 BM Epoxygyanta QS 98 (0,3–0,9) Kvarchomokkal keverve
Kőszőnyeg	Kötőanyag: alacsony viszkozitású, oldószermentes folyékony műgyanta, színezetlen, UV-álló, fényálló, egykomponensű. Adalékanyag: természetes színű márványkavics, szemcseméret 2–4 mm. Keverési arány: kötőanyag/adalék: 1,25:25 tömegarányban	PU 1K Kőszőnyeg gyanta Színes márványkavicsal keverve

A Murexin EP 3 oldószermentes, élelmiszer-engedélyezett, kétkomponensű, önterülő, színes epoxigyanta. Alkalmas padló- és oldalfelületek kopás-, különösen erős ütés- és vegyszerálló bevonatának készítésére. Esztétikus felületet képez, mely nagy kopásállóságú, kitűnő kémiai ellenálló képességű. Nagy terhelhetőségű, könnyen tisztítható. Felülete fényes és sima, kvarchomokszórással csúszásmentes felület is készíthető.

A Murexin PU 300 Hires Poliuretán bevonat oldószermentes, önterülő, tartósan elasztikus, lépéshangcsökkentő, kétkomponensű poliuretánbázisú folyékonygyanta. Jó vegyszer- és kopásállóságú.



### **Dekoratív kőszőnyeggyanta-bevonati rendszer**

A Murexin Kőszőnyeg dekoratív, színes márványkavics felhasználásával sok változatban lehetséges a felhasználása. Könnyű, közepes mechanikai igénybevétel esetén fagyálló, de nem vastag padlózat céljára, fokozott lépésbiztonsági előírásoknak megfelelően. UV-álló, ennek következtében kültéri burkolásra is kiválóan alkalmas. Átlátszó fedőbevonat felhordását javasoljuk záróréteggént a tisztán tartás megkönnyítése céljából.

**PU 1K Kőszőnyeggyanta** egykomponensű, kemény, színtartó, szagtalan poliuretán gyanta. A levegőben levő nedvesség hatására köt, mindemellett a keletkezett filmréteg időjárás- és dörzsölésálló.

Megkönnyíti a szennyeződésre hajlamos burkolatok felületének tisztítását.

Csarnokok, ipari létesítmények aljzatának, **monolit ipari padlók** kialakításához különféle felületkeményítő anyagokat használnak.

**Padlószilárdító 100, Padlószilárdító 400:** ásványi padlóbeszóró anyag, nagy igénybevételnek kitett betonpadlók és aljzatok monolit koptatórétegének előállítására műhelyekben, garázsokban, raktárakban és termelőüzemekben.

Az **MFT acélhaj** nagy szilárdságú, bordázott felületű, hullámos kiképzésű acélhajszál. Kitűnő szilárdságot ad, és különösen monolit betonlemezek készítéséhez ajánljuk. Formatartást biztosít az esztrichnek és a betonnak, aljzatbetonokba acélhálóvasalat helyett használható.

A termékek műszaki leírásai a [www.murexin.hu](http://www.murexin.hu) weboldalukon elérhetők.

A vállalat elérhetősége

MUREXIN Kft., 1103 Budapest, Noszlopi út 2.

Ügyvezető: Cili Aladár, Elérhetőségei: 06-20-9339-068; 1/2626-000, [murexin@murexin.hu](mailto:murexin@murexin.hu);

A témakörrel kapcsolatban megjelent szakkikkek:

Murexin padlóburkolatok, ipari padlók. *Beton*, 2004, 18–19. oldal.

*Lipcsei P.*: Kéreggerősített monolit ipari padlók segédanyagai. *Beton*, 2000, 26–27. oldal.

*Gébert Z.*: Murexin ipari padlók, padlóbevonatok. *Beton*, 2003, 16–17. oldal

### **30.8.11.2. Egyéb vállalatok anyagai**

Részletesen csak a Murexin Kft. anyagait ismertettük. A többi – e témakörrel foglalkozó vállalat elérhetőségét, valamint a témakörrel kapcsolatban megtalált szakkikkét ismertetjük.

Sika Hungária Kft., 1117 Budapest, Prielle Kornélia utca. 6.

Beton üzletág vezető: *Asztalos István*. Elérhetőségei: 06-20-943-3620; 1/371-2020; [asztalos.istvan@hu.sika.com](mailto:asztalos.istvan@hu.sika.com);

Németh F.–Berecz A.: Sika anyagrendszerek, technológiák és berendezések az M6 autópálya építésében. Beton, 2010. 8–10. oldal.

Sika Hungária Kft.: Sika CarboDur szerkezet megerősítés: Beton, 2001, 18. oldal.

Sika Hungária Kft.: Ipari padlók. Beton, 1998, 10. oldal.

Asztalos I.–Németh F.: Kiöntőhabarcsok és betonok. Beton, 2001, 22–23. oldal.

MBT-CT Hungária Kft.

Rejtő P.: Ipari padlók HAREX acélszálal betonból. Beton, 1998, 7. oldal.

MAPEI Kft., 2040 Budaörs, Sport út 2.

Ügyvezető igazgató: Markovich Béla. Elérhetőségei: 06-26-422-620; markovich.bela@mapei.hu.

Szautner Cs.: MAPEI a betoniparban. Beton, 1999, 12–13. oldal.

MAPEI Kft.: MAPEI termékek ipari padlókhoz, betonhoz és cementhabarcsokhoz. Beton, 1999, 16. oldal.

Szautner Cs.: MAPECRETE rendszer. Beton, 2011, 14–16. oldal.

Szautner Cs.: Betonfolyósítás hideg időben. Beton, 2000, 7. oldal.

5. DEKORBETON Kft. Tel./Fax: 220-8663

Csizmadia J.: Az ipari padlótól a díszburkolatig. Beton, 1998, 5–6. oldal.

## 30.8.12. Vákuumbeton padló

A 29. fejezetben ismertettük a vákuumozás technológiáját, előnyeit, hátrányait. Kb. ez volt 10 évvel ezelőtt az élenjáró padlókészítési technológia.

A 31. ÁÉV vákuumbeton padló treform gerendával című segédletet dolgozott ki. A vállalat által épített jelentősebb ipari padlókat ugyancsak a 29. fejezetben ismertettük.

## 30.9. Betonútépítés

Ez a fejezet az országos és a helyi közutakkal foglalkozik.

### 30.9.1. A betonútépítés helyzete külföldön

Az útbetonépítés az elmúlt ötven évben – hazánkban és az európai országokban – hasonló volt. Először a külföldi tapasztalatokat foglaljuk össze.



A külföldi beton-aszfalt vitát konferenciákon, tanulmányutakon lehet nyomon követni. A konferencián elhangzottakról a Beton szakmai folyóiratban számolnak be. Pl.:

Karsainé Lukács Katalin és Bencze Zsolt a nyugatnémet Betonutak 2009 konferenciáról, Kovács Tamás a lengyelországi betonútépítésről, Boromissza Tibor hat országban szervezett konferenciáról, Fehérvári Sándor az osztrák betonszövetség 2010 évi konferenciájáról számoltak be.

A Beton folyóirat a VII. Budapesti Nemzetközi Ütügyi Konferenciáról Erdélyi Attila hozzászólását ismertette.

Steinberger (fordította: Erdélyi Attila) 2004. márc. 11-én tartott Betonút Szimpóziumon elhangzott előadásában Betonutak Ausztriában – irányzatok és fejlesztés c. témát ismertette. Az előadás összefoglalása:

A beton pályalemez a legalkalmasabb az elsőrendű úthálózat számára a növekvő nehézármű-forgalomnál (elsősorban szilárdsága, jó teherelosztó képessége, az abroncshoz való jó tapadása, kopásállósága és alaktartóssága miatt), főleg a közlekedésbiztonság, a környezetvédelem és a gazdaságosság szempontjából.

A mosott beton felület már évek óta a csúcstechnológia, részben a zajcsökkentése, részben a jó tapadása/súrlódása miatt. Valamivel nagyobb zajkibocsátást megengedve (8 mm helyett  $d_{\max}=11$  mm is megengedhető) vizesen is jobb a súrlódás/tapadás, a valamivel durvább felület miatt.

A 12 órás gyorsbeton a közlekedési dugók időtartamának csökkentésével gazdasági hasznot is hoz a rövidebb táblacsere vagy rövidebb javítási munka révén: mind-ez környezetkímélést jelent.

Németországban javult a beton útburkolat versenyképessége [Hilger–Liptay (1995)].

A Német Szövetségi Közlekedési Minisztérium nagy jelentőséget tulajdonít a különböző anyagú útburkolatok teljesítőképessége és használati értéke szerinti összehasonlításnak a következők szerint.

Az útépítésnél és az építési mód kiválasztásánál a következő szempontokat kell figyelembe venni:

- Az aszfalt- és a betonburkolatok műszaki szempontból elvileg egyenértékűek, ami azt jelenti, hogy egyazon forgalmi terhelési osztályba tartozó építmények a tervezett használati időn belül a forgalomból származó terhelést károsodás nélkül fel tudják venni. Az építésmód kiválasztásánál a különleges terhelés figyelembe veendő. (A használat időtartamát rendszerint 20 évnek tekintik.)

A versenyt úgy kell biztosítani, hogy a választott építésmód mellett más építésmódra vonatkozó ajánlatokat is figyelembe kell venni, azaz a kiírás mellékleteként más építésmódra vonatkozó feltételeket is meg kell adni. (Pl. aszfalt- vagy betonburkolat, az összetételre és a kivitelre vonatkozó különleges előírások.)

Azon esetekben, amikor helyi, illetve körzeti adottságok (pl. talajviszonyok, építési fázisok és határidők, építőanyag-előfordulások, zajvédelem stb.) alapján egy



építésmódot műszakilag előnyben részesítenek, akkor ezt, illetve a többi megoldás kizárását indokolni kell.

A szabályozás célja, hogy a különböző építésmódok értékelését a megbízók és a megbízottak számára átláthatóvá tegye, s hogy a forgalmas autópályák burkolatainak már a garanciális időn belül fellépő alakváltozásait a jövőben elkerüljék.

A nagy forgalomnak kitett útburkolatok építésére és felújítására vonatkozó pályázatokat a „VB” forgalmi terhelési számtól függően (ez a nehézgépkocsik átlagos napi forgalmát jelenti a forgalmi sávban a burkolat tervezési időszakában) szabályozták.

*Fleischer, W. Korszerű beton autópálya építése Németországban* című, 2004. évi Betonút Szimpóziumon elhangzott előadásában elhangzottakat Erdélyi A. fordító a zárszóban következőképpen foglalta össze:

A beton a nehéz forgalmú közlekedési felületek, mint például autópálya, repülőtér, nagy sebességű vasúti szerelvények, ipari rakodóterek stb. számára kiválóan alkalmas, mert használati élettartama, tartóssága, gazdaságossága és környezetkímélő volta teszi azzá. Teherbíró, alaktartó, sík felületű, világos színű, jól tapad az abroncsokhoz és zajkibocsátása is kicsi. A beton azért alkalmas a 20, illetve 30 éves élettartam örök költségét kimutató BOT-moddal teljesítésére, ahol a tartós funkcióképességet kell alapul venni, és nem a bekerülési költséget. A Koblenz közelében levő A01 német autópálya kiírási feltételeit már e funkciós modell alapján nyerte el a Walter-Heilit cég.

1996. okt. 22-én az osztrák cementipar a székházában *Beton az útépítésben* c. konferencián elhangzottakat Erdélyi következőképpen foglalta össze: *Az osztrákok az autópálya-építésben és -felújításban, a kutatástól szabályozásig, a pénzháttértől a technológiáig letették a garast a beton mellett.*

Kovács (2003) meglévő lengyelországi (A4 autópálya Wroclaw környéki szakasza) betonút felújítását ismertette.

### 30.9.2. A betonútépítés helyzete hazánkban

[Liptay (1996)]

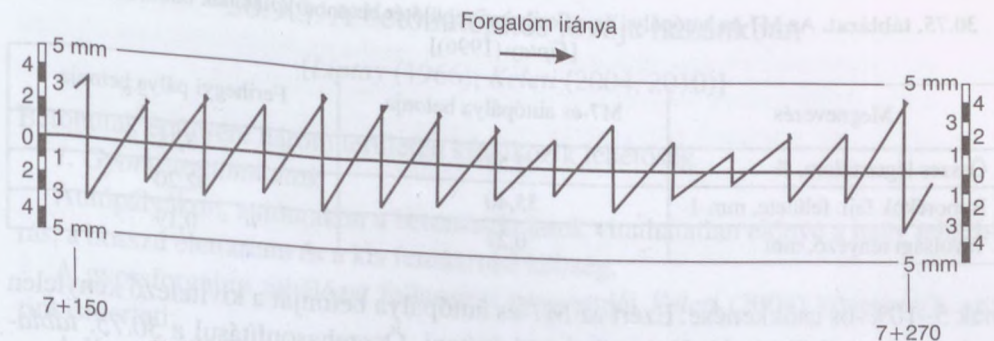
Az M7-es autópálya építése 1975-ben befejeződött, és azóta autóúton, autópályán csak aszfaltburkolatú pályát építettek. Betonból csak kísérleti burkolatokat építettek.

Aszfaltburkolatú pályaszerkezetek előnyben részesítésének két fő oka volt.

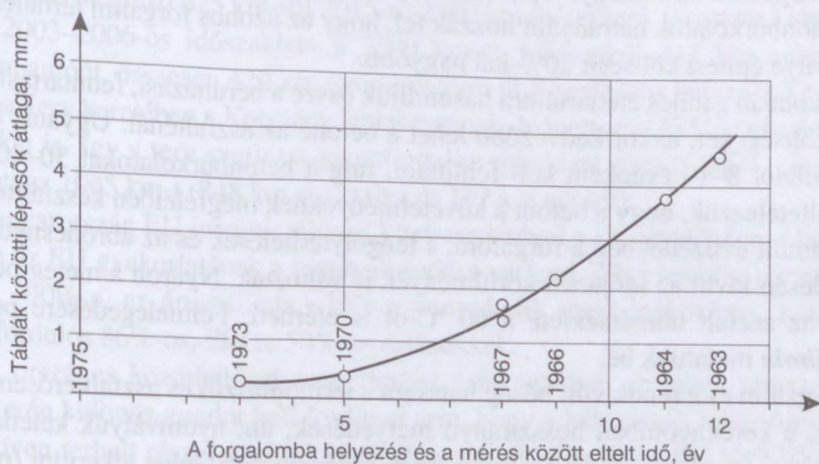
Az M7-es autópálya hézagait teherátadó acélbetétek nélkül építették. A betonburkolat alatt 2 cm vastag bitumenes kiegyenlítést készítettek.

Ennek a szemcséi könnyen kimosódhatnak. Hatására a forgalom következtében – rövid időn belül – lépcsők alakultak ki a keresztézagoknál. Az Építőanyagok Tanács [Balázs–Borján (1974)] a lépcsők nagyságát hosszú időn át vizsgálta. Az M7-es





30.91. ábra. A betontáblák relatív helyzete az autópályán [Liptay (1996)]



30.92. ábra. A betontáblák közötti lépcsők átlagának változása az idő függvényében [Liptay (1996)]

autópálya egy jellegzetes szakaszának a lépcsőit a 30.91. ábrán szemléltetjük. A lépcsők a forgalomba helyezést követő néhány éven belül kialakultak, és nagyságuk idővel nőtt. A 30.92. ábrán látható a forgalomba helyezés időpontja és a vizsgálat során megmért lépcsők átlagos magassága.

Hazánkban a hó- és jégolvasztó téli szózást a 60-as években kezdték alkalmazni.

A régebben épített utak betonburkolata kevésbé károsodott, mint a fiatalabb korúak burkolata, melyeket a forgalomba helyezését követően néhány év múlva, vagy esetleg azonnal hóolvasztó szózással kezeltek. Ezeknél a fiatalabb korú betonburkolatoknál a felület hámlása rendszerint azonnal megjelent. A károsodás megelőzésének módszere, a légpórusképző adalékszerek használata hazánkban csak 1972-től lehetséges.

A szakemberek sokáig úgy gondolták, hogy nagy szilárdságú tömör betont kell készíteni, és az ellenáll a téli szózás káros hatásának is. Nehezen vették tudomásul, hogy a légpórusképző adalékszer használatával együtt jár a beton nyomószilárdságá-

**30.75. táblázat.** Az M7-es autópálya és a Ferihegyi repülőtér betonburkolatának buborékeloszlása [Liptay (1996)]

Megnevezés	M7-es autópálya betonja	Ferihegyi pálya betonja
Összes légtartalom, %	2,53	3,11
Buborékok fajl. felülete, mm-1	35,40	32,20
Távolsági tényező, mm	0,27	0,19

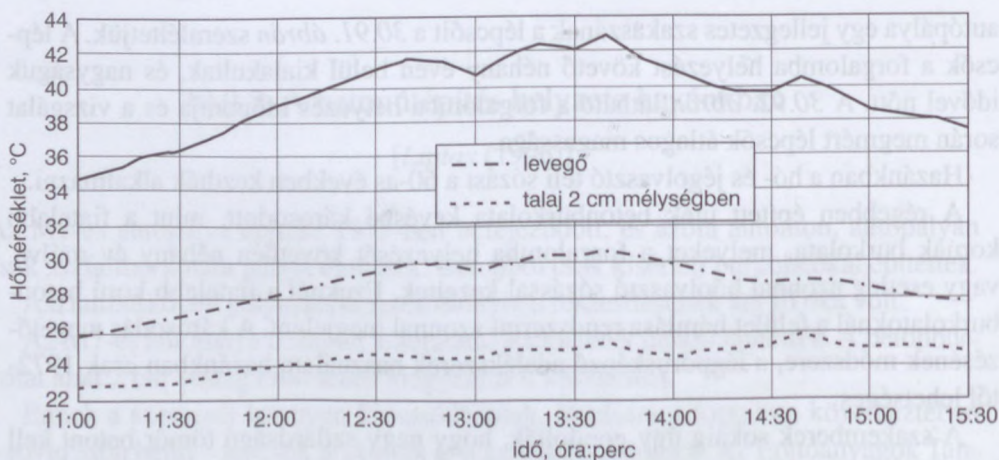
nak 5–10%-os csökkenése. Ezért az M7-es autópálya betonját a kivitelező kénytelen volt a célszerűnél kisebb légtartalommal építeni. Összehasonlításként a 30.75. táblázatban megadtuk a Ferihegyi repülőtéren épített betonbuborék jellemzőit.

A betonburkolatok hátrányául hozzák fel, hogy az azonos forgalmi terhelésre tervezett pálya építési költsége 20%-kal nagyobb.

Ha azonban a teljes élettartamra hasonlítjuk össze a beruházási, fenntartási és felújítási költségeket, akkor kedvezőbb lehet a betoné az aszfalténál. Ugyanis az aszfaltburkolatot 8–10 évenként kell felújítani, míg a betonburkolatokat 30–40 évenként. Feltételezzük, hogy a betont a követelményeknek megfelelően készítették el.

Az elmúlt évtizedekben a forgalom, a tengelyterhelések és az abroncsnyomások növekedésén kívül az időjárási körülmények is változtak. Nyáron a meleg periódusokban az aszfalt hőmérséklete a 60 °C-ot is elérheti. Felmelegedésére példát a 30.93. ábrán mutatunk be.

A forgalom és a rendkívüli hőség hatására a termoplasztikus aszfalt erősen deformálódik, a keréknyomban hosszirányú mélyedések, ún. nyomvályúk keletkeznek. Az aszfalt nyomvályúsodását összetételének módosításával lehet elkerülni (polimerekkel módosított bitumen, zúzalékdús aszfaltkeverékkel stb.), de ezek növelik az építési költséget.



**30.93. ábra.** A levegő, az aszfalt és a 2 cm mélységű talaj hőmérsékletének változása 1993. szeptember 13-án [Liptay (1996)]



### 30.9.3. A betonútépítés jövője hazánkban

[Liptay (1966); Keleti (2004, 2010)]

Betonutak építésére három területen kínálkozik lehetőség

#### 1. Gyorsforgalmú utak

Autópályákon, autóutakon a betonburkolatok vitathatatlan előnye a nagy teherbírás, a hosszú élettartam és a kis fenntartási költség.

A gyorsforgalmi úthálózat fejlesztési programját Keleti (2004) következők szerint ismerteti:

A Kormány 2044/2003. (III. 14.) sz. határozatában a gyorsforgalmi úthálózatot a 2002 végén meglévő 625 km-ről 2015-re 2580 km méretűnek javasolta kiépíteni.

A 2003–2006-os időszakban a 2580 km-es hálózathoz 312 km autópálya és 108 km autóút, összesen 420 km gyorsforgalmi út forgalomba helyezését tartotta az Európa Terv keretében a Kormány lehetségesnek, beleértve a 2002 végén épített szakaszokat is. Így a terv szerint a gyorsforgalmi úthálózat mérete 2007. január 1-jén elérheti az 1045 km-t (848 km autópálya és 197 km autóút).

Magyarország EU integrációjának kiteljesedésével a közlekedési munkamegosztásban az EU gyakorlatának a meghonosodása várható. 2015 körül a személyközlekedés ~90%-a, az áruszállítás ~70%-a bonyolódik majd le közúton, szemben az ezredfordulás 86%-os, illetve 50%-os értékekkel.

Az országos közúthálózat szolgáltatási színvonalával szemben támasztott igények terén különös gondot kell fordítani arra, hogy a hálózatnak nehézforgalommal intenzíven terhelt részei a vállalt határidőre megfeleljenek az EU 96/53/EK számú irányelvben foglalt kritériumoknak. Fontos, hogy a közúthálózat szolgáltatási szintje a továbbiakban lépést tudjon tartani ezzel az igénnyel, és e kihívásra az életciklusuk alatt gazdaságosan üzemeltethető pályaszerkezetekkel lehessen válaszolni.

A gyorsforgalmi úthálózat fejlesztési terve kapcsán e kihívásra adandó válasz kidolgozása érdekében a Nemzeti Autópálya Rt. a Budapesti Műszaki Egyetem és Közlekedéstudományi Intézet vezető szakembereiből álló alkalmi munkabizottságot kért fel.

#### A munkabizottság

- összefoglalta a gyorsforgalmi utakon, Magyarországon eddig alkalmazott pályaszerkezetekkel kapcsolatos üzemeltetői tapasztalatokat,
- elemezte e pályaszerkezetek jellemző hibáit, azok okait,
- megállapította a 2015-ig tervezett gyorsforgalmi úthálózat várható nehézforgalmi terhelését,
- értékelt a rendkívül nagy nehézforgalmi terhelésű utak pályaszerkezet-építésének nemzetközi, főként európai gyakorlatát, és összegezte az ilyen terhelésnek megfelelő pályaszerkezetek kialakítására készült hazai kísérleti útszakaszok eredményeit,



- a tervezési élettartam alatt várható nehézforgalom és a klimatikus viszonyok igénybevételeinek egyaránt megfelelő pályaszerkezet-változatokra, azok életciklus-költségeinek alapvető szem előtt tartásával tett javaslatot,
- kidolgozta a javasolt pályaszerkezetek Műszaki Szállítási Feltételeit, amelyek megalapozzák az Ütügyi Műszaki Előírásoknak az EU normákhoz való – soron levő – igazítását.

A következőkben e munkáról adott összefoglaló áttekintést *Keleti* (2010) következő cikkében.

A pályaszerkezet-választás irányelveit az országos közúti hálózatra ismertette a következők szerint.

Az elmúlt évtizedben elsősorban a gyorsforgalmi utak pályaszerkezeteinek tervezése, építése, üzemeltetése és fenntartása során felhalmozódott és értékelt tapasztalatok eredményeként *MAÚT munkabizottsági* munka keretében elkészült az útpályaszerkezetek tervezése során figyelembe venni tanácsos eljárásokat összefoglaló tervezési útmutató, amely különös súlyt helyez a következőkre:

A megrendelő tervezési diszpozíciójára, amelynek egyértelműen le kell írnia a tervezési feladat természetét (új út építése, meglévő út felújítása, illetve kapacitásbővítő rekonstrukciója-e a feladat), a pályaszerkezet élettartamára, az ahhoz tartozó vizsgálati időtartamra vonatkozó elvárásokat, az elvárt élettartamhoz, avagy vizsgálati időtartamhoz tartozó tervezési forgalom meghatározásához használható adatbázist és tervezési módot, az üzemeltetés színvonalmutatóit, a fenntartás ciklusait és lehetséges költségeit.

A tervező pályaszerkezet-választási javaslatát megalapozó vizsgálatok fontosságára, nevezetesen a lehetséges szerkezeti megoldások kialakítására, ezek építési, üzemeltetési és fenntartási, úthasználói (társadalmi) költségeinek meghatározására, az érzékenységi vizsgálatokra, a hatékonysági elemzésre és mindezek alapján kialakított döntési javaslatra.

A döntési javaslat alapján kiválasztott pályaszerkezet tervezésének lépéseire.

## 2. Nagy és nehéz terhelésű utak

Azokban az ipari központokban, amelyekben nagy a nehéz tehergépkocsi-forgalom, a betonburkolatú utak előnyösebbek az aszfaltburkolatúaknál.

A szokásos útbetonokon kívül még további két változat is számításba vehető.

A viszonylag lassú forgalmú útszakaszokat aszfalt finiserekkel bedolgozható hengerekkel tömöríthető betonnal lehet burkolni. Az így épített burkolat felületi egyenetlensége valamivel rosszabb a szokásosnál, de kisebbek az építési költségek.

Építhetők olyan útszakaszok is, amelyeknél a nagy szilárdságú betont vékony aszfalttréteggel burkolják.

## 3. Kis forgalmú, nehéz terhelésű utak

Ilyenek a mezőgazdasági utak. A mezőgazdaság előbb-utóbb abban a helyzetben lesz, hogy ilyen utakat építsen. A legegyszerűbb megoldás: homokos kavics védőrétegre helyezett vékony betonburkolat építése.



Bár 1975 óta betonutat nem építettünk, az ott megszerzett gyakorlat nem veszett kárba, mert ipari betonpadozatokat folyamatosan építettünk, ahogy azt a 30.8. fejezetben részletesen ismertettük.

### 30.9.4. Példák az útbeton építésére

Külföldön és hazánkban is arra törekednek, hogy az útbetonépítés létjogosultságát bizonyítsák. Továbbiakban erre mutatunk be hazai példákat.

#### 30.9.4.1. Gyorsbeton

[Kádár–Németh (1999), Erdélyi–Máhr (1999)]

Új technológia eredménye az M7-es autópálya 83+200 km szelvényében végrehajtott táblacserénél: 24 óra alatt forgalomba helyezhető.

A közlekedésépítésben általánosan elterjedt vélemény, hogy a betonburkolat hibáit – ellentétben az aszfaltburkolatéval – nem lehet gyorsan és szakszerűen kijavítani. Az alábbiakban leírt kísérlettel ezt kívánják cáfolni.

A Betonolith K+F Kft. és a Betonútépítő Nemzetközi Építőipari Rt. javaslatára és pályázata alapján az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. az ÚTALAP-ból finanszírozta az ún. gyorsbeton-táblacserés építési mód kipróbálását.

Az Állami Autópálya Kezelő Kht. az M7-es autópálya betonburkolatának javítására, a tönkrement burkolat kibontott betontábláinak helyére *műanyag szálás beton* kísérletkénti beépítéséhez hozzájárult. A kísérlet helyszínének megtekintése során – a Betonolith K+F Kft. szakértőinek javaslatára – a kísérleti program kiegészült azzal, hogy a műanyag szálás beton mellett, szál nélküli és acélszálás betontáblák is készüljenek.

Az ÁKMI Kht. és az ÁAK Kht. a kísérleti munka *alapkövetelményeként a betonburkolat 24 órás korbani forgalomba helyezhetőségét határozta meg.*

A kísérleti változók az alábbiak voltak:

- 2 tábla készítése folyósító és légpórusképző szerrel, szál nélkül (kontroll);
- 2 tábla készítése folyósító szerrel, 1 kg/m<sup>3</sup> polipropilén műszáladagolással;
- 2 tábla készítése folyósító és légpórusképző szerrel, 35 kg/m<sup>3</sup> HAREX acélszál-adagolással.

A kísérletnél felhasznált adalékszerek azonos gyártótól származtak.

A technológiai utasítást (TU) dr. Liptay András (Betonútépítő Nemzetközi Építőipari Rt.) készítette. Eme TU alapján a Betonolith K+F Kft. 1997-ben laboratóriumi előkísérleteket folytatott, hogy az adalékszerek, cementfajta, szállítási távolság ismeretében a megfelelő recepteket összeállítsa. A kísérletek igazolták, hogy a



betonút a CEM I 52,5 és CEM I 42,5 R jelű portlandcementtel, valamint különböző adalékszerekkel, 20 °C körüli hőmérsékleten már egynapos korban forgalomba helyezhető, 35-40 N/mm<sup>2</sup> nyomószilárdságú, légpórusképzős beton készíthető, akár rosterősítés nélkül, akár száladagolással, az ehhez tartozó nagy hajlítószilárdsággal. Kisebb hőmérsékleten is teljesült a 25 N/mm<sup>2</sup> nyomószilárdság, valamint 3,75 N/mm<sup>2</sup> hajlító-húzó szilárdság, ami a 24 órás kori forgalomba helyezés feltétele. (Az osztrák előírások szerint. Hazai előírás még nincs.)

A sikeres laboratóriumi vizsgálatok után az ÁAK Kht. képviselőivel kijelölték a helyszínen az elbontandó táblákat (M7-es autópálya jobb pálya haladósávjában a 83+200 kmsz-ben és a 83+260 kmsz-ben, a balatonvilágosi ESSO benzinkút kihajtó ága melletti haladósávban.) Ezek a táblák hosszirányban, középen voltak elrepedve. Forgalomterelési nehézségek miatt nem teljes szélességű táblák cseréjére kaptak engedélyt, hanem a táblák részleges elbontására és újraépítésére. Teljes szélességű tábla bontása esetén a jobb pályát a forgalom elől le kellett volna zárni, amit a kora őszi időpontra való tekintettel a pálya üzemeltetője nem engedélyezett.

A kivitelezés időpontja 1998. szeptember 28–30. között volt. Ezt megelőzően kiválasztották a betonkeverő telepet. A kiválasztás szempontjai között szerepelt, hogy a keverőtelep alkalmas legyen többfrakciós adalékanyagból készíteni betont, az adalékanyag frakciónként való tárolását egy hétre biztosítsa, lehetőség szerint a betonozáshoz minél közelebb legyen, és laboratórium is legyen a keverőtelepen. Ezeket a feltételeket leginkább a székesfehérvári Danubiusbeton Dunántúl Kft. tudta biztosítani az ARÉV laborjával. A kísérlet előtti héten megtartották a keverőtelepen a próbakeverést, különös tekintettel a folyósítószer adagolásának mennyiségére, mivel a keverőteleptől a betonozási terület mintegy 35 km-re volt. Az időpont pontos kijelöléséhez megkérték a meteorológiai előrejelzést.

A kivitelezés megkezdéséhez elengedhetetlen forgalomterelési terveket és a forgalomterelést az ÁAK Kht. biztosította. Ilyen előzmények után kezdtek hozzá a táblacseréhez.

1998. szeptember 25-én vették át a munkaterületet. 28-án reggel a forgalomterelésen és a felvonuláson túl először a még meglévő, de elbontandó betonburkolatból fűrt magmintákat vettek, hogy később ezeken a próbatesteken nyomószilárdságot, hasító-húzó szilárdságot, víztartalmat, testsűrűséget, kloridtartalmat stb. mérhesse-nek.

A tényleges bontáshoz a táblákon kijelölték a hosszvágás helyét (20 cm-re a repedéstől, a pálya tengelyével párhuzamosan), teljes vastagságban átvágták a táblát, majd a csatlakozási keresztvégzagról 40–50 cm-rel beljebb, 10 cm mélyen rávágták a bontandó táblára. A rávágott hézagon belül a betonburkolatot kotrógépre szerelt bontókalapáccsal bontották el. Az átvágott hézag és a rávágott hézag közötti részt kézi módszerrel bontották, hogy a megmaradó betontábla szélei ne sérüljenek. A kibontott anyagot – egy későbbi kísérletre gondolva – a közeli kommunális hulladéklerakó telepre szállították, ahol egy évig külön tárolják az újrafelhasználást lehe-



tővé téve. Mivel a beton nem környezetszennyező anyag – ellentétben a aszfalttal –, a kibontott beton elhelyezése nem okozott problémát.

Az új betontáblát a régivel úgy kötötték össze, hogy a hosszézag vonalában a meglévő régi betonburkolat vastagságának felében, a hézag vonalára merőlegesen 75 cm-enként 16 mm átmérőjű lyukat fúrtak, 40 cm mélységben, a felülettel párhuzamosan. Ezekbe a lyukakba 12 mm átmérőjű, 80 cm hosszú, B 60–40 jelű bordás betonacélt GANTREX Fix habarccsal 40 cm hosszig ragasztották be. Az új táblák melletti leállósáv egyenetlen aszfaltburkolatának szélét a betonozási oldalon ideiglenesen kiegyenlítették, hogy a vibrogerenda mindkét vége egyenes élen haladjon. A régi betonburkolat oldalát bitumenemulzióval bekenték. A tükröt a betonozás előtt kitisztították, majd előnedvesítették.

A szeptember 30-i betonozás kivitelezésére a szokásosnál nagyobb figyelmet fordítottak, mivel a keverőtelep viszonylagos távolsága miatt az acélszálás (nehezen bedolgozható) betonhoz kötés-késleltető adalékszert is kellett adagolni. Ezenkívül az előkísérletek és a próbakeverés által megállapított légpórusképzőt adagolták. Az adalékszereket és a szálakat a telepen keverték be. A betonkeverék-frakció kihagyásos bazalt adalékanyagú volt. (A betonkeverékből a 4/12 frakció hiányzott.) Az előírt víz-cement tényező 0,36 volt, a maximális szemnagyság pedig 20 mm.

*A friss beton keveréket a betonkeverő telepen is és a helyszínen is folyamatosan vizsgálták.* A keverőtelepen a konzisztenciát, légtartalmat, testsűrűséget, a víz-cement tényezőt (kiszáritással), valamint a friss beton hőmérsékletét. A táblacseréhez érkezett mixereknél is vizsgálták a beton hőmérsékletét, roskadását, területét, légtartalmát és testsűrűségét. A helyszínre kikerkezett betonkeverékekhez csak az acélszál-adagolás esetén adtak folyósítószert, a könnyű kiüríthetőség érdekében.

A beton felületét seprűzéssel érdesítették. A szálerősítés nélküli és a műanyag szálás beton esetén a rovátkázás egyenletes mélységű lett, acélszál erősítésű beton esetében ez durva, nem egyenletes mélységű felületet ad, mivel seprűzéskor a seprű szála beleakad az acélszálba, és kitépi a betonból.

Az érdesítés után azonnal (napsütéses idő volt) párazáró szerrel kezelték a beton felületét. A megszáradt párazáróra hőszigetelésként fóliát, 2 réteg textíliát, majd ismét fóliát helyeztek (nehogy a textília megázzon). Amint a 30.76. táblázatból látható, az első mixer 10 óra 5 perckor érkezett, az utolsó 15 óra 30 perckor, melyet 16 óráig be is dolgoztak. A kész beton hőmérsékletét besüllyesztett hőmérőkkel folyamatosan mérték (néhány óra múlva a textília alatt 45 °C körüli hőmérséklet volt). A hézagvágást – a kötést figyelve – végezték el, nehogy vágás közben a betonél csorbuljon. A betonozás befejezése után 24 órával várták a BETONOLIT K+F Kft. értesítését Budapestről, a 24 órás eredményekről.

A 30.77. táblázatban közölt kedvező eredményekből látható, hogy 24 óras korábban a beton szilárdsága meghaladta az elvárt minimumértéket, ezért 1998. 10. 01-jén 16 és 17 óra között a forgalomelterelést megszüntették.



**30.76. táblázat.** Az M7-es autópálya kísérleti új gyorsbetonjának helyszíni friss beton adatai (1998. 09. 30.) [Erdélyi-Máhr (1999)]

Megnevezés	ETALON (szál nélkül)	HAREX acélszál (SF 32-01)			FORTE FIBRE PP szál (High Grade 190)	
	I. mixer	II. mixer	II. mixer*	III. mixer	IV. mixer	V. mixer
Rendszám	CTS 903	CYE 118	CYE 118	FVF 151	CTS 903	CYE 118
Érkezési idő	10:05	12:50	13:50	13:45	14:25	15:30
Terülés (cm)	30,0	30,0	34,5	42,5	34,0	36,0
Roskadás (mm)	35	25	78	175	67	90
Testsűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	2389	–	2319	–	2524	2538
LP (térfogat%)	5,6	5,1	7,8	–	1,5	2,0
Levegő hőmérséklete (°C)	18	20	21	21	22	22

\* +5 kg RAVENIT FM 90K folyósítószer

**30.77. táblázat.** Az M7-es autópálya kísérleti új gyorsbetonjának 24 órás szilárdsága próbatesteken (N/mm<sup>2</sup>) [Erdélyi-Máhr (1999)]

Vizsgálati mód	ETALON szál nélkül	Harex késleltetett és nagy légtartalmú	Forte Fibre LP-szer nélkül	Követelmény
	LP 5,60 térf.%	LP 6,45 térf.%	LP 1,75 térf.%	LP ≥ 4,00 térf.%
15 cm kocka nyomószilárdsága				
1	46,3	24,5	44,4	(USA:C20)  25,0
2	44,9	24,2	44,0	
3	43,1	25,8	44,4	
nyers átlag	44,7	24,8	44,3	
LP szerint korrigált	57,6	33,4	47,6	
20×20×60 cm gerenda hajlítószilárdsága				
1	4,70	4,59	5,47	(osztrák irányelv)  3,75
2	–	4,14	5,24	
nyers átlag	4,70	4,37	5,35	
LP szerint korrigált	6,10	5,90	5,80	
Fél gerendákon mért nyomószilárdság (20×20 cm nyomólappal) ~ testszilárdság				
1	24,7	25,0	34,8	(C20 MSZ 4719)  24,0
2	–	19,9	26,9	
nyers átlag	24,7	23,2	28,8	
LP szerint korrigált	31,8	31,2	31,0	

Megjegyzés: 1 térfogatszázalék légtartalom 4% szilárdságcsökkenést okoz.



1998. október 18-án kiöntötték a hézagot, valamint a betonburkolatból kifúrták a magmintákat. Ezek helyét alul földnedves bazaltbetonnal, a felső 5 cm-t pedig zsu-gorodást kompenzáló anyaggal töltötték ki, ideiglenes forgalomtereléssel.

A 24 órás és 28 napos vizsgálati eredmények (30.78. és 30.79. táblázat) alapján a következőket állítják:

- Régi, sérült betontáblákat igen rövid idő alatt ki lehet cserélni gyorsbetonból. Amennyiben egy-egy tábla cseréjéről van szó, a 16 (nyári időben) – 24 órás szilárdulási időn túl mintegy 8–10 órára van szükség a bontási és betonozási munkálatokra, összesen tehát 24–34 órára. Nyári időben, ha az aszfalt kihűlési idejét is beleszámítjuk, a gyorsbeton mód gyorsabb, és azonkívül tartósabb.
- Érdesítés és légpórusképzés szempontjából legtöbb figyelmet az acélszálás beton igényli.
- Csak megfelelő felszereltségű (automata vegyszer-adagolású stb.) betonkeve-rő teleppel lehet a munkát megbízható minőségben elvégezni.
- A betonfelület jelenleg hibátlan, élek nem csorbultak, a fúrt magminta helyre-állítása hibátlan.

A kísérletben a következő cégek vettek részt:

- Betonolit K+F Kft.: előkísérletek, bonyolítás, betonvizsgálatok.
- Betonútépítő Nemzetközi Építőipari Rt.: technológia, kivitelezés.
- Danubiusbeton Dunántúl Kft. Székesfehérvár: betonkeverés, betonszállítás.
- VULKÁN Kft.: műanyag szál (PP).
- SKW-MBT Hungária Kft.: acélszál.
- SIKÁ Hungária Kft.: párazáró szer.
- Avers Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.: adalékszerek.

A táblázatok adatait a Betonolith K+F Kft. engedélyével tették közzé (az adato-kat dr. Erdélyi Attila, Máhr Géza szolgáltatta).

**30.78. táblázat.** Az M7-es autópálya 28 éves régi betonjának Ø150×200 mm magokon mért nyers szilárdságvizsgálati értékei az I., II. és III. kísérleti szakaszban (83 + 200 kmsz.) – Légszáráz magok [Erdélyi–Máhr (1999)]

Magminták sorszáma	2895	2896	2899	2900	2903	2904	I-II-III átlag
Kísérleti szakasz	I.		II.		III.		
Testsűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	2318	2344	2398	2373	2383	2398	2369
Testsűrűség, átlag (kg/m <sup>3</sup> )	2331		2386		2390		
Nyomószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	45,4		69,9		64,3		59,9
Hasító szilárdság (N/mm <sup>2</sup> )		2,82		4,04		4,65	4,17
Víztartalom (tömeg%)	4,1		2,7		3,1		

*Megjegyzés:* Nem számítottuk át sem Ø150×50 mm-re, sem 150×150×50 mm kockára. A légtartalmat nem ismerjük (mikroszkóposan határozható meg), nem is vettük figyelembe. A vízarta-lom szerint sem korrigáltunk (nagyobb víztartalomhoz kisebb szilárdság tartozik).

**30.79. táblázat.** Az M7-es autópálya 28 napos kísérleti új gyorsbetonjának  $\varnothing 150 \times 150$  mm ~ légszáraz magokon mért vizsgálati értékei (nyers és korrigált).

[Erdélyi-Máhr (1999)]

Próbatest sorszám	2951	2952	2953	2954	2956	2957	2958	2959	
Beton típusa	etalon (LP=5,6 térfogat%)					Harex (LP=6,45 térf.%*)			
Testsűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	2353	2350	2353	2366	2392	2305	2307	2308	
Testsűrűség átlag (kg/m <sup>3</sup> )	2363					2307			
Nyomószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	55,3	55,0	55,1			45,5	46,8	45,9	
Nyomószilárdság, átlag (N/mm <sup>2</sup> )	nyers: 55,1; korrigált: 71,0					nyers: 46,1; korrigált: 62,1**			
Hasítószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )				2,79	4,27				
Hasítószilárdság, átlag (N/mm <sup>2</sup> )				nyers:3,53; korrigált: 4,56					
Víztartalom (%)	4,0	4,0	3,9			4,3	4,3	4,4	
Test sorszáma	2960	2961	2962	2963	2964	2965	2966	2967	2968
Beton típusa	Harex			Forta Fibre*** (LP=1,75 térfogat%)					
Testsűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	2313	2316	2294	2460	2468	2468	2489	2497	2497
Testsűrűség átlag (kg/m <sup>3</sup> )	2480								
Nyomószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )				70,3	71,6	69,4			
Nyomószilárdság, átlag (N/mm <sup>2</sup> )				nyers: 70,4; korrigált: 75,7					
Hasítószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	3,65	3,96	3,90				3,61	4,50	4,23
Hasítószilárdság, átlag (N/mm <sup>2</sup> )	nyers: 3,84; korrigált: 5,2**					nyers: 4,11; korrigált: 4,4			
Víztartalom (%)				4,1	4,0	4,1			

\* A Harex acélszálás összetétel késleltetőszerral és nagyobb légtartalommal készült.

\*\* Közismert, hogy az acélszálás (illetve általában a szálerősítésű) betonoknak nem a nyomószilárdsága, hanem a hajlítási szívóssága és (esetleg) hasítószilárdsága kedvezőbb.

\*\*\* Forta Fibre összetétel LP szer nélkül készült.

### 30.9.4.2. További betonépítkezések

A további hazai betonépítkezéseket részletesen nem ismertetjük, csak felsoroljuk a *Beton* újságban találtak szerint.

1. Betonburkolatú kísérleti útszakaszok építése és állapotmegfigyelése [Karsainé Lukács K.–Bors T. (2007)]
2. Az M0 autópálya építésével kapcsolatos néhány érdekes kérdés [Vörös Z. (2007)]
3. Épül az M31 autópálya [Windisch L. (2009)]
4. A Ferihegyi repülőtér előterének bővítése [Sipos L. (2009)]



5. Aszfaltburkolat javítása transzportbetonnal [Balogh S.–Kandó Gy.–Klement Zs. (2007) ]
6. Útburkolat felújítása vékonybeton szőnyegezéssel [Kiskovács E. (2007)]
7. Betonburkolatú kísérleti útszakaszokkal szerzett tapasztalatok [Gáspár L. (2004)]
8. Vékony betonréteggel felújított útburkolat állapota [Karsainé Lukács K.–Bors T. (2010)]
9. Betonburkolatú próbaszakasz építése a 4. számú főúton [Mayer A. (2004)]
10. Beton burkolatú kísérleti útszakaszok építése és állapotmegfigyelése [Karsainé Lukács K.–Bors T. (2008)]

### 30.9.5. Beton útpályaburkolat építése

#### 30.9.5.1. Útpályaszerkezet felépítése

3 fő részből áll:

- A burkolatalap, amelyet készíthetünk szemcsés anyagból, lehet hidraulikus vagy bitumenes kötőanyagú. A leggyakoribb a hidraulikus kötőanyagú burkolatalap.
- Beton pályaburkolat.
- A két réteg közé helyezett elválasztó réteg, amelynek az a feladata, hogy a beton pályaburkolat és a hidraulikus kötőanyagú alapréteg összenövését megakadályozza. A leggyakrabban alkalmazott elválasztó réteg bitumenemulzió bevonat, melyre azonban 0–2 mm szemmagyságú zúzalékot szórnak, hogy az építési forgalomban a gépkocsik kerekéhez a bitumen ne tapadjon, mert ezzel fölszakítanák az elválasztó réteget.

Továbbiakban csak a beton pályaburkolattal foglalkozunk.

#### 30.9.5.2. Beton pályaburkolatok típusai

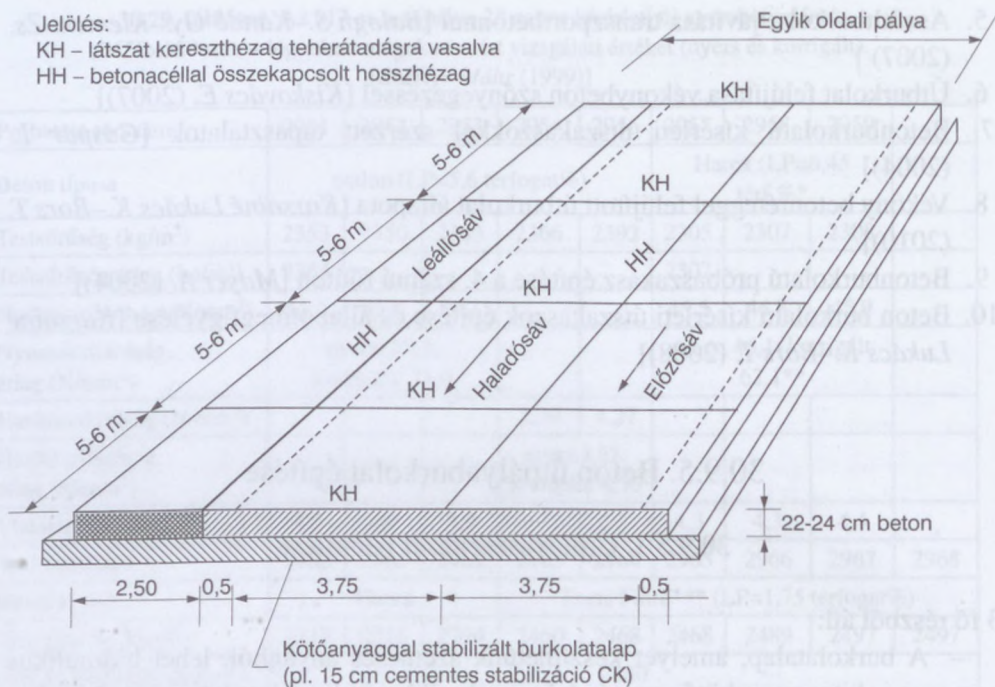
A betonburkolatokban a zsugorodás és a hőmérsékletváltozás hatására keletkezett mozgásokat a pályabetonban kialakított hézagok teszik lehetővé. A betonburkolat típusai:

##### *Hézagolt betonburkolat*

Magyarországon kizárólag hézagolt betonburkolatokat építettek, amelyre a 30.94. ábra szemléltet példát.

##### *Folytatólagosan vasalt betonburkolat*

A betonburkolatba acélbetéteket helyeznek. A hosszirányban elhelyezett beton-acél-keresztmetszet területe a beton keresztmetszeti területének 0,6–0,8%-a. Az



30.94. ábra. Betonburkolatú autópálya jellemző pályaszerkezete és hézagkiosztása [Liptay (1996)]

acélbetéteket hosszirányban folytatólagosan végigvezetik. A burkolatot keresztézagokkal nem szakítják meg. Az acélbetét nagy mennyisége ugyan a repedések kialakulását nem akadályozza meg, de a repedések zártak maradnak, azok nem tudnak megnyílni. Magyarországon csak kísérleti betonburkolatú szakaszt építettek folytatólagos vasalással.

#### Feszített betonburkolat

Feszített betonburkolatot Európában először Franciaországban építettek, majd az 50-es, 60-as években egyre több feszített szakaszt építettek, nemcsak Európában, hanem a tengerentúli országokban, elsősorban az USA-ban. A feszített burkolatokat nagyobb részben repülőtéren, a repülőgépek futópályáinak, gurulópályáinak burkolataként építették.

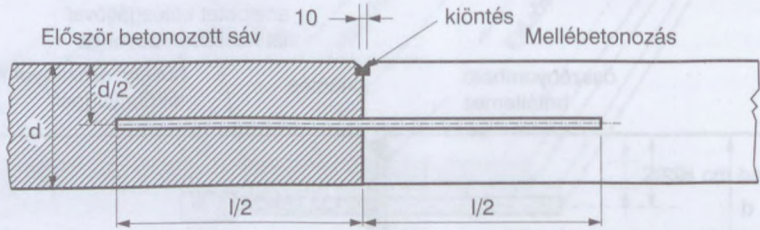
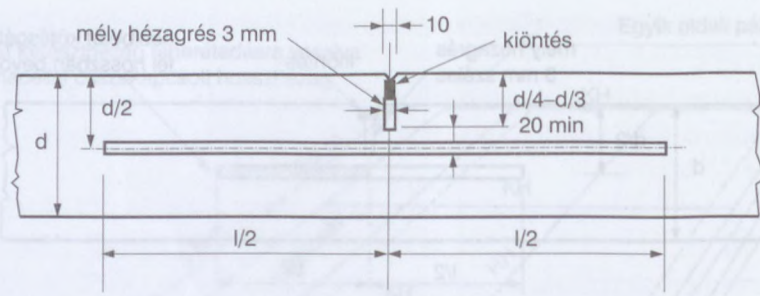
Továbbiakban csak a hézagolt betonburkolatokkal foglalkozunk.

### 30.9.5.3. Hézagolt betonburkolatok

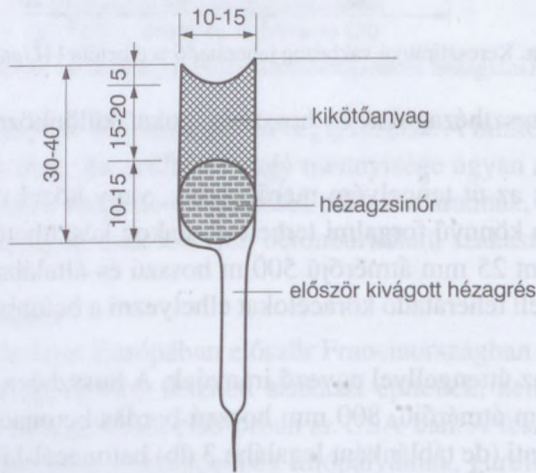
A betonburkolat hézagokkal kialakított tábláinak hosszmérete nem lehet nagyobb a burkolatvastagság 25-szeresénél, és a hosszúság-szélesség aránya nem lehet nagyobb 1,5-nél, kivéve, ha hálóvasalással teszik lehetővé a hosszabb táblaméreteket, vagy a nagyobb oldalárányokat.







30.96. ábra. Szoros hosszhézag hornyos és hullámos oldal felületű betonburkolatnál [Liptay (1996)]



30.97. ábra. Vakhézag két ütemben kialakított hézagrésének lezárása [Liptay (1996)]

és a hézag lezárásához szükséges mélységű (pl. 30 mm) rést kell kialakítani, rendszerint vágással. A terjeszkedési hézagba a kereszthézagoknál ismertetett teherátadó acélbetéteket el kell helyezni, de a hézag záródását az acélbetétek végére helyezett hüvellyel kell lehetővé tenni.

**Szoros hézagnak** nevezzük, ha korábban épített betonhoz csatlakozik az új betonréteg. A régi és az új betonburkolat együtdolgozását elválasztó bevonattal (bitumen, bitumenes anyag) kell megakadályozni (30.96. ábra).

**Munkahézagot** a betonozási munka befejezésekor vagy megszakításakor kell készíteni. A munkahézagba a kereszthézagoknál előírt teherátadó acélbetéteket kell



a hézagba helyezni. A betonozás folytatása előtt a kiszaluzott betonfelület bitumenemulzióval kell bevonni.

Az egymás mellé épített betonsávok csatlakozásánál a hosszhézagot szoros hézagokként kell kialakítani.

A hézagok lezárását a hézag felső részének 8–15 mm szélességű és 25–35 mm mélységű hézagréssel kell lehetővé tenni. Ha a hézagot vakhézagként készítik kereszt- vagy hosszszelvénygyengítő hézagréssel, akkor a rés lezárásához szükséges szélesítést rávágással lehet kialakítani a 30.97. ábra szerint. A hézag lezárására melegen önthető, hidegen bedolgozható vagy rugalmas műanyag hézagprofilok használhatók hézagkitöltő anyagokként.

Az **elválasztó hézag** elválasztja a betonburkolatot más építménytől. Rendszerint terjeszkedési hézagként kell kialakítani, de teherátadó acélbetét nélkül.

#### 30.9.5.4. A pályabeton összetétele

A beton összetételét a várható (átlag) szilárdságra kell tervezni. A szilárdságok várható (átlag) értékét (30.80. táblázat) és az összetételre előírt követelményeket a 30.81. táblázat szemlélteti.

**30.80. táblázat.** A pályabetonok szilárdsági osztályok szerint előírt jellemző szilárdságai [Liptay (2000)]

Sor-szám	Megnevezés	Jelölés MSZ EN szerint	CP 4/2,7	CP 3,5/2,4	CP 3/2
			jelű pályaburkolati betonok szilárdsági követelményei (N/mm <sup>2</sup> )		
1	Hajlító-húzó szilárdság 28 napos, 150×150×600 mm gerendán, MSZ EN 13877-1 szerint	F	4	3,5	3
2	Hasító-húzó szilárdság 28 napos, Ø150 mm h=300 mm, hengeren MSZ EN 13877-1 szerint	S	3	2,7	2,4
3	Nyomószilárdság 28 napos, 150 mm élhosszúságú kockán, MSZ 4798-1 szerint	C	37	30	25
4	Hasító-húzó szilárdság 28 napos, kifűrt Ø150 mm, hengeren MSZ EN 13877-2 szerint	SC	2,7	2,4	2,0
5	Nyomószilárdság 28 napos, kifűrt Ø150 h=150 mm hengeren, MSZ EN 13877-2 szerint	CC	30	25	20

**Megjegyzés:** A táblázat 1., 2., 3., sorszámánál a keverőtelep betonjára ír elő követelményeket, ezek közül az 1. sorban a keverék gyártása közben készített próbatestekre ír elő követelményt, a 2. és 3. sorban előírtakat az alkalmassági vizsgálatnál kell betartani. A táblázat 4. és 5. sorában előírt szilárdságok a beépített betonra vonatkoznak (a 4. sorban előírt hasító-húzó szilárdságot csak az alkalmassági vizsgálat során kell ellenőrizni). A szilárdságokra előírt értékek a jellemző szilárdságokat jelentik.

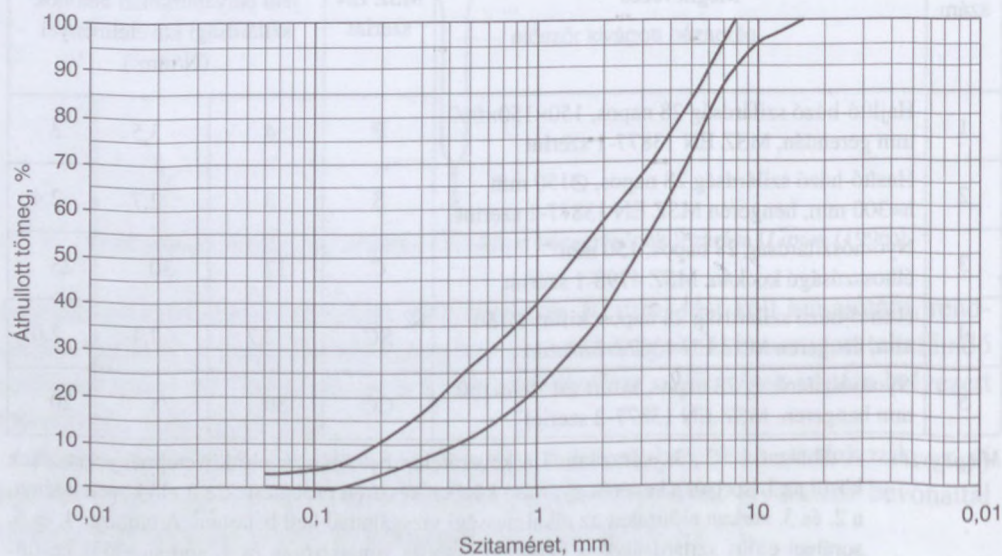
**30.81. táblázat.** A burkolati betonok tervezési követelményei [Liptay (2000)]

Megnevezés	CP 4/2,7	CP 3,5/2,4	CP 3/2
	jelű pályaburkolati betonok		
Hajlító-húzó szilárdság 28 napos várható értéke (N/mm <sup>2</sup> )	5,3	4,6	4,0
Hasító-húzó szilárdság 28 napos várható értéke (N/mm <sup>2</sup> )	4,0	3,6	3,2
Nyomószilárdság 28 napos várható értéke kockán (N/mm <sup>2</sup> )	45	40	33
Nyomószilárdság 28 napos várható értéke hengeren (N/mm <sup>2</sup> )	40	34	28
Beton cementtartalma*	≥ 350	≥ 330	≥ 300
Beton víz-cement tényezője	≤ 0,43	≤ 0,45	≤ 0,47
Adalékanyag szemnagysága, d <sub>max</sub> (mm)	8*, 16, 22, 32		
Adalékanyag zúzott részének mennyisége (m%)	≥ 50	≥ 40	≥ 30
Távolsági tényező (mm)	≤ 0,22		

Megjegyzés: d<sub>max</sub> = 8 mm keverék cementtartalma ≥ 370 kg/m<sup>3</sup> legyen.

**30.82. táblázat.** A távolsági tényező eléréséhez ajánlott frissbeton-légtartalom [Liptay (2000)]

Legnagyobb szemnagyság (mm)	Friss beton levegőtartalma térfogat (%)
8	6,0
16	5,5
22	5,0
32	4,5

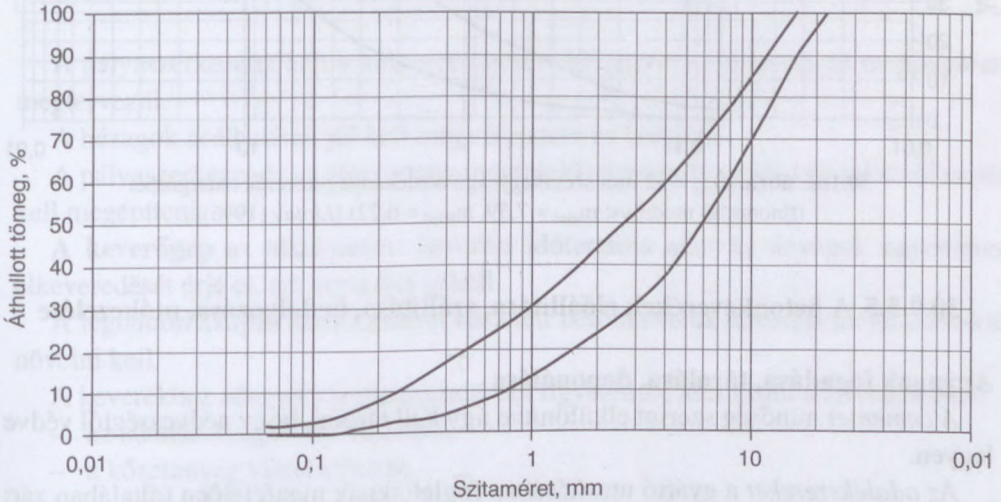


**30.98. ábra.** d<sub>max</sub> = 8 mm szemnagyságú adalékanyag-keverék határgörbéi (finomsági modulus: m<sub>alsó</sub> = 5,75, m<sub>felső</sub> = 4,83) [Liptay (1996)]

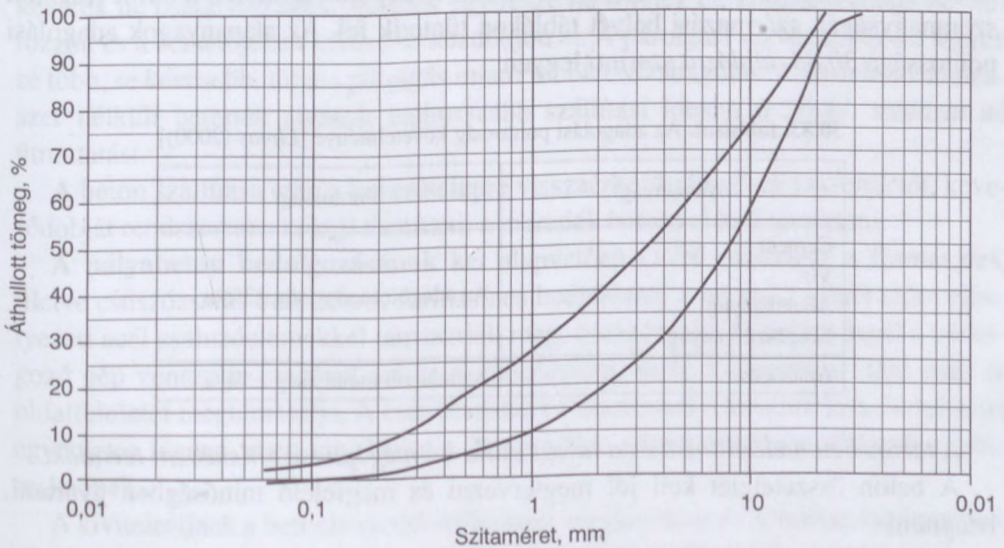


A távolsági tényező a buborékok eloszlását jellemzi a megszilárdult betonban. Ha a friss betonban mért légtartalom és a távolsági tényező közötti összefüggés nem ismert, akkor a friss betonban a 30.82. táblázat szerinti légtartalmat kell adalékszerrel elérni, és vizsgálattal igazolni, hogy a szilárd betonban ekkor a távolsági tényező 0,22 mm-nél kisebb.

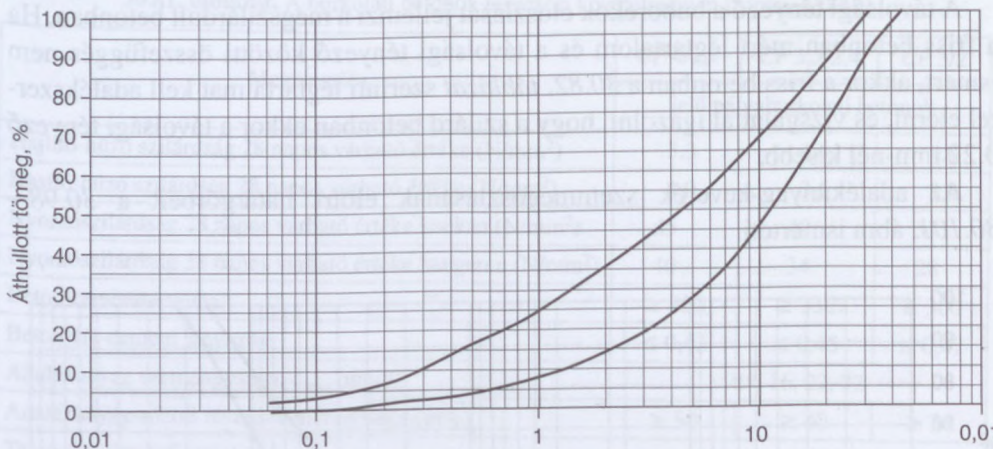
Az adalékanyag-keverék szemmegoszlásának előírt határgörbéit a 30.98.–30.101. ábra ismerteti.



**30.99. ábra.**  $d_{\max} = 16$  mm szemnagyságú adalékanyag-keverék határgörbéi (finomsági modulus:  $m_{\text{alsó}} = 6,61$ ,  $m_{\text{felső}} = 5,53$ ). [Liptay (1996)]



**30.100. ábra.**  $d_{\max} = 22$  mm szemnagyságú adalékanyag-keverék határgörbéi (finomsági modulus:  $m_{\text{alsó}} = 7,08$ ,  $m_{\text{felső}} = 5,88$ ) [Liptay (1996)]



**30.101. ábra.**  $d_{\max} = 32$  mm szemnagyságú adalékanyag-keverék határgörbéi (finomsági modulus:  $m_{\text{alsó}} = 7,59$ ,  $m_{\text{felső}} = 6,22$ ) [Liptay (1996)]

### 30.9.5.5. A betonkeverékek előállítása, szállítása, bedolgozása, utókezelése

#### Anyagok fogadása, tárolása, deponálása

A cementet minőség szerint elkülönítve úgy kell tárolni, hogy nedvességtől védve legyen.

Az adalékszereket a gyártó utasításában foglaltaknak megfelelően (általában zárt raktárban, fagymentes helyen) kell tárolni.

Az adalékanyag frakciókat választófalakkal elválasztott, burkolt területre helyezik, és szennyeződésektől megvédeni kell. A depónia területén a tárolt frakciók szemnagyságát, származási helyét táblákon tüntetik fel. Az alapanyagok adagolási pontossága 30.83. táblázat szerinti legyen.

**30.83. táblázat.** Az adagolási pontosság követelménye [Liptay (2000)]

Alapanyag	Pontosság
Cement Víz Adalékanyag Kiegészítő anyag	Az adagolt mennyiség $\pm 3\%$ -a
Adalékszer	Az adagolt mennyiség $\pm 5\%$ -a

*A tartós beton előállítása és a tartós burkolat megépítése érdekében teendők:*

A beton összetételét kell jól megtervezni és megfelelő minőségben gyártani, beépíteni.

A betonban megfelelő buborékeloszlást kell kialakítani.



**30.84. táblázat.** Késleltető adalékszer nélküli beton leghosszabb szállítási időtartama

Víz-cement tényező	A betonkeverék átlagos hőmérséklete a szállítás kezdetekor (°C)					
	+ 10		+ 20		+ 30	
	A cement szilárdsági osztálya					
	32,5	42,5	32,5	42,5	32,5	42,5
	A szállítás leghosszabb ideje (perc)					
0,35–0,44	70	60	40	30	20	10
0,45–0,54	80	70	50	40	30	20

A pályaszerkezetet kell a helyesen becsült forgalomra méretezni és megfelelően megtervezni.

A hézagok acélbetéteit jól kell megválasztani és beépíteni.

A pályaszerkezet és az alépítmény megfelelő víztelenítését jól kell tervezni és jól kell megépíteni.

A **keverőgép** az alkalmazott keverési időtartama alatt az anyagok egyenletes elkeveredését érje el, ezt vizsgálni is kell.

A légbuborékképző adalékszerrel készített betonkeverék keverési idejét 20%-kal növelni kell.

A keverékhez adagolt víz mennyiségénél figyelembe kell venni a következőket:

- az adalékanyagok nedvességét,
- a közetanyag vízfelszívását,
- a párolgási vízvesztéséget.

#### A betonkeverékek szállítása

A betont a keverőtől a helyszíni beépítési helyre úgy kell szállítani, hogy a betonkeverék ne osztályozódjék, vizének egy része ne folyék el, konzisztenciája ne változzon és a cementjének kötése ne kezdődjön el. A párolgási vízvesztés ne legyen se több, se kevesebb, mint a párolgás miatti többlet-vízadagolás. A késleltető adalékszer nélküli betonok javasolt leghosszabb szállítási idejére a 30.84. táblázat ad útmutatást.

A beton szállítása után a keverőtelepre visszaérkező járművek rakfelületét, keverődobját rendszeresen ki kell tisztítani, a maradék betont el kell távolítani.

A **pályabeton bedolgozásának** két alapvetően eltérő módszere a formasínes, illetve csúszózsalus beépítés. A formasínes beépítésnél a burkolat szélét előre elhelyezett acél zsaluzóelemekkel támasztják meg, csúszózsalus bedolgozásnál a bedolgozó gép vonszolja magával azt az acélzsaluzatot, mely a tömörítés ideje alatt az oldalfelületet megtámasztja. A csúszózsalus betonozásnál a keverék konzisztenciája egyenletes legyen, mert egyébként a betonszélek a bedolgozógép elhaladása után roskadnak.

A kivitelezőnek a betonburkolat építésének megkezdése előtt **technológiai utasítást** kell készíteni, melyet a megrendelőnek is át kell adnia. A pályaburkolat betonozásáról a kivitelezőnek naplót kell vezetnie.



A nedves utókezelés során a betont 10 napon át folyamatosan nedvesítik (locsolják), majd ezt követően a nedves takaróanyagokat 4 napon keresztül a felületen hagyják, mialatt az lassan kiszárad. Nedves utókezelés helyett alkalmazható a védőbevonatos – párazáró – utókezelés. A védőbevonat a víz párolgását akadályozza, ha az anyag megfelelő párazáró tulajdonságú és egyenletesen, megfelelő vastagságban vonja be a felületet. A beton felületét a védőanyaggal akkor kell bevonni, amikor a víz csillogása a felületen megszűnik.

A betonban a keresztmetszet-gyengítő **hézagrés vágását** a lehető leghamarabb el kell kezdeni. Az időpont akkor megfelelő, amikor vágás közben a vágókorong az adalékanyag-szemcséket a cementkőből nem szakítja ki, és a hézagélek nem roncslódnak. A hézagok vágása után következik a hézagok kitöltése, melynek folyamata a következő:

- hézag kitisztítása, portalanítása,
- hézag kiszárítása,
- hézag oldalfalainak alapozása (kellősítése),
- a hézagzsínor elhelyezése,
- a hézag kitöltése a hézagzáró kitöltőanyaggal.

### 30.9.5.6. A beton pályaburkolatok minőségi követelményei

Az ÚT 2–3.201 útügyi műszaki előírás a beton pályaburkolat tulajdonságaira az alábbi minőségi követelményeket írja elő:

*A burkolat vastagsága:* ha egyéb előírás nincs, akkor a vastagság eltérése a tervezettől legfeljebb –10 mm lehet (pozitív eltérés nincs korlátozva)

*A burkolat szintmagassága:* megengedett eltérés a tervezettől legfeljebb 20 mm.

*Burkolat szélessége:* megengedett eltérés a tervezettől legfeljebb 50 mm (pozitív eltérés nincs korlátozva). Több sávban épített burkolatnál a megengedett eltérés a teljes pályaszélességre (több sáv együttes szélességére) vonatkozik.

*A burkolatfelületi osztály:* az útügyi műszaki utasítás három burkolatfelületi osztályt különböztet meg, és ennek megfelelően írja elő a követelményeket az oldal-ésésre (30.85. táblázat), a felület egyenletességére (30.86. táblázat) és a csatlakozási

30.85. táblázat. Megengedett eltérés a tervben előírt oldaleséstől [Liptay (2000)]

Megnevezés	Eltérés a tervezett oldaleséstől %
1. burkolatfelületi osztály*	±0,20
2. burkolatfelületi osztály	±0,30
3. burkolatfelületi osztály	±0,40

\* ±0,15% a megengedett eltérés a tervezettől, ha a három forgalmi sáv szélességű betonburkolatot egy menetben építették.



**30.86. táblázat.** Burkolatfelületi osztályok egyenletességi követelménye [Liptay (2000)]

Megnevezés	1.	2.	3.
	burkolatfelületi osztály egyenletességének előírt értéke		
ÚT-02-vel mért összegezett grafikus elmozdulás legfeljebb [cm/100 m]	12,5	13	14
legnagyobb elmozdulás osztályköze [mm]	12–15		
legnagyobb osztályközbe eső mérések száma km-enként legfeljebb [db]	2	3	4
3 m-es lécz alatti legnagyobb hullámmagasság [mm]	3	5	7

Megjegyzés: 3 m lécz alatt mért eredmények legfeljebb 7%-a az előírtnál 2 mm-rel nagyobb lehet.

**30.87. táblázat.** Megengedett csatlakozási szinteltérés [Liptay (2000)]

Megnevezés	1.	2.	3.
	burkolatfelületi osztálynál a csatlakozási szinteltérés legfeljebb [mm]		
Kereszthézagoknál	3	4	5
Hosszhézagnál vagy korábban épített burkolathoz, szerkezeti részhez csatlakozóan	5	6	7

Megjegyzés: a nem megfelelő repedéseket javítania kell.

**30.88. táblázat.** Betonburkolat felületének érdességi követelményei érdességi szintek szerint

A különböző utaknál javasolt érdességi szintek	Követelményszint	Homokmélység (mm)
Autópályák, autóutak	1. érdességi szint	≥0,5
Országos főutak	2. érdességi szint	≥0,4
Országos mellékutak	3. érdességi szint	≥0,3
Helyi utak, térburkolatok	4. érdességi szint	nincs előírt érték

szinteltérésre (30.87. táblázat). A megengedett eltérés a tervezett, vagy a megrendelő által előírt burkolatfelületi osztálytól függ.

**Betonfelület érdessége:** a burkolatfelület érdességi követelményét az útügyi műszaki előírás négy érdességi szintre határozta meg. A betonfelület érdességének ajánlott értékeit a választható érdességi szintektől függően a 30.88. táblázat adja meg.

### 30.9.5.7. A pályaburkolati betonok megnevezése és jelölése, minőségi követelmények

A beton jele pl. CP4/2,7–32/F2, XF4

- CP4: A beton hajlító-húzó szilárdságának jellemző értéke, 28 napos korban  $4 \text{ N/mm}^2$ .
- 2,7: A kifűrt henger hasító-húzó szilárdságának jellemző értéke, 28 napos korban  $2,7 \text{ N/mm}^2$ .
- 32: Az adalékanyag legnagyobb névleges szemnagysága 32 mm.
- F2: A friss beton konzisztencia-mérőszáma – területtel mérve – az MSZ 4798-1 szerint 350–410 mm.
- XF4: Kitéti osztály.

A pályabetonok szilárdsági osztályai: CP 4/2,7ÖCP 3,5/2,4ÖCP 3/2

A pályabetonok minőségi követelményei:

- Friss betonra előírt követelmények: testsűrűség, konzisztencia, légtartalom, víz-cement tényező az alkalmassági vizsgálat alapján előírtak szerint.
- Szilárdsági követelmények: a szilárdsági osztályra előírtak szerint.
- Beépített beton tömörsége:  $\geq 95\%$ .
- Szilárd betonban a buborékok távolsági tényezője:  $\leq 0,22 \text{ mm}$ .

A pályabeton-szilárdsági osztályok követelményei: a szilárdsági osztályok követelményértékeit a 30.80. táblázat tartalmazza.

A beton pályaburkolatok megfelelősége

A beton pályaburkolatra előírt követelményeknek való megfelelőséget a pályabeton és a betonburkolat tulajdonságainak vizsgálata, ellenőrzése és az eredmények értékelése alapján kell meghatározni. A beton pályaburkolat akkor felel meg, ha

- a pályaburkolati beton szilárdsága,
- a beton távolsági tényezője,
- a betonburkolat tömörsége,
- a betonburkolat vastagsága,
- a burkolatfelület oldalesése,
- a burkolatfelület egyenletessége,
- a betonburkolat repedéseinek száma

megfelel a tőrésen belül az előírt követelményeknek.



# 31. Építőköveink vizsgálata útépitési alkalmasság szempontjából

[Balázs és munkatársai (1975)]

## 31.1. Bevezetés

Jelen kutatómunkánkban – a Betonútépítő Vállalat megbízása alapján – azt tűztük ki célul, hogy az útépités szempontjából számításba vett kőbányák kőanyagát minden eddiginél sokoldalúbb vizsgálatnak vessük alá, hogy ennek alapján a minőségi követelményeknek megfelelő választék növelése tekintetében dönteni lehessen.

Köztudott, hogy általában nem lehet egy vizsgálattal – bármilyen alapos legyen is az – meghatározni egy kőzettelépülés minőségét, mivel alig van olyan kőanyagunk, amely teljesen egynemű lenne, és egyenletes minőség jellemezné. Ez tehát nem lehetett célunk. Ezzel szemben arra törekedtünk, hogy a vizsgálatok széles körével a kőzetminőség egységes szemléletű elbírálását tegyük lehetővé. Ennek a célnak az érdekében dolgozott együtt az építőmérnök, a geológus és a fizikus.

A kutatómunkát dr. *Balázs* György témafelelős (docens a BME Építőanyagok Tanszéken) és dr. *Liptay* András (a Betonútépítő Vállalat Technológiai és Fejlesztési Csoport vezetője) irányította. A mikroszkópos kőzettani vizsgálatokat dr. *Buda* György (egyetemi adjunktus az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Ásványtani Tanszéken), a makroszkópos, a kopási és az aprózódási vizsgálatokat dr. *Kertész* Pál (docens a BME Ásvány- és Földtani Tanszéken), a roncsolásmentes szilárdsági és fagyasztási vizsgálatokat és azok feldolgozását *Borján* József (adjunktus a BME Építőanyagok Tanszéken), a nyomás alatti vízfelvétel és hőtágulási együttható vizsgálatát (egyik módszerrel), dr. *Zimonyi* Gyula (docens a BME Kísérleti Fizika Tanszéken), a szulfátos kristályosítási és hőtágulási együttható (másik módszerrel) dr. *Kovács* Miklósné (adjunktus a Veszprémi Egyetem Szilikátkémiai Tanszéken), a többi vizsgálatot és a tanulmány összeállítását dr. *Balázs* György végezte el.

## 31.2. A kőbányák kiválasztása

A kőbányákat – a Betonútépítő Vállalat távlati céljainak a szem előtt tartásával – dr. *Liptay* András választotta ki. A választás a *31.1. táblázat* szerinti.

A felsorolt kőbányák földrajzi helyzetét a *31.1. ábrán* mutatjuk be.

31.1. táblázat. A kiválasztott kőzetek

Bánya	Minta jele	A kőzet megnevezése
Uzsabánya	U 1	uzsabányai bazalt
Zalahaláp	Z 2	zalahalápi bazalt
Nagyharsány	NH 3	nagyharsányi mészkő
Egerbakta	E 4	egerbaktai diabáz
Recsk	R 5	recski andezit
Tálya	Ta 7	tályai andezit
Sátoraljaújhely	S 8	sátoraljaújhelyi andezit
Erdőbénye	Er 9	erdőbényei andezit
Szob	Sz 10	szobi andezit
Nógrádkövesd	Ng 11	nógrádkövesdi andezit
Gyöngyössolymos	Gy 12	gyöngyössolymosi riolit
Tinnye	T 13	tinnyei mészkő



31.1. ábra. A vizsgált kőbányák Magyarországi térképén

### 31.3. Próbavétel

A próbákat – 1972 tavaszán – úgy vettük, hogy az lehetőleg az átlagminőséget képviselje. A szabályos próbákhoz a lerobbantott részből olyan nagyobb darabokat választottunk ki, amelyeken robbantás okozta repedések nem voltak láthatók. A szabályos próbákat a Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet Betonosztályán fűrészelték ki.



## 31.4. Kőzettani tulajdonságok vizsgálata

A vizsgált kőzeteken azok azonosítására és a tulajdonságok teljes megismerésére kőzettani vizsgálatokat végeztünk, mind mikroszkópos, mind makroszkópos módszerrel, és a vizsgálatokat kiegészítettük derivatográfiás elemzéssel.

### 31.4.1. Makroszkópos vizsgálatok

E vizsgálatokat az MSZ 1991-70 szabvány előírásai szerint végeztük el, és kitértünk a kőzettani megnevezésre, a szabad szemmel megállapítható szöveti és ásványtani adatokra (31.2. táblázat).

31.2. táblázat. Kőzetek jellemzése makroszkópos vizsgálat alapján

Jele	Bánya helye	A kőzetek megnevezése	A kőzetek jellemzése
U 1	Uzsabánya	Augitos olivinbazalt	Szürkésfekete, tömött szövetű bazalt. Makroszkóposan jól felismerhető a palackzöld, porfíros megjelenésű olivin.
Z 2	Zalahaláp	Augitos olivinbazalt	Szürkésfekete, tömött szövetű bazalt. Néhol apró likacsok találhatóak, amelyek kihullott ásványok helyei.
NH 3	Nagy-harsány	Mészkö	Szürkesszínű, vörösbarna és sötétszürke foltokat tartalmazó mészkő. A szabálytalan lefutású repedéseket kalcit és zöld agyag tölti ki. Szerves eredetű töredékek makroszkóposan is felismerhetők.
E 4	Egerbakta	Diabáz	Zöldesszürke színű diabáz. A porfíros fehér plagioklász és fekete piroxén makroszkóposan jól felismerhető.
R 5	Recsk	Porfíros piroxén-andezit	Zöldesszürke, porfíros szövetű andezit. Makroszkóposan a fehér plagioklászok és a fekete színi piroxének jól felismerhetők.
Ta 7	Tállya	Porfíros piroxén-andezit	Szürkésfekete, tömött szövetű porfíros andezit. Makroszkóposan a zöldesszürke földpát jól felismerhető. Néhol üregek figyelhetők meg, karbonátos ásványkitöltéssel.
S 8	Sátoralja-újhely	Amfibolos (hidro-)andezit	Szürkésfekete, tömött szövetű andezit. Porfíros, szürkésfehér földpát és a nyúlt léces amfibol makroszkóposan jól felismerhető.
Er 9	Erdőbénye	Porfíros piroxén-andezit	Kékesszürke, tömött szövetű porfíros andezit.
Sz 10	Szob	Porfíros piroxén-andezit	Szürkésfekete, tömött, porfíros szövetű andezit. A porfíros idiomorf plagioklászok kristályok jól felismerhetők.
Ng 11	Nógrád-kövesd	Porfíros piroxén-andezit	Szürkésfekete, tömött, porfíros szövetű andezit. Az idiomorf porfíros megjelenésű plagioklászok makroszkóposan is jól felismerhetők.
Gy 12	Gyöngyös-solymos	Riolit	Barnás színű, fluidális szövetű, likacsos riolit. A porfíros biotitok makroszkóposan is felismerhetők.
T 13	Tinnye	Mészkö	Sárgásfehér, tömött szövetű mészkő. A repedések mentén vörösbarna agyagkitöltés figyelhető meg.

### 31.4.2. Mikroszkópos kőzettani vizsgálatok

A vizsgálatokat polarizációs kőzettani mikroszkóppal végeztük el. E vizsgálatok során megállapítottuk – a mikroszkóp felbontóképességének megfelelően – az ásványos összetételt, az ásványok mállási állapotát, gyakoriságát, méreteit. Az ásványok eme adatait az MSZ 1991-67 szerinti 31.3–31.4. táblázatban foglaltuk össze.

31.3. táblázat. A kőzetek ásványos összetétele

Jele	Ásvány neve	Gyakoriság V%	Átlagos		Legkisebb		Legnagyobb	
			Hossz	Szélesség	Hossz	Szélesség	Hossz	Szélesség
			μméter					
U 1	Plagioklász	50,85	200	40	50	16	500	65
	Olivin	20,28	580	350	130	80	1800	1000
	Piroxén	20,98	190	75	65	16	450	170
	Opak	7,89	60	50	16	16	200	170
Z 2	Plagioklász	47,26	200	35	45	13	750	115
	Piroxén	21,06	60	18	20	6	90	60
	Olivin	23,14	500	150	30	20	1000	590
	Magnetit	5,14	65	40	20	13	120	80
	Zeolit (?)	3,40	–	–	–	–	–	–
	Plagioklász (szericites, zoizitos)	67,21	300	85	80	16	615	240
	Piroxén	3,22	230	160	65	16	600	550
	Zoizit	24,06	–	–	–	–	–	–
	Klorit	5,51	–	–	–	–	–	–
R 5	Plagioklász	62,87	310	180	65	30	1500	600
	Piroxén (kissé bontott)	26,94	670	340	50	30	2430	1130
	Kalcit	6,97	95	75	30	16	180	130
	Opak (magnetit)	3,22	270	190	16	16	770	680
Ta 7	Plagioklász	52,02	680(P) 70(A)	330(P) 46(A)	160(P) 16(A)	65(P) 16(A)	2380(P) 100(A)	1100(P) 30(A)
	Piroxén	17,15	615(P) 50(A)	220(P) 15(A)	275(P) 25(A)	160(P) 16(A)	1550(P) 100(A)	470(P) 30(A)
	Kalcit	3,05	–	–	–	–	–	–
	Opak	0,88	50	40	16	16	140	110
	Kőzetiveg	26,90	–	–	–	–	–	–



31.3. táblázat folytatása

Jele	Ásvány neve	Gyakoriság V%	Átlagos		Legkisebb		Legnagyobb	
			Hossz	Szélesség	Hossz	Szélesség	Hossz	Szélesség
			μméter					
S 8	Plagioklász	55,50	580	320	100	16	2560	1400
	Bontott színes elegyrész (főleg nontronit)	38,35	320	150	80	80	760	310
	Amfibol	3,55	665	300	150	130	880	310
	Piroxén	0,83	180	90	80	50	520	130
	Opak	1,77	–	–	–	–	–	–
Er 9	Plagioklász	82,68	760 (P) 86(A)	340(P) 20(A)	150(P) 50(A)	65(P) 12(A)	1900(P) 170(A)	1000(P) 30(A)
	Piroxén	8,71	490 (P) 45(A)	330(P) 24(A)	160(P) 30(A)	100(P) 12(A)	1130(P) 65(A)	1020(P) 45(A)
	Kalcit	0,75	–	–	–	–	–	–
	Opak (magnetit)	4,04	40	3	6	6	130	120
	Agyagásvány	3,82	–	–	–	–	–	–
Sz 10	Plagioklász	61,54	1600(P) 120(A)	815(P) 50(A)	260(P) 50(A)	815(P) 16(A)	4560(P) 240(A)	2230(P) 150(A)
	Piroxén	18,38	130	70	70	16	240	160
	Opak	2,76	40	30	30	10	65	50
	Kőzetüveg	17,32	–	–	–	–	–	–
Ng 11	Plagioklász	53,44	820	565	65	16	3100	1000
	Piroxén	20,45	225	100	30	16	1000	450
	Magnetit	3,34	60	40	16	16	100	65
	Kőzetüveg	22,77	–	–	–	–	–	–
Gy 12	Földpát	13,11	350(P) 65(A)	170(P) 35(A)	130(P) 50(A)	100(P) 16(A)	570(P) 130(A)	240(P) 50(A)
	Biotit	1,35	400	90	110	30	800	320
	Opak	0,40	–	–	–	–	–	–
	Kőzetüveg (kissé átkristályosodott)	85,14	–	–	–	–	–	–

Jelölés:

P = porfirós elegyrész,

A = alapanyag

31.4. táblázat. A kőzetek jellemzése mikroszkópos vizsgálat alapján

Jele	Porfiros elegyrész	Alapanyag
U 1	<p><i>Olivin:</i> idiomorf vagy hipidiomorf megjelenésű, erősen töredezett, a törések mentén bontott (főleg klorit, néhol szerpentin).</p> <p>A nagyobb szemcsékben a (001) és (010) hasadás jól felismerhető.</p> <p><i>Piroxén</i> (augit): idiomorf, nyúlt, léces megjelenésű. Gyakori a zónásság és a (010) metszeten jól látható a „homokóra”-szerkezet. Néha ikres és a (110) hasadás a nagyobb szemcséken majdnem mindig megvan. Néha halmazokat alkot.</p>	<p><i>Olivin:</i> elég ritka, zömök oszlopos, vagy izometrikus megjelenésű.</p> <p><i>Piroxén:</i> nyúlt, léces, kissé zónás.</p> <p><i>Plagioklász:</i> leggyakoribb elegyrész, idiomorf, vagy hipidiomorf megjelenésű. Ikres és elmosódott zónás szerkezetet mutat.</p> <p><i>Opak:</i> uralkodóan négyzet vagy rombuszos keresztmetszetű magnetit és kisebb szemcseméretű, barnásan áttetsző ilmenit.</p> <p><i>Apatit:</i> nyúlt, léces, idiomorf, aránylag ritka.</p> <p><i>Biotit:</i> igen kevés, léces megjelenésű.</p>
Z 2	<p><i>Olivin:</i> idiomorf megjelenésű, gyakran rezorbeált szegélyű. A (001) és a (010) hasadás igen gyakori. Alapanyag-zárványos.</p>	<p><i>Alapanyag:</i> fluidális szövétű.</p> <p><i>Plagioklász:</i> nyúlt, léces megjelenésű, ikerlemez, feltűnően irányított struktúrájú.</p> <p>Augit (piroxén): hipidiomorf, nyúlt, léces megjelenésű, gyakori az elmosódó zónásság (homokóra-szerkezet).</p> <p><i>Olivin:</i> főleg idiomorf, zömök, dipiramisos megjelenésű, gyakran opak zárványokat tartalmaz.</p> <p><i>Zeolit:</i> igen kevés, xenomorf, a földpátok közötti teret tölti ki.</p> <p><i>Opak:</i> gyakori, idiomorf magnetit és feltehetően ilmenit, ez utóbbi barnásan áttetsző.</p>
NH 3		<p>Változatos szemcsenagyságú kalcitból épül fel. Az alapanyag igen finom szemcseméretű, amelyben szerves eredetű, mészvázú, durvaszemcsés kalcitból álló töredékek fordulnak elő. Nagy szemcseméretű kalciton nyomási ikerlemezesség látható. Több helyen romboéderes hasadás figyelhető meg. Néhol a repedések mentén barnás színű agyag-kitöltés észlelhető.</p> <p><i>Megjegyzés:</i> a kis szemcseméret miatt a csiszolatokat nem lehetett kimérni.</p>



31.4. táblázat folytatása

Jele	Porfirios elegyrész	Alapanyag
E 4	<p><i>Plagioklász:</i> aránylag ritka, idiomorf, nyúlt, léces vagy táblás megjelenésű. Ikres, finom eloszlásban zoizitot, szericitiet tartalmaz. Enyhén hullámos kioltású. Gyakran aggregátumokat alkot.</p> <p><i>Piroxén:</i> hipidiomorf, táblás megjelenésű. Főleg aggregátumokat alkot. A (110) hasadás jól látható. Kissé hullámos kioltású.</p> <p>Néha földpátzárványos.</p>	<p><i>Plagioklász:</i> nyúlt, tús megjelenésű, ikres, hullámos kioltású.</p> <p><i>Zoizit:</i> igen gyakori, változatos szemcsenagyságú, valósággal átszővi az alapanyagot.</p> <p>Gyakran epidotba megy át.</p> <p><i>Klorit:</i> levendulakék, anomáliás interferencia színű, főleg üregkiöltő, sugaras megjelenésű.</p> <p><i>Opak:</i> ritka, szabálytalan alakú.</p>
R 5	<p><i>Plagioklász:</i> idiomorf, táblás megjelenésű, erősen zónás és ikres. Piroxén- és kalcitzárványt tartalmaz.</p> <p><i>Piroxén</i> (hipersztén): idiomorf, nyúlt, oszlopos vagy táblás megjelenésű. Kalcitból és opak elegyrészből álló koszorú veszi körül.</p> <p>A (110) hasadás gyakori. Zárványos (plagioklász). Néha aggregátumokat alkot.</p> <p><i>Augit:</i> főleg táblás megjelenésű, hipidiomorf, gyakran aggregátumokat alkot. (100) szerint ikres.</p>	<p><i>Plagioklász:</i> hipidiomorf, táblás megjelenésű, zónás felépítésű, ikerlemezes.</p> <p><i>Piroxén:</i> nyúlt, léces, erősen átalakult, főleg kalcitú.</p> <p><i>Kalcit:</i> kétféle eredetű lehet: 1. piroxénátalakulási termék, 2. üregkitöltő (kissé hullámos kioltású, a romboéderes hasadás jól felismerhető).</p> <p><i>Magnetit:</i> elég gyakori, főleg négyzet keresztmetszetű.</p>
Ta 7	<p><i>Plagioklász:</i> idiomorf, táblás vagy oszlopos megjelenésű. Ikerlemezes, zónás. Néha aggregátumokat alkot. Gyakori a (001) és a (010) hasadás. Kalcitot bontás figyelhető meg.</p> <p><i>Piroxén</i> (hipersztén): idiomorf, nyúlt, oszlopos. Opak zárványokat tartalmaz.</p> <p>A (110) hasadás jól látható.</p> <p><i>Augit:</i> jóval ritkább, a (100) szerinti ikeresedés elég gyakori.</p>	<p><i>Plagioklász:</i> nyúlt, léces vagy táblás megjelenésű, a nagyobb szemcsék zónásak vagy ikerlemezesek.</p> <p><i>Piroxén:</i> léces, ferde kioltású, néha opak zárványokat tartalmaz.</p> <p><i>Kalcit:</i> góccokban jelenik meg, hullámos kioltású. Üregkitöltő, vagy a plagioklász átalakulási terméke.</p> <p><i>Opak:</i> gyakori, változatos szemcsenagyságú, főleg négyzet vagy rombusz keresztmetszetű magneti.</p> <p><i>Közéttüveg:</i> barnás színű, igen gyakran a szemcsék közötti teret tölti ki.</p>

### 31.4. táblázat folytatása

Jele	Porfirios elegyrész	Alapanyag
S 8	<p><i>Plagioklász:</i> idiomorf, illetve hipidiomorf, zömök, oszlopos, vagy táblás megjelenésű. Ikerlemezes, zónás felépítésű. Erősen zárványos, főleg a kristály közepén. A zárványok főleg bontott, színes elegyrészekből állnak.</p> <p><i>Amfibol:</i> nyúlt, oszlopos, idiomorf megjelenésű, erősen opacitos és zárványos.</p> <p><i>Piroxén:</i> ritka, a (110) hasadás jól látható, főleg idiomorf megjelenésű.</p> <p><i>Nontronit:</i> színes elegyrészek átalakulásából jött létre. Aggregátumokat alkot, gyakran kalcit kíséri.</p>	<p><i>Alapanyag:</i> igen finom szemcseméretű, nyúlt, léces földpátból és agyagásványokból épül fel.</p> <p><i>Opak:</i> szabálytalan alakú, gyakori, főleg a színes elegyrészek környezetében. Uralkodóan magnetit.</p> <p><i>Apatit:</i> kevés, főleg a bontott színes elegyrészekben fordul elő.</p>
E 9	<p><i>Plagioklász:</i> idiomorf, táblás megjelenésű, erősen zónás és ikerlemezes. Gyakran aggregátumokat alkot. A kristály központi része zárványos.</p> <p><i>Piroxén (augit):</i> táblás megjelenésű, erősen átalakult, főleg kalcitos, illetve agyagásványos. Néha ikres. A (110) hasadás jól látható.</p>	<p><i>Plagioklász:</i> nyúlt, léces megjelenésű, néha folyásos struktúra látható. Gyakran ikerlemezes.</p> <p><i>Piroxén:</i> xenomorf, nyúlt, léces kristályok alakjában jelenik meg.</p> <p><i>Agyagásvány:</i> sárgás vagy zöldesbarna színű átalakulási termék (nontronit).</p> <p><i>Opak:</i> elég gyakori, négyzet vagy rombusz keresztmetszetű magnetit.</p> <p><i>Apatit:</i> kevés, zömök, oszlopos megjelenésű.</p>
Sz 10	<p><i>Plagioklász:</i> idiomorf, táblás megjelenésű. Gyakori a zónáság és ikerlemezes. Erősen zárványos, főleg piroxén és kevés kalcit, ez utóbbi bomlástermék.</p> <p><i>Piroxén:</i> hipidiomorf, a (110) hasadás jól látható. Szegélye kissé bontott.</p>	<p><i>Plagioklász:</i> nyúlt, léces vagy táblás megjelenésű, zónás felépítésű, ikerlemezes.</p> <p><i>Piroxén:</i> hipidiomorf, zömök, oszlopos, zónás. Gyakori a (100) szerinti ikresedés és a (110) irányú hasadás.</p> <p><i>Magnetit:</i> rombusz vagy négyzet keresztmetszetű, gyakori elegyrész.</p> <p><i>Agyagásvány (nontronit):</i> főleg üregkiöltő, sugaras, rostos megjelenésű.</p> <p><i>Kőzetüveg:</i> barnás színű, finom eloszlású opakszemcséket tartalmaz.</p>



### 31.4. táblázat folytatása

Jele	Porfirios elegyrész	Alapanyag
Ng 11	<p><i>Plagioklász</i>: idiomorf vagy hipidiomorf megjelenésű, zömök oszlopos. Zónás, ikerlemez felépítésű. Erősen zárványos (kőzetűveg, illetve piroxénzárványok).</p> <p>Néhol aggregátumokat alkot. A (001) és (010) hasadás több helyen jól látható.</p> <p><i>Piroxén</i> (augit): idiomorf, nyúlt, oszlopos megjelenésű, néha ikres, a (110) hasadás igen gyakori. Zárványos, főleg plagioklász.</p>	<p><i>Plagioklász</i>: nyúlt, léces megjelenésű, zónás és ikerlemez felépítésű.</p> <p><i>Piroxén</i> (augit): hipidiomorf vagy xenomorf, gyakori a bázismetazet, amelyeken a (110) és (100) hasadás jól látható. Elmosódó zónásság figyelhető meg. Néha kissé bontott (nontronitosodott).</p> <p><i>Magnetit</i>: igen gyakori, idiomorf, négyzet- vagy rombusz keresztmetszetű, gyakori a rezorbeált szegély.</p> <p><i>Kőzetűveg</i>: a szemcsék közötti teret tölti ki, barnásan áttetsző.</p> <p><i>Kalcit</i>: igen ritka, főleg üregkitöltés.</p> <p><i>Nontronit</i>: kevés, főleg az üregek falán, illetve néha piroxén bomlástermékekéből származik.</p>
Gy 12	<p><i>Plagioklász</i>: idiomorf, ikerlemez, enyhén zónás felépítésű.</p> <p><i>Ortoklász</i>: aránylag kevés, táblás megjelenésű.</p> <p><i>Biotit</i>: idiomorf, nyúlt, léces, erősen pleokroós, opacitos szegély veszik körül, opak szemcsékből álló halmazt.</p>	<p><i>Plagioklász</i>: nyúlt, léces megjelenésű, ikerlemez, aránylag ritka.</p> <p><i>Káliőföldpát</i> (anortoklász?) négyzet vagy téglalap keresztmetszetű, gyakran kereszt-rácsosított ikresedést mutat.</p> <p><i>Kőzetűveg</i> (felzites): félig kikkristályosodott, finom eloszlásban opak elegyrészeket tartalmaz.</p> <p><i>Kalcit</i>: kevés, finom eloszlású.</p> <p><i>Szericit</i>: igen kis szemcseméretű, finom eloszlásban. Néhol szferulitos földpátstruktúra is megfigyelhető.</p> <p>Porozitás: 6,85%.</p>
T 13		<p>Változatos szemcsenyagúság, az alapanyag igen finom kalcitból áll, melyben durva szemcsés kristálygócok fordulnak elő.</p> <p>A nagyobb szemcséken ritkán a romboéderes hasadás és a nyomási ikerlemezesség figyelhető meg. Néhol a kalcit hullámos kioltású és szferulitos megjelenésű. Ritkán finom eloszlásban limonitfoltok láthatók.</p>

### 31.4.3. Derivatográfias vizsgálat

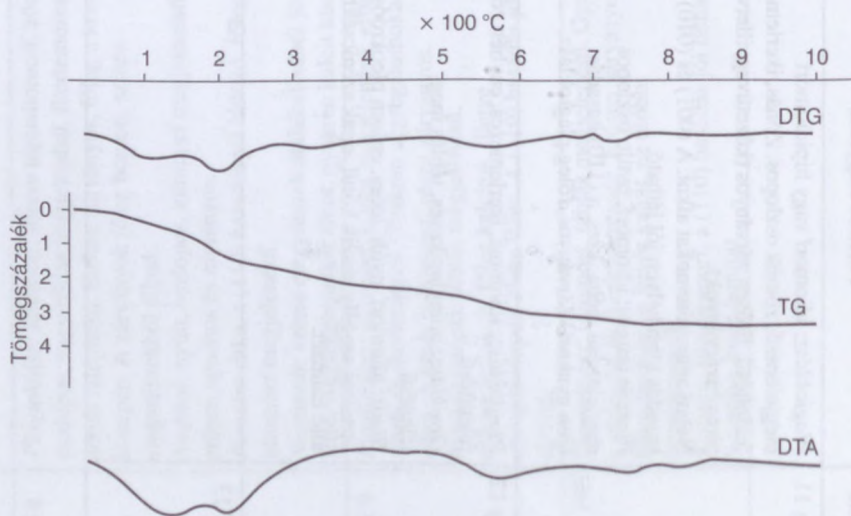
A derivatogramokat Paulik F.–Paulik J.–Erdey L.–féle (MOM gyártmányú) derivatográfyon készítettük. A derivatográf olyan összetett termikus elemzőkészülék, amelyben a hőmérséklet függvényében (T görbe) a minta tömegváltozása (TG görbe), a tömegváltozás sebességváltozása (DTG görbe) egyidejűleg mérhető és automatikusan regisztrálható.

A derivatográfias vizsgálatoknál a kemence felfűtési sebessége 10 °C/min volt, platinatégelyben, levegőáramban, 1000 °C eléréséig mértünk. A bemérés nagysága (a vizsgált anyag tömege) 200 és 400 mg között változott, a mérleg érzékenysége – a várható tömegcsökkenésnek megfelelően – a mészkövek esetében 200 mg, a többi mintánál pedig 100 mg volt. A DTG- és DTA görbékhez Pt/PtRh termoelemeket, termikusan inert anyagként Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-t használtunk. A hőmérsékletet (T görbe) a mintában mértük.

A derivatogramokat azon az alapon értékeltük, hogy egyrészt irodalmi adatokra, másrészt saját tiszta anyagokon végzett vizsgálatokra támaszkodva a jellemző bomláshőmérsékletek alapján meghatároztuk a minta kvalitatív (minőségi) összetételét, illetőleg azokat a komponenseket, amelyeknek termikus hatásra megváltozik a tömegük (dehidratáció, karbonát-bomlás) vagy szerkezeti átalakulás következik be (a–b kvarc-átalakulás). Ha azonban a minta közel azonos hőmérsékleten bomló ásványokat tartalmaz, kiegészítő vizsgálatok, pl. röntgen, vagy az oxidos elemzés adatai szükségesek az azonosításhoz.

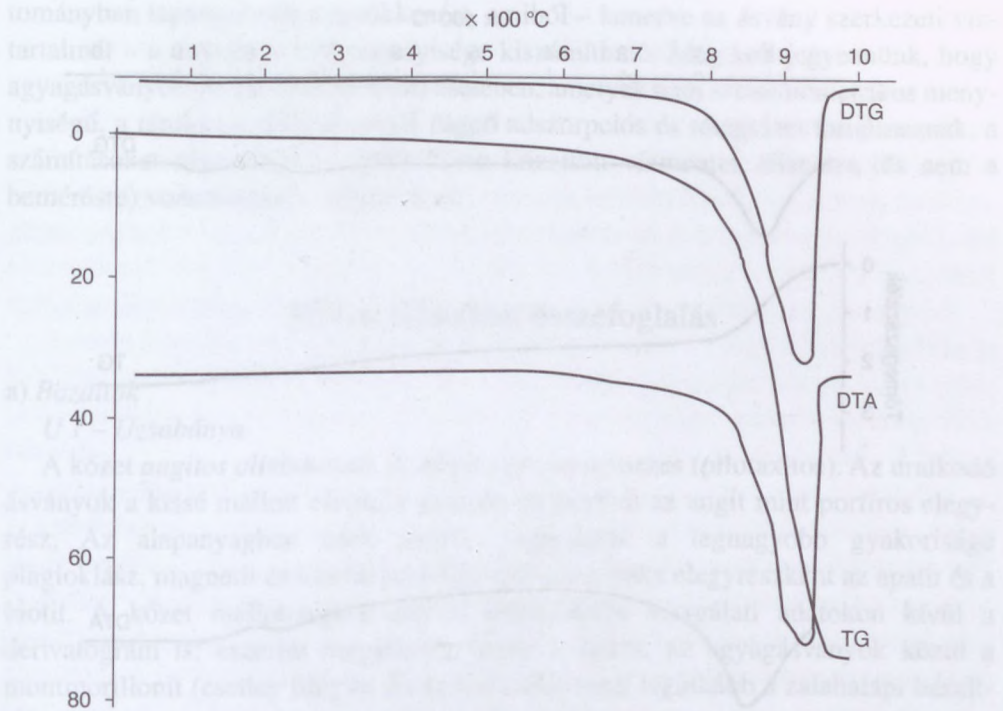
A derivatogramokból közzétípusonként egyet mutatunk be (31.2.–31.6. ábra).

Kvantitatívan (mennyiségileg) úgy értékelünk, hogy a DTG-görbe maximumait, illetve inflexiós pontjait a TG-görbére vetítve leolvassuk a jellemző hőmérséklettar-

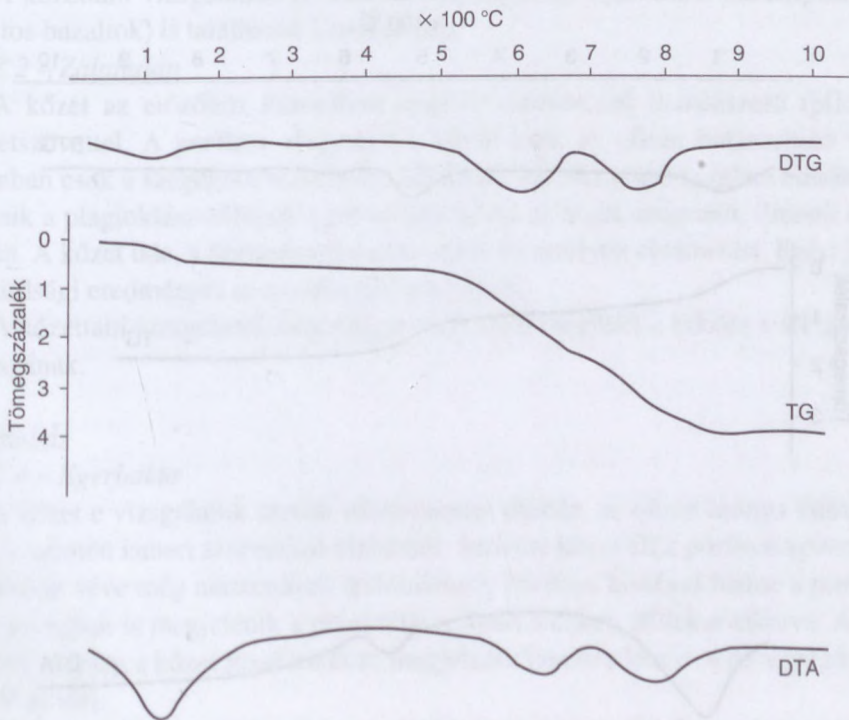


31.2. ábra. Uzsabányai bazalt (U 1) derivatogramja

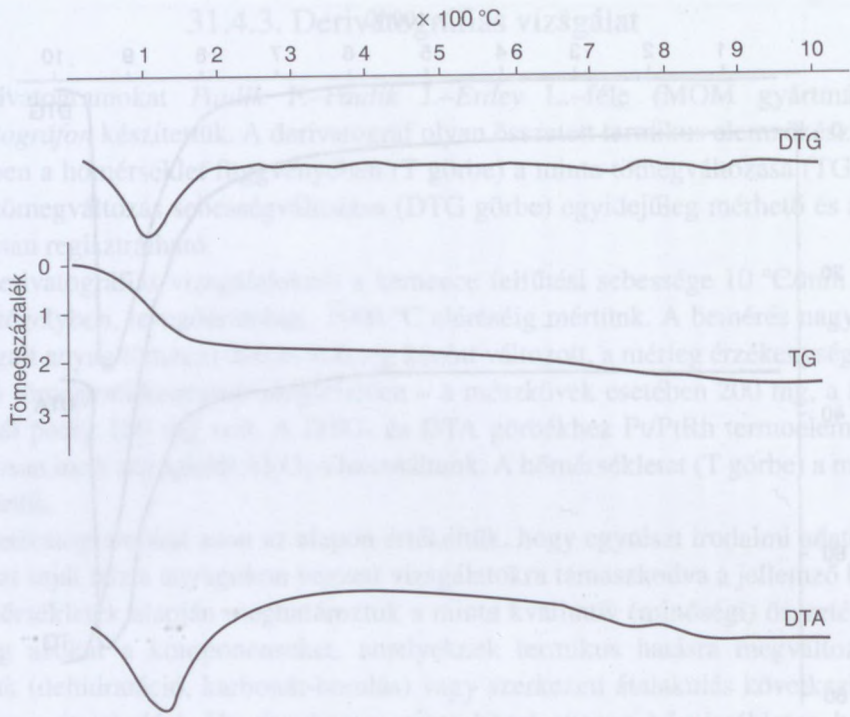




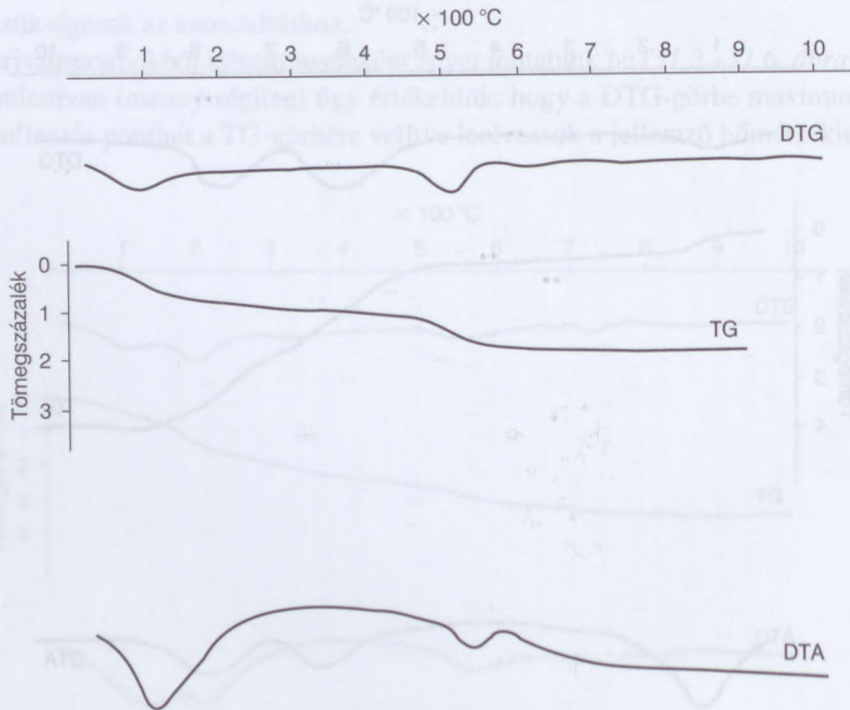
31.3. ábra. Nagyarsányi mészkő (NH 3) derivatogramja



31.4. ábra. Egerbaktai diabáz (E 4) derivatogramja



31.5. ábra. Sátoraljaújhelyi andezit (S 8) derivatogramja



31.6. ábra. Gyöngyössolymosi riolit (Gy 12) derivatogramja



ományban tapasztalt tömegcsökkenést, amiből – ismerve az ásvány szerkezeti víztartalmát – a mintában levő mennyisége kiszámítható. Meg kell jegyeznünk, hogy agyagásványok (és hidratált cement) esetében, amelyek nem sztoichiometrikus mennyiségű, a tárolási körülményektől függő adszorpciós és rétegvizet tartalmaznak, a számításokat célszerűen az 1000 °C-on kiizzított vízmentes állapotra (és nem a bemérésre) vonatkoztatva végezzük el.

#### 31.4.4. Kőzettani összefoglalás

##### a) Bazaltok

###### *U 1 – Uzsabánya*

A kőzet *augitos olivinbazalt*. A kőzet szövete nemezes (pilotaxitos). Az uralkodó ásványok a kissé mállott olivin, a piroxén csoportból az augit mint porfíros elegyrész. Az alapanyagban ezek mellett megjelenik a legnagyobb gyakoriságú plagioklász, magnetit és kisebb mértékben ilmenit, ritka elegyrészként az apatit és a biotit. A kőzet mállottságára utal a mikroszkópi vizsgálati adatokon kívül a derivatogram is: eszerint megjelenik benne a kalcit, az agyagásványok közül a montmorillonit (esetleg illit) is. Ez különbözteti meg leginkább a zalahalápi bazalttól.

A kőzettani vizsgálatnál jellemzett kőzettípusnál bontottabb kőzettípusok (kokkolitos bazaltok) is találhatóak Uzsabányán.

###### *Z 2 – Zalahaláp*

A kőzet az előzőhöz hasonlóan *augitos olivinbazalt* nemezszerű (pilotaxitos) kőzetszövettel. A porfíros elegyrészek közül csak az olivin határozható meg, ez azonban csak a szegélyén rezorbeált, általában üde. Az alapanyagban emellett megjelenik a plagioklász-földpát, a piroxének közül az augit, magnetit, ilmenit és kevés zeolit. A kőzet üde, a derivatogram sem mutat semmilyen elváltozást. Ezért jobb a szilárdsági eredményei az uzsabányai bazalténál.

A kőzettani vizsgálatok eredménye nagyjából megfelel a kőbánya átlagos kőzetanyagának.

##### b) Diabáz

###### *E 4 – Egerbakta*

A kőzet e vizsgálatok szerint olivinmentes diabáz, az olivin hiánya különbözteti meg a szintén ismert szarvaskői diabáztól. Szövete közel áll a porfíros szövethez, de alapjában véve még nemezszerű (pilotaxitos). Porfíros kiválású benne a piroxén, az alapanyagban is megjelenik a plagioklász, nyúlt léceket, táblákat alkotva. A derivatogram alapján a kőzet kissé mállott, megjelenik benne a kalcit és az agyagásványok közül az illit.

A kőzettani vizsgálat eredménye jellemző az egerbaktai kőbánya átlagkőzetére.



### c) Riolit

#### Gy 12 – Gyöngyössolymos

A kőzet barnásvörös színű, hézagos, biotitpikkelyes *riolit*. A kőzetszövet fluidális, porfíros, az alapanyagban felzites kőzetüveg is található. Porfíros elegyrészként a földpátok közül az ortoklász és a plagioklász jelenik meg a biotit-csillám mellett. Ez utóbbiak gyakran átalakultak. Az alapanyagban a kőzetüveg mellett plagioklász, káliföldpát, kalcit és szericit is található. A derivatogram alapján a kőzet alig bontott, illites.

A kőzettani vizsgálat eredménye nagyjából jellemzi a gyöngyössolymosi kőbánya kőzetét.

### d) Tömött mészkövek

#### NH 3 – Nagyharsány

A harsányi hegy nagy tömegű krétamészkőve sötétszürke, szabad szemmel repedések, erek, foltok figyelhetők meg. Mikroszkóppal típusos karbonátos szövetben ki nem mérhető kristályméretű kalcit és ennek nagyobb változata figyelhető meg. A repedések mentén agyagkiválás is megfigyelhető. A derivatogram kb. 86% kalciumkarbonátot jelez. Ezenkívül kb. 4%  $MgCO_3$ -ot is tartalmaz dolomit formájában. Agyagásvány-tartalma 6–8%.

#### T 13 – Tinnye

A tinnyi triász dachsteini mészkő teljes egészében kalcitkristályokból áll, melyek változatos szemnagyságú mészkőszövetet alkotnak. Mikroszkóp alatt is jól megfigyelhetők a durvaszemcsés kristálygócok az apróbb szemű karbonátos anyagban. A repedések mentén néhol itt is megjelenik az agyag. A derivatogram szerint a kőzet teljesen tiszta, kizárólag kalcitból áll,  $CaCO_3$ -tartalma 99,7%, anyagásványok nem mutathatók ki benne.

A kőzettani vizsgálattal jellemzett kőzettípus átlagosnak tekinthető.

### e) Andezitek

Az andezitek közül 5 piroxéndezit (Recsk, Tállya, Erdőbénye, Szob és Nógrád-kövesd), a sátoraljaújhelyi kőbánya kőzete amfibolos andezit. Ez mállottsága révén amúgy is kiválik a piroxéndezitek sorából.

#### S 8 – Sátoraljaújhely

A kőzet *amfibolos hidroandezit*, porfíros szövettel. A porfíros kiválások között jelenik meg a gyakran zárványos plagioklász, a bontott amfibol, a piroxének közül az augit és a mállástermék nontronit. Az alapanyagban csak a földpátok és egy agyagásványos tömeg figyelhető meg, kevés magnetit és apatit mellett. A derivatogramból még kalcit is kimutatható, az agyagásvány montmorillonitként határozható meg, továbbá a kb. 0,3%  $CaCO_3$ -on kívül a DTA-görbe csekély, exotermikus effektust okozó szennyezésre utal.



A sátoraljaújhelyi kőbánya kőzetének jó részét jellemzi e kőzettani vizsgálat, azonban a vizsgálatnál mállottabb kőzetfajták is találhatóak.

#### Sz 10 – Szob

A kőzet sötét színű *piroxénandezit*, jellegzetes porfíros kőzetszövettel. Porfíros kiválás ebben a plagioklász és a piroxén, ezeken kismérvű bontottság észlelhető. Az alapanyagban megjelenik ezek mellett a magnetit és a kőzetüveg, valamint egy nontronitnak meghatározható agyagásvány is. A derivatogrammal kalcit mellett montmorillonit jelenléte mutatható ki.

A szobi piroxénandezitre általában jellemző a kőzettani vizsgálat, habár a bányában mállottabb típusok is ismertek. Nem vonatkozik a vizsgálat a felső bánya fehér színű dácitjára, és a piroxénandezit között megjelenő világos andezit-dácit keverék-kőzetre.

#### Ng 11 – Nógrádkövesd

Fekete színű, *porfíros szövetű andezit*. Mikroszkóppal tekintve a szövet a nemes felé hajlik. Porfíros kiválás benne a zárványos plagioklász és a piroxéncsoportból az augit. A plagioklász kristályai szabad szemmel is jól láthatók. Az alapanyagban ezeken kívül megjelenik a magnetit és a kőzetüveg, ritkábban pedig a kalcit és a nontronit. A derivatogram nem mutat ki sem agyagásványokat, sem pedig mállási jelenséget. A DTA-görbe 380 °C-nál jelentkező maximumát szerves zárvány: Fe<sup>2+</sup> oxidációja, S oxidációja stb. okozhatja. 0,86% reolitos vizet tartalmaz, ami 600 °C-ig fokozatosan távozik.

A nógrádkövesdi kőbányaüzem két kőbányából, a szandai és a berceli kőbányából fejt a kőzetet. Az utólagos bomlási folyamatok a kőzetet sok helyen elbontották, gyakran jelentős tömegben. Így a kőzettani vizsgálatnál jellemzett kőzet a legjobb kőzettípusnak tekinthető, ennél rosszabbak is előfordulhatnak a bányában.

#### R 5 – Recsk

Zöldesszürke, egységesen *porfíros kőzetszövetű, piroxén-andezit*. A kőzetben porfíros kiválású a plagioklász-földpát, valamint a piroxéncsoport két fajtája, az augit és a hipersztén. Alapanyagként ezek mellett még megjelenik a kalcit és a magnetit is. A derivatogram kevés kaolinitet vagy halloysitot mutat ki, jelzi a kőzet hidrottermális bontottságát. Ez a bontottság a kőzettani eredményekben – sőt a kőzetfizikáiban sem – nem észlelhető.

A kőzettani vizsgálatnál jellemzett kőzettípus a kőbánya átlagos kőzetfajtájának vehető.

#### Er 9 – Erdőbénye

Kékesszüre *porfíros piroxénandezit*. A porfíros kiválások plagioklászokból és augitokból (piroxéncsoport) tevődnek ki. Ez utóbbi átalakult, agyagásványos! Az alapanyagban a földpát és a piroxén mellett kalcit, érc és jelentős mennyiségű agyagásvány észlelhető. Az agyagos, mállott jelleg a derivatogramból is kiolvasható. Amennyiben ez az agyagásvány a kőzettömeg egészére jellemző, úgy az a felhasznál-

nálást károsan befolyásolja. Egyébként a kőzetvizsgálat nagyjából az átlagos jó minőségű erdőbényei piroxénandezitnek felel meg.

#### Ta 7 – Tállya

A kőzet *porfíros* kőzetszövetű *piroxénandezit*. Szabad szemmel üreges, az üregekben másodlagos karbonátos ásványokkal. A porfíros kiválású plagioklász kalcitosan bomlott, a piroxénnel (hipersztén és augit) együtt az alapanyag ásványai közt is megjelenik. Kedvezőtlen az alapanyagban még megfigyelhető kalcit és a jelentős mennyiségű kőzetüveg is. A tállyai kőbánya kőzetanyaga igen változatos, a fenti kőzettani vizsgálat egy átlagos jó minőségű kőzetet jellemez, melytől lényegesen eltérő kőzettípusok is ismeretesek.

## 31.5. A kőzetek tömegeloszlásával kapcsolatos tulajdonságok

### 31.5.1. A kőzetek sűrűsége

A minták sűrűségét 25 ml-es hőmérős piknométerben, vízben 25 °C hőmérsékleten határoztuk meg. A minta anyagát porcelánmozsárban 200 mm-nél finomabbra porítottuk, majd kiszáritottuk. A vizsgálati eredményeket a 31.5. táblázat tartalmazza.

31.5. táblázat. A vizsgált kőzetek sűrűsége

Jele	Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>	
	egyes	átlag
U 1	2,832	2,839
	2,843	
Z 2	2,833	2,885
	2,877	
	2,895	
NH 3	2,689	2,693
	2,697	
E 4	2,810	2,807
	2,804	
R 5	2,735	2,732
	2,730	
Ta 7	2,722	2,714
	2,707	

Jele	Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>	
	egyes	átlag
S 8	2,599	2,600
	2,602	
Er 9	2,606	2,608
	2,610	
Sz 10	2,646	2,652
	2,659	
Ng 11	2,768	2,769
	2,770	
Gy 12	2,446	2,446
	2,431	
	2,461	
T 13	2,720	2,716
	2,712	



### 31.5.2. A kőzetek testsűrűsége

A testsűrűséget a szilárdsági vizsgálatokkal egyidejűen kiszárított, természetes és vízzel telített állapotban is meghatároztuk. A vizsgált próbatestek minden esetben szabályosak voltak. A mérési eredményeket a 31.6. táblázatban foglaltuk össze.

**31.6. táblázat.** A kőzetek testsűrűsége 4×4×16 cm-es próbatestek vizsgálata alapján

Jele	Testsűrűség, g/cm <sup>3</sup>						Tömörség	Hézagterfogat
	légszáraz		kiszárított		vízzel telített			
	állapotban						kiszárított állapotban	
U 1	2,740		2,720		2,760		0,970	0,030
	2,768		2,760		2,780			
	2,775	2,767	2,762	2,751	2,780	2,780		
	2,741		2,722		2,760			
	2,810		2,795		2,820			
Z 2	2,815		2,810		2,818		0,980	0,020
	2,851		2,840		2,846			
	2,838	2,832	2,830	2,826	2,840	2,831		
	2,820		2,818		2,822			
	2,840		2,835		2,842			
NH 3	2,725		2,718		2,726		0,990	0,010
	2,665		2,663		2,668			
	2,655	2,679	2,653	2,675	2,660	2,680		
	2,662		2,661		2,665			
	2,682		2,631		2,685			
E 4	2,795		2,790		2,805		0,990	0,010
	2,852		2,820		2,840			
	2,815	2,801	2,808	2,789	2,825	2,806		
	2,775		2,770		2,780			
	2,772		2,760		2,782			
R 5	2,695		2,690		2,705		0,985	0,015
	2,705		2,695		2,710			
	2,700	2,700	2,698	2,692	2,710	2,707		
	2,700		2,690		2,705			
	2,700		2,690		2,705			
Ta 7	2,680		2,670		2,700		0,975	0,025
	2,665		2,660		2,665			
	2,650	2,655	2,645	2,650	2,655	2,661		
	2,642		2,640		2,645			
	2,640		2,636		2,642			
S 8	2,630		2,600		2,653		0,945	0,055
	2,440		2,400		2,472			
	2,450	2,494	2,412	2,460	2,470	2,521		
	2,482		2,450		2,510			
	2,470		2,438		2,500			

31.6. táblázat folytatása

Jele	Testsűrűség, g/cm <sup>3</sup>						Tömörség	Hézagterfogat
	légszáraz		kiszáritott		vízzel telített			
	állapotban						kiszáritott állapotban	
Er 9	2,541	2,544	2,520	2,520	2,590	2,568	0,965	0,035
	2,535		2,515		2,545			
	2,545		2,525		2,560			
	2,530		2,510		2,548			
	2,572		2,530		2,600			
Sz 10	2,570	2,578	2,530	2,543	2,580	2,597	0,960	0,040
	2,590		2,570		2,605			
	2,570		2,545		2,590			
	2,600		2,570		2,610			
	2,560		2,552		2,600			
Ng 11	2,725	2,725	2,720	2,716	2,726	2,726	0,975	0,025
	2,740		2,723		2,738			
	2,720		2,718		2,721			
	2,720		2,719		2,722			
	2,721		2,720		2,742			
Gy 12	2,235	2,127	2,220	2,112	2,300	2,217	0,865	0,135
	2,190		2,175		2,255			
	2,005		1,995		2,115			
	2,010		2,000		2,145			
	2,195		2,180		2,270			
T 13	2,682	2,609	2,680	2,604	2,690	2,613	0,960	0,040
	2,690		2,685		2,692			
	2,685		2,682		2,688			
	2,310		2,305		2,312			
	2,680		2,678		2,685			

## 31.5.3. A tömörség

A tömörséget ( $t$ ) a testsűrűség ( $r_t$ ) és a sűrűség ( $r$ ) hányadosaként határoztuk meg. A számításhoz a kiszáritott állapotú kő testsűrűségét használtuk fel. Az eredményeket a 31.6. táblázat tartalmazza. A táblázat utolsó oszlopában a minták pórustartalmát ( $p$ ) is feltüntettük, amelyet a

$$p=1-t$$

képletből számítottunk (31.6. táblázat).



## 31.6. Hidrotechnikai tulajdonságok

### 31.6.1. Vízfelvétel fokozatos vízbemerítéssel

A 105 °C-on tömegállandóságig kiszárított 4·4·16 cm méretű próbatestet fekvő helyzetben vízbe helyeztük úgy, hogy a vízben a próbatest magasságának negyedéig ért. Majd a vízszintet 2 óránként növeltük, s ezáltal a próbatestet a vizsgálat kezdetétől 6 óra múlva teljesen víz borította. A 31.7. táblázatban tüntettük fel a vízfelvétele és a telítődés időtartamát.

31.7. táblázat. A kőzetek vízfelvétele és telítési tényezője

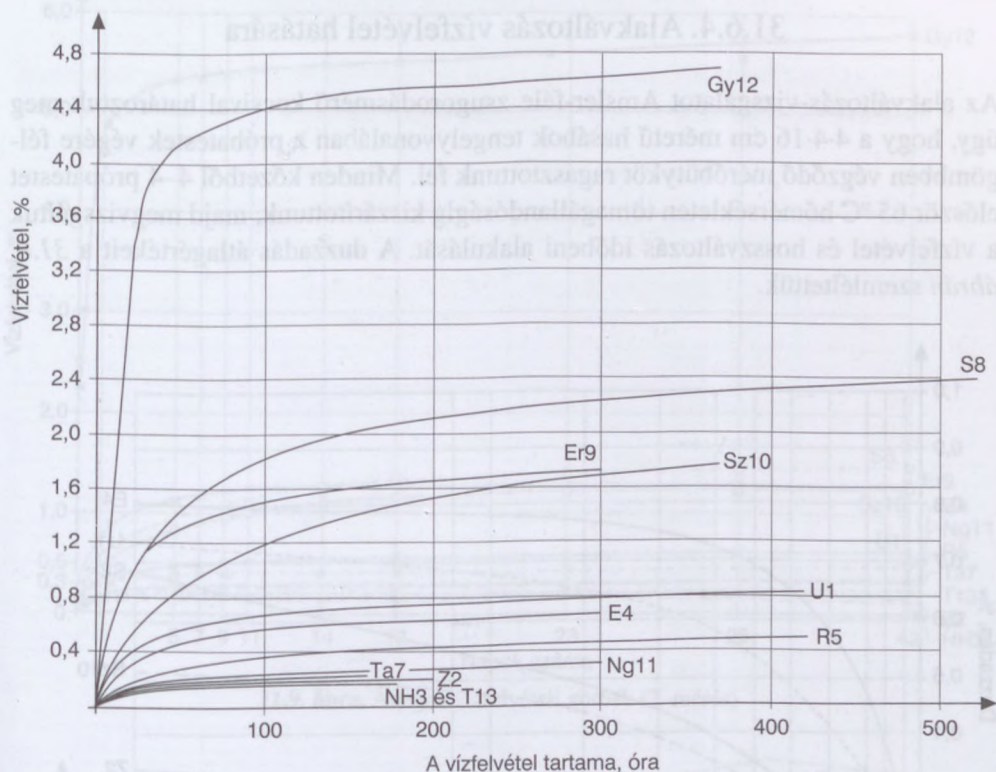
Jele	Vízfelvétel, tömeg%				Telítődés tartama óra	Telítési tényező	
	fokozatos telítéssel		15 MPa nyomásra			egyes	átlag
	egyes	átlag	egyes	átlag			
U 1	1,159	0,833	1,310	0,983	424	0,884	0,923
	0,688		0,717				
	0,595		0,650				
	1,178		1,254				
	0,547		–				
Z 2	0,223	0,190	0,283	0,239	208	0,788	0,798
	0,155		0,187				
	0,243		0,308				
	0,136		0,181				
	0,192		0,233				
NH 3	0,046	0,060	0,057	0,216	196	0,811	0,902
	0,157		0,161				
	0,226		0,233				
	0,273		0,298				
	0,097		0,117				
E 4	0,675	0,628	0,705	0,672	304	0,958	0,925
	0,785		0,825				
	0,674		0,712				
	0,374		0,446				
	–		–				
R 5	0,458	0,488	0,488	0,498	424	0,940	0,935
	0,471		0,509				
	0,533		0,574				
	0,400		0,423				
	0,577		–				
Ta 7	0,128	0,220	0,182	0,333	160	0,706	0,670
	0,142		0,201				
	0,257		0,414				
	0,298		0,444				
	0,276		0,424				

31.7. táblázat folytatása

Jele	Vízfelvétel, tömeg%				Telítődés tartama óra	Telítési tényező	
	fokozatos telítéssel		15 MPa nyomásra			egyes	átlag
	egyes	átlag	egyes	átlag			
S 8	1,880	2,395	1,945	2,485	544	0,966	0,950
	2,850		2,964			0,960	
	2,470		2,035			0,940	
	2,320		2,400			0,967	
	2,440		–			–	
Er 9	1,520	1,720	–	1,920	302	–	0,925
	1,495		1,638			0,914	
	1,420		1,620			0,876	
	1,418		1,458			0,974	
	2,765		2,960			0,935	
Sz 10	2,090	1,770	2,235	1,950	372	0,935	0,943
	1,495		1,593			0,939	
	1,992		2,125			0,939	
	1,495		–			–	
	1,780		1,850			0,963	
Ng 11	0,277	0,295	0,316	0,346	304	0,874	0,855
	0,335		0,396			0,843	
	0,249		0,286			0,870	
	0,308		0,361			0,854	
	0,306		0,368			0,833	
Gy 12	3,640	0,660	5,500	7,830	372	0,662	0,626
	3,600		5,610			0,641	
	6,020		10,120			0,594	
	6,150		10,100			0,610	
	3,910		–			–	
T 13	0,215	0,144	0,254	0,190	110	0,846	0,790
	0,153		0,181			0,846	
	0,158		0,199			0,795	
	0,086		0,128			0,672	
	0,106		–			–	

E vizsgálat során meghatároztuk a vízfelvételt az idő függvényében 5–5 próba-  
testen. A mérési eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy kőzetben belül is nagy  
az eltérés a vízfelvételi értékek között, de még nagyobb az eltérés az egyes kőzetek  
között. A legkisebb a vízfelvétele a tömött mészköveknek (NH 3 és T 13), a  
zalahalápi bazaltnak (Z 2), a tállyai andezitnek (Ta 7) és a nógrádkövesdi andezitnek  
(Ng 11); legnagyobb a gyöngyössolymosi (Gy 12) riolité. Ugyancsak eltérő a vízfel-  
vétel sebessége is, amit legjobban a 31.7. ábra alapján ítélnünk meg. Leggyorsab-  
ban a tömött mészkövek telítődnek.





31.7. ábra. Átlagos vízfelvételi görbék (1. mérés)

### 31.6.2. Vízfelvétel 15 MPa nyomáson

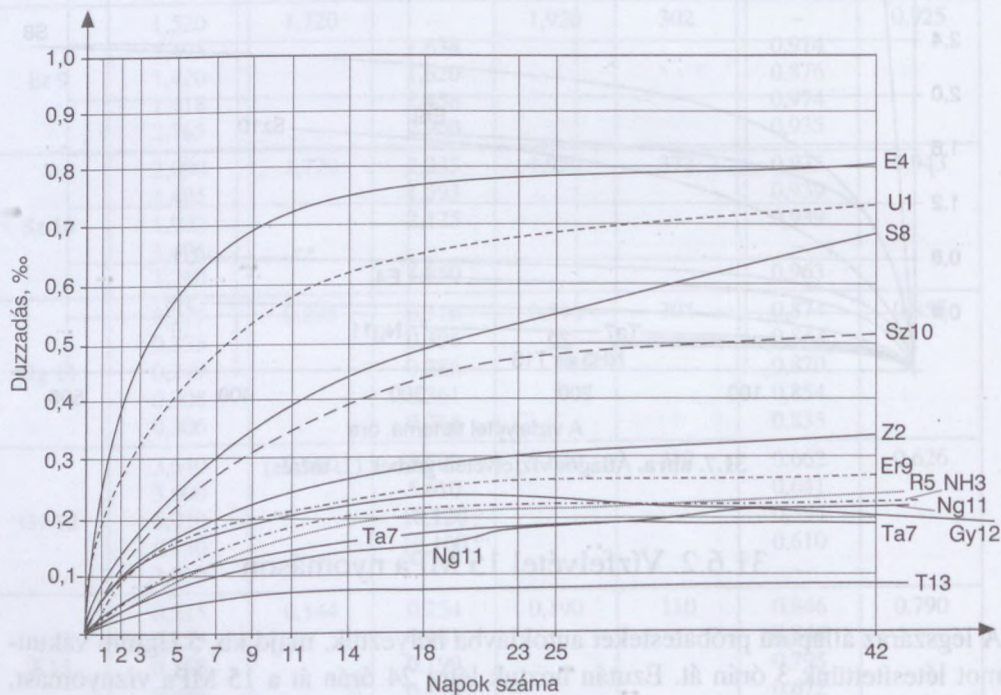
A légszár az állapotú próbatesteket autoklávba helyeztük, majd kb. 5 Hgmm vákuumot létesítettünk 3 órán át. Ezután hoztuk létre 24 órán át a 15 MPa víznyomást, majd a nyomás megszüntetése után meghatároztuk a vízfelvételt. A mérési eredményeket a 31.7. táblázat tartalmazza.

### 31.6.3. Telítési tényező

Telítési tényezőt a fokozatos vízbemerítéssel és a 15 MPa víznyomással telített próbatestek vízfelvételének a hányadosát értjük, melyet a 31.7. táblázat utolsó oszlopában tüntettünk fel.

### 31.6.4. Alakváltozás vízfelvétel hatására

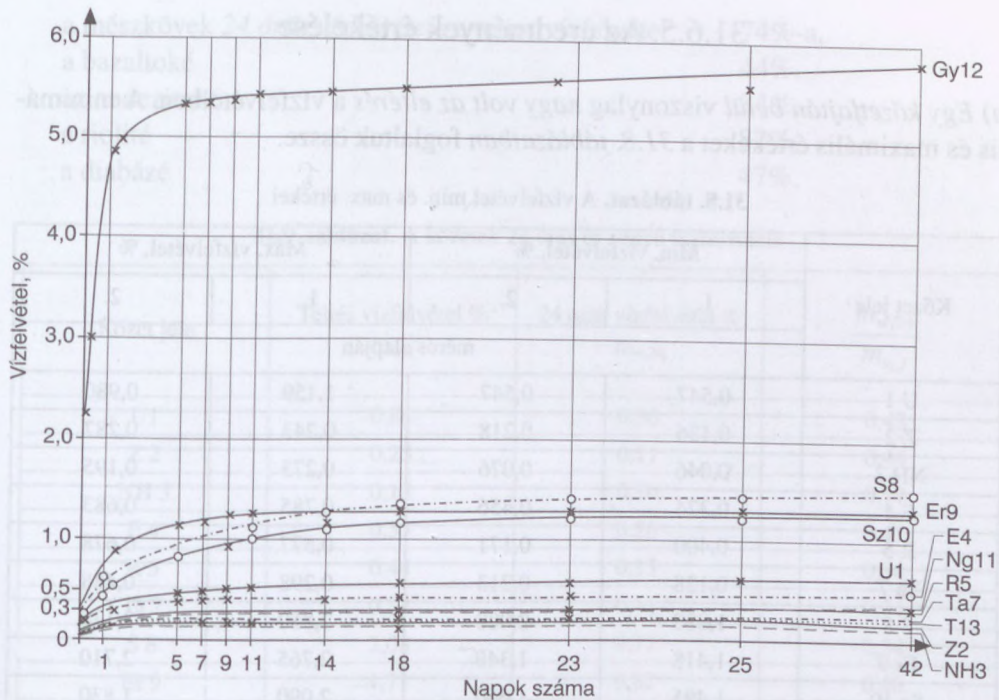
Az alakváltozás-vizsgálatot Amsler-féle zsugorodásmérő kocsival határoztuk meg úgy, hogy a 4·4·16 cm méretű hasábok tengelyvonalában a próbatestek végére félgömbben végződő mérőbütyköt ragasztottunk fel. Minden kőzetből 4-4 próbatestet először 65 °C hőmérsékleten tömegállandóságig kiszárítottunk, majd megvizsgáltuk a vízfelvétel és hosszváltozás időbeni alakulását. A duzzadás átlagértékeit a 31.8. ábrán szemléltettük.



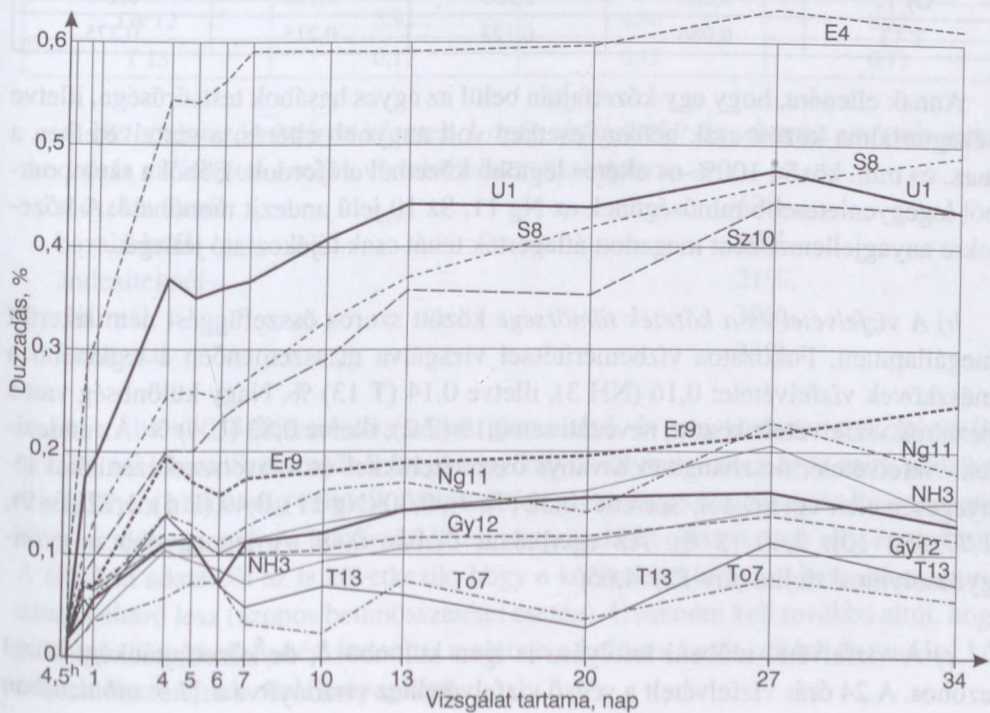
31.8. ábra. A próbatestek átlagos duzzadása (1. mérés)

Mind a vízfelvételi, mind a duzzadási vizsgálatot 3 hónap múlva még egyszer elvégeztük. Az ismétlés során egyrészt már az első 24 órában vízfelvételi mérést végeztünk, másrészt vizsgáltuk, hogy független-e a vízfelvétel az ismétlések számától. Az ismételt vízfelvétel-vizsgálat átlagos eredményét a 31.9. ábrán, a duzzadás-vizsgálat átlagos eredményeit a 31.10. ábrán foglaltuk össze. Megjegyezzük, hogy a második vizsgálat megkezdésekor a próbatestek nem voltak annyira kiszáradva, mint az első vizsgálat kezdetén.





31.9. ábra. Átlagos vízfelvételi görbék (2. mérés)



31.10. ábra. A próbatestek átlagos duzzadása (2. mérés)

### 31.6.5. Az eredmények értékelése

a) Egy kőzetfajtán belül viszonylag nagy volt az eltérés a vízfelvételben. A minimális és maximális értékeket a 31.8. táblázatban foglaltuk össze.

31.8. táblázat. A vízfelvétel min. és max. értékei

Kőzet jele	Min. vízfelvétel, %		Max. vízfelvétel, %	
	1.	2.	1.	2.
	mérés alapján			
U 1	0,547	0,547	1,159	0,980
Z 2	0,136	0,218	0,243	0,287
NH 3	0,046	0,076	0,273	0,195
E 4	0,374	0,456	0,785	0,683
R 5	0,400	0,171	0,577	0,678
Ta 7	0,128	0,213	0,298	0,488
S 8	1,880	2,000	2,850	2,130
Er 9	1,418	1,340	2,765	2,710
Sz 10	1,495	1,660	2,090	1,830
Ng 11	0,277	0,383	0,335	0,417
Gy 12	3,600	5,550	6,150	6,240
T 13	0,086	0,123	0,215	0,225

Annak ellenére, hogy egy kőzetfajtán belül az egyes hasábok testsűrűsége, illetve hézagtartalma között csak néhány esetben volt nagyobb eltérés, a vízfelvételben a max. és min. között 100%-os eltérés legtöbb kőzetnél előfordult. Ebből a szempontból legegyenletesebb minőségűnek az Ng 11, Sz 10 jelű andezit mondható. A kőzetekre anyagjellemzőként megadott átlagérték tehát csak tájékoztató jellegű.

b) A vízfelvétel és a kőzetek tömörsége között szoros összefüggést nem sikerült megállapítani. Fokozatos vízbemerítéssel vizsgálva messzemenően a legkisebb a mészkövek vízfelvétele: 0,16 (NH 3), illetve 0,14 (T 13) %. Nagy különbség van a bazaltok vízfelvétele között, nevezetesen 0,19 (Z 2), illetve 0,83 (U 1) %. Az andezitek vízfelvétele, összhangban ásványi összetételükkel és szövetszerkezetükkel lényegesen eltér egymástól. Sorrend: 0,22 (Ta 7), 0,30 (Ng 11), 0,49 (R 5), 1,72 (Er 9), 1,77 (Sz 10), 2,40 (S 8). Az egerbaktai diabáz 0,49. A legnagyobb a gyöngyösmosi riolit (Gy 12): 4,66,

c) A vízfelvétel időbeni lefolyása is igen különböző, de kőzetfajtánként közel azonos. A 24 órás vízfelvételet a végső vízfelvételhez viszonyítva a 31.9. táblázatban foglaltuk össze. Eszerint



a mészkövek 24 órás vízfelvétele a teljes vízfelvétel	74%-a,
a bazaltoké	44%,
az andeziteké	34%,
a riolité	82%,
a diabázé	47%.

31.9. táblázat. A kőzetek 24 órás és végső vízfelvétele

Kőzet jele	Teljes vízfelvétel % $m_{w,t}$	24 órás vízfelvétel % $m_{w,24}$	$\frac{m_{w,24}}{m_{w,t}}$
U1	0,84	0,36	0,43
Z 2	0,25	0,11	0,44
NH 3	0,13	0,10	0,77
E 4	0,55	0,26	0,47
R 5	0,44	0,15	0,34
Ta 7	0,32	0,11	0,34
S 8	2,08	0,71	0,34
Er 9	1,71	0,82	0,48
Sz 10	1,77	0,61	0,34
Ng 11	0,39	0,14	0,36
Gy 12	5,92	4,86	0,82
T 13	0,17	0,12	0,71

d) Betontervezés során a kőzetek 1 órás vízfelvételeét figyelembe szoktuk venni. Az 1 órás vízfelvétel a teljes vízfelvételhez viszonyítva:

mészköveknél	42%,
bazaltoknál	26%,
andeziteknél	21%,
riolitnál	39%,
diabáznál	24%.

e) A különböző kőzetek duzzadása igen eltérő, és nem arányos a vízfelvétellel (31.10. táblázat). Szembetűnő, hogy a gyöngyössolymosi riolit igen nagy vízfelvétele ellenére alakja alig változik. Valószínűen olyan nagyok a pórusok, hogy a kapilláris víznyomás, mely a kiszáradó kőzet zsugorodását okozza, már alig érvényesül. A táblázat adataiból az is következik, hogy e kőzetekkel készített betonok zsugorodása is eltérő lesz (azonos betonösszetétel esetén). Óvakodni kell továbbá attól, hogy pl. nagy tömegű vízepítési betonba, melyben a habarcs kevés, eltérő duzzadású kőzeteket használjunk adalékanyagként.

31.10. táblázat. A kőzetek vízfelvétele és duzzadása

Kőzet jele	Vízfelvétel %	Duzzadás ‰
U 1	0,84	0,758
Z 2	0,25	0,334
NH 3	0,13	0,238
E 4	0,55	0,817
R 5	0,44	0,242
Ta 7	0,32	0,184
S 8	2,08	0,681
Er 9	1,71	0,278
Sz 10	1,77	0,516
Ng 11	0,39	0,229
Gy 12	5,92	0,200
T 13	0,17	0,087

f) A kiszáritás, vízzel telítés *reverzibilis folyamat*.

## 31.7. A kőzetek időállósága

### 31.7.1. Az időállóságról általában

Az időállóság a kőzetnek az a képessége, hogy műszakilag fontos tulajdonságait a beépítése körülményei között a megkívánt élettartamig úgy képes megőrizni, hogy eredeti feladatát betöltse. A kőzet tönkremenetelét az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból keletkező feszültségek, a fagy, a jégtelenítő sók, továbbá a betonban az alkáli-adalékanyag reakció okozhatja. Az időállóság tehát összetett, bonyolult fogalom, számos tényező függvénye. A tönkremeneteli folyamat a kőzettulajdonságok megváltozását vonja maga után, mely a kőzetalkotó ásványok és az ásványok közötti kötés szilárdságának változására vezethető vissza. Ezt a folyamatot azonban bonyolult lenne vizsgálni. Ezért az időállóság megítélésére különböző vizsgálati módokat vezettek be, melyekkel egyszerű módon akarják utánozni a természetben lejátszódó folyamatokat. A vizsgálati módok azonban nem egységesek. Az MSZ 1991-67 szerint az időállóság tájékoztató vizsgálata lehetséges:

- kőzettani vizsgálat útján,
- a vízfelvétel meghatározásával,
- a fagyállóság laboratóriumi vizsgálatával,
- szulfátos kristályosítási, és
- citromsavas oldási vizsgálattal.

A továbbiakban először ezeket a vizsgálatokat ismertetjük.



### 31.7.2. Az időállóság közelítő megállapítása közettani vizsgálattal

Az MSZ 1991-67 szabvány szerint nem lehet időállónak nevezni azt a mélyépítésben felhasználni kívánt kőzetet, melynek a vízfelvétele – a fokozatos vízbemerítés-sel meghatározva – meghaladja a 3%-ot. A 31.7. táblázat alapján nem időálló a Gy 12 jelű gyöngyössolymosi riolit, melynek a vízfelvétele 0,66%. Ezzel szemben – külföldi előírások szerint – időállónak tekinthetők azok a kőzetek, melyeknek vízfelvétele 0,5%-nál kisebb. Ilyen a zalalahápi bazalt (0,19%), a nagyharsányi mészkő (0,16%), a recski andezit (0,488%), a tállyai andezit (0,22%), a nógrádkövesdi andezit (0,295%) és a tinnyei mészkő (0,144%). Utóbbi besorolás azonban csak akkor helytálló, ha a kőzet nem tartalmaz bomlásra hajlamos alkotókat.

### 31.7.3. A vizsgált kőzetek fagyállósága

Az MSZ 1991-67 szerint a fagyállóság mértéke a fagyasztás hatására bekövetkező *tömegcsökkenés*, nevezetesen  $2,5 \text{ t/m}^3$ -nél nagyobb testsűrűségű kőzetek esetén 0,1 tömegszázalék,  $2\text{--}2,5 \text{ t/m}^3$  testsűrűségű kőzetek esetén 0,25 tömegszázalék.

A tömegváltozást minden 12 ciklus után mértük a roncsolásmentes vizsgálat során. A vizsgált kőzetek testsűrűsége – az S 8 és Gy 12 jelű kőzetek kivételével –  $2,5 \text{ t/m}^3$ -nél nagyobb. A kőzetek a tömegcsökkenés alapján 156 fagyasztási ciklusig fagyállónak minősíthetők.

A fagyállóságot az ún. *fagylágyulási tényezővel* ( $f$ ) szokás jellemezni (ez nem szabványos), amely

$$f = \frac{K_f}{K}$$

képlettel fejezhető ki. A képletben  $K_f$  a fagyasztott,  $K$  pedig a nem fagyasztott próbatest szilárdsága. A 31.11. táblázatban a  $4 \times 4 \times 16$  cm-es hasábokon kapott összehasonlító szilárdságokat foglaltuk össze. Az 1 és 2 jelű vizsgálat a fagyasztás nélküli próbatestekre vonatkozik. A táblázat is mutatja, hogy a hajlító-húzó szilárdságok szórása sok esetben igen nagy, ezért az egyedi értékeket is célszerű összehasonlítani az átlagértékek mellett. A nyomószilárdságok közvetlenebbül összehasonlíthatók.

A fagylágyulási tényező alapján feltételezhetően akkor fagyálló a kőzet, ha  $f > 0,75\text{--}0,80$ . Ebből kiindulva egyedül a Gy 12 jelű riolit nem minősíthető egyértelműen fagyállónak.





31.11. táblázat folytatása

Kőzet jele	Kőzet neve	Hajlító-húzó szilárdság, MPa						Testszilárdság, MPa							
		1. vizsgálat		2. vizsgálat		108-szoros fagy. után		156-szoros fagy. után		1. vizsgálat		108-szoros fagy. után		156-szoros fagy. után	
		egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag
R 5	andezit	24,3	2,72	23,4	26,4	282,0	306,0	282,0	277,5	278,0	278,0	278,0	277,5	308,0	289,5
		10,2	15,7	28,6	31,0	292,0	292,0	292,0	308,0	278,0	278,0	278,0	308,0	278,0	289,5
		27,6	9,5	7,6	6,8	252,0	21,4	252,0	278,5	276,0	276,0	276,0	278,5	279,0	274,0
		26,5	2,22			279,0		279,0	284,0	288,0	288,0	288,0	274,0	274,0	274,0
		14,3				276,0		276,0	289,0	289,0	289,0	289,0	272,0	254,0	255,6
Ta 7	andezit	26,5	20,9	23,8	1,04	276,0	276,0	276,0	222,0	297,0	297,0	297,0	222,0	57,5	140,8
		24,2	21,9	13,9	1,55	254,0	1,30	254,0	309,0	309,0	309,0	309,0	301,0	108,0	225,0
		17,0	29,7	11,9	22,9	244,0		244,0	162,0	162,0	162,0	162,0	222,0	146,0	107,0
		21,7	19,1			107,0		107,0	121,2	121,2	121,2	121,2	118,0	73,5	107,0
		23,7				115,0		115,0	122,0	122,0	122,0	122,0	138,0	80,5	117,0
S 8	andezit	10,5	15,75	11,2	11,7	126,5	126,5	126,5	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	107,0	107,0
		13,7	16,75	14,0	14,4	118,0	118,0	118,0	122,0	122,0	122,0	122,0	122,0	117,0	122,0
		5,8	20,04	10,6	16,6	123,0	123,0	123,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	298,0	298,0
		7,6	16,50			296,0	296,0	296,0	302,0	302,0	302,0	302,0	302,0	301,5	268,7
		18,4				316,0	316,0	316,0	276,0	276,0	276,0	276,0	276,0	264,5	268,7
Er 9	andezit	19,9	-	5,0	14,3	297,0	297,0	297,0	271,0	271,0	271,0	271,0	271,0	218,0	278,0
		23,4	2,39	21,8	26,1	216,5	216,5	216,5	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0	252,5	218,0
		12,6	2,16	16,4	13,5	216,5	216,5	216,5	271,0	271,0	271,0	271,0	271,0	218,0	278,0
		19,5	2,61	23,8	23,8	216,5	216,5	216,5	271,0	271,0	271,0	271,0	271,0	218,0	278,0
		26,9				216,5	216,5	216,5	271,0	271,0	271,0	271,0	271,0	218,0	278,0

31.11. táblázat folytatása

Kőzet jele	Kőzet neve	Hajlító-húzó szilárdság, MPa						Testszilárdság, MPa									
		1. vizsgálat		2. vizsgálat		108-szoros fagy. után		156-szoros fagy. után		1. vizsgálat		108-szoros fagy. után		156-szoros fagy. után			
		egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag		
Sz 10	andezit	14,6	27,8	15,8	23,0	185,0	151,5	160,5	139,0	143,0	165,5	158,0	181,0	163,5	176,5		
		18,4	28,4	19,8	14,8	195,5	157,0	149,0	170,5	169,0	175,0	279,0	300,0	307,5	286,0		
		16,9	27,5	22,6	24,3	20,7	26,1	21,3	275,5	288,0	303,0	271,0	295,0	63,5	86,5	58,1	81,1
T 13	andezit	25,0	26,2	18,2	22,1	111,0	155,5	68,6	116,5	162,0	200,0	132,5	167,0	196,0			
		20,4	24,1	12,5	22,8	116,5	162,0	132,7	124,0	114,0	137,4	167,0	196,0				
		17,7	25,1	22,8	19,1	124,0	114,0	132,7	147,0	115,0	140,5	167,0	196,0				
Ng 11	andezit	23,4	28,9	26,1	26,1	165,0	239,0	62,0	130,5	94,8	86,0	148,0	151,0				
		24,2	26,2	18,2	22,1	181,6	155,0	68,6	116,5	162,0	200,0	132,5	167,0	196,0			
		22,4	20,5	16,3	15,7	18,1	19,8	19,8	13,7	7,8	11,5	17,6	17,8				
Gy 12	riolit	16,8	20,4	18,7	19,8	16,7	7,2	3,6	14,4	13,7	9,2	8,4	7,7	11,2			
		20,7	20,4	21,7	17,1	19,8	19,8	13,7	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				
		16,4	20,4	21,7	17,1	19,8	19,8	13,7	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				



### 31.7.4. A telítési tényező mint a fagyállóság kritériuma

A DIN 52.113-64 kőzetek tartósságának az elbírálására használja a telítési tényezőt, amelyen

$$TT = \frac{m_{w,1}}{m_{w,15}}$$

hányadost értjük. A képletben  $m_{w,1}$  a fokozatosan vízbemerítéssel a tömegállandóságig,  $m_{w,15}$  a 15 MPa nyomáson 24 ó alatt elért vízfelvétel a kiszáritott minta tömegének százalékában kifejezve. A telítési tényező azt fejezi ki, hogy természetes körülmények között hányadrésze telítődik a kőzet telíthető pórusainak.

A kőzet pórusaiba bejutott víz megfagyása közben 11%-kal növeli térfogatát. Elméletileg 0,9 telítési tényező elég lenne akkor, ha a megfagyó víz tágulásához szükséges pórus a megfelelő helyen rendelkezésre áll. Ez teljesen egyenletes szövetű kőzetek esetén közelítően teljesül. Mivel azonban a pórusok eloszlása általában nem kedvező, ezért kétszeres biztonságot követelünk meg, ami azt jelenti, hogy a telítési tényező legyen  $\geq 0,8$ . Mivel a telítési tényező függ a próbatest méreteitől is, ezért a kapott adatok elsősorban a kőzetek egymáshoz hasonlítására alkalmasak.

Ezt a kritériumot kielégítik (31.7. táblázat) a Z 2, T 13, Ta 7, Gy 12 jelű kőzetek. A 0,9-nél is nagyobb az U 1, E 4, R 5, S 8, Er 9, Sz 10 jelű kőzetek telítési tényezője tehát majdnem az összes andezit és az uzsabányai bazalté.

### 31.7.5. Szulfátos kristályosítási vizsgálat

A szokványos fagyasztási vizsgálat rendkívül lassú. A tönkremenetel részben a jég által okozott hidraulikus és kristályosodási nyomásból, részben a hirtelen lehűtésből vagy felmelegítésből keletkező húzófeszültségek okozta repedések miatt következik be.

A fagy hatását modellezhetjük szulfátos kristályosítási vizsgálatokkal. A vízmentes  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , illetve  $\text{Mg}\cdot\text{SO}_4$  a víz hatására nagyobb térfogatú módosulattá alakul, és közben a kőzet pórusaiban a jég kristályosodási nyomásához hasonló, de annál nagyobb nyomást fejt ki és kevesebb ciklus elég a tönkremenetel létrehozásához.

A vizsgálatot az MSZ 1991-67 szerint végeztük. Minden egyes vizsgálatához az alábbi keveréket állítottuk elő:

0,2 – 0,6 mm-es frakcióból 100 g-ot

0,6 – 1,0 mm-es frakcióból 100 g-ot

1,0 – 2,0 mm-es frakcióból 100 g-ot

2,5 – 5,0 mm-es frakcióból 100 g-ot

5,0–10,0 mm-es frakcióból 300 g-ot.

31.12. táblázat. A szulfátos kristályosítási vizsgálat eredményei

Kőzet jele	Bánya helye	Kristályosítási veszteség					
		finom halmazon				durva halmazon	
		Veszprémben		Építőanyagok Tanszéken		Veszprémben	
		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>
oldatban							
U 1	Uzsabánya	3,92	4,05	1,3	0,9	2,79	2,22
Z 2	Zalahaláp	–	–	1,2	0,9	7,6	6,5
NH 3	Nagyharsány	–	–	1,1	0,8	1,21	1,12
E 4	Egerbakta	–	–	1,0	0,6	1,01	0,42
R 5	Recsk	1,30	2,00	1,5	1,6	0,22	0,35
Ta 7	Tállya	–	–	1,9	1,8	2,32	1,04
S 8	Sátoraljaújhely	–	–	4,2	3,6	16,9	26,7
Er 9	Erdőbénye	–	–	1,0	1,1	1,3	0,1
Sz 10	Szob	4,42	5,99	2,2	1,9	4,1	4,0
Ng 11	Nógrádkövesd	2,38	4,55	1,7	1,5	2,04	3,05
Gy 12	Gyöngyössolymos	–	–	3,0	2,4	–	–
T 13	Tinnye	–	–	1,0	0,8	5,26	6,0

A nátriumsulfát oldatot technikai nátriumsulfátból (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+10H<sub>2</sub>O), illetve technikai magnéziumsulfátból (MgSO<sub>4</sub> + 7H<sub>2</sub>O) állítottuk elő. A szulfátos kristályosítási vizsgálat eredményeit a 31.12. táblázatban foglaltuk össze. Az eredmények értékelése során figyelembe kell venni, hogy míg Veszprémben zúzalékból állították elő a mintát, addig a BME Építőanyagok Tanszékén a szilárdsági vizsgálatához használt teljesen ép kőzetből.

### 31.7.6. Citromsavas oldási vizsgálat

A nem karbonátos összeálló kőzetek időállóságát a Veszprémi Vegyipari Egyetemen (1972) 3%-os citromsavas oldással is meghatározták, az MSZ 1991-67/6.4. szerint a szabvány a kőzeteket az oldási veszteségük alapján

0 – 10%	veszteség esetén	fokozottan időálló
10 – 20%	veszteség esetén	időálló
20 – 30%	veszteség esetén	kevésbé időálló
30% fölötti	veszteség esetén	nem időálló

csoportba sorolja, ennek figyelembe vételével a kőzetek időállóságát a 31.13. táblázatban adjuk meg.



31.13. táblázat. A kőzetek minősítése a citromsavas vizsgálat alapján

Kőzet fajtája	Kőzet jele	Oldási veszteség tömeg%	Minősítés az oldási veszteség alapján
Bazalt	U 1	27,7	kevésbé időálló
Bazalt	Z 2	17,8	időálló
Diabáz	E 4	26,1	kevésbé időálló
Andezit	Ta 7	14,5	időálló
Andezit	Er 9	15,0	időálló
Andezit	S 8	21,3	kevésbé időálló
Andezit	Sz 10	18,4	időálló
Andezit	R 5	27,8	kevésbé időálló
Andezit	Ng 11	21,7	kevésbé időálló

### 31.7.7. A kőzeteknek mint beton-adalékanyagnak alkáliérzékenysége [Együd (1974)]

A beton tönkremenetelét okozhatja, ha a cement nátrium-oxid-egyenértékben ( $\text{Na}_2\text{O}+0,658 \text{K}_2\text{O}$ ) kifejezve 0,6%-nál többet tartalmaz, és az adalékanyagnak vannak alkálireakcióra hajlamos alkotói. Az alkáli-adalékanyag reakció kimutatására kidolgozott laboratóriumi módszerek közül a Veszprémi Vegyipari Egyetemen az alábbiakkal vizsgáltuk a szobi, a recski, a nógrádkövesdi andezitet és az uzsabányai bazaltot:

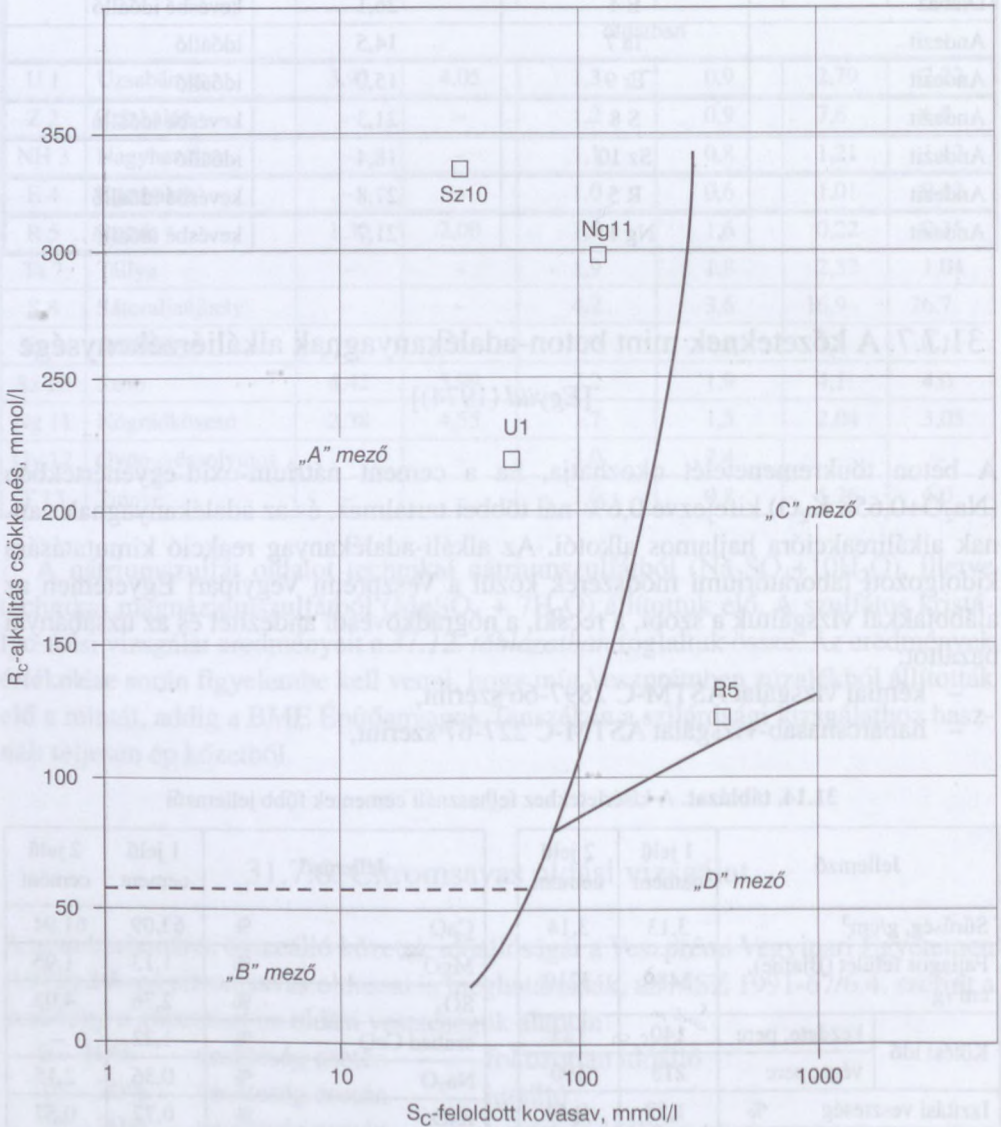
- kémiai vizsgálat ASTM-C 2897-66 szerint,
- habarcshasáb-vizsgálat ASTM-C 227-67 szerint,

31.14. táblázat. A kísérletekhez felhasznált cementek főbb jellemzői

Jellemző	1 jelű cement	2 jelű cement	Jellemző	1 jelű cement	2 jelű cement	
Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>	3,13	3,14	CaO	% 63,09	61,94	
Fajlagos felület (Blaine), cm <sup>2</sup> /g	3480	3210	MgO	% 1,13	1,95	
Kötési idő	kezdeté, perc	140	125	SO <sub>3</sub>	% 2,76	4,03
	vége, perc	215	190	szabad CaO	% 1,22	–
Izzítási veszteség	% 1,53	0,44	Na <sub>2</sub> O	% 0,36	2,15	
SiO <sub>2</sub>	% 19,95	19,65	K <sub>2</sub> O	% 0,77	0,57	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 6,97	5,82	TiO <sub>2</sub>	% –	0,42	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 2,93	2,75	Összes alkáli Na <sub>2</sub> O egyenértékben	% 0,87	2,525	

31.15. táblázat. A kémiai vizsgálat  $S_c$  és  $R_c$  értékei (ASTM-C 289-66 szerint)

Minta jele	U 1	R 5	Sz 10	Ng 11
$S_c$ mmól/lit	56,5	416,8	35,5	147,8
$R_c$ mmól/lit	220,4	121,5	351,6	295,7



31.11. ábra. Négyféle kőzet alkáliérzékenysége vizsgálat az  $R_c$  és  $S_c$  értékek alapján

- Jelölés: A mező – általában nem reakcióképes adalékanyagok  
 B mező – nem reakcióképes (inaktív) adalékanyagok  
 C mező – potenciálisan reakcióképes adalékanyagok  
 D mező – reakcióképes adalékanyagok



– Conrow-féle ciklusos tárolású habarcszasáb vizsgálat ASTM-C 342-67 szerint.

A kísérletet 1 jelű DCM 500-as (25% kohósalak-tartalmú) szabványos cementtel, és 2 jelű, nagy alkálitartalmú kísérleti cementtel végeztük el.

Főbb jellemzőit a 31.14. táblázat tartalmazza.

a) A kémiai vizsgálat során a reakciókészség a meghatározott körülmények között oldódó kovásv mennyisége és az oldásra használt lúg koncentrációjának a csökkenése alapján határozható meg.

A szabvány szerint előkészített minta 25 g-ját 25 ml 1n NaOH oldattal elegyítve 24 órán keresztül 80 °C hőmérsékletű térben tároltuk, majd leszűrtük. A szűrletben mmól/literben meghatároztuk a kioldott SiO<sub>2</sub> mennyiségét (S<sub>c</sub>) és az oldat alkálitartalmának (R<sub>c</sub>) a csökkenését (31.15. táblázat.).

Az eredményeket az S<sub>c</sub>–R<sub>c</sub> diagramban ábrázolva lehet kiértékelni, duzzadásmérésen alapuló vizsgálatok figyelembevételével négy mezőt határol el (31.11. ábra).

U 1, Sz 10 és Ng 11 jelű kőzetek az általában nem reakcióképes tartományba sorolhatók, ilyen esetben ajánlatos elvégezni a habarcszasábokkal a vizsgálatokat. A potenciálisan reakcióképes R 5 jelű kőzet már tartalmazhat annyi aktív részecskét, hogy az már nem okoz duzzadást a habarcszasábos vizsgálat során. Az ilyen adalékanyagot inaktív anyaggal hígítva kell tovább vizsgálni.

b) Habarcszasábok vizsgálata (ASTM-C 227-67)

A vizsgálat elvi alapja az, hogy az adalékanyag és a cement alkálitartalma között lejátszódó reakció duzzadást okoz, amiből várható tönkremenetelre következtetni lehet.

A szabvány szerinti szemcsefrakciókból 1:0,5:2.25 cement:víz:adalékanyag arányú habarcsot, és abból 5–5 db 4×4×16 cm-es hasábot készítettünk. A hasábokat elkészítésük után 23 °C hőmérsékletű és 100% rel. nedvességtartalmú térben tároltuk, és 28 naponként meghatároztuk a hosszváltozást. A mérési eredményeket a 31.12. ábra tartalmazza.

A szabvány károsnak minősíti a duzzadást kiváltó reakciót, ha a duzzadás 3 hónapos korban a 0,05%-ot, 6 hónapos korban a 0,1%-ot meghaladja.

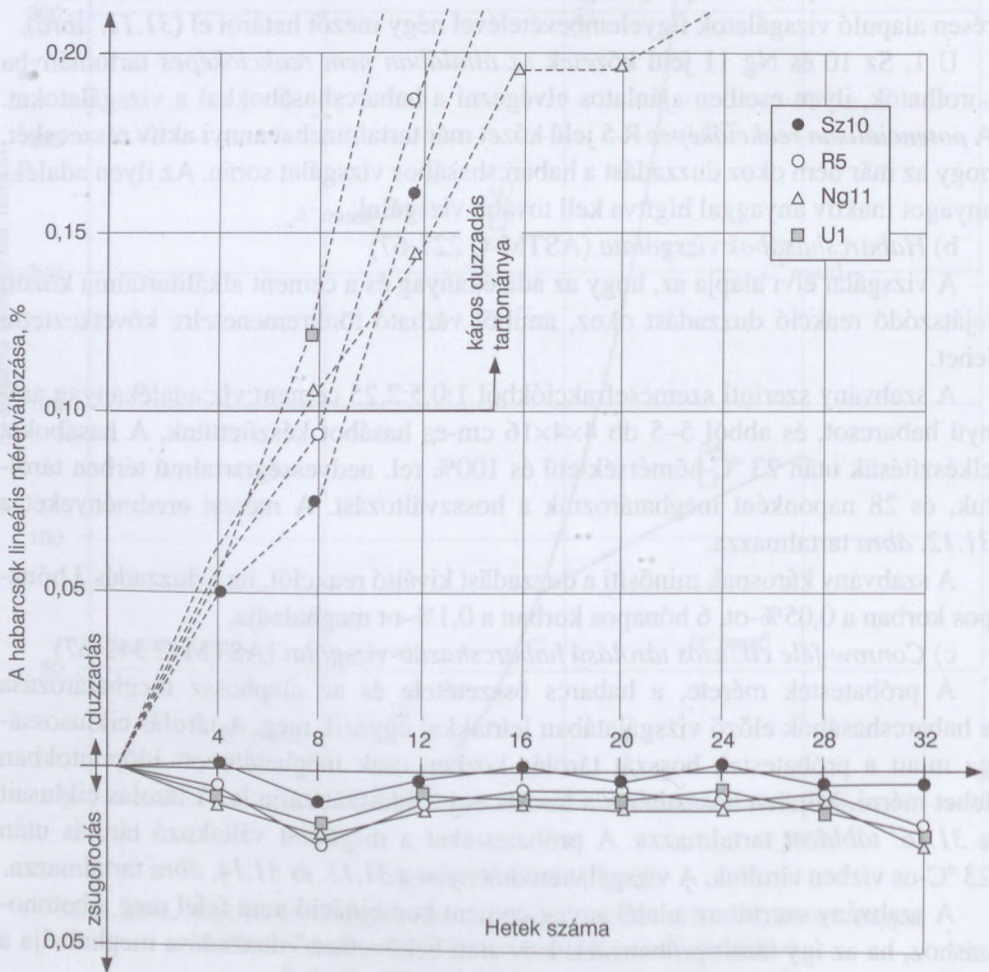
c) Conrow-féle ciklusos tárolású habarcszasáb-vizsgálat (ASTM-C 342-67)

A próbatestek mérete, a habarcs összetétele és az alaphossz meghatározása a habarcszasábok előző vizsgálatában leírtakkal egyezik meg. A tárolás ciklusossága miatt a próbatestek hosszát tárolás közben csak meghatározott időpontokban lehet mérni. Minden hossz mérés a tárolás egy szakaszát zárja le. A tárolás ciklusait a 31.16. táblázat tartalmazza. A próbatesteket a megadott váltakozó tárolás után 23 °C-os vízben tároltuk. A vizsgálat eredményeit a 31.13. és 31.14. ábra tartalmazza.

A szabvány szerint az adalékanyag-cement kombináció nem felel meg a betonozáshoz, ha az így tárolt próbatestek 1 év alatt bekövetkező duzzadása meghaladja a 0,2%-ot.

31.16. táblázat. Ciklusos tárolás módja a Conrow-féle vizsgálat során

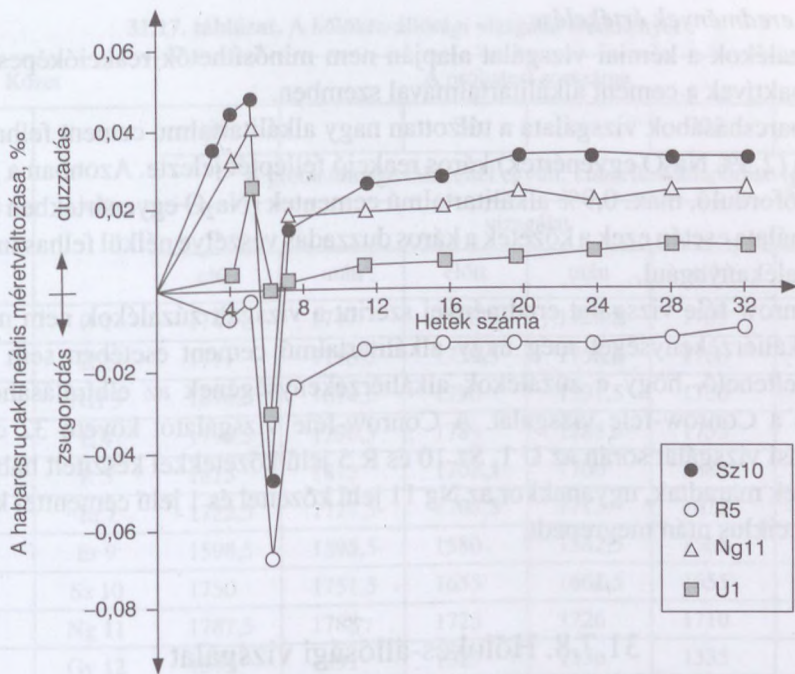
A ciklus száma	A tárolás időtartama	Tárolási körülmény
0	24 ± 2 óra	23 °C-os levegő, 100% rel. légnedvesség. Alaphossz meghatározása
1	28 nap	23 °C-os víz
2	7 nap	23 °C-os víz
	24 ± 2 óra	23 °C-os víz
3	7 nap	55 °C-os levegő
	24 ± 2 óra	23 °C-os víz
4	7 nap	23 °C-os víz
5	21 nap	23 °C-os víz



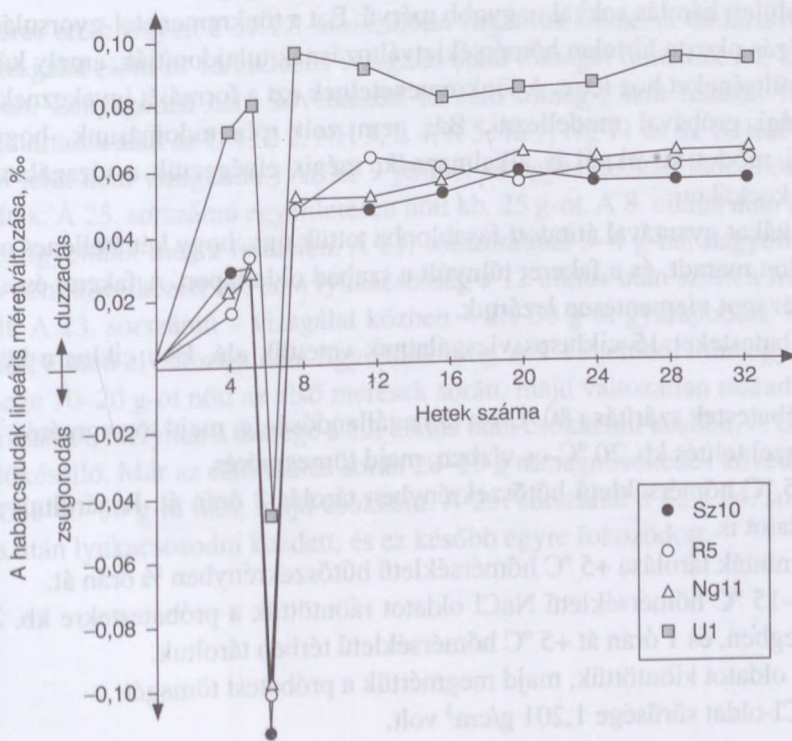
31.12. ábra. A habarcszasások lineáris méretváltozása

Jelölés: — 1. jelű; ---- 2. jelű cement





31.13. ábra. A Conrow-féle vizsgálat eredményei (1 jelű cement)



31.14. ábra. A Conrow-féle vizsgálat eredményei (2 jelű cement)

#### d) Az eredmények értékelése

A zúzalékok a kémiai vizsgálat alapján nem minősíthetők reakcióképesnek, de nem is inaktívak a cement alkálitartalmával szemben.

A habarcszasábok vizsgálata a túlzottan nagy alkálitartalmú cement felhasználása esetén (2,5%  $\text{Na}_2\text{O}$  egyenérték) káros reakció felléptét jelezte. Azonban a gyakorlatban előforduló, max. 0,9% alkálitartalmú cementek ( $\text{Na}_2\text{O}$  egyenértékben kifejezve) használata esetén ezek a kőzetek a káros duzzadás veszélye nélkül felhasználhatók beton adalékanyagául.

A Conrow-féle vizsgálat eredményei szerint a vizsgált zúzalékok nem mutattak káros alkáliérzékenységet még nagy alkálitartalmú cement esetében sem (31.12. ábra). Feltehető, hogy e zúzalékok alkáliérzékenységének az elbírálásához nem alkalmas a Conrow-féle vizsgálat. A Conrow-féle vizsgálatot követő 32 ciklusos fagyasztási vizsgálat során az U 1, Sz 10 és R 5 jelű kőzetekkel készített habarcszasábok épek maradtak, ugyanakkor az Ng 11 jelű kőzettel és 1 jelű cementtel készített hasáb 12 ciklus után megrepedt.

### 31.7.8. Hőlkés-állósági vizsgálat

Tapasztalatból tudjuk, hogy amióta betonutakon télen jégtelenítő sókat használnak, azóta a felületi hámlás sokkal nagyobb mérvű. Ezt a tönkremenetel-gyorsulást nagyrészt a sózás okozta hirtelen hőmérsékletváltozásnak tulajdonítják, amely káros belső hőfeszültségeket hoz létre. A tönkremenetelnek ezt a formáját igyekeznek a hőlkés-állósági próbával modellezni. Bár nem volt róla tudomásunk, hogy ezt a vizsgálati módot köveknél is alkalmazzák, mégis elvégeztük a vizsgálatot 7 cm élhosszú kockákon.

A kockákat gyantával átitatott fasablonba tettük úgy, hogy két átellenes oldallapja szabadon maradt, és a fakeret túlnyúlt a szabad oldallapon. A fakeret és a kockák közötti hézagot vízmentesen lezártuk.

A próbatesteket 15 ciklusos vizsgálatnak vetettük alá. Egy ciklus a következő volt:

1. Próbatestek szárítása  $80\text{ }^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig, majd tömegmérés.
2. Vízzel telítés kb.  $20\text{ }^\circ\text{C}$ -os vízben, majd tömegmérés.
3.  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű hűtőszekrényben tárolás 2 órán át. Itt tároltuk a NaCl-oldatot is.
4. A minták tárolása  $+5\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű hűtőszekrényben  $\frac{1}{2}$  órán át.
5. A  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű NaCl oldatot ráöntöttük a próbatestekre kb. 2 cm-es rétegben, és 1 órán át  $+5\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű térben tároltuk.
6. Az oldatot kiöntöttük, majd megmértük a próbatest tömegét.

A NaCl-oldat sűrűsége  $1,201\text{ g/cm}^3$  volt.



31.17. táblázat. A hőlkés-állósági vizsgálat eredményei

Kőzet		A próbatest sorszáma					
fajtája	jele	23		24		25	
		A próba tömege fakerettel együtt, kiszáritott állapotban (g)					
		vizsgálat					
		előtt	után	előtt	után	előtt	után
Bazalt	U 1	1747	1747	1730,5	1726,5	1709	1709
Bazalt	Z 2	1711	1710,5	1759,5	1758,5	1760	1757
Mészkö	NH 3	1674,5	1674,5	1790	1791,5	1700	1701
Diabáz	E 4	1790,5	1790,5	1785	1785,5	1755	1755,5
Andezit	R 5	1815	1813	1702,5	1700	1685	1693
Andezit	Ta 7	1722,5	1721,5	1708,5	1713	1673	1672,5
Andezit	Er 9	1598,5	1595,5	1580	1582,5	1565	1572,5
Andezit	Sz 10	1750	1751,5	1655	1661,5	1655	1659,5
Andezit	Ng 11	1787,5	1788	1725	1726	1710	1709
Riolit	Gy 12	1379	1391	1325	1356	1335	1344
Mészkö	T 13	1759,5	1747,5	1682	1691	1685	1705,5

A mérés eredményeit a 31.17. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban a 3–3 minta vizsgálat előtti és 15 ciklusos vizsgálat utáni tömegét tüntettük fel, kiszáritott állapotban. Lényegében nem következett be sem tömeg-, sem felületi változás a vizsgálat tartama alatt az U 1, Z 2, NH 3, E 4, R 5, Ta 7, Ng 11 és Sz 10 jelű kőzeteknél. (S 8 jelűt nem vizsgáltuk.) Az Er 9 jelűnél az egyes kockák különbözőképpen viselkedtek. A 25. sorszámú egyenletesen nőtt kb. 25 g-ot. A 8. ciklus után igen apró lyukakat figyeltünk meg a felületen. A 21. sorszámúnál 3–4 g-nál nagyobb tömegváltozás nem következett be, de a lyukacsosság a 12 ciklus után szintén megfigyelhető volt. A 23. sorszámú – vizsgálat közben – kb. 30 g-ot gyarapodott, majd újra csökkent. Felületi elváltozást nem figyeltünk meg. A T 13 jelűből mindegyik próbatest tömege 10–20 g-ot nőtt az első mérések során, majd változatlan maradt. Kivéve a 23. sorszámút, melynek a tömege a 12. ciklus után csökkenni kezdett. A Gy 12 jelű nem hőlkésálló. Már az első telítés során 20–25 g tömegnövekedés következett be, ami később 40–50 g-ra nőtt, majd csökkent. A 25. sorszámú a 4., a 24. sorszámú a 6. ciklus után lyukacsosodni kezdett, és ez később egyre fokozódott.

## 31.8. A kőzetek szilárdsága szabályos próbatestek vizsgálata alapján

### 31.8.1. Kockaszilárdság

Az MSZ 1991-67 szabvány szerint a kőzetek nyomószilárdságát légszáraz és vízzel telített állapotban kell meghatározni.

A kockaszilárdságot a kötömbökből kifűrészelt, kb. 7 cm élhosszúságú kockán határoztuk meg, éspedig 5 db 100 °C hőmérsékleten kiszáritott kockán, 5 db fokozatos vízbemerítéssel vízzel telített kockán, 4 db, az E 4, Gy 12 és T 13 jelűnél 3, illetve 2 db légszáraz állapotú kockán. A vízzel telített kockák felületét közvetlenül a vizsgálat előtt ruhadarabbal szárazra töröltük. A vizsgálati szórás csökkentése érdekében minden próbatestet olyan gömbcsukló közbeiktatásával törtünk el, amelynek a középpontja a próbatest súlypontjával esett egybe. Ez a későbbiekre is vonatkozik. A vizsgálati eredményeket a 31.18. táblázat tartalmazza.

31.18. táblázat. Kiszáritott és vízzel telített kockák szilárdsága

Jele	Kockaszilárdság, MPa						$\frac{K_3}{K_1}$	$\frac{K_2}{K_1}$
	kiszáritott		vízzel telített		légszáraz			
	állapotban							
	egyes	átlag ( $K_1$ )	egyes	átlag ( $K_2$ )	egyes	átlag ( $K_3$ )		
U 1	255,2	252,6	194,0	209,4	205,0	218,4	0,87	0,83
	260,5		218,0		215,5			
	250,0		219,0		226,1			
	245,5		188,0		227,0			
	252,0		228,0					
Z 2	325,0	312,0	262,0	287,6	318,5	298,5	0,96	0,92
	259,0		292,0		314,5			
	347,0		301,0		305,5			
	360,0		289,0		255,5			
	268,8		294,0					
NH 3	162,1	169,4	158,0	150,3	153,0	153,2	0,90	0,89
	188,0		138,0		132,4			
	156,2		130,0		156,2			
	155,5		161,6		171,2			
	185,0		164,0					
E 4	226,6	229,0	126,8	185,8	233,5	236,3	1,04	0,81
	192,3		212,0		261,5			
	215,0		214,0		214,0			
	282,0		198,1					
			178,2					



31.18. táblázat folytatása

Jele	Kockaszilárdság, MPa						$\frac{K_3}{K_1}$	$\frac{K_2}{K_1}$
	kiszárfított		vízzel telített		légszáraz			
	állapotban							
	egyes	átlag ( $K_1$ )	egyes	átlag ( $K_2$ )	egyes	átlag ( $K_3$ )		
R 5	310,4	284,1	277,6	272,1	313,0	295,0	1,04	0,96
	281,6		285,0		298,5			
	280,0		270,4		298,5			
	284,0		286,5		270,0			
	264,6		241,0					
Ta 7	318,0	291,6	267,5	279,1	262,0	267,0	0,92	0,96
	211,8		302,0		266,2			
	305,8		304,0		268,5			
	309,4		234,0		271,5			
	312,8		288,0					
S 8	150,7	152,7	98,6	122,4	150,0	136,5	0,89	0,80
	130,5		116,0		135,0			
	172,0		116,6		136,0			
	174,0		157,0		125,0			
	136,5		124,0					
Er 9	278,0	228,2	211,0	191,3	204,3	219,8	0,96	0,84
	199,0		186,0		231,5			
	176,0		158,0		222,0			
	272,0		216,0		221,2			
	196,0		185,5					
Sz 10	194,2	183,9	169,9	153,8	197,0	198,8	1,08	0,84
	158,4		154,2		225,0			
	205,0		151,8		202,5			
	174,5		158,0		170,5			
	187,2		135,0					
Ng 11	267,8	278,2	271,8	255,9	282,5	296,7	1,07	0,92
	280,2		284,0		288,2			
	294,5		285,8		305,0			
	268,5		250,0		311,0			
	280,0		188,0					
Gy 12	26,55	49,1	28,4	30,8	35,0	35,8	0,73	0,63
	47,90		35,4		36,6			
	57,50		30,3					
	59,20		29,5					
	54,22		30,4					
T 13	131,5	132,7	139,0	126,4	149,5	132,0	0,99	0,95
	145,0		118,0		114,5			
	138,2		133,5					
	108,8		115,2					
	140,0							

A legkisebb a gyöngyössolymosi riolit szilárdsága, mely nem éri el az 50 MPa-t sem. A legkiemelkedőbbek: a zalahalápi bazalt (Z 2), a recski (R 5), a tállyai (Ta 7) és a nógrádkövesdi (Ng 11) andezit.

### 31.8.2. Hajlító-húzó és nyomószilárdság

Az alapkőzetből kifűrészelt 4×4×16 cm-es hasábokon – 12 cm-es támaszközön – harmadpontos erővel terhelve, először a hajlító-húzó szilárdságot, majd az eltört hasábok egyik darabján, 25 cm<sup>2</sup>-es nyomólappal terhelve a testszilárdságot határoztuk meg egyrészt kiszáritott, másrészt vízzel telített állapotban. Az eredményeket a 31.19. táblázatban foglaltuk össze. Vízzel telített állapotra vonatkozóan még egy hajlító-húzó szilárdsági adatsor áll rendelkezésünkre, amely a vízfelvétel hatására bekövetkező duzzadásvizsgálatához felhasznált hasábok hajlító vizsgálatából adódott.

A bazaltok közül a zalahalápi sokkal jobb és egyenletesebb, mint az uzsabányiai. Hajlító-húzó szilárdsága testszilárdságának 1/6–1/7-e, és a szilárdságok szórása sem

31.19. táblázat. 4×4×16 cm-es hasábok szilárdsága

Jele	Hajlító-húzó szilárdság, MPa				Testszilárdság, MPa			
	kiszáritott		vízzel telített		kiszáritott		vízzel telített	
	állapotban				állapotban			
	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag
U 1	8,8		4,4		234,0		209,0	
	5,7		11,0		154,0		161,0	
	10,9	8,6	14,7	9,4	188,5	187,6	205,5	183,9
	8,8		7,9		174,0		210,0	
			8,9				134,0	
Z 2	46,2		33,6		228,0		267,0	
	34,1		33,5		244,0		285,0	
	45,2	39,3	36,3	37,2	284,0	257,6	289,0	269,0
	31,8		45,2		271,0		235,0	
			37,5				272,0	
NH 3	18,7		14,1		150,0		176,0	
	5,6		7,52		144,0		131,5	
	13,0	12,8	7,24	6,45	160,0	152,0	139,0	144,0
	13,7		2,29		154,0		152,0	
			1,09				120,5	
E 4	1,4		2,74		189,5			
	17,9		10,9		217,0			
	1,2	6,1	1,26	3,9	216,0	200,6		
	4,0		0,64		180,0			



31.19. táblázat folytatása

Jele	Hajlító-húzó szilárdság, MPa				Testszilárdság, MPa			
	kiszáritott		vízzel telített		kiszáritott		vízzel telített	
	állapotban				állapotban			
	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag	egyes	átlag
R 5	27,2		24,3		292,0		306,0	
	15,7		10,2		292,0		292,0	
	9,5	18,7	27,6	20,6	316,5	300,6	252,0	289,0
	22,2		26,5		302,0		317,0	
		14,3				279,0		
Ta 7	20,9		26,5		363,0		276,0	
	21,9		24,2		317,0		254,0	
	29,7	22,9	17,0	22,6	(138,0)	(249,7)	272,0	255,6
	19,1		21,7		282,0	287,0	244,0	
		23,7				232,0		
S 8	15,8		10,5		148,0		107,0	
	16,8		13,7		147,0		115,0	
	22,0	17,3	5,8	11,2	135,5	144,9	126,5	118,0
	16,5		7,56		149,3		123,0	
		18,4						
Er 9	23,9		19,9		310,0		296,0	
	21,6		23,4		320,0		260,0	
	26,1	23,8	12,55	20,4	264,0	298,0	316,0	277,0
			195,0				297,0	
		269,0				216,5		
Sz 10	27,8		14,6		214,0		185,0	
	28,4		18,4		196,0		139,0	
	27,5	24,4	16,9	15,3	189,0	202,7	195,5	169
	13,7		16,0		212,0		154,0	
		10,7				170,5		
Ng 11	26,2		25,0		276,0		274,0	
	24,1		20,4		234,0		271,0	
	25,1	26,1	17,7	22,1	286,0	2675	288,0	275,5
	28,9		23,4		274,0		306,0	
		24,2				239,0		
Gy 12	16,8		22,4		82,0		181,6	
	20,5		20,7		76,0		155,0	
	20,4	19,9	16,4	20,4	64,0	82,0	73,5	130,5
	21,		20,3		104,0		80,3	
		22,2				163,0		
T 13	7,8		8,4		125,5		111,0	
	11,5		10,2		148,5		116,5	
	17,6	13,7	8,4	9,2	110,5	123,7	124,0	132,7
	17,8		7,65		110,5		147,0	
		11,2				165,0		

túl nagy. Ugyanakkor az uzsabányai bazalt hajlító-húzó szilárdságának igen nagy a szórása és még a legnagyobb érték is kisebb, mint a zalahalápi bazalt legkisebb hajlító-húzó szilárdságának a fele.

Az egerbaktai diabáz (E 4) hajlító-húzó szilárdsága az összes vizsgált kőzet közül a legnagyobb mértékben szór (17,9 és 0,6 MPa között).

Hajlító-húzó szilárdság szempontjából a gyöngyössolymosi riolit egyenletes minőségű, a testszilárdsághoz való viszonya 1/4–1/6. Feltűnő azonban, hogy a testszilárdsága sokkal nagyobb, mint a kockaszilárdsága 31.18. és 31.19. táblázat), holott a többi kőzet esetében ezek közel egyformák. Megvizsgáltuk ennek az okát, és úgy találtuk, hogy a kőzet igen egyenetlen minőségű. Míg a hasábok testsűrűsége 2,005 és 2,280 között változott, addig a kockáké 1,66–1,75 között. Emiatt van a nagy eltérés.

A mészkövek hajlító-húzó szilárdsága – különösen vízzel telített állapotban – igen eltérő. Pl. NH 3 jelű, nagyharsányi mészkő esetén 14,1 és 1,1 MPa között változott, kiszáritott állapotban a testszilárdsághoz való viszonya 1/8–1/10-re tehető.

Az andezitek a hajlító-húzó szilárdság alapján eléggé egyenletes minőségűek. Legnagyobb szórást sátoraljaújhelyi (S 8) és recski andezit esetében tapasztaltunk. A különböző andezitek esetén a hajlító-húzó szilárdságnak ( $f_{fl}$ ) a testszilárdsághoz ( $f_s$ ), illetve a kiszáritott ( $f_{fl,sz}$ ), valamint a vízzel telített ( $f_{fl,v}$ ) állapotú próbatestek  $f_{fl}$  vizsgálatának egymáshoz való viszonya:

		$\frac{f_{fl, sz}}{f_s}$	$\frac{f_{fl, sz}}{f_{fl, v}}$
R 5	recski	0,062	0,91
Ta 7	tállyai	0,080	1,01
S 8	sátoraljaújhelyi	0,119	1,55
Er 9	erdőbényei	0,080	1,16
Sz 10	szobi	0,120	1,60
Ng 11	nógrádkövesdi	0,098	1,19

Érdekes az, hogy a recski andezit kivételével az  $f_{fl}$  vízzel telített állapotban vizsgálva kisebb, mint kiszáritott állapotban mérve.

### 31.8.3. Kopási szilárdság

Megvizsgáltuk mind kiszáritott, mind vízzel telített állapotban, 50 cm<sup>2</sup> lapfelületű kockákon, Böhme-féle koptató berendezésen a kopás mértékét egyrészt mm-ben, másrészt g/cm<sup>2</sup>-ben. A mérési eredményeket a 31.20. táblázat tartalmazza. Meghatároztuk a kétféle víztartalmú kockák kopásmértékének a hányadosát is (a táblázat utolsó két oszlopa).



31.20. táblázat. A kopás mértéke a Böhme-vizsgálat szerint

Jele	A kopás mértéke, mm				A kopás mértéke, g				$\frac{K_2}{K_1}$	$\frac{K_4}{K_3}$
	kiszáritott		vízzel telített		kiszáritott		vízzel telített			
	kockák koptatása esetén				kockák koptatása esetén					
	egyes	átlag (K1)	egyes	átlag (K2)	egyes	átlag (K3)	egyes	átlag (K4)		
U 1	2,65	2,81	3,0	3,09	37,0	37,9	40,0	42,5	1,10	1,12
	2,92		3,2		39,0		44,0			
	2,68		3,0		36,0		42,0			
	3,00		3,15		39,5		43,0			
Z 2	1,6	1,625	2,225	2,17	22,5	23,0	30,0	29,9	1,335	1,3
	1,725		2,1		24,0		29,0			
	1,675		2,228		23,5		31,5			
	1,5		2,125		22,0		29,0			
NH 3	2,8	2,83	3,075	3,28	39,0	39,1	41,5	44,8	1,16	1,15
	2,7		3,775		38,0		52,0			
	2,475		3,225		34,0		44,5			
	3,35		3,05		45,5		41,5			
E 4	2,35	2,19	3,625	2,9	35,0	31,0	49,5	39,9	1,325	1,29
	2,55		2,575		34,5		34,5			
	2,07		3,00		29,5		42,5			
	51,8		2,40		25,0		33,0			
R 5	1,60	1,63	1,475	1,58	24,5	23,1	20,0	22,25	0,97	0,963
	1,55		1,775		22,5		24,5			
	1,75		1,575		23,5		20,5			
	1,625		1,50		22,0		24,0			
Ta 7	2,17	1,855	1,90	1,75	28,5	24,5	25,0	23,1	0,944	0,943
	1,85		1,775		25,0		22,5			
	1,725		1,55		23,0		21,5			
	1,675		1,775		21,5		23,5			
S 8	2,975	3,305			36,5	40,2				
	3,225		39,0							
	3,075		38,0							
	3,95		47,5							
Er 9	2,575	2,29	2,675	2,47	30,5	28,4	33,0	30,8	1,08	1,085
	2,35		2,35		28,5		28,5			
	1,825		1,925		24,0		25,5			
	2,425		2,95		30,5		36,0			
Sz 10	2,175	2,605	3,625	3,68	27,5	33,5	47,5	47,7	1,41	1,42
	3,55		3,25		44,0		43,5			
	2,45		2,95		32,5		36,0			
	2,25		4,90		30,0		62,0			

31.20. táblázat folytatása

Jele	A kopás mértéke, mm				A kopás mértéke, g				$\frac{K_2}{K_1}$	$\frac{K_4}{K_3}$
	kiszárított		vízzel telített		kiszárított		vízzel telített			
	kockák koptatása esetén				kockák koptatása esetén					
	egyes	átlag (K1)	egyes	átlag (K2)	egyes	átlag (K3)	egyes	átlag (K4)		
Ng 11	1,40	1,405	1,50	1,55	20,0	19,9	19,5	20,0	1,1	1,004
	1,45		1,55		20,0		19,5			
	1,425		1,70		20,0		21,0			
	1,35		1,45		19,5		20,0			
Gy 12	0,76	0,74	0,36	0,395	64,4	63,3	33,9	39,6	0,53	0,62
	0,72		0,43		62,3		45,3			
T 13	3,175	3,55	5,175	4,21	45,0	48,9	71,0	57,2	1,19	1,24
	4,225		3,775		57,5		50,5			
	3,25		3,825		45,0		53,0			
	–		4,05		–		54,5			

A Böhme-féle kopásvizsgálat alapján a legkopásállóbb a gyöngyössolyosi riolit (Gy 12), majd a nógrádkövesdi andezit (Ng 11), recski andezit (R 5) és a zalahalápi bazalt (Z 2) következik. A legkevésbé kopásállóak a mészkövek (T 13, NH 3), a sátoraljaújhelyi andezit (S 8) és az uzsabányai bazalt (U 1).

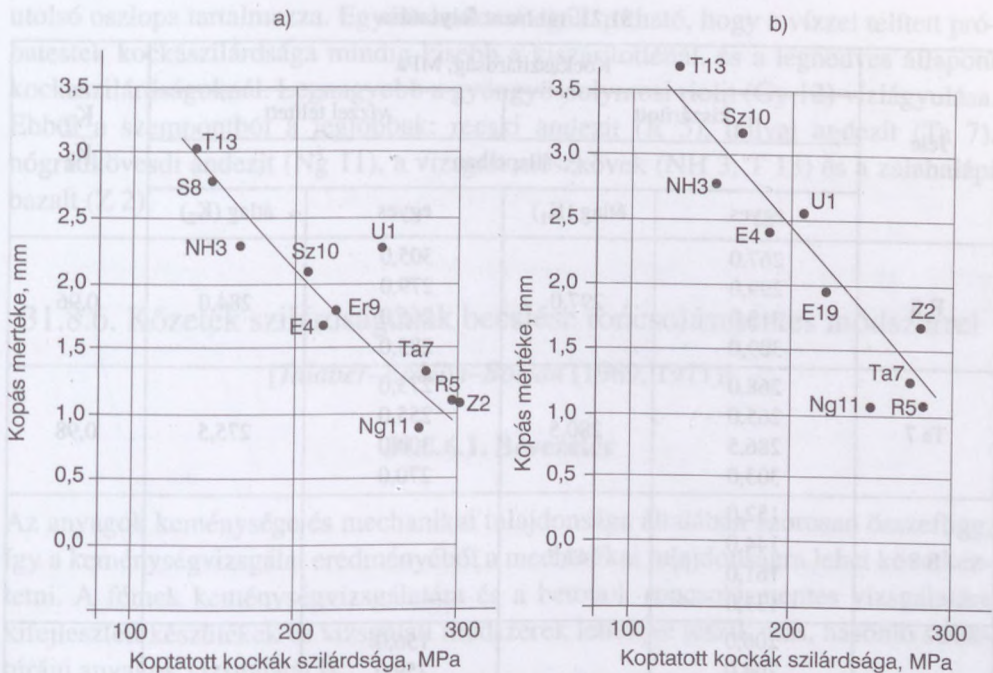
Az a körülmény, hogy a kockákat kiszárított, illetve vízzel telített állapotban koptattuk, igen eltérő eredményt adott. A kiszárítás nagymértékben növelte a gyöngyössolyosi riolit (Gy 12) (ezt a vizsgálatot kétszer is elvégeztük a szokatlan eredmény miatt), kismértékben növelte a recski (R 5) és a tállyai (Ta 7) andezitek kopásértékét. A vízzel telítés legnagyobb mértékben rontotta a szobi andezit (Sz 10), zalahalápi bazalt (Z 2) és az egerbaktai diabáz (E 4) kopását.

### 31.8.4. Koptatott próbatetek szilárdsága

Ellenőrzésül a Böhme-koptatásnak alávetett kockákon is meghatároztuk – a koptatóvizsgálat befejeztével – mind kiszárított, mind vízzel telített állapotban a kockaszilárdságot. Ez esetben a nyomott felület a koptatott résszel kisebb volt, mint a fenti kockáé. A szilárdságokat a 31.21. táblázatban foglaltuk össze. Ezek a szilárdságok elég jól egyeznek a 31.18. táblázatban megadott szilárdságokkal.

A 31.15. ábrán pedig a koptatott kockák szilárdsága és a kopás mértéke közötti összefüggést ábrázoltuk. A szilárdság növekedésével a kopásmérték közel lineárisan csökken. A kőzetfajtától függetlenül, elfogadható korreláció áll fenn. Kivételt képez a Gy 12 jelű riolit, melynek igen kicsi szilárdsága ellenére a legkisebb a kopása is.





31.15. ábra. A kopás mértéke a kockaszilárdság függvényében

31.21. táblázat. Böhme-készüléken koptatott kockák szilárdsága

Jele	Kockaszilárdság, MPa				$\frac{K_2}{K_1}$
	kiszáritott		vízzel telített		
	állapotban				
	egyes	átlag ( $K_1$ )	egyes	átlag ( $K_2$ )	
U 1	229,0	250,8	200,8	208,2	0,832
	250,0		204,2		
	287,0		221,0		
	237,0		207,0		
Z 2	277,0	300,5	238,0	282,0	0,940
	306,0		305,0		
	304,0		307,0		
	315,0		279,0		
NH 3	167,0	165,0	189,5	150,9	0,92
	164,5		126,3		
	163,0		154,0		
	166,0		133,3		
E 4	211,0	214,0	196,0	185,0	0,87
	218,5		208,0		
	220,0		164,0		
	208,0		173,0		

31.21. táblázat folytatása

Jele	Kockaszilárdság, MPa				$\frac{K_2}{K_1}$
	kiszárított		vízzel telített		
	állapotban				
	egyed	átlag ( $K_1$ )	egyed	átlag ( $K_2$ )	
R 5	267,0	297,0	305,0	284,0	0,96
	299,0		279,0		
	313,0		265,0		
	309,0		285,0		
Ta 7	268,0	280,5	273,0	275,5	0,98
	265,0		255,0		
	286,5		304,0		
	303,0		270,0		
S 8	152,0	147,5			
	144,0				
	161,0				
	133,0				
Er 9	206,0	224,0	156,0	221,0	0,99
	204,0		259,0		
	250,0		283,0		
	238,0		185,5		
Sz 10	243,0	206,0	153,0	168,5	0,82
	163,5		195,0		
	223,0		209,0		
	195,0		116,8		
Ng 11	247,0	277,0	233,0	250,0	0,90
	295,0		276,0		
	260,0		281,0		
	306,0		211,0		
Gy 12	50,5	43,4	35,0	32,7	0,75
	37,0		33,4		
	48,7		28,9		
	37,6		33,5		
T 13	110,0	137,8	88,4	129,5	0,90
	139,0		146,0		
	164,5		142,0		
			143,0		

## 31.8.5. A vízlágyulási tényező

Vízlágyulási tényezőt a vízzel telített és a kiszárított próbatestek szilárdságának a viszonyát értjük. Ilyen eredmények valamennyi fenti vizsgálatból számíthatók. A kockaszilárdságokra vonatkozó vízlágyulási tényezőket a 31.18. és 31.21. táblázat



utolsó oszlopa tartalmazza. Egyértelműen megállapítható, hogy a vízzel telített próbatestek kockaszilárdsága mindig kisebb a kiszárítotténál, és a légnedves állapotú kockaszilárdságoknál. Legnagyobb a gyöngyössolymosi riolit (Gy 12) vízlágyulása. Ebből a szempontból a legjobbak: recski andezit (R 5), tállyai andezit (Ta 7), nógrádkövesdi andezit (Ng 11), a vizsgált mészkövek (NH 3, T 13) és a zalahalápi bazalt (Z 2).

### 31.8.6. Kőzetek szilárdságának becslése roncsolásmentes módszerrel

[Talabér–Erdélyi–Borján (1969, 1971)]

#### 31.8.6.1. Bevezetés

Az anyagok keménysége és mechanikai tulajdonsága általában szorosan összefügg, így a keménységvizsgálat eredményéből a mechanikai tulajdonságra lehet következtetni. A fémek keménységvizsgálatára és a betonok roncsolásmentes vizsgálatára kifejlesztett készülékek és vizsgálati módszerek lehetővé teszik más, hasonló struktúrájú anyagok vizsgálatát is.

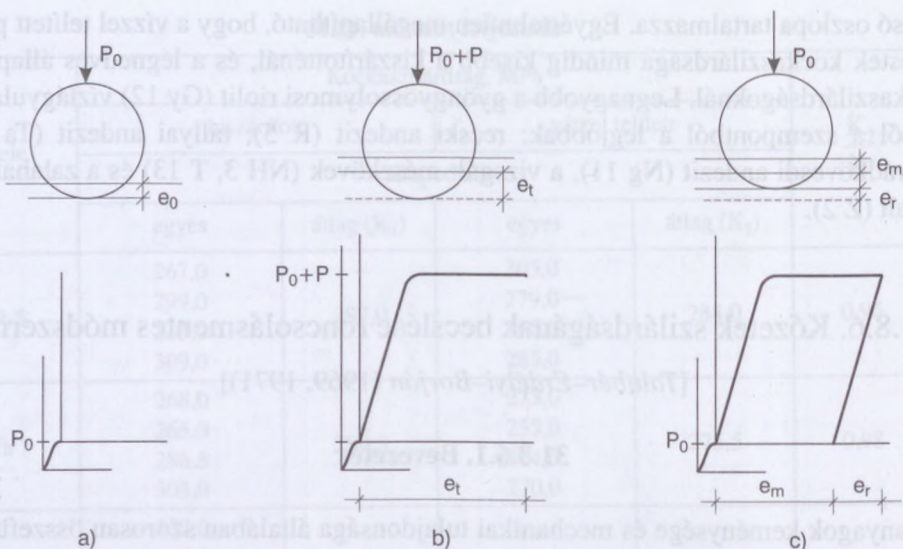
Korábban sikerrel alkalmaztuk a keménységvizsgáló módszereket cementpép-, habarcs- és betontestek mechanikai tulajdonságainak becslésére, és kőzeteket is vizsgáltunk. E tapasztalatok alapján végeztünk a kőzetmintákon is roncsolásmentes vizsgálatokat.

#### 31.8.6.2. A keménységvizsgáló módszerek

Keménységvizsgálatok során meghatározott erővel vagy munkavégzéssel, valamilyen alakú testet (gömb, kúp, vagy gúla) nyomunk, illetve ütünk az anyag felszínébe. A keménység mérőszáma a deformáció rugalmas vagy maradó részével kapcsolatos.

A *Brinell*-keménységvizsgálat esetén statikus teherrel acélgolyót nyomunk a fém felszínébe. Tehermentesítés után a maradó alakváltozásból, az előállt gömbsüvegkráter átmérőjéből számítjuk a keménység mérőszámát. Optimális nyomatméret biztosítására különböző terhelési fokozatokat és golyóátmérőket használunk a különböző keménységű fémekhez.

A *Rockwell*-vizsgálat során ugyancsak acélgolyót nyomunk állandó erővel a minta felszínébe, de a benyomódási nyom átmérőjének mérésénél jelentkező bizonytalanságok kiküszöbölésére a golyónak a felszínbe való benyomódási mélységét mérjük. Ahhoz, hogy a golyó kezdeti felfekvési bizonytalansága se terhelje a mérés-eredményt, előterhelést alkalmazunk. Az előterhelés hatása után kezdődik a mélység mérése. Megmarad ugyanakkor a maradó deformáció mérése. Végül azért, hogy a



**31.16. ábra.** A Rockwell-vizsgálat elve. a) előterhelés; b) főterhelés; c) – főteher megszüntetése. Jelölés:  $P$  = terhelőerő;  $e_m$  = maradó alakváltozás;  $e_r$  = rugalmas alakváltozás;  $e_t$  = teljes alakváltozás

méréseredmény a Brinell-keménységgel azonos irányban növekvő sort alkotson, egy korrekciót is alkalmazunk. Egyszerűség kedvéért a műszerről a maradó benyomódástól függő Rockwell-keménység olvasható le.

A Rockwell-készülékkel a következőképpen kell mérni.

A mintatartó csavarorsó emelésével  $P_0=100$  N előterhelést idézünk elő, ha a mintát addig emeljük, amíg a műszer indikátorórájának kismutatója a megfelelő jelig nem ér. A vizsgálati rendszer vázlatát a 31.16. ábrán láthatjuk. A felső sorban a golyó és a mintadarab helyzetét, az alsó sorban pedig a terhelőerő-alakváltozás összefüggését ábrázoljuk az egyes terhelési fokozatok sorrendjében. Az előteher hatására bekövetkező benyomódást nem értékeljük, a keménységet jelző nagymutatónak 0-n kell állnia. Az előteher hatásának megfelelő helyzetet a 31.16.a ábra mutatja.

A főterhelést adó rugós berendezés támasztószervezetét egy kar elfordításával távolíthatjuk el, ezáltal kapja meg a minta a fő terhelést. A fő teher az előteherrel együtt 300, 625, 1000, 1500 vagy 1875 N-ra előre beállítható. A fő teher hatására a golyó a teljes benyomódásnak megfelelő mélységre süllyed (31.16.b ábra). Ez a deformáció időben fokozatosan alakul ki. Addig kell a terhelést a mintán hagyni, amíg a nagymutató gyakorlatilag megáll. Ez fémek vizsgálata esetén eléggé egyértelműen meghatározható, elasztó-viszkózus anyagok esetén nem.

Ezután a támasztókar felemelésével ismét megszüntetjük a fő teher hatását (31.16.c ábra). Ekkor a nagymutató a Rockwell keménységi fokokban kifejezett maradó alakváltozást mutatja.

Ha a teljes benyomódásnak megfelelő skálaértéket is leolvassuk, akkor az alakváltozás rugalmas részét is számítani tudjuk. Így ugyanazon mérésről három



adatot: a rugalmas, teljes és maradó alakváltozást, illetve ezek viszonyszámait nyerhetjük mint roncsolásmentes vizsgálati eredményt. Ezért ez a keménységvizsgálati módszer adja a legtöbb információt az anyag viselkedéséről.

### 31.8.6.3. Kőzetminták vizsgálata

A 12-féle kőzetmintán a törővizsgálatokat megelőzően különböző golyóátmérővel és terhelési fokozattal az alakváltozás befejeztéig mértünk rugalmas alakváltozást és meghatározott benyomódás elérése után a maradó alakváltozást is mértük.

### 31.8.6.4. Összefoglalás, javaslatok

A tanulmányban kőzetminták keménységének Rockwell szerinti mérésével, valamint a Rockwell-féle keménység és szilárdság összefüggésének vizsgálatával foglalkoztunk.

A Rockwell-féle keménységvizsgáló készülékkel a teljes és a maradó benyomódást mértük, a rugalmas benyomódást és ezek viszonyszámait számítottuk. Mindezt az alakváltozások után.

Kidolgoztunk egy vizsgálati módszert, amelynek lényege az, hogy nem várjuk meg minden esetben a benyomódás befejezését, hanem meghatározott benyomódásértékről tehermentesítve jegyezzük fel a maradó alakváltozást. A teljes benyomódás és a maradó alakváltozás összefüggése a kőzet keménységére jellemző meredekségű görbét ad. E görbétől való eltérések általában kisebbek, mint az alakváltozás befejezéséig mért értékek eltérései, ugyanakkor ez a vizsgálati módszer lényegesen gyorsabb az előbbinél.

Változtattuk a golyó átmérőjét (2,5; 5 és 10 mm) és a terhelőerőt (30, 625, 1000, 1500, 1875 N).

A hajlító-húzó szilárdságot egyik módszerrel sem lehet becsülni, egyik oka az lehet, hogy a kőzet a repedések mentén törik, a keménységvizsgálatokat pedig ép részen végezzük.

A nyomószilárdság és a roncsolásmentes jellemzők közötti korrelációs összefüggések lehetővé teszik, hogy roncsolásmentes méréssel becsüljük a kőzet szilárdságát. 200 MPa-nál nagyobb szilárdságú kőzeteknél meredek és így nagy szórású az összefüggés, 100 és 200 MPa között jól becsülhető a kőzet szilárdsága. A különbözőképpen értelmezett, illetve számított roncsolásmentes jellemzők segítségével lényegében azonos megbízhatósággal becsülhetjük a szilárdságot. (Kivétel a rugalmas benyomódás, mely becslésre nem alkalmas.)

## 31.9. Szemszerkezet vizsgálata

### 31.9.1. Szemnagysági megoszlás

A szemnagysági megoszlást négyzetlyukú szitákon és körlyukú rostákon határoztuk meg. A szemnagysági megoszlásra jellemző adatokat a 31.22. táblázatban foglaltuk össze. Az ábrákra egy példát a 31.17. ábrán mutatunk be. A frakció jele négyzetlyukú rostán értendő.

Az MSZ 1992-70 szabvány a szemnagysági megoszlás alapján KZ (különleges zúzott kő), NZ (nemes zúzott kő) és Z (zúzott kő) kategóriákat különböztet meg. A kategóriába sorolás egyik ismerve a frakciók határainak az élessége, a másik a hibás alakúnak minősített szemek mennyisége. A követelményszintet a 31.23. táblázat tartalmazza. A szemnagysági megoszlás alapján tehát nem dönthető el a minőségi kategória, mégis tájékoztatásul összeállítottuk a 31.24. táblázatot. Eszerint a legtöbb zúzalék azért nem sorolható egyik kategóriába sem, mert túl sok a méreten aluli rész. Megjegyezzük azonban, hogy ez a vizsgálat csak durva tájékozódásra alkalmas, mivel nem a névleges méreteknek megfelelő négyzetlyukú rostákon végeztük el a vizsgálatot.

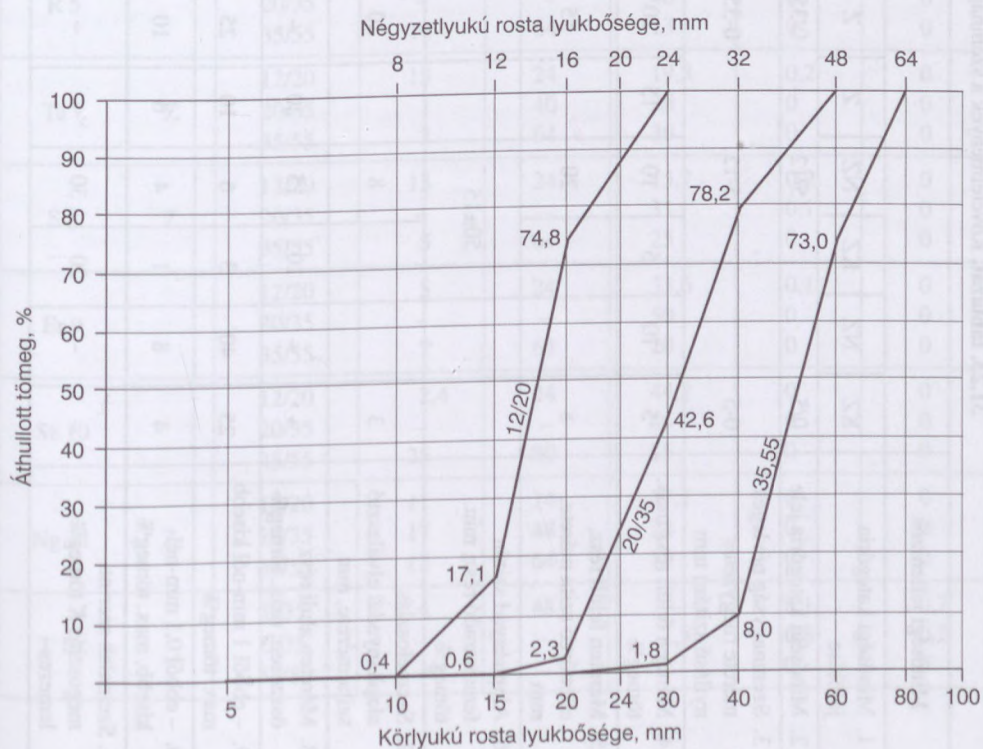
31.22. táblázat. A szemmegoszlás jellemző értékei (körlyukú rostán vizsgálva)

Jele	Frakció jele	Áthullott tömeg, %											
		0,25	0,5	1	2,5	5	10	15	20	30	40	60	80
mm lyukbőségű szitán, illetve körlyukú rostán													
U 1	12/20					0,4	1,8	25,9	87,4	100,0			
	20/35							0,2	2,4	34,5	100,0		
	35/55								0,1	2,6	20,8	94,0	
Z 2	12/20					2,2	13,0	48,8	92,0	100,0			
	20/35						0,3	1,4	6,4	72,5	100,0		
	35/55									0,5	24,5	90,4	
NH 3	0/5	6,5	10,9	9,8	37,0	82,8	100,0						
	5/12				0,4	1,0	46,0	100,0					
	12/20					1,0	3,2	37,2	90,1	100,0			
	20/35								1,2	29,0	68,4	100,0	
E 4	12/20						0,6	52,5	93,9				
	20/35						0,4	4,9	18,8				
R 5	12/20							19,8	93,7	100,0			
	20/35							0,3	3,4	58,1	99,7		
	35/55										4,5	76,6	100,0
Ta 7	12/20						2,2	19,8	64,2	100,0			
	20/35							0,4	4,8	58,4	98,0	100,0	
	35/55									1,8	17,0	95,4	100,0



31.22. táblázat folytatása

Jele	Frakció jele	Áthullott tömeg, %											
		0,25	0,5	1	2,5	5	10	15	20	30	40	60	80
		mm lyukbőségű szitán, illetve körlyukú rostán											
S 8	12/20						0,6	15,7	64,4	100,0			
	20/35							0,4	2,9	56,6	100,0		
	35/55									0,7	14,3	91,4	100,0
Er 9	12/20						1,0	33,5	88,8	100,0			
	20/35							0,3	30,0	55,4	99,5		
	35/55									0,9	13,4	86,4	100,0
Sz 10	12/20						3,2	44,2	97,6	100,0			
	20/35						0,1	2,1	11,6	75,4	100,0		
	35/55									0,6	10,2	58,2	93,2
Ng 11	12/20						0,4	17,1	74,8	100,0			
	20/35							0,6	2,3	42,6	78,2	100,0	
	35/55									1,8	8,0	73,0	100,0
T 13	0/35	2,5	4,8	8,1	15,4	27,1	44,0	58,5	77,7	84,0	94,7	100,0	
	5/35				1,2	1,8	6,0	17,9	28,7	74,0	100,0		
	55/80									0,2	4,4	35,4	70,5



31.17. ábra. Az Ng 11 jelű andezitzúalékok szemmegoszlási görbéi





31.24. táblázat. A zúzalék szemmagysági megoszlásának jellemzése a 31.23. táblázat alapján

Kőzet jele	Minőségi kategória jelölése		Méreten felüli rész		Méreten aluli rész		
			tömeg%	ellenőrző szitaméret mm	tömeg%	ebből 1 mm-nél kisebb tömeg	ebből 0,1 mm-nél kisebb tömeg
U 1	Z	12/20	6	24	25,9	0,2	0
		20/35	0	32	20	0	0
		35/55	0	64	30	0	0
Z 2		12/20	4	24	48,8	0,4	0,1
		20/35	0	–	42	0	0
		35/55	4	64	35	0	0
NH 3	NZ	0/5	12	8	–	19,8	2
		5/12	–	–	12	0	0
		12/20	4	24	37,2	0	0
		20/35	–	–	60	0	0
E 4		12/20	3	24	52,5	0,2	0
		20/30	–	–	50	0	0
R 5		12/20	3	24	19,8	0	0
		20/35	–	–	40	0	0
		35/55	14	64	13	0	0
Ta 7	Z	12/20	15	24	19,8	0,2	0
		20/35	1	40	35	0	0
		35/55	2	64	30	0	0
S 8	Z	12/20	13	24	15,7	0,2	0
		20/35	–	–	31	0,1	0
		35/55	5	64	25	0	0
Er 9		12/20	5	24	33,6	0,1	0
		20/35	–	–	50	0	0
		35/55	7	64	20	0	0
Sz 10		12/20	2,4	24	44,2	0	0
		20/35	–	–	46	0	0
		35/55	25	80	15	0	0
Ng 11	Z	12/20	11	24	17,1	0	0
		20/35	17	48	24	0	0
		35/55	12	64	15	0	0
T 13		0/35	4	48	–	8,1	0,7
		5/35	–	–	2,5	0,8	0,2
		55/80	–	–	52	0	0

## 31.9.2. A zúzalékok jellemzése a szemalak alapján

[Reznák (1967), Kausay (1967, 1971)]

Az MSZ 1991-67 szabvány a szemalak jellemzésére több vizsgálati módot ír le. Kísérleteink során szabályos mintavétellel közetformációként kb. 100 adalékszemelt választottunk ki, és a szemalakat jellemeztük a három főtengelegy megmérése alapján. Kiszámítottuk a

$$\frac{v(\text{vastagság})}{sz(\text{szélesség})}$$

és

$$\frac{h(\text{hosszúság})}{sz(\text{szélesség})}$$

értékeket és azokat ábrázoltuk a Quervain-diagramban.

Ha  $v/sz > 0,5$  és  $h/sz < 1,5$ , akkor a szemalak zömök;

$v/sz < 0,5$  és  $h/sz < 1,5$ , akkor a szemalak lemezes;

$v/sz > 0,5$  és  $h/sz > 1,5$ , akkor a szemalak hosszúkás;

$v/sz < 0,5$  és  $h/sz > 1,5$ , akkor a szemalak lemezes és hosszúkás.

A zúzalékok alaki tényezőjét a 31.25. táblázatban gyűjtöttük össze.

A szemalak jellemezhető a szem két főtengelegyének a megmérése alapján is, azaz a  $h/sz$  és a  $v/sz$  viszonyszám alapján.

31.25. táblázat. A zúzalékok alaki tényezője

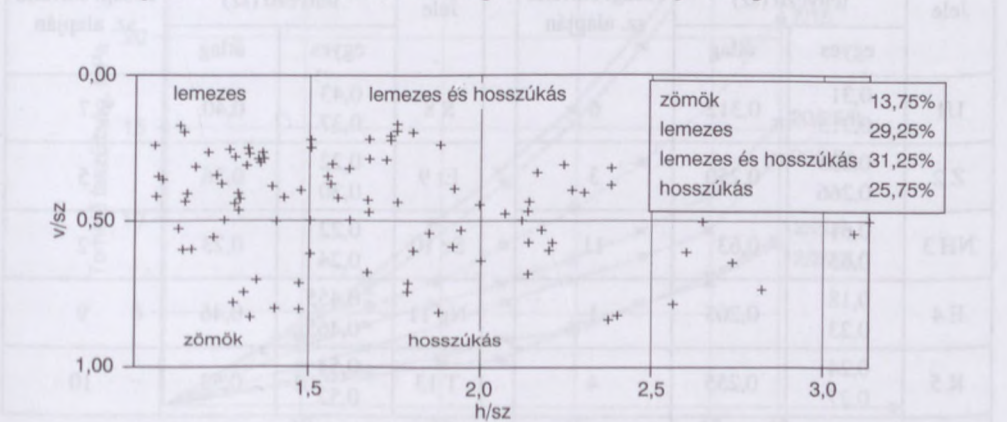
Jele	Frakció	Zömök	Lemezes	Lemezes és hosszúkás	Hosszúkás	MSZ 1992-70 szerint kedvezőtlen szemese és kategóriájuk
		szemek mennyisége, %				
U 1	12/20	14	29	31	26	60% n (NZ)
	20/35	34	20	17	29	37% n (KZ)
	35/55	49	23	3	25	26% n (NZ)
Z 2	12/20	14	27	26	33	53% n (NZ)
	20/35	31	24	18	27	42% n (NZ)
	35/55	38	26	12	24	38% n (NZ)
NH 3	5/12	27	19	13	41	42% n (KZ)
	12/20	41	22	4	31	26% n (NZ)
	20/35	55	14	1	30	15% n (NZ)
	35/55	42	17	4	37	21% n (NZ)
E 4	12/20	39	22	9	30	31% n (KZ)
	20/30	36	23	8	33	31% n (KZ)
R 5	12/20	28	30	15	27	45% n (KZ)
	20/35	22	38	13	27	51% -
	35/55	38	29	8	25	37% n (NZ)



31.25. táblázat folytatása

Jele	Frakció	Zömök	Lemezes	Lemezes és hosszúkás	Hosszúkás	MSZ 1992-70 szerint kedvezőtlen szemcse és kategóriájuk
		szemek mennyisége, %				
Ta 7	12/20	33	28	6	33	34% n (KZ)
	20/35	38	23	9	30	32% n (KZ)
	35/55	61	8	3	28	11% n (KZ)
S 8	12/20	32	33	7	28	40% n (KZ)
	20/35	42	16	12	30	28% n (KZ)
	35/55	59	14	6	21	20% n (NZ)
Er 9	12/20	37	33	10	20	43% n (KZ)
	20/35	26	35	8	31	43% n (NZ)
	35/55	58	19	1	22	20% n (NZ)
Sz 10	12/20	21	36	12	31	48% n (NZ)
	20/35	20	43	13	22	56% –
	35/55	46	23	7	24	30% n (NZ)
Ng 11	12/20	32	18	15	35	33% n (KZ)
	20/35	33	25	7	35	32% n (KZ)
	35/55	40	25	5	30	30% n (NZ)
T 13	5/35	51	15	6	28	21% –
	55/80	45	15	3	37	18% –

A különböző országok szabványai általában e két vizsgálat valamelyikével minősítik az adalékszemszek egy részét hibás alakúnak. A módosított MSZ 1991-70 szabvány hibásnak minősíti a  $v < 0,5$  h szemeket, azaz a 31.18. ábra szerinti lemezes, továbbá lemezes és hosszúkás szemeket. A lemezes alakú szemek megengedett legnagyobb mennyiségét a 31.23. táblázat tartalmazza. Kétféle termék különböztetendő meg, nevezetesen a k jelű szigorúbb, és az n jelű kevésbé szigorú. A 31.24. táblázatban közetfajtánként és termékenként megadtuk a minőségi kategóriákat.



31.18. ábra. A szemalak jellemzése a három főtengely megmérése alapján (U1 jelű közet: 12/20 frakció)

## 31.10. Halmazok szilárdsága

### 31.10.1. Szétmorzsolódási tényező mint a szilárdság mérőszáma

Az MSZ 1991 szabványban leírt szemcseméreték nem álltak rendelkezésünkre, ezért a szétmorzsolódási tényezőt Hummel által javasolt módon természetes állapotú anyagon határoztuk meg. A vizsgálat leírása megtalálható az MSZ 7030-62 *Kohószaki* szabványban. A vizsgálat során kézi kalapáccsal Ø7–15 mm szemnagyságú zúzalékot állítottunk elő.

Az előkészített anyag halmazsűrűségének a meghatározása után 0,5 litert mérünk ki, ezt egyenletesen szétterítettük Ø15/30 cm-es fémhenger alján, majd 5 Mp statikus erővel megterheltük. A max. erőt 1,5 perc alatt értük el. A teher alatt az anyag – a szilárdságától függően – szétmorzsolódik. A szétmorzsolódási tényező az eredeti (7/15 mm-es) és a szétmorzsolott (0/15 mm-es) anyag 1, 3 és 7 mm-es szitán:

$$\text{ahol } m = \frac{b_1 + b_3 + b_7}{100} \quad \text{sz} = 3 - m,$$

ahol  $b_i$  a kérdéses szitán fennmaradó anyag.

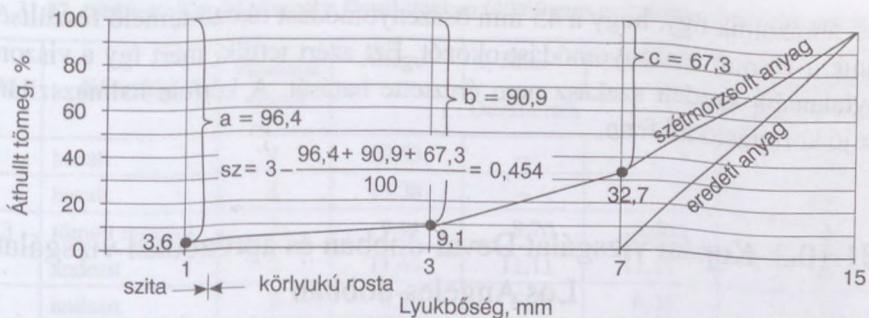
A kőzetek kockaszilárdsága és szétmorzsolódási tényezője között nincs összefüggés. A 31.26. táblázatban feltüntettük a kőzetek szétmorzsolódási tényező alapján megállapított jósági sorrendjét is. A szétmorzsolódási tényezőt a 31.19. ábrán mutatjuk be.

31.26. táblázat. Ø7/15 zúzalék szétmorzsolódási tényezője

Jele	Szétmorzsolódási tényező (sz)		Jósági sorrend sz. alapján
	egyes	átlag	
U1	0,31 0,315	0,312	6
Z 2	0,235 0,266	0,250	3
NH 3	0,61 0,65	0,63	11
E 4	0,18 0,23	0,205	1
R 5	0,24 0,27	0,255	4
Ta 7	0,48 0,40	0,44	8

Jele	Szétmorzsolódási tényező (sz)		Jósági sorrend sz. alapján
	egyes	átlag	
S 8	0,43 0,37	0,40	7
Er 9	0,22 0,30	0,26	5
Sz 10	0,22 0,24	0,23	2
Ng 11	0,455 0,465	0,46	9
T 13	0,54 0,52	0,53	10





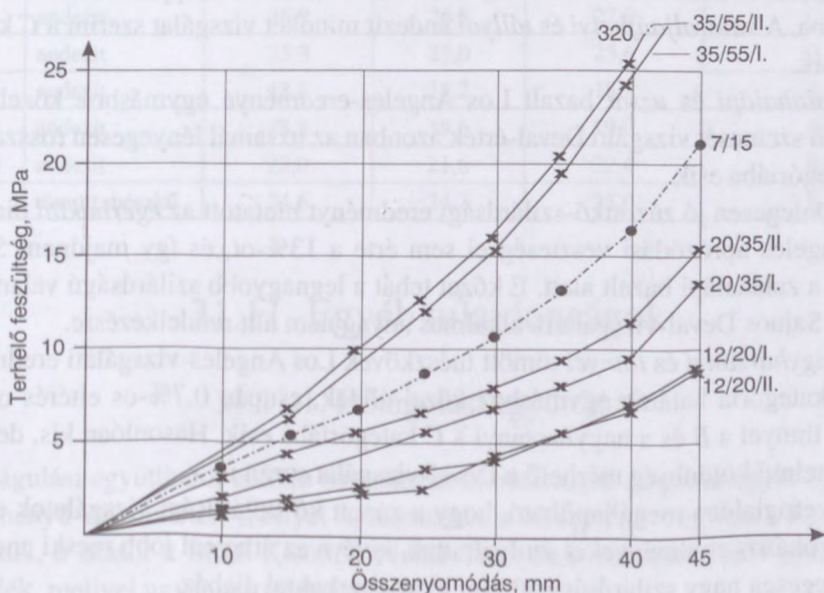
31.19. ábra. Ng 11 jelű andezit szétmorzsolódási tényezőjének meghatározása

### 31.10.2. Összenyomódással mért szilárdság

A módszert az USA-ban dolgozták ki és Nelson és Frey (1965) közleményéből ismerjük. Hazánkban Tevan (1968) alkalmazta először könnyű adalékanyagok jellemzésére, és az általa készített, korábbiakhoz képest módosított eszközben végeztük az összenyomódási vizsgálatot.

A henger átmérője 112,8 mm, tehát a nyomott felület 100 cm<sup>2</sup>. A henger magassága 20 cm, űrtartalma 2 liter. A henger falvastagsága 31 mm volt. A bemért anyagot vibrátorral ráztuk be, majd megkezdjük a vizsgálatot. A vizsgálathoz egyrészt ugyanolyan (6/15 mm) zúzalékot állítottunk elő.

A mérési eredményekre példát a 31.20. ábrán mutatunk. A 7/15 szemmagyságú zúzalék szétmorzsolódási tényezőjét az összenyomódással mért szilárdság függvé-



31.20. ábra. U 1 jelű bazaltzúzalékok összenyomódással meghatározott szilárdsága

nyében ábrázoltuk úgy, hogy a 45 mm összenyomódást okozó terhelő feszültségből kivontuk a 10 mm összenyomódást okozót. Ezt azért tettük, mert így a viszonylag bizonytalanabb kezdeti szakasz nem éreztette hatását. A kétféle halmazszilárdság között jó korreláció áll fenn.

### 31.10.3. Kopási vizsgálat Deval-dobban és aprózódási vizsgálat Los Angeles-dobban

Az anyag egy részénél nem tudtuk az MSZ 1991-67 szabványban előírt 2 ismétléshez szükséges mennyiséget előállítani. Így a Deval-vizsgálatok egy része csak tájékoztató jellegű (a 10 mintából 6). A 31.27. és 31.28. táblázatokban feltüntettük a vizsgálati eredményeket (átlag, minimum, maximum) és az elvégzett vizsgálatok számát, valamint az MSZ 1992-70 szerinti közetcsoport-besorolást.

A szabvány a besoroláshoz a szulfátos kristályosítási vizsgálatok elvégzését is előírja. A táblázatokban megadott közetcsoport azonban kizárólag csak a Los Angeles- vagy Deval-vizsgálat eredményén alapszik. A zárójelben megadott közetcsoport pedig csupán tájékoztató jellegű.

A *recski* andezit szilárdsági értékei a szokásosnál jobbak, különösen jó a Los Angeles-vizsgálati eredmény. Az *erdőbényei* andezitnél is ritka az A közetcsoportba eső zúzott kő aprózódási eredmény. A *szobi* andezitnél bizonyos mértékig ellentétes a Los Angeles- és Deval-vizsgálati eredmény, a nagyobb szemcsékben feldúsúlhattak a kisebb szilárdságú közet szemcsék. A *nógrádkövesdi* andezit B-C minőségi osztálya megfelel a szokásos értékeknek, szintén a Deval-érték alapján került a C közetcsoportba. A *sátoraljaújhelyi* és *tállyai* andezit mindkét vizsgálat szerint a C kategóriába esik.

A *zalahalápi* és *uzsai* bazalt Los Angeles-eredménye egymáshoz közel áll, a nagyobb szemcsét vizsgáló Deval-érték azonban az *uzsainál* lényegesen rosszabb, és a B kategóriába esik.

Különlegesen jó zúzottkő-szilárdsági eredményt mutatott az *egerbaktai* diabáz: a Los Angeles aprózódási veszteség el sem érte a 13%-ot, és így majdnem 5%-kal maradt a *zalahalápi* bazalt alatt. E közet tehát a legnagyobb szilárdságú valamennyi között. Sajnos Deval-vizsgálatra alkalmas anyag nem állt rendelkezésre.

A *nagyharsányi* és *tinnyei* tömött mészkövek Los Angeles-vizsgálati eredményei a B-C kategória határán egymáshoz közel állnak, csupán 0,7%-os eltérés okozza, hogy a *tinnyei* a B és a *nagyharsányi* a C kategóriába esik. Hasonlóan kis, de ellenkező értelmű különbség mérhető a Deval-vizsgálat során is.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a zúzott kő szilárdsági vizsgálatok e közetekre szokásos eredményeket szolgáltatottak, kivéve az átlagnál jobb *recski* andezitet. Különlegesen nagy szilárdságával tűnt ki az *egerbaktai* diabáz.



**31.27. táblázat.** Kópási vizsgálat Deval-dobban (40/60 mm-es frakció a körlyukú rostán)

Jele	Kőzetfajta	Vizsgálat száma	Átlagos	Min.	Max.	Kőzetcsoport az MSZ 1992 szerint
			Deval-érték			
U1	bazalt	1	10,53	–	–	(B)
Z 2	bazalt	1	15,38	–	–	(A)
NH 3	tömött mészkő	2	9,11	8,70	8,70	B
R 5	andezit	2	11,44	11,11	11,11	B
Ta 7	andezit	2	6,35	6,35	6,35	C
S 8	andezit	1	6,67	–	–	(C)
Er 9	andezit	2	10,82	10,53	10,53	B
Sz 10	andezit	1	8,70	–	–	(C)
Ng 11	andezit	1	8,00	–	–	(C)
T 13	tömött mészkő	1	8,35	–	–	(C)

**31.28. táblázat.** Aprózódási vizsgálat Los Angeles-dobban (IV. vizsgálati osztály, 10/15 mm-es frakció, 2-2 vizsgálati eredmény)

Jele	Kőzetfajta	Átlagos	Min.	Max.	Kőzetcsoport az MSZ 1992 szerint
		Deval-érték			
U1	bazalt	17,2	17,0	17,4	A
Z 2	bazalt	17,3	17,2	17,4	A
NH 3	tömött mészkő	25,3	25,0	25,6	C
E 4	diabáz	12,8	12,6	13,0	A
R 5	andezit	16,7	16,6	16,8	A
Ta 7	andezit	26,9	26,8	27,0	C
S 8	andezit	25,3	25,0	25,6	C
Er 9	andezit	18,2	18,2	18,2	A
Sz 10	andezit	18,8	18,6	19,0	A
Ng 11	andezit	22,0	21,6	22,4	B
T 13	tömött mészkő	24,6	24,2	25,0	B

## 31.11. Egyéb tulajdonságok

### 31.11.1. Hőtágulási együttható

A hőtágulási együtthatót kétféle berendezéssel határoztuk meg. Az egyik egy NDK gyártmányú dilatométer, mellyel a méréseket a Veszprémi Vegyipari Egyetemen végeztük, a másik a BME Kísérleti Fizika Tanszéken előállított házi gyártmányú készülék, mellyel ugyanitt kísérleteztünk.

31.29. táblázat. A kőzetek hőtágulási együtthatója

Kőzet		Veszprémben (45 °C)	Kísérleti Fizika Tanszéken	
			30–60 °C	0–40 °C
		tartományban		
fajtája	jele	végzett mérések alapján		
Bazalt	U 1	6,8 (nehezen értékelhető)	nincs adat	5,1
	Z 2	nincs adat	5,6	4,5
Mészkö	NH 3	5,5	3,5	2,5
	T 13	6,0	4,4	3,7
Riolit	Gy 12	4,65	4,7	4,7
Diabáz	E 4	5,86	5,6	5,7
Andezit	R 5	4,9	4,5	4,1
	Ta 7	4,3	4,8	4,5
	S 8	5,3	5,8	6,1
	Er 9	5,6	5,2	5,2
	Sz 10	nincs adat	5,0	4,7
	Ng 11	6,6 70 °C felett, 60 °C alatt meredek esés	4,2	3,9

Az NDK gyártmányú dilatométerben  $1 \times 1 \times 5$  cm<sup>3</sup> méretű próbatesteket kb. 30 °C hőmérsékletéről 220 °C-ra melegítettük, 400-szoros nagyításban regisztráltuk a próbatestek hosszváltozását, és megfelelő korrekciók figyelembevételével kiszámítottuk a különböző hőmérsékletekhez tartozó hőtágulási együtthatót. A kezdeti hőmérsékleti tartományban, vagyis a regisztrátum kezdeti szakaszában a kiértékelés több nehézséget okozott, mint a nagyobb hőmérsékleteken.

A másik mérőberendezés használata során a kvarccsőben elhelyezett próbatest megnyúlását kvarcrúd közbeiktatásával 1/1000 mm beosztású mérőórára vittük át. A méréseket két mérési tartományban, először 30–60 °C hőmérsékleten, majd 0 és 40 °C hőmérsékleti határok között végeztük el.

A mérés menete a következő volt:

Két állandó hőmérsékletű teret állítottunk elő. Az egyik esetben 30 és 60 °C hőmérsékletekkel, a másikban 0 és 40 °C-kal. A mérendő próbatesteket váltakozva a különböző hőmérsékletű térbe helyeztük. Pontosabban kifejezve, az összeállított mérő-rész érintése nélkül, a kvarccsőben levő mintára a 30 °C és 60 °C hőmérsékletű kályhát toltuk rá, és váltakozva többször felmelegítettük és lehűtöttük a próbatesteket, és mindegyik méréshez kiszámítottuk a hőtágulási együtthatókat, és ezeket a kvarcnak megfelelő értékkel korrigáltuk.

Hasonló módon jártunk el a 0–40 °C hőmérsékleti tartományban is. Ebben az esetben mindig a 40 °C hőmérsékletéről indultunk ki, és azután hűtöttük le a próbatesteket. A levegőben levő páralecsapódás elkerülése miatt azonban vízmentes lég-



térről kellett gondoskodni a próbatest környezetében. Ezt úgy oldottuk meg, hogy állandó lassú nitrogénáramot hoztunk létre (CaCl<sub>2</sub>-vel megtöltött csövön keresztül palackból áramoltatva).

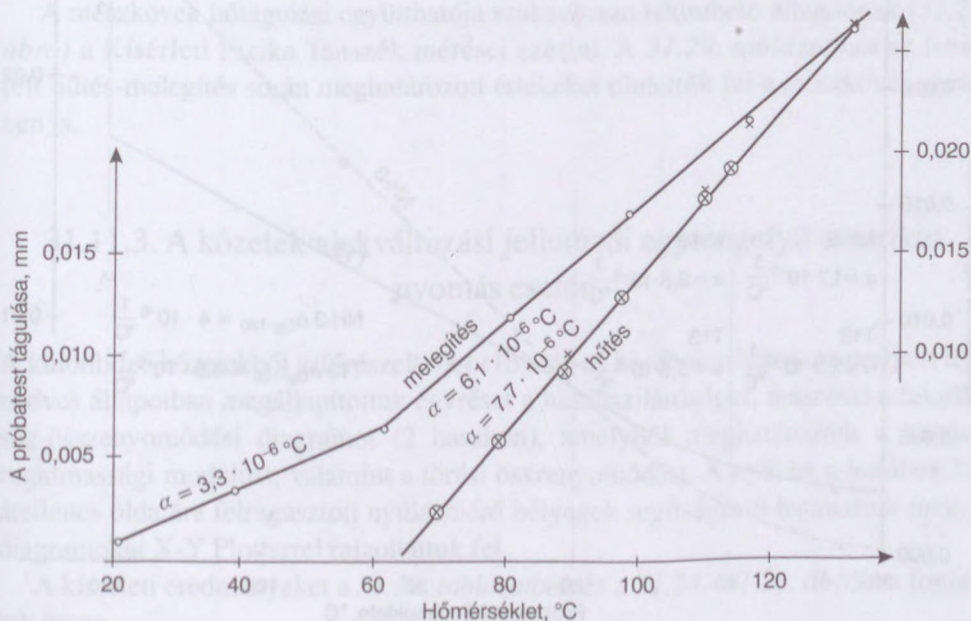
A kétféle mérési eljárással és a különböző hőmérsékleteken végzett mérések azonban nem voltak teljes összhangban, ezért néhány kőzetnél további méréseket végeztünk szobahőmérsékletről kiindulva. Problémát okozott, hogy nem minden mérést végeztünk ugyanazon a próbatesten.

Szobahőmérsékletről kiindulva szakaszosan melegítettük a próbatesteket különböző hőmérsékletre, megvártuk a hőegyensúly beálltát (kb. 120 vagy 140 °C hőmérsékletre). Egyes kőzetmintáknál felvettük a lehülési görbét is. A mérési eredményt a 31.29. táblázat szemlélteti.

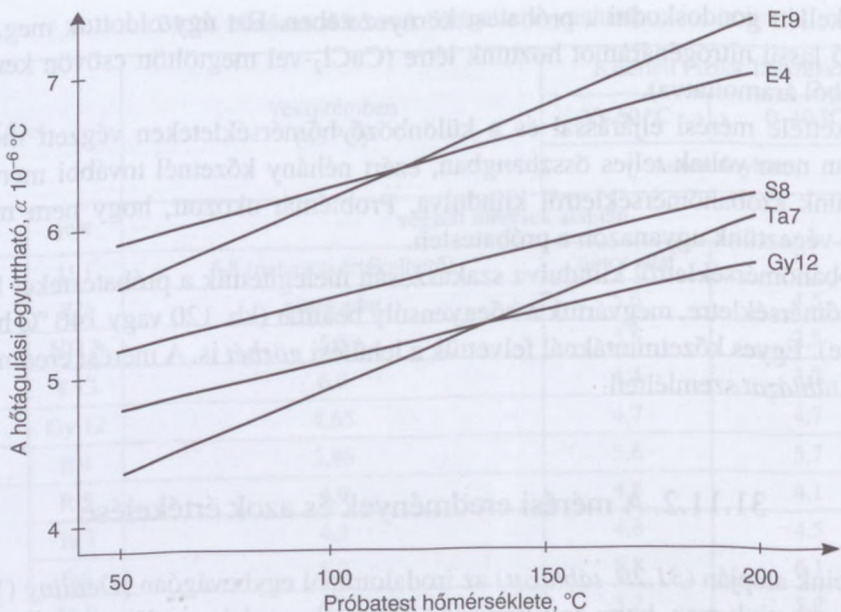
### 31.11.2. A mérési eredmények és azok értékelése

Méréseink alapján (31.29. táblázat) az irodalommal egybevágóan [Detting (1961)] azt állapíthatjuk meg, hogy egyetlen mért kőzetnél sem lehet egy határozott értéket megadni a hőtágulási együtthatóra, mert sok tényező befolyásolja. Így pl. a minta előélete, nedvességtartalma, kezdeti hőmérséklete, a hőmérsékleti tartomány nagysága, melegítve vagy hűtve mérések, a hőmérsékletváltozás sebessége.

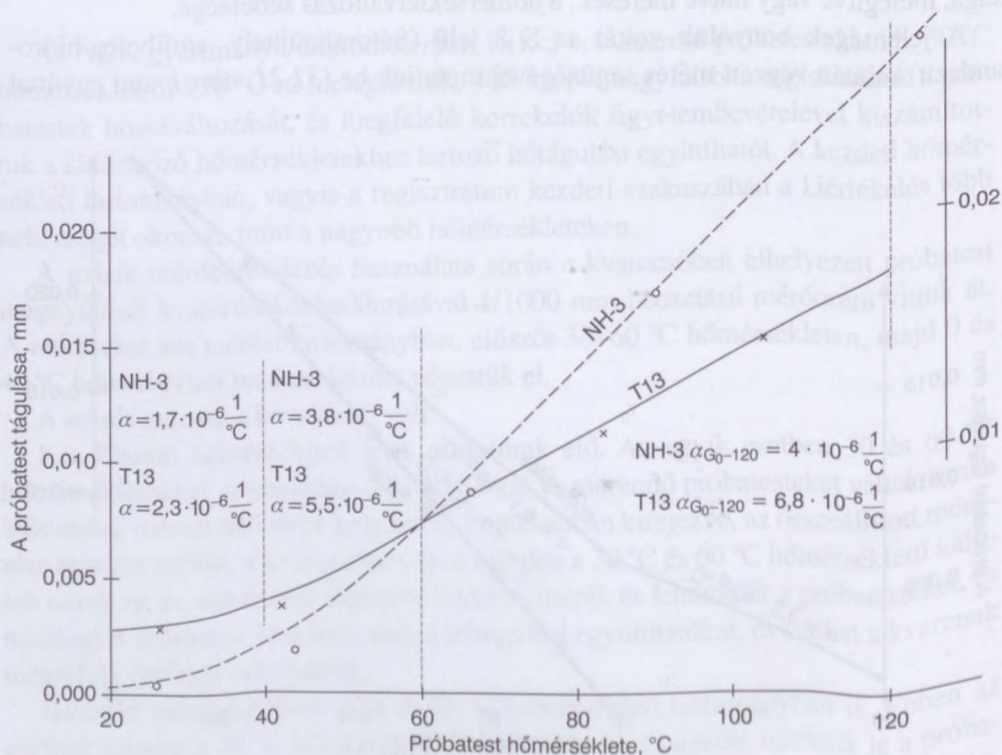
A jelenségek bonyolult voltát az S 8 jelű (Sátoraljaújhely, amfibolos-hidroandezit) mintán végzett mérés segítségével mutatjuk be (31.21. ábra), ami egyúttal



31.21. ábra. A hőtágulási együttható a felfűtés és a lehűtés függvényében (S 8 jelű kőzet)



31.22. ábra. Andezitek hőtágulási együtthatójának változása a hőmérséklet függvényében (veszprémi eredmények)



31.23. ábra. Mészkövek hőtágulási együtthatója a hőmérséklet függvényében



az indítást adta a harmadik típusú mérés elvégzésére. A 0–40 °C hőmérsékleti tartományban kapott eredmény nagyobb eltérést mutatott, mint amit a méréshiba alapján várni lehetett volna, és az irodalmi adatokkal ellentétben a hőmérséklet növelésével a hőtágulási együttható csökkenne. Ezért a következő mérést végeztük: Szobahőmérsékletről kiindulva kb. 20 °C-onként növeltük a hőmérsékletet csaknem 140 °C-ig. Az egyes hőmérsékleteken a hőegyensúly beállításához kb. 1 óra volt szükséges. A hűtést is szakaszosan végeztük, ennek sebessége kb. 10 °C/20 perc volt.

A mért görbe két lineáris szakaszt mutat, melynél a törési pont 60 °C hőmérséklet körül van. A hűtés ugyancsak lineárist ad, de jóval nagyobb meredekséggel.

A 60 °C körüli hőmérsékleten a görbék törése más mérésnél is megfigyelhető. Oka valószínűleg az, hogy ekkor már a telített vízgőz túlnyomása elég nagy (60 °C-on 0,2 att, 70 °C-on 0,3 att), így a víz elpárolog a minta pórusaiból, nehezebbé válik a mikrokristályok elrendeződése, a belső feszültségek növekedésével a hőtágulási együttható is megnő. Ez lehet a magyarázata annak is, hogy az S 8 mintánál a 0–40 °C tartományban a gyakorlatilag vízmentes környezetben mért hőtágulási együttható (melegítés-hűtés átlaga) ugyanazt az értéket adta, mint a már csaknem teljesen vízmentes 60 °C hőmérséklet fölötti tartományban végzett mérés.

Az *andezit-típusú* kőzeteknél összefoglalóan azt mondhatjuk, hogy a mérési hibát is figyelembe véve, a körülményektől függően 3 és  $8 \cdot 10^{-6}$  1/°C határok között minden érték mérhető (még ugyanazon a mintadarabon is). Az üveges részt is tartalmazó kőzetek hőtágulása azonban általában kisebb és a hőtágulási együttható függése a hőmérséklettől nem jelentős. Öt andezit hőtágulásának változását a hőmérséklettől függően a 31.22. ábrán mutatjuk be.

A mészkövek hőtágulási együtthatója szakaszosan tekinthető állandónak (31.23. ábra) a Kísérleti Fizika Tanszék mérései szerint. A 31.29. táblázatban az ismertetelt hűtés-melegítés során meghatározott értékeket tüntettük fel a mészkövek esetében is.

### 31.11.3. A kőzetek alakváltozási jellemzői egytengelyű centrikus nyomás esetén

A különböző kőzetekből kifűrészelt  $4 \times 4 \times 16$  cm<sup>3</sup>-es hasábok négyes csoportjain légnedves állapotban megállapítottuk egyrészt a hasábszilárdságot, másrészt a feszültség-összenyomódási diagramot (2 hasábon), amelyből meghatároztuk a kezdeti rugalmassági modulust, valamint a törési összenyomódást. A nyúlást a hasábok két átellenes oldalára felragasztott nyúlásmérő bélyegek segítségével határoztuk meg, a diagramokat X-Y Plotterrel rajzoltattuk fel.

A kísérleti eredményeket a 31.30. táblázatban és a 31.24.–31.26. ábrákon foglaltuk össze.

31.30. táblázat. A kőzetek alakváltozási jellemzői statikus teherre

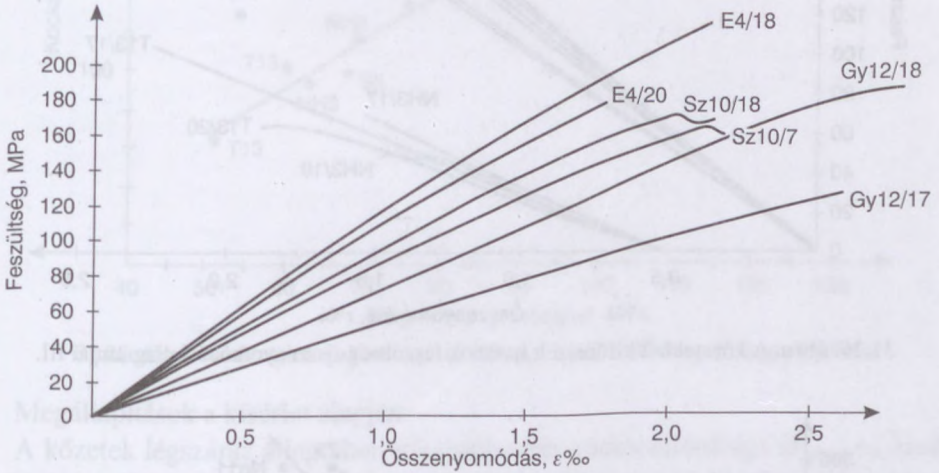
Jele	Mérete, cm		Hasábszilárdság, MPa		$E_0$ Mp/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_{has}$ ‰	
	felület		egyedi	átlag			
U 1	3,98	3,96	15,97	135,0	165,0	985 1020	1,89 1,47
	3,98	4,08	16,00	183,0			
	3,96	3,93	15,99	167,0			
	3,98	3,96	15,97	175,0			
Z 2	3,99	4,00	16,07	172,2	220,1	1140 1110	2,55 2,50
	3,97	4,08	16,00	232,0			
	4,10	4,00	16,10	228,2			
	3,99	4,00	16,10	248,0			
NH 3	4,08	3,97	15,99	184,5	116,8	690 630	1,045 0,93
	4,22	4,02	16,03	141,2			
	4,17	4,11	16,07	92,5			
	4,08	3,98	15,99	147,5			
E 4	3,98	3,99	16,02	195,0	180,4	1220 1130	2,11 1,77
	3,98	4,00	16,04	223,0			
	4,18	4,10	16,02	178,0			
	3,99	3,99	16,02	125,8			
R 5	4,08	4,08	16,10	157,0	221,4	1300 1370	1,91 1,95
	4,11	4,07	16,23	245,8			
	4,05	4,04	16,09	261,8			
	4,09	4,08	16,12	222,0			
Ta 7	4,02	4,05	16,08	242,0	223,5	1200 1200	2,13 2,05
	4,08	4,06	16,09	245,5			
	4,03	4,01	16,08	241,5			
	4,02	4,06	16,08	165,5			
S 8	4,16	4,24	16,05	113,2	113,5	760 680	1,95 1,40
	4,06	3,90	16,09	130,0			
	4,18	4,05	16,13	94,0			
	4,16	4,24	16,06	117,0			
Er 9	3,98	4,02	16,09	252,0	214,8	1050 1020	1,95 2,05
	4,02	4,02	16,06	202,0			
	4,05	4,02	16,07	205,0			
	3,98	4,00	16,09	202,0			
Sz 10	4,08	4,20	16,00	145,0	165,28	980 1025	2,18 2,13
	4,05	4,03	15,75	162,0			
	4,05	4,08	16,48	168,5			
	4,08	4,20	16,08	185,0			
Ng 11	4,02	4,04	16,08	209,0	240,6	1310 1310	2,01 2,27
	4,13	4,04	16,04	240,0			
	4,02	4,03	16,10	263,5			
	4,00	4,03	16,10	250,0			
Gy 12	4,02	4,10	16,05	188,2	159,5	535 740	2,61 2,83
	4,08	4,02	16,10	128,0			
	4,10	4,04	16,08	189,0			
	4,10	4,02	16,08	133,0			



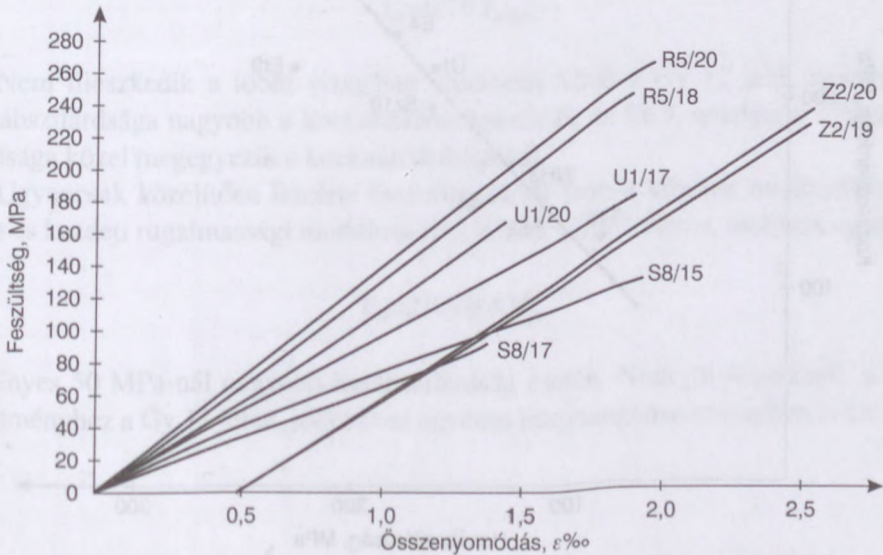
31.30. táblázat folytatása

Jele	Mérete, cm			Hasábszilárdság, MPa		$E_0$ Mp/cm <sup>2</sup>	$\varepsilon_{has}$ ‰
	felület		magasság	egyedi	átlag		
T 13	4,16	4,09	16,07	90,0	83,2	600	1,75
	4,04	4,04	16,02	101,2			
	3,99	4,03	16,04	65,0			
	4,16	4,09	16,07	76,8			

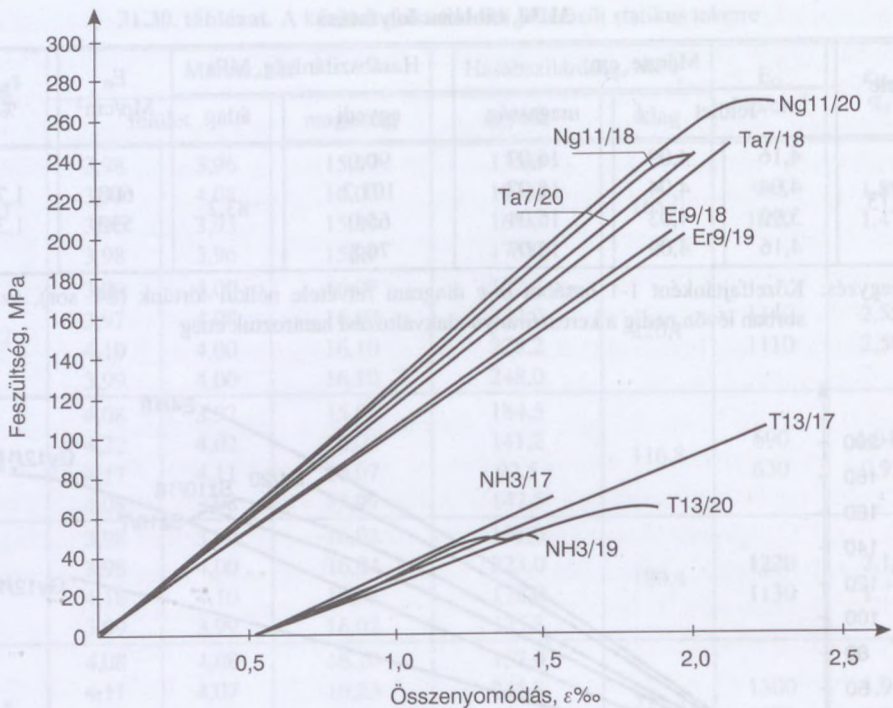
Megjegyzés: Kőzetfajtánként 1-1 hasábot  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagram felvétele nélkül törtünk (84. sor), az első sorban lévõn pedig a keresztirányú alakváltozást határoztuk meg



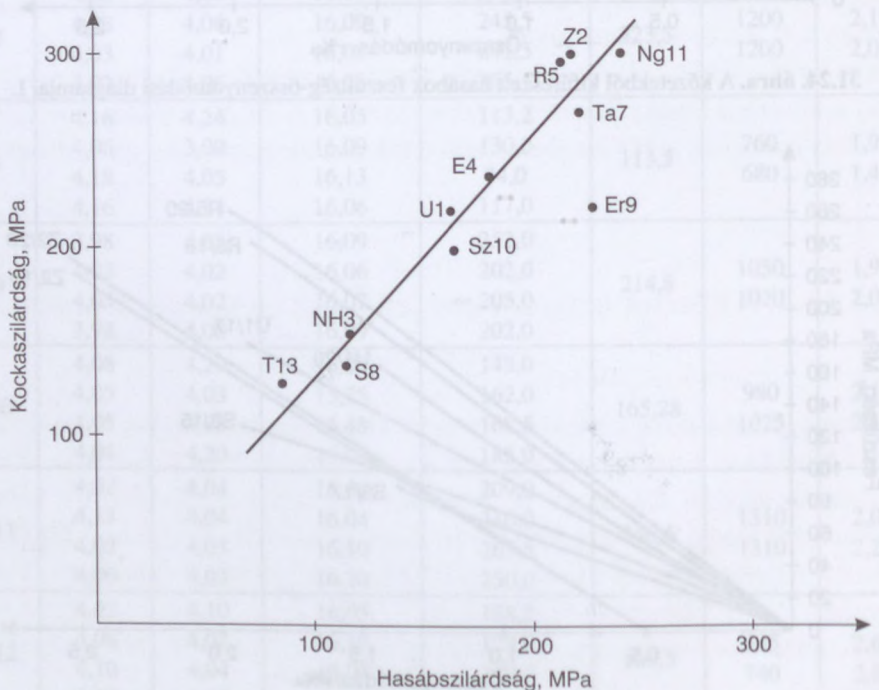
31.24. ábra. A kőzetekből kifűrészelt hasákok feszültség-összenyomódási diagramjai I.



31.25. ábra. A kőzetekből kifűrészelt hasákok feszültség-összenyomódási diagramjai II.

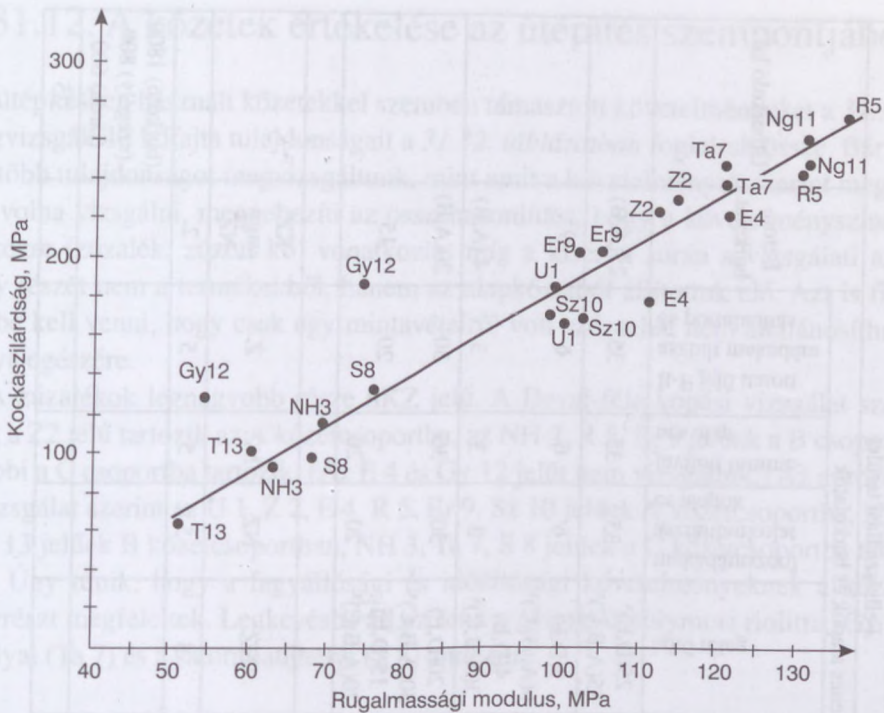


31.26. ábra. A kőzetekből kifűrészelt hasákok feszültség-összenyomódási diagramjai III.



31.27. ábra. A kőzetek kockaszilárdsága a hasábszilárdság függvényében





31.28. ábra. A kőzetek rugalmassági modulusa a hasábszilárdságuk függvényében

Megállapítások a kísérlet alapján:

A kőzetek légszárász állapotban meghatározott kockaszilárdsága ( $f_{\text{cube}}$ ) és hasábszilárdsága ( $f_{\text{pr}}$ ) között közel lineáris összefüggés áll fenn (31.27. ábra), nevezetesen

$$f_{\text{pr}} = 0,79 f_{\text{cube}}$$

Nem illeszkedik a többi vizsgálati eredmény közé a Gy 12 jelű, amelynek a hasábszilárdsága nagyobb a kockaszilárdságánál; és az Er 9, amelynek a hasábszilárdsága közel megegyezik a kockaszilárdságával.

Ugyancsak közelítően lineáris összefüggés áll fenn a kőzetek hasábszilárdsága ( $f_{\text{pr}}$ ) és kezdeti rugalmassági modulusa ( $E_0$ ) között (31.28. ábra), melynek egyenlete

$$E_0 = 210 + 0,43 f_{\text{pr}}$$

érvényes 50 MPa-nál nagyobb hasábszilárdság esetén. Nem jól illeszkedik a többi eredményhez a Gy 12 jelűé, jóllehet az egyenes iránytangense ez esetben is kb. 0,43.

31.31. táblázat. Útépítésben használt kőzetekkel szemben támasztott követelmények

Kőzettulajdonság	Felhasználási terület							Beton- burkolat	Útburkoló kő	
	Burkolatalap	Bitumenes alapok és burkolatok			kő réteg	makadamszerű aszfaltburkolat és alapok	javított bitume- nes alap			If-jelű itatott aszfalt makadám és portalanítás
		aszfaltbeton	Öntött aszfalt	Érdesítő réteg						
Los Angeles aprózódási veszteség max. %	35	20 (D, E) <sup>xx</sup> 25 (A, B, C) <sup>x</sup>	25(D,E) <sup>x</sup> 35(A,B,C) <sup>x</sup>	35	35	35	35	25(A,B)		
Deval érték szárazon min.	6(4) <sup>xx</sup>	12(D,E); 9(A,B,C) <sup>x</sup>	9(D,E)	6	6	6	6	9		
Nedvesen min.	3(2,5) <sup>xx</sup>	5(D,E); 4(A,B,C) <sup>x</sup>	4(D,E) 3(A,B,C) <sup>x</sup>	3	3	3	3	4 (A,B)		
Kristályosítási próba mállott része max. %	30(35) <sup>xx</sup>	15(D,E); 20(A,B,C) <sup>x</sup>	20(D,E)	30	30	30	30	20(A,B)		
MgSO <sub>4</sub> oldattal		10(D,E); 15(A,B,C) <sup>x</sup>	30(A,B,C) <sup>x</sup> 15(D,E)	20	20	20	20	15		
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> oldattal			20(A,B,C) <sup>x</sup>	20	20	20	20			
Szemelak szerinti minőségi osztály			k							
Szemmegoszlás	Z	KZ vagy NZ	KZ	NZ	NZ	NZ	Z	KZ vagy NZ		
Homok agyag- és iszaptartalma max.tömeg%		5	5	5	5	5	5	2		
Nyomószilárdság MPa									(burkoló) 1800 (szegély) 800 (járdra) 600	
Fagyasztiási ciklus									25	

Megjegyzés:

<sup>x</sup> – forgalmi terhelési kategória

<sup>xx</sup> – könnyű és nagyon könnyű forgalmú utak



## 31.12. A kőzetek értékelése az útépítés szempontjából

Az útépítésben használt kőzetekkel szemben támasztott követelményeket a 31.31., a megvizsgált 12 kőfajta tulajdonságait a 31.32. táblázatban foglaltuk össze. Bár sokkal több tulajdonságot megvizsgáltunk, mint amit a követelmények szerint meg kellett volna vizsgálni, megnehezíti az összehasonlítást, hogy a követelményszint termékekre (zúzalék, zúzott kő) vonatkozik, míg a kísérlet során a vizsgálati anyag nagy részét nem a termékekből, hanem az alapkőzetből állítottuk elő. Azt is figyelembe kell venni, hogy csak egy mintavételről volt szó, tehát nem általánosítható a bánya egészére.

A zúzalékok legnagyobb része nKZ jelű. A Deval-féle kopási vizsgálat szerint csak a Z2 jelű tartozik az A kőzetcsoportba, az NH 3, R 5, Er 9 jelűek a B csoportba, a többi a C csoportba tartozik. (Az E 4 és Gy 12 jelűt nem vizsgáltuk.) Az aprózódási vizsgálat szerint az U 1, Z 2, E 4, R 5, Er 9, Sz 10 jelűek A kőzetcsoportba, Ng 11 és T 13 jelűek B kőzetcsoportban, NH 3, Ta 7, S 8 jelűek a C kőzetcsoportba tartoznak. Úgy tűnik, hogy a fagyállósági és időállósági követelményeknek a kőzetek nagyrészt megfeleltek. Legkevésbé áll ez fenn a gyöngyösslomos riolitra (Gy 12), a tállyai (Ta 7) és a sátoraljaújhelyi (S 8) andezitre.

## 31.13. Összefoglalás

A kutatás során 12-féle kőbánya kőzetanyagát vizsgáltuk. Köztük két bazalt (U 1, Z 2), két tömött mészkő (NH 3, T 13), egy diabáz (E 4), egy riolit (Gy 12) és hat andezit (R 5, Ta 7, S 8, Er 9, Sz 10, Ng 11) szerepelt. A kutatás elsődleges célja az volt, hogy tájékoztató adatokat szolgáltatasson a Betonútépítő Vállalat mélyépítési feladatainak megoldásához. A 31.12. fejezetben összesítettük mind a kőzettulajdonságokat, mind a kőzettermékekkel szemben – útépítési szempontból – támasztandó követelményeket. Számos olyan vizsgálatot is elvégeztünk azonban, amelyekből a műszaki alkalmasság szempontjából további következtetéseket lehet levonni.

A kőzetek vízfelvétele egy kőzetfajtán belül igen eltérő. A vízfelvétel és a kőzetek tömörsége között nem sikerült összefüggést találni. A vízfelvétel időbeni lefolyása különböző, de végértéke kőzetfajtánként közel azonos. Az 1, illetve 24 órás vízfelvétel a teljes vízfelvételhez viszonyítva: mészköveknél 42, illetve 74 tömegszázalék; bazaltoknál 26, illetve 44; andeziteknél 21, illetve 34; riolitnál 39, illetve 82; diabáznál 24, illetve 47 tömegszázalék. A kőzetek duzzadása igen különböző, és nem arányos a vízfelvétellel. A kiszáritás és a vízzel telítés reverzibilis folyamat.

Igen eltérő volt a mészkövek, a diabáz, az uzsabányai bazalt hajlító-húzó szilárdsága, míg az andeziteké, a zalahalápi bazalté, valamint a riolité eléggé egyenletes volt. Nem találtunk törvényszerűséget a hajlító-húzó szilárdság és a nyomószilárd-

31.32. táblázat. A vizsgált kőzetek átlagos tulajdonságai

A vizsgált tulajdonság	Bazalt		Mészkö		Diabáz	Andezit					Riolit	
	U1 Úszabánya	Z2 Zalahaláp	NH 3 Nagy- harsány	T13 Tímnye		E4 Egerbakta	R5 Recsk	Ta7 Tallya	S8 Sátoral- járhely	Erdőbénye		Sz10 Szob
Megnevezés	augitos olivinbazalt		mészkö		diabáz	porfirós piroxénandezit		amfibolos and.	porfirós piroxénandezit		riolit	
plagioklász	50,85	47,26			67,21	62,87	52,02	55,50	82,68	61,54	53,44	-
olivín	20,28	23,14			3,22	26,94	17,15	0,83	8,71	18,38	20,45	0,40
piroxén	20,98	21,06				3,22	0,88	1,77	4,04	2,76	3,34	
opak	7,89											
magnetit		5,14										
zeolit		3,40			24,06							
zoizit					5,51							
klorit												
kalcit												
kőzetűveg						6,97	3,05		0,75	17,32	22,77	85,14
színes							26,90					
elegyrész (bontott)								38,35				
amfibol								3,55				
agyagásvány												
földpát									3,82			13,11
biotit												1,35
Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>	2,839	2,885	2,695	2,716	2,807	2,732	2,714	2,600	2,608	2,652	2,769	2,446
Testtűrűség (légszáraz) g/cm <sup>3</sup>	2,767	2,832	2,679	2,609	2,801	2,700	2,655	2,494	2,544	2,578	2,725	2,127
Tömörség (kiszáritott)	0,97	0,98	0,99	0,96	0,99	0,985	0,975	0,945	0,965	0,960	0,975	0,865
Vízfelvétel % fokozatos vízbemérítéssel	0,833	0,190	0,160	0,144	0,628	0,466	0,220	2,395	1,72	1,77	0,295	4,66
15 MPa nyomáson	0,983	0,239	0,216	0,190	0,672	0,498	0,333	2,485	1,92	1,95	0,346	7,83
Telítési tényező	0,92	0,80	0,90	0,79	0,925	0,94	0,67	0,957	0,925	0,943	0,855	0,626



31.32. táblázat folytatása

A vizsgált tulajdonság	Bazalt		Mészke		Diabáz	Andezit				Riolit		
	U1 Úszabánya	Z2 Zalaláp	NH 3 Nagy- harsány	T13 Tinye		E4 Egerbaktá	R 5 Reesk	Ta 7 Tállya	S 8 Sátoral- jajhely		Er 9 Erdőbenye	Sz 10 Szob
Megnevezés	augitos olivinbazalt		mészke		diabáz	porfirós piroxéndezit		amfibolós and.		porfirós piroxéndezit		riolit
Duzzadókapesség, %	0,758	0,334	0,238	0,087	0,817	0,242	0,184	0,681	0,278	0,516	0,229	0,200
Kockaszilárdság (légszárak) MPa	218,4	298,5	153,2	132,0	236,3	295,0	267,0	136,5	219,8	198,7	296,7	120,0 (35,8)
Hajlító-húzó szilárdság (vízzel telített) MPa	8,6	39,3	12,8	13,7	6,1	18,7	22,9	17,3	23,8	24,4	26,1	19,9
Hajlító-húzó szilárdság (kiszáritott) MPa	9,4	37,2	6,5	9,2	3,9	20,6	22,6	11,2	20,4	15,3	22,1	20,4
Kopás, mm – vízzel telített – kiszáritott	3,09 2,81	2,17 1,625	3,28 2,83	4,21 3,55	2,9 2,19	1,58 1,63	1,75 1,855	3,30	2,47 2,29	3,68 2,60	1,55 1,40	0,40 0,74
Hőtágulási együttható (0–40 °C) 10 <sup>-6</sup> /°C	5,1	4,5	2,5	3,7	5,7	4,1	4,5	6,1	5,2	4,7	3,9	4,7
Hasábszilárdság MPa	165,3	220,1	116,8	83,2	180,4	221,4	223,5	113,5	214,8	165,3	240,6	159,5
Rug. modulus Mp/cm <sup>2</sup>	1065	1125	660	565	1175	1335	1200	720	1035	1002	1310	637
Deval érték	10,53	15,38	9,11			11,44	6,35	6,67	10,82	8,70	8,00	8,35
Aprózódási veszteség %	17,2	17,3	25,3	24,6	12,8	16,7	26,9	25,3	18,2	18,8	22,0	
Szétmorzsolódási tényező	0,31	0,25	0,63	0,53	0,20	0,26	0,44	0,40	0,26	0,23	0,46	
Zúzalékok 12/20 20/35 35/55	nNZ nNZ nNZ	nNZ nNZ nNZ	nNZ nNZ nNZ		nNZ nNZ	nNZ nNZ	nNZ nNZ nNZ	nNZ nNZ nNZ	nNZ nNZ nNZ	nNZ nNZ nNZ	nNZ nNZ nNZ	
Fagylyugulási tényező 108 fagyaszítás után 156 fagyaszítás után	0,97 1,17	0,99 0,94	1,20 1,16	1,03 1,05	– –	0,97 1,00	1,04 0,55	1,09 0,99	0,94 0,97	0,89 1,00	1,05 1,05	0,73 0,61

ság között. Pl. andezitek esetében az átlagos viszonyszám 0,0662 és 0,120 között változott. A kiszáritott és a vízzel telített hasábok hajlító-húzó szilárdságának a viszonya szintén eltért egymástól, andeziteknel 0,91 és 1,60 közötti volt.

A vizsgált kőzetek közül a legjobb kopásállóságot mutatta (31.20. táblázat) a riolit (Gy 12), a nógrádkövesdi (Ng 11) és recski (R 5) andezit, valamint a zalahalápi bazalt. Legkevésbé kopásállóak a mészkövek, a sátoraljaújhelyi andezit (S 8) és a zalahalápi bazalt (Z 2).

A vízzel telített kockák szilárdsága mindig kisebb a kiszáritotténál (31.18., 31.19., 31.21. táblázat).

A Rockwell-féle keménységvizsgálat során nyert teljes és maradó alakváltozás, továbbá a mérési mód 31.7.4. fejezetben ismertetett módosított változata által nyert hasonló keménységjellemzők és a kőzet nyomószilárdsága között létezik korreláció, ez lehetővé teszi a szilárdságbecslést. Az összefüggés azonban 100–200 MPa szilárdság között jobb, mint 200 MPa-nál nagyobb szilárdságú kőzetek esetén.

Zúzalékok szétmorzsolódási tényezője és összenyomódással nyert halmazszilárdsága között jó korreláció áll fenn.

Meghatároztuk a különböző kőzetek hőtágulási együtthatóját 0–40 és 30–60 °C hőmérséklettartományban (31.29. táblázat), azonban ez az érték csak tájékoztató adatként használható.

A légszáraz kőzetek kockaszilárdsága ( $f_{\text{cube}}$ ) és hasábszilárdsága ( $f_{\text{pr}}$ ) között

$$f_{\text{pr}}=0,79 f_{\text{cube}},$$

a kezdeti rugalmassági modulus ( $E_0$ ) és a prizmaszilárdság között

$$E_0=210+0,43 f_{\text{pr}}$$

összefüggést találtak érvényesnek  $f_{\text{pr}}=500$  MPa esetére.

Benyomódásmérés (Rockwell), visszapattanásmérés (szklerográf), ultrahang terjedési sebességének a mérése (betonoszkóp), rezonanciamérés (Kretz) segítségével tanulmányoztuk a kőzetek fagyasztás hatására bekövetkező változásait. Mindegyik alkalmas a tönkremeneteli folyamat követésére.

## 31.14. Utószó

E könyv szerzői megkérték dr. Gálos Miklóst, az Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék nyugalmazott egyetemi tanárát, a témakör legjobb magyar művelőjét, hogy e fejezetet egészítse ki az alábbiak szerint.



Építőkö termékek egyik legnagyobb felhasználó iparága az útépités. A felgyorsuló autópálya-építés, valamint úthálózatunk fenntartása egyre szigorúbb minőségi követelményeket támaszt a kőbányákkal, köfeldolgozó üzemekkel szemben. Az elvárásokkal alátámasztott igények kielégítése minden területen nagymértékű technológiai fejlesztést eredményezett. A beépítésre kerülő kőzetváltozatok alkalmasságát azok vizsgálatokkal meghatározott minősítő tulajdonságaival ítélik meg.

Az alkalmasság megítélése a múlt század hatvanas-hetvenes éveiben az MSZ 1991-70 számú szabványra volt alapozva. Ebben a szemléleti rendben készült az a kutatási munka, melynek eredményei, az eredmények közötti összefüggések bemutatása, valamint az alkalmasság megítélésének rendje általános érvényű megállapításokat tartalmaz. Amikor a kutatás eredményeit a kőzetváltozatok alkalmasságának megítélése szempontjából hasznosítjuk, érdemes figyelemmel kísérni azokat a változásokat, melyek a minősítés rendjében szemléleti rendszerű változást okoztak, és amelyek néhány esetben a vizsgálati módszerekre is kihatással voltak.

Az 1970-es évek végén került kidolgozásra az az egységes, az építési kőanyagokra vonatkozó szabványrendszer, amelyben a mintavételezéstől a vizsgálati szabványokon keresztül a termékszabványokig szabályozásra került a minősítés folyamata. Az egy darab MSZ 1991-70 szabvány helyett az MSZ 18280-78 – 18280-80 számú szabványok közel 50 db szabványa látott napvilágot. A szabványrendszer **kőanyagcentrikus szemléleti rendszerű** volt, amelynek szemléleti rendjében került kidolgozásra az útépitési zúzott kőanyagok minőségi követelményeit előíró Ütügyi Műszaki Előírás. A kőzetanyag alkalmasságának megítéléséhez a felhasználás céljának megfelelően a szemszerkezetre, a szemalakra és a kőzetanyag kőzefizikai – sűrűségi, víztartalmi, szilárdsági, időállósági és technológiai – tulajdonságaira vonatkozó követelmények szerepeltek.

Csatlakozásunk az egységes európai szabványrendszerhez eredményezte a harmonizált, az MSZ EN szabványok bevezetését, korábbi magyar szabványok visszavonását. A harmonizált európai szabványok szemléleti rendje nem kőzetcentrikus, hanem **termékcentrikus**. Ez azt jelenti, hogy a különböző felhasználási területekre külön termékszabványok kerültek bevezetésre. Természetesen ehhez igazodóan a Nemzeti Alkalmazási Dokumentumoknak (NAD) tekinthető Ütügyi Műszaki Előírások is alkalmazkodtak, és a felhasználás céljának megfelelően külön-külön ÚT-ok jelennek meg. (Pl. ÚT 2-3.601 *Útépitési zúzottkövek és zúzott kavicsok*, ÚT 2-3.602 *Kőlisztek*, ÚT 2-3.207 *Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei* stb. Ezekben az Ütügyi Műszaki Előírásokban az alkalmasságot megítélő vizsgálati követelmények folyamatosan követik a szabványok korszerűsítése miatt bekövetkező változásokat.)

A termékszabványokban szereplő minősítő vizsgálatok vizsgálati szabványai is a kor műszaki követelményeit figyelembe vevően, nemzetközileg egységesítettek. Az útépitési kőanyagok vizsgálati szabványai a *Kőanyaghalmozok...összefoglaló* című szabványsorozatba tartozóak (MSZ EN 1367-...). A vizsgálati szabványok közül



azok a szabványok, amelyeket a termék-előírások nem használnak, már nem kerültek be a minősítési rendszerbe, ezzel szemben pedig fontos tulajdonság jellemzésére új vizsgálati szabványok jelentek meg.

Zúzottkő-termékeknél a szilárdsági és hatásállósági tulajdonságok minősítésére a Los Angeles és a vizes Mikro-Deval aprózódási vizsgálatokat alkalmazzuk, az időállósági tulajdonságok közül csak a magnéziumsulfátos kristályosítási vizsgálat marad a minősítés rendjében a fagyhatással szembeni ellenállás mellett, a nátrium-sulfátos kristályosítási vizsgálat kimaradt.

Az ezerkilencszázkilencvenes évek elejétől a gazdasági életben bekövetkező átalakulás természetesen a nyersanyag-gazdálkodásban is jelentős változásokat hozott. A privatizációs folyamat átrendezte a kőbánya- és köfeldolgozó iparágunkat. Az állami bányavállalatok helyett különböző érdekcsoportokhoz tartozó vállalkozások jöttek létre. Ez a kapacitások koncentrálását eredményezte. Több a hagyományosan ismert bányahelyek közül meg is szűnt, részben azért, mert szigorodtak a természetvédelmi előírások, részben pedig azért, mert a jó, vagy jobb minőségű kőzetanyag már kitermelésre került.

A kutatási munka idején még működő bányák közül Zalahalápon, Nagyharsányban, Egerbaktán, Sátoraljaújhelyen, Tinnyén nem működik kőbánya, Nógrádkövesden is csak a Bercekbánya nevű kőbányában van termelés, és Gyöngyössolymoson nem a riolit-, hanem az andezitbánya termel útépítési kőanyagot. A felhasználói igények kielégítésére új bányahelyek is létesültek, például Kiszána (andezit), Bazsi (bazalt).



# Irodalom

- Armuth A.*: Vákuumozott beton bedolgozásának problémái. Minőségibeton-konferencia kiadványa 1960, 139–142.
- Armuth A.*: A beton vákuumozási eljárás elmélete és alkalmazása. ÉTI kutatási jelentés, 1962.
- Armuth A.*: Tapasztalatok a beton vákuumozásával. Magyar Építőipar 1963, 6, 271–276.
- Aroni, S.–Mehta, P. K.*: Fundamentals underlying shrinkage in concrete – a review. The Indian concrete Journal, 1965. dec.
- ASTM C 215-60 (A 37.82-1964 USA szabvány): Vizsgálati módszer a betonminták keresztirányú, hosszirányú és csavaró alapfrekvenciáinak vizsgálatára
- Asztalos I.*: Ipari padlók a német előírások tükrében, valamint a készítésükhöz alkalmazható korszerű anyagok. Szakmérnöki dolgozat a Szerkezetépítő szak, Betontechnológia Ágazat, 1999.
- Asztalos I.–Németh F.*: Kiöntőhabarcsok és betonok (Útjavítás akár két óra alatt.) Beton, 2001, IX. évf., 11. sz. 22–23.
- Az M7-es autópályabeton (1972) légpórus jellemzőinek meghatározása*, 1973.
- Balázs Gy.*: Építőanyagok, kémia. Tankönyvkiadó Bp. 1984.
- Balázs Gy.*: Beton és vasbeton I. Alapismeretek története. Akadémiai Kiadó, Bp. 1994, 446.
- Balázs Gy.*: Beton és vasbeton II. Mélyépítési beton- és vasbeton szerkezetek története. Akadémiai Kiadó, Bp. 1995, 754.
- Balázs Gy.–Borján J.*: Hézagképzés az M7 autópálya útbetonján BME Építő- anyagok Tanszék, Tudományos Közlemények 18. szám 1975.
- Balázs Gy.–Borján J.*: A cement repedésérzékenysége. Építőanyag, 1988, 4. sz., 131–135.
- Balázs Gy.–Borján J.–Borosné-Liptay A.–Zimonyi Gy.*: Követelmények a cementtel szemben a cementbeton burkolatok repedésérzékenysége szempontjából. A szocialista országok útügyi szakembereinek 4. tanácskozása, 1974.
- Balázs Gy.–Borján J.–Cary, Silva Jaime–Liptay A.–Zimonyi Gy.*: A cement repedésérzékenysége. BME Építőanyagok Tanszék Tudományos Közlemények, 24. kötet ÉTK, 1979.
- Balázs Gy.–Borján J.–Erdélyi A.–Liptay A.–Zimonyi Gy.*: Régi és új útbetonok összehasonlító vizsgálata. Építőanyagok Tanszék Tudományos Közlemények, 16. köt. KÖZDOK, 1976.
- Balázs Gy.–Buda Gy.–Borján J.–Kertész P.–Kovács M.–Liptay A.–Zimonyi Gy.*: Építőköveink vizsgálata útépitési alkalmasság szempontjából. BME Építő-anyagok Tanszék Tudományos Közlemények 20. kötet. KÖZDOK V. 1975.
- Balázs Gy.–Csányi E.*: Az adalékanyagok alkáli érzékenységének szerepe a beton tartósságában. Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle, 1996, 10. sz. 386–388.
- Balázs Gy.–Csányi E.–Gombor P.*: Az adalékszerek hatása a cement repedésérzékenységre. Építőanyag, 2002, 4. sz. 121–129.
- Balázs Gy.–Deméné Csányi E.–Liptay A.*: Útalapbeton pernye-mész-cement kötőanyaggal. Építőanyag, 1987, 3. sz. 268–274.
- Balázs Gy.–Deméné Csányi E.–Liptay A.*: Burkolatalap pernye-mész kötőanyaggal. Építőanyag, 1987, 4. sz. 108–117.
- Balázs Gy.–Erdélyi A.*: Útbetonkísérletek. Építőanyagok Tanszék Tud. Közl. I. köt. KÖZDOK, 1970.



- Balázs Gy.–Erdélyi A.: A kopásálló vízépítési betonok. Építési Kutatásfejlesztés, 1971, 7–8. sz. 27–36.
- Balázs Gy.–Erdélyi A.–Liptay A.: Cementbeton burkolatok élettartama. A szocialista országok útügyi szakembereinek 4. tanácskozása, 1974.
- Balázs Gy.–Liptay A.: Vakhézagok a cementbeton burkolaton. A szocialista országok útügyi szakembereinek 4. tanácskozása, 1974.
- Balázs Gy.–Tóth E.: Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Műegyetemi Kiadó, Bp. 1997.
- Balázs L. Gy. (témavezető)–Kausay T.–Csányi E.–Balázs Gy.–Borosnyói A.–Kocsányiné Kopecskó K.–Józsa Zs.–Salem N.: A betonkorrozio legújabb kutatási eredményei. Az ÁKMI Kht. megbízásából 2005-ben készített tanulmány.
- Balázs L. Gy.–Lublóy É.: Magas hőmérséklet hatása a vasbeton szerkezetek anyagaira. Vasbetonépítés 2009., 2. szám 48–54.
- Balogh S.–Kandó Gy.–Kliment Zs.: Aszfaltburkolat javítása transzportbetonnal. Beton, 2007, XV. évf., 12. sz. 10–12.
- BASF Hungária Kft. Betonadalékszer Üzletág: Alagutak passzív tűzvédelme. Beton, 2010, XVIII. évf. 3. sz. 23.
- Beard, A.–Carvel, R. (eds): The Handbook of Tunnel Fire Safety. Thomas Telford Ltd., London (2005).
- Berecz A.: Hézagképzések – Sika hézagtömítési rendszerek III. Beton, 2000, VIII. évf., 6. sz. 12.
- Bonzel, J.: Beton mit hohem Frost- und Tausalz-widerstand. Betontechnische Berichte, 1965. 185.
- Boromisza T.: Betonburkolatok romlásai. Útügyi Kutató Intézet 16. sz. Kiadványa, 1–18. KÖZDOK Bp. 1961.
- Boromisza T.: Tanulmányutak beton útburkolatok tárgyában. Beton, 2004, XII. évf. 3. sz. 8–9.
- Breyer, H.: Erfassung der Feingefüges von Beton mit den Wassersättigungsverfahren. Betonsteinzeitung, 1962., 12. sz. 581.
- Budelmann, H.: Zum Einfluss Erhöhter Temperatur auf Festigkeit und Verformung von Beton mit unterschiedlichen Feuchtegehalten. Heft 76, Braunschweig
- Csizmadia J.: Az ipari padlótól a díszburkolatig. Beton, 1998, VI. évf., 3. sz. 7.
- Csizmadia J.: Az ipari padlótól a díszburkolatig. Beton, 1999, VII. évf., 2. sz. 9.
- Dettling H.: Die Wärmedehnung des Zementsteines, der Gesteine und der Betone von der Technischen Hochschule Stuttgart zur Erlangung der Würde eines. Dr. Ing. genehmigte Abhandlung, 1961.
- Dolezsai K.–Révay M.: Az alumínát cementek kalcium-alumínátjaiból keletkező hidratációs termékek stabilitásának és stabilizálási lehetőségeinek vizsgálata. Építőanyag 1966, 6, 206–211.
- Dutron, P.–Van Ael, P.: Rongálódás betonutak felületén olvasztósók hatására (Laboratóriumi vizsgálat) Centre Nat. de Recherches Scient. et Techn. pour l'indust. Cémentiere (CRIC) CR-CRIC 17-f 1968, 2–6.
- Egyrétegű betonpadló-burkolatok fejlesztése. Az ÉVM 23. sz. Állami Építőipari Vállalat megbízásából a BME Építőanyagok Tanszéken készített tanulmány, 1969. Témafelelős: Balázs Gy.
- Együd J.: Útbeton ásványi adalékanyagok alkáli érzékenysége és időállósága. Diplomamunka 1974., Veszprémi vegyipari Egyetem Szilikatkémiai Tanszék.
- Erdélyi A.: A beton fagyállóságának megítélése. Mélyépítéstudományi Szemle, 1973, 8., 367–371.
- Erdélyi A.: Beton az útépítésben. Beton, 1995, III. évf., 12. sz.
- Erdélyi A.–Máhr G.: Kiegészítés és helyesbítés a Gyorsbeton cikkhez. Beton, 1999, VII. évf., 7–8. sz. 26–27.
- Fehérvári S.: Betonösszetevők hatása az alagútfalazatok hőtűrésére. PhD értekezés, 2009.
- Fehérvári S.: Betontag 2010 konferencia. Beton, 2010, XVIII. évf., 6. sz. 23–24.
- Fehérvári S.–Nehme S. G.: Betonösszetevők hatása a hő tűrésére. Építőanyag 2009, 61. évf. 2. sz. 48–53.
- Felicetti, R.–Meda, A.: Residual behaviour of reinforcing steel bars after fire. Proceedings of Keep Concrete Attractive Hungarian Group of fib, 23–25 May 2005, Budapest University of Technology and Economics, Bp. 2005, 1148–1156.
- Fleischer, W.: Korszerű beton autópálya építése Németországban (fordította Dr. Erdélyi A.), 2004, 3–7.
- Gébert Z.: Murexin ipari padlók padlóbevonatok. Beton 2003, XI. évf. 7–8. sz. 16–17.
- Gedeon T.: Bauxitcement alkalmazása tűzálló beton készítésénél. Bányászati és Kohászati Lapok 1937, 5.



- Gombor P.: Az adalékszerek hatása a cement repedésérzékenységre. Diplomamunka, 2001. Konzulensek: Dr. Balázs György és Csányi Erika.
- Hager, I.–Pimienta, P.: Mechanical properties of HPC at high temperatures. Proceedings for Fire Design of Concrete Structure. What now?, What next? Edited by P. G., Gambarova, R., Felicetti, A., Meda, P., Riva, December 2–3, 2004.
- Hanzély J.: Magyarország közútjainak története. Útügyi Kutató Intézet 14. sz. kiadványa, 1960.
- Hász S.: Tapasztalataim Olaszországban az útproblémákat illetőleg. MMÉEK, 1927, 7–8, 37–47.
- Hász S.: A betonútkérdésről németországi tapasztalataim alapján. Útügyi Szemle, 1929, 11 (különnyomat 32).
- Hász S.: A magyarországi betonutak. Magyarország Útügyi Évkönyve, 1934, 27–47.
- Hász S.: A magyar betonútépítési rendszerek fejlődése a gazdaságosság szempontjából. Útéptés, 1936, 1.
- Heat on Concrete: Microstructure – Solid Phase; Course on Effect of Heat on Concrete, International Centre for Mechanical Science; 2003. június 9–13., Udine.
- Hilger M.–Liptay A.: Németországban javult a beton útburkolat versenyképessége. Beton, 1995, III. évf. 7–8. sz. 8–11.
- Hsu, T.S.–Slate, F.O.: Tensile bond strength between aggregate and paste of mortar. Journal of the American Concrete Institute. 1963. ápr. 465.
- Ilantzis, N.A.I.: La résistance en traction et la fissuration des pates pures de ciment. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. 1958. II. k. 131 f. 1231–1254.
- Just K.: Párizs város kísérletei modern útburkolatokkal és a fenntartási módszer javításával. MMÉEK, 1928, 20, 22–36.
- Karsainé Lukács K.–Bencze Zs.: Betonutak, 2009, Würtzburg. Beton, 2010, XVIII. évf. 4. sz. 19–21.
- Kausay T.: A szemcsealak statikai szerepe a betonban. Építőanyag XIX. évf., 1967., 3. sz. 110.
- Kausay T.: Halmazgeometriai jellemzők a szemalak függvényében. Építőanyag 1971. XXIII. évf. 11. sz. 422–427.
- Kausay T.: Összefüggés a zúzottkő és kavicstermékek szemalakja és Los Angeles vizsgálat szerinti aprózódási vesztesége között. Építőanyag, 1971. (XXIII. évf.), 7. sz. 248–254., 8. sz. 288–297.
- Kausay T.: Az EN 206 Európa Szabvány honosításából eredő műszaki feladatok megoldása. A betonok alkáli-adalékanyag reakciója. Bp. SZIKKTI jelentés, témaszám: 20-3-II/651. 1994.
- Keleti I.: A forgalom igényeinek és a környezet védelmének egyaránt megfelelő pályaszerkezetek a magyar gyorsforgalmi úthálózaton. Beton, 2004, XII. évf. 4. sz. 3–8.
- Keleti I.: Az útpályaszerkezetek megválasztásának szempontjai az országos közúthálózaton. Közlekedésépítési Szemle, 2010. 60. évf., 12. sz. 17–23.
- Khoury G. A. et al.: Fire Design of Concrete Materials, Structures and Modelling, Proceeding of 1st fib Congress, Osaka, Japan, Oct. 2001.
- Khoury, G. A.–Majorana, C. E.–Pesavento, F.–Schrefler, B.A.: Modelling of heated concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 54/2, 2002, 77–101.
- Kiskovács E.: Útburkolat felújítása vékonybeton szőnyegezéssel. Beton, 2007, XV. évf. 12. sz. 8–9.
- Komló Cs.: Beton térburkolatok. Beton, 2000, VIII. évf., 7–8. sz. 9.
- Kopycinski, B.: A vákuumbeton alkalmazása a lengyel építőiparban. Minőségi betonkonferencia 1960. Konferencia kiadvány, 125–142.
- Kovács T.: Betonút-építés Lengyelországban II. Beton, 2003, XI. évf., 12. sz. 10–13.
- Lányi Gy.: Tér (burkolat) nyelés: De hogyan? Beton, 2000, VIII. évf., 7–8. sz. 10–11.
- Léggépzőszerek hatásmechanizmusa I.–II. A BME Építőanyagok Tanszék KK 9/1971 sz. Kutatási Jelentése. Készítette: Erdélyi A.–Zimonyi Gy.
- Lipcei P.: Kéreg erősített monolit ipari padlók segédanyagai. Beton 2000, VIII. évf. 6. sz. 26–27.
- Lipcei P.: Kéreg erősített monolit ipari padlók segédanyagai. Beton 2001, IX. évf., 4. sz. 8–9.
- Liptay A.: Betonburkolatok tartóssága. Betonszerkezetek tartóssága, 1966, Budapest c. konferenciakiadvány.



- Liptay A.*: Betonburkolatok tartósságának és időállóságának technológiai kérdései. Műszaki doktori értekezés, 1972.
- Liptay A.*: A betonútépítés helyzete és jövője Magyarországon. Beton, 1996, IV. évf., 1, 2, 3, 4. számai.
- Liptay A.*: A betonútépítés helyzete és jövője Magyarországon. Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle 11. száma, 1996.
- Liptay A.*: A beton pályaburkolatok új hazai műszaki előírása. Közúti és Mélyépítéstudományi Szemle, 2000.
- Liptay A.*: Betonburkolatok húzószilárdságának fáradása. Beton, 2010. január és 2010. február (XVIII évf. 1. és 2. sz.)
- Lublóy É.*: Tűz hatása betonszerkezetek anyagaira. Doktori értekezés, BME. (2007).
- Lublóy É.–Balázs L. Gy.*: Tűz hatása a betonra. Beton 2010, XVIII. évf. 3. sz. 3–8.
- M7 autópályabeton légpórus jellemzőinek meghatározása a BME Építőanyagok Tanszék KK 209.062 (1972). Készítette: *Erdélyi A.–Zimonyi Gy.–Borosné.*
- Mádi A.*: Alkáli korróziós vizsgálatok tapasztalatai szegedi Északi Tisza-híd előre gyártott vasbeton gerendáin. Beton 1998, VII. évf., 6. sz. 18–21.
- Mailjan, R.L.*: Metodika iszpitanija i ocenki uszadocsnoj trescsinosztojkoszti betonov. Beton i Zselezobeton, 1968. 8.f. 40–42.
- Majorosné Lublóy É.–Balázs L. Gy.*: Műanyagszál adagolású betonok alkalmazási lehetőségei, különös tekintettel a tűzállóságra. Vasbetonépítés 2006, 2. sz. 57–63.
- Majorosné Lublóy É.–Nemes R.–Balázs L. Gy.–Józsa Zs.*: Könnyű adalékanyagos betonok maradé nyomószilárdsága tűzterhelés után. Építőanyag 2006, 2. sz. 41–46.
- MAPEI Kft.: MAPEI termékek ipari padlókhöz, betonhoz és cementhabarcsokhoz. Beton, 1999, VII. évf., 2. sz. 16.
- MÉÁSZ ME-04. 19-1995: Hő-, ill. tűzálló betonok.
- MÉÁSZ ME-04-19:1995. 19. Fejezet. Víz alatti betonozás.
- Mészáros Gy.*: Tartószerkezetek tűzállósági méretezése, Kutatási jelentés, ÉMI, 1990.
- Naus, D. J.*: Primer on Durability of Nuclear Power Plant Reinforced Concrete Structures – A Review of Pertinent Factors Division of Fuel, Engineering and Radiological Research Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. Nuclear Regulatory Commission megbízásából Oak Ridge National Laboratory (NRC Job Code N6002), 2007. február, Washington, DC.
- Nelson–Frey*: Lightweight Structural Concrete Proportioning and Control Journal, A.C.I. 1965., 5. sz.
- Nemesdy E.*: Utak és autópályák pályaszerkezete. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1971.
- Németh F.–Berecz A.*: Sika anyagrendszerek, technológiák és berendezések az M6 autópálya építésében. Beton, 2010, XVIII. évf., 3. sz. 8–11.
- Palotás L.–Balázs Gy.*: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton–habarcs–kerámia–műanyag. Akadémiai Kiadó, Bp. 1980.
- Palotás L.–Kilián J.–Balázs Gy.*: Betonszilárdítás. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1968.
- Polgár L.*: Új tendenciák az ipari padlók építésében. Magyar Építőipar 1995. XI. sz. 266–269.
- Polgár L.*: 4. Nemzetközi ipari padló konferencia. Beton, 1999, VII. évf., 5. sz. 3–4.
- Polgár L.*: Acélszálerősítésű beton alkalmazása ipari padló építésében. Szálerősítésű betonok (1999 Budapest) konferencia.
- Puskásné Hőgyes I.*: A dunántúli dolomitok alkalmassága építési célra. Építőanyag, XXX. évf., 1978. 8. sz. 307?–314.
- Rejtő P.*: Ipari padlók HAREX acélszálás betonból. Beton, 1998, VI., évf. 3. sz. 7.
- Révay M.*: Alumínát cement felhasználása különleges célokra. Szilikátechnika 1966, 3. 49.
- Révay M.*: Az adalék-alkáli reakció. Az adalék-alkáli korrózió valószínűsége hazánkban. *Betonszerkezetek tartóssága* c. konferencia. 1996, Bp.
- Révay M.*: Néhány kevésbé ismert példa a beton korróziójára. Beton, 2004, XII. évf. 1. sz. 10–13.



- Reváy M.–Dolezsi K.: Aluminát cementek (bauxitcementek és tűzálló timföldcementek) új, hazai gyártástechnológiájának kidolgozása és megvalósítása. SZIKKTI 20-1-III/448 témaszámú kutatás jelentése 1989.
- Reznák L.: A zúzalékszemek alakjának hatása a zúzalékhalmozatok egyes tulajdonságaira. Építőanyagok XIX. évf. 1967., 8. sz. 294.
- Reznák L.: A zúzalékszemek alakját jellemző vizsgálati módszerek és előírások. Mélyépítéstudományi Szemle. 1967., 8. sz. 355.
- Reznák L.: A zúzalékszemek alakját jellemző vizsgálati módszerek és előírások. Mélyépítéstudományi Szemle. XVII. évf. 1967., 8. sz. 355.
- Reznák L.: Útpályák csúszásellenállásának mérése és érdes kialakítása. Kandidátusi értekezés, 1973.
- Schneider, U.: Properties of Materials at High Temperature on Concrete, RILEM Publ., 2<sup>nd</sup> Edition, Gesamthochschule Kassel, Universität Kassel, 1986.
- Schneider, U.–Horvath J.: *Behaviour of Ordinary Concrete at High Temperature*, Vienna University of Technology, Institute of Building Material, Building Physics and Fire Protection, Vienna, Austria in Khroustailev, B. M.; Leonovich, S. N. és Schneider, U.: *Behaviour of Concrete at High Temperature and Advanced Design of Concrete Structures* Proceedings of the International Conference „Construction and Architecture”, Minsk, 2003.
- Schneider, U.–Lebeda, C.: Baulicher Brandschutz. W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart.
- Segédlet vákuumbeton készítéséhez TREMIX eljárással. Hídépítő Vállalat Műszaki Osztály, TS-B 26-1989.
- Short, N.–Purkiss, J.: Petrographic Analysis of Fire-Damaged Concrete; Gambarova, P. G.; Felicetti, R.–Meda, A.–Riva, P (eds.): Proceedings of the Workshop: Fire Design of Concrete Structures: What now? What next?, Milan University of Technology, 2004. december 2–3., 221–230, Milano.
- Sika Hungária Kft.: Ipari padlók. Beton, 1998, VI. évf., 7–8. sz. 10.
- Sika Hungária Kft.: Sika CarboDur szerkezetmegerősítés. Beton, 2001, IX. évf., 10. sz. 18.
- Silfwerbrand J.: Guidelines for preventing explosive spalling in concrete structure exposed to fire, Proceedings of Keep Concrete Attractive, Hungarian Group of fib. 23–25. Mai 2005, Budapest, University of Technology and Economics, Bp. 2005, 1148–1156.
- Simon T.: A beton munkahézag nyírási teherbírása II. Beton, 1999, VII. évf., 11. sz. 13–15.
- Sipos L.: A Ferihegyi repülőtér előterének bővítése. Beton, 2009, XVII. évf., 6. sz. 16–17.
- Spránitz F.: Betonburkolatok. Beton 2005, XIII. évf., 5. sz. 8–10.
- Springenschmid, R.: Über geschnittene Fugen und frühzeitige Verkehrsfreigabe. 2. Europäischer Symposium über Betonstrassen. Bern, 1973. Berichte B5.
- Springenschmid, R.–Nischer, P.: Untersuchungen über die Ursache von Querrissen im jungen Beton. Beton- und Stahlbetonbau 68 (1973) H. 9, S. 221–226.
- Steigenberger, J.: Betonutak Ausztriában – irányzatok és fejlesztés (fordította: Dr. Erdélyi A.)
- Szautner Cs.: Betonfolyósítás hideg időben. Beton, 2000, VIII. évf., 7.
- Szautner Cs.: MAPECRETE rendszer. Beton, 2011, XIX. évf., 3. sz. 14–17.
- Szautner Cs.: MAPEI a betoniparban. Beton, 1999, VII. évf., 3. sz. 12–13.
- Talabér J.: Az alkáliák és a cement. Építőanyag 2002/4, 112–116.
- Talabér, J.–Erdélyi A.–Borján.: Roncsolásmentes vizsgálati módszerek beton korrózió, illetve fagy okozta károsodásának meghatározására laboratóriumi körülmények között. I. rész. Vizsgálati módszerek, előkísérletek. BME Építőanyag Tanszéken készült tanulmány, 1969.
- Talabér, J.–Erdélyi A.–Borján.: Roncsolásmentes betonvizsgálatok. BME Építőanyagok Tanszéken készült tanulmány, 1971.
- Tevan Zs.: Szerkezethez felhasználható könnyűadalékos betonok szilárdsági és alakváltozási jellemzőinek vizsgálata. A BME Építőanyagok Tanszéken 1968-ban készített kutatási jelentés.
- Theis, D.–Bohlmann, E. (fordította: Asztalos István): Beton térkövek. Beton 2000, VIII. évf. 7–8. sz. 3–8.
- Thul H.: Brückenbau. (VII. Int. Spannbeton-Kongress) Beton und Stahlbetonbau 1974, 49–57.

- Tűzálló cementek nagyüzemi gyártási kísérlete. Szilikátechnika 1966, 2. 48.
- Ujhelyi J.: Betonismeretek. Műegyetemi Kiadó, Bp. 2005.
- Ujhelyi J.: Műszaki előírás. Beton és vasbeton készítése. 11. fejezet. Alkáli-kovaszav és alkáli-karbonát reakcióinak ellenálló betonok. MÉÁSZ. ME 04.19.1995.
- Útbetonkísérletek 4. Hőmérsékleteloszlás a friss útbetonban. A Betonútépítő Vállalat megbízásából készített tanulmány (1972). Készítették: Balázs Gy. (témafelelős) és Berényi M.
- Útbetonkísérletek 22. Útalapbetonok 1. A Betonútépítő Vállalat megbízásából készített tanulmány (1977). Kohósalak kötőanyagú beton. Készítették: Balázs Gy. (témafelelős), Arany P., Faragó Zs. és Gondos L.
- Útbetonkísérletek 23. Útalapbetonok 2 (1979). A Betonútépítő Vállalat megbízásából a BME Építőanyagok Tanszéken készített tanulmány. Témafelelős: Balázs Gy. és Liptay A.
- Útbetonkísérletek 24. Útalapbetonok 3. A Betonútépítő Vállalat megbízásából készített tanulmány (1980). Kohósalak és mészkötőanyagú beton. Készítették: Balázs Gy. (témafelelős) és Arany P.
- Útbetonkísérletek. A Betonútépítő Vállalat megbízásából készített tanulmány (1984). Pertyekötőanyagú beton. Készítették: Balázs Gy. (témafelelős), Józsa Zs. és Deme I.-né.
- Vákuumbeton padló TREFORM gerendával. 31. Állami Építőipari Vállalat.
- Veszprémi Vegyipari Egyetem Szilikátkémiai Tanszék: Útbetonburkolatok ásványi adalékanyagának alkáli érzékenysége. Betonútépítő V. megbízásából készített R 42-11-7/1972. sz. kutatási jelentés.
- Vízépítési beton kísérletek (1969–1972). BME Építőanyagok Tanszék KK 19/1969 (Erdélyi A.–Horváth A.)
- Vuorinen, J.: On the behaviour of hardened concrete during freezing (1968).
- Weiss Gy.: A vákuumbeton. MÉLYÉPTERV Műszaki Közlemények 1951.
- Winterberg, R.–Dietze, R.: *Efficient passive fire protection systems for high performance shotcrete*, Proceeding for the Second International Conference on Engineering Developments in Shotcrete, Cairns, Australia, October, 2004.
- Woods, H.: Durability of Concrete Construction Amer. Concr. Inst. (ACI) Monograph. No. 4. 1968. Detroit, USA.











■ **A Különleges betonok és betontechnológiák IV. kötete a következő fejezeteket tartalmazza:**

**Víz alatti betonozás**

**Alkáli-kovász és alkáli-karbonát reakció és megelőzése**

**Hő-, illetve tűzálló betonok**

**Vákuumozott beton**

**Útbeton (betonutak, repülőterek, térburkolatok betonjai)**

**Építőköveink vizsgálata útépitési alkalmasság szempontjából.**

**Kötetünk segítséget szeretne nyújtani betontechnológusok és szakmérnökök számára a betonok és betontechnológiák tudatos alkalmazásához.**

ISBN 978-963-05-9183-6



9 789630 591836





Balázs György

Balázs L. György



# KÜLÖNLEGES BETONOK ÉS BETONTECHNOLÓGIÁK IV.