

DR. BALÁZS GYÖRGY

**BETON
ÉS
VASBETON
I.**

ALAPISMERETEK TÖRTÉNETE

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

Beton és vasbeton

I.

**A könyv kiadását anyagilag támogatták
(1993. december 31-ig):**

**Az Építés Fejlődéséért Alapítvány
Hídépítő Részvénytársaság
Fővárosi Vízművek ROCLA üzeme
Fővárosi Csatornázási Művek
Betonútépítő Nemzetközi Építőipari Részvénytársaság
Betonútépítő Vállalat
Magyar Cementipari Szövetség
METRO Közlekedésfejlesztési és Beruházási Vállalat
Beton- és Vasbetonipari Művek
Lábatlani Vasbetonipari Vállalat
Alsózsolcai Vasbetonipari Vállalat
Beton- és Vasbetonipari Művek Miskolci Gyára
Ferrobeton Dunaújvárosi Beton- és Vasbetonelem-gyártó Vállalat
Országos Vízügyi Beruházási Vállalat
Építőkémi Kft.
Chem-beton Kft.
Pengebeton Kft.
SIKA-HUNGARIA Kft.
„Ipar a környezetért” Alapítvány**

83841

Beton és vasbeton

I.

Alapismeretek története

Dr. Balázs György

egyetemi tanár
a műszaki tudomány doktora

MTAK



Akadémiai Kiadó · Budapest

699216

Lektorok:

Dr. Talabér József

egyetemi tanár
a műszaki tudomány doktora
(2. és 3. fejezet)

Dr. Újhelyi János

tudományos tagozatvezető
a műszaki tudomány doktora
(4., 5. és 6. fejezet)

Dr. Orosz Árpád

egyetemi tanár
a műszaki tudomány kandidátusa
(1. és 7. fejezet)

MÁGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

ISBN 963 05 6753 9 (összk.)
ISBN 963 05 6754 7 (I. kötet)

Kiadja az Akadémiai Kiadó
1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 19–35.

Első kiadás: 1994

© Balázs György, 1994

Minden jog fenntartva.

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat igazgatója
A nyomdai munkálatokat az Akadémiai Nyomda végezte

Felelős vezető: Zöld Ferenc
Budapest, 1994

Felelős szerkesztő: Nagy Tibor
Műszaki szerkesztő: Csákvári András
A fedéltervet készítette: Székely Edit
Nyomdai táskaszám: 22894

Megjelent 40,75 (A/5) ív terjedelemben
Kiadványszám: 216

Printed in Hungary

M. TUD. AKADÉMIA KÖNYVTÁRA
Könyvleltár 290 /19 95 SZ.

Feleségemnek,
aki 40 éven át
megértéssel fogadta,
hogy rajta kívül
még egy szerelmem volt:
a tudomány és az oktatás.

Előszó

Hazánkban ez az első könyv, amelyik átfogóan tárgyalja a beton és a vasbeton történetét. Az eddig megjelent könyvek csak a cement vagy a vasbeton fejlődésének korai szakaszát ismertették.

Abban a szerencsés helyzetben voltam, hogy eddigi életem során a cementet, a betontechnológiát, a betonismeretet és a vasbeton szerkezeteket magam is tanítottam, sőt kutatási és ipari tevékenységem során nagyrészt műveltem is. Ez adott bátorságot e könyv megírásához.

A beton és vasbeton fejlődésének történetét mint az anyag, a technológia és az ismeretek fejlődésének a kölcsönhatását tekintettem és foglaltam össze három kötetben.

Az *első kötetben*, melyet az olvasó a kezében tart, a beton és a vasbeton alapjainak a fejlődéstörténetét mutatom be. Ezek: a portlandcement, a bauxitcement, a betonismeret, a betontechnológia, az építéstechnológia és a vasbeton-ismeret.

A *második* kötet a mélyépítési beton- és vasbeton szerkezetek történetét tartalmazza. Ezek: útépítési betonok, közúti hidak, vasút vasbeton szerkezetek, föld alatti vasút, vízellátás és csatornázás, zsilipek, duzzasztók beton- és vasbeton szerkezetek.

A *harmadik kötetben* tárgyalom a magasépítési vasbeton szerkezeteket: a házak, ipari és mezőgazdasági szerkezetek, középületek vasbeton szerkezetek fejlődésének a történetét.

A magyarok — köztük a mérnökök és építészek — többször szóródtak szét a világban. Érdekes volna egyszer arról is írni, hogy mit alkottak új hazájukban, ill. az itthon maradtak mit építettek külföldön. A hírek szerint bárhová kerültek, megállták a helyüket. Ez önmagában bizonyítéka annak, hogy mérnökképzésünk — függetlenül a társadalmi rendszertől — mindig magas színvonalú volt. Persze az itthon maradtak is helytálltak. Annyi tartaléka volt a társadalomnak, hogy a külföldön munkát vagy új hazát keresők hiányát alig éreztük meg. Néha kevesebb volt a jó feladat, mint a jó mérnök.

Az itthon maradottaknak persze nehézségekkel kellett megküzdeni az elmúlt 40 évben (a forint nem volt konvertibilis, hiányzott az ipari háttér, az ár általában nem tükrözte az értéket, érvényesült bizonyos sematizmus, a minőség nehezen jutott érvényre a mennyiségi szemlélettel szemben stb.), de az

akaraterővel párosuló tehetség előbb-utóbb érvényre jutott, és szerencsére mindig volt az újra fogékony ipari vezető is. Hamarosan kinőttük azt a betegséget is, hogy mindent magunk akartunk kitalálni. A II. világháború után kb. egy évtizeddel oldódni kezdett a bezárkózásunk is. Meggyorsította a fejlődést a korszerű technológiák átvétele.

A hazai fejlődés csak pár évvel maradt el a nyugatitól. Ezt a fejlődést, amely hidakban, épületekben, vízi műtárgyakban stb. valósult meg, szeretném e trilógiában ismertetni. A II. és III. kötetben szerepelnek a mérnöki, építészeti alkotások. Tulajdonképpen sokkal több megérdemelné az ismertetést, mint amennyire lehetőség nyílik. Ezért azt a módszert választottam, hogy pl. egy hídtypusból csak az elsőt ismertettem részletesen, míg a többit táblázatosan foglaltam össze. Úgy ítélem meg, hogy a tervező álmodja meg az alkotást, de a kivitelező lehel lelket belé. Nem szabad elhallgatnunk az alkotó ember szerepét. E könyvben szeretnék legalább az alkotások fő szereplőinek (tervező, kivitelező, építési ellenőr) maradandó emléket állítani. Azt is tudom, hogy minden alkotást nem említhettem meg. Továbbá minél nagyobb az alkotás, annál nagyobb mérvű a csapatmunka. E helyen kérek elnézést mindazoktól, akiknek a neve kimaradt, hiszen igen nehéz volt meghúzni a határt. Kérek mindenkit, hogy hívják fel a figyelmemet mindarra, ami egy második kiadás esetén a könyvben megemléendő lenne.

A könyv megírása során arra törekedtem, hogy minél nagyobb mértékben támaszkodjam megjelent írott anyagra. Ezekre a szövegben hivatkozom és szerepeltetem az irodalomjegyzékben. Az irodalomban azonban sok minden nem található meg. A hiányzó ismeretet a vállalatok megjelent kiadványaiból és személyes kapcsolatok révén szereztem be. Nagyon sokan segítettek. Külön örömmel tölt el, hogy bárkihez fordultam legalább tanáccsal segített. A *konkrét segítők* nevét, akiktől az ábrákat, táblázatokat átvettem vagy kaptam, az ábrák, a táblázatok felirataiban megadtam. Az egyes kötetekhez legtöbbet nyújtóknak a kötetek előszavában mondok köszönetet.

A könyv 1992-ben zárult le és csak ritkán tartalmaz 1993. évi adatokat.

A könyvek kiadását elősegítette, hogy a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományos Osztálya könyvkiadási tervébe vette és az első kötethez elvi támogatást nyújtott. Igen fontos volt az a segítség, hogy az Építés Fejlődéséért Alapítvány a kézirat elkészítéséhez szerzői ösztöndíjat adott. A könyvsorozat azonban nem jelenhetne meg a vállalatok, intézmények anyagi támogatása nélkül. 1993. év végéig az II. oldalon feltüntetettektől kaptam anyagi támogatást. Itt köszönöm meg mindazok segítségét, akik a könyv kiadásához anyagilag is hozzájárultak.

A könyv lektorálását *dr. Talabér József* egyetemi tanár, a műszaki tudomány doktora, *dr. Újhelyi János* tudományos tagozatvezető, a műszaki tudomány doktora, c. főiskolai tanár, c. egyetemi docens, valamint *dr. Orosz Árpád* egyetemi tanár, a műszaki tudomány kandidátusa vállalta. Gondos munkájukkal, értékes bírálatukkal, hasznos tanácsaikkal nagymértékben segítették a könyv végleges kialakítását.

Az anyaggyűjtésben nyújtott segítségükért a következőknek mondok köszönetet.

A 2. és 3. fejezettel kapcsolatosan *dr. Talabér József* egyetemi tanárnak, a műszaki tudomány doktorának, *dr. Tamás Ferenc* egyetemi tanárnak, a kémiai tudomány doktorának, *dr. Opatzky Ludmillának*, a CEMKUT Kft. ügyvezető igazgatójának, a műszaki tudomány doktorának, *dr. Simon Gyulának*, a CEMKUT Kft. ügyvezető igazgatójának, *dr. Révay Miklósnak*, a CEMKUT Kft. ügyvezető igazgatóhelyettesének, *dr. Tassi Géza* egyetemi tanárnak, a műszaki tudományok doktorának, *Oberritter Miklósnak*, a Bere-mendi Cement- és Mészipari Rt. elnöki igazgatójának, *Márton Istvánnak*, a Bélapátfalvai Cement- és Mészipari Rt. elnöki igazgatójának, *Pintér Sándornak*, a Dunai Cement- és Mészipari Rt. ügyvezető igazgatójának, *Nagy Istvánnak*, a Hejőcsabai Cement- és Mészipari Rt. elnök-vezérigazgatójának, *Sólyom Lászlónak*, a Lábatlani Cementipari Rt. ügyvezető igazgatójának.

A 4. fejezet megírásához *dr. Újhelyi János* tud. tagozatvezető, a műszaki tudomány doktora nyújtott sok segítséget.

Az 5. fejezet megírásához *dr. Hajnal Lajostól*, a SZIKKTI ny. főosztályvezetőjétől, *Nádor Ottótól*, a KEMIKÁL Építőanyagipari Rt. vezérigazgatójától, *dr. Nagy Pál* egyetemi docenstől, *dr. Baczynski Gábortól*, az ÉTI tudományos munkatársától, *Adamkovics Sándortól*, a Magyar Transzportbeton Egyesülés igazgatójától, *Prieszol Józseftől*, a Mélyépítő V. vezérigazgatójától, *Sellei Jánostól*, a PENGEBETON Kisszövetkezet elnökétől, *dr. Meitzen Nándor* gépészmérnöktől, a műsz. tud. kandidátusától, *Sántha Bélától*, a Déldunántúli Vízügyi Építő V. laborvezetőjétől, minőségvédelmi megbízottól, *Polgár Lászlótól*, az ASA Építőipari Kft. ügyvezető igazgatójától és *Rác Kornéliától*, az Építő- és Anyagmozgató Gépek Tanszéke adjunktusától kap-tam tényadatokat.

A 6. fejezet megírásához *dr. Takács Sándor*, az ÉTI tudományos osztályve-zetője, *dr. Tassi Géza* egyetemi tanár, *Nacsa János*, a BVM műsz. vezérigazga-tó-helyettese, *Tápai Antal*, a BVM Budapesti Gyára vezérigazgató-helyettese, *Nagy Árpád*, a BVM Miskolci Gyára igazgatója, *Kurucz István*, a BVM Szolnoki Gyára igazgatója, *Ozvári György*, az Alsózsolcai Vasbetonipari V. műsz. igazgatóhelyettese, *Beluzsár János*, a Lábatlani Vasbetonipari V. igaz-gatója, *Papanek Zsolt*, a BVM főmérnöke, *dr. Liptay András*, a BUV. Rt. műszaki főtanácsosa, *dr. Kocsis Ferenc*, a dr. Kocsis Ferenc és Társai Kft. ügyvezető igazgatója adtak információs anyagot.

A 7. fejezet megírásához nyújtott segítségükért *dr. Kollár Lajos* egyetemi tanárnak, akadémikusnak, *dr. Kaliszky Sándor* egyetemi tanárnak, az MTA levelező tagjának, *dr. Orosz Árpád* egyetemi tanárnak, a műszaki tudomány kandidátusának, *dr. Szalai Kálmán* egyetemi tanárnak, a műszaki tudomány doktorának, *dr. Dulácska Endre* egyetemi tanárnak, a műszaki tudomány doktorának, *dr. Tassi Géza* egyetemi tanárnak, a műszaki tudomány dokto-rának, *dr. Balázs L. György* egyetemi adjunktusnak, a műszaki tudomány kandidátusának mondok köszönetet.

Az Építőanyagok Tanszéke dolgozói közül dr. *Erdélyi* Attila tanszékvezető, a műszaki tudomány kandidátusa biztosította a könyvíráshoz a nyugodt munkafeltételeket, *Gruber* Mária az irodalomgyűjtéssel és ábrák rajzolásával, *Tompa* Tiborné, dr. *Bényei* Andrásné és dr. *Szerémi* Lászlóné a kézirat gépelésével, *Erdélyi* Zoltánné ügyintézéssel, *Sugár* Zsigmond egyetemi hallgató a névmutató elkészítésével segítette munkámat. Segítségüket köszönöm.

Az első kötet szép kiállítása az Akadémiai Kiadó és Nyomda dolgozóinak, elsősorban *Kormányos* József főszerkesztőnek, *Nagy* Tibor irodalmi, *Csákvári* András műszaki szerkesztőnek és *Bubb* Zsuzsanna rajzolónak a munkáját dicséri.

Budapest, 1993. július

a Szerző

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	7
2. Portlandcement	11
2.1. Az ókori cementtől a portlandcementig	11
2.1.1. Az ókori cement	11
2.1.2. A portlandcement	15
2.2. Cementismeret a múlt században	18
2.3. Cementfajták	21
2.3.1. A kohósalak-tartalmú portlandcement	21
2.3.2. Fehér portlandcement	22
2.3.3. A szulfátálló cement	23
2.3.4. A heterogén portlandcement	23
2.3.5. Alitcement	24
2.3.6. A szigmacement	24
2.3.7. Kohósalak-portlandcement előállítására nedves őrléssel	25
2.3.8. Duzzadó cement	26
2.3.9. Mérsékelt C_3A -tartalmú cementek	26
2.3.10. 550 pc	27
2.3.11. Fokozott szulfátállóságú vízzáró cement	28
2.3.12. EN 197/1-2 szerinti adalékos cementek	28
2.3.13. Módosított kötésű, gipszkömentes nagy szilárságú cement	29
2.4. A hazai cementgyártás	30
2.4.1. Előzmények	30
2.4.2. A forgókemencék	31
2.4.3. A Lábatlani Cementgyár	31
2.4.4. A Nyergesújfalui Cementgyár	36
2.4.5. Az Újlaki (óbudai) Cementgyár	37
2.4.6. Beremendi Cementgyár	38
2.4.7. BÉlapátfalvai Cementgyár	41
2.4.8. Hejőcsabai Cement- és Mészművek	45
2.4.9. Tatabányai Cementgyár	49

2.4.10.	Selypi Cementgyár	52
2.4.11.	Dunai Cement- és Mészmű	53
2.4.12.	Eternit Művek	57
2.4.13.	A cementipar szervezete az államosítás után	59
2.4.14.	A gyárak egyéb közös jellemzői	60
2.4.15.	Cementtermelésünk	61
2.5.	A cement vizsgálata és szabványosítása	62
2.5.1.	A vizsgálati módok kialakulása, a szabványosítás kezdete	62
2.5.2.	Új cementszabványok a II. világháború után	66
3.	A bauxitcement	72
3.1.	A kezdetek	72
3.2.	A bauxitcement anyagai	72
3.3.	A cementgyártás	73
3.4.	Az új cement tulajdonságai	74
3.5.	A bauxitcement romlását előidéző folyamatok	77
3.6.	A bauxitbeton karrierje és bukása	80
3.7.	Mi lesz a bauxitbeton épületek sorsa?	85
3.8.	Esettanulmányok	86
3.8.1.	Az OTI-torony	86
3.8.2.	A Központi Állami Kórház	89
3.9.	Napjaink aluminátcementjei	90
3.9.1.	Tűzálló aluminátcementek	90
3.9.2.	Duzzadó cement	91
4.	Betonismeret	92
4.1.	A kezdeti betonismeret	92
4.2.	A betonszilárdság előrebecslése	94
4.2.1.	Szilárdságbecslés geometriai alapelvvel	95
4.2.2.	Szilárdságbecslés reológiai alapelvvel	96
4.2.3.	A szilárdságbecslő függvények összehasonlítása	97
4.3.	Az adalékanyag jellemzése	99
4.3.1.	A szemmegoszlás jellemzése	99
4.3.2.	A szemmegoszlás javítása	102
4.3.3.	Szemalak	102
4.3.4.	Adalékalmazok szilárdsága	103
4.3.5.	Az adalékanyag vízigénye	103
4.3.6.	Az adalékanyag tömörsége, ill. pépigénye	106
4.4.	Struktúra szemléletű betonismeret	107
4.4.1.	A betonstruktúra fogalma	107
4.4.2.	A cementkő hidrátszerkezete	110
4.4.3.	A beton pórusszerkezete	113
4.4.4.	A pórusszerkezet és a hidrátszerkezet vizsgálata	116
4.4.5.	A pórusszerkezet és a betontulajdonságok összefüggése	117

4.4.6.	A cementkő és az adalékanyag közötti tapadás	119
4.4.7.	A beton törési mechanizmusa	121
4.5.	Betontervezés	126
4.5.1.	A Feret-képlet használata a 30-as években	126
4.5.2.	Palotás László betontervezési képlete	126
4.5.3.	Tervezési segédletek	127
4.5.4.	Újhelyi János betontervezési módszere	128
5.	Betontechnológia	131
5.1.	A követelmények	131
5.2.	A beton alkotói	134
5.2.1.	A cement kezelése, szállítása	134
5.2.2.	Az adalékanyag	135
5.2.3.	Adalékszerek a betontechnológiában	146
5.3.	Keverési arányok	152
5.4.	A betonkészítés technológiája	154
5.4.1.	A beton keverése	154
5.4.2.	Munkahelyi betonszállítás	166
5.4.3.	A beton bedolgozása	171
5.4.4.	A munkahézag	175
5.4.5.	Utókezelés	176
5.5.	Iparosított betonkészítés	177
5.5.1.	A fejlődés külföldön	177
5.5.2.	A betongyárak kialakulása hazánkban	178
5.5.3.	Transzportbeton	179
5.5.4.	Automatikus betongyárak	184
5.5.5.	A Budapesti Transzportbeton Társaság	186
5.5.6.	A Mélyépítő Vállalat Északpesti betongyára	188
5.5.7.	A Magyar Építőanyagipari Szövetség	189
5.6.	Betonszilárdítás	190
5.6.1.	Nagy kezdőszilárdságú cement	191
5.6.2.	A tömörség fokozása	191
5.6.3.	A hidratációhő felhasználása	193
5.6.4.	Vegyiszilárdítás	193
5.6.5.	Hőkezelés	194
5.6.6.	Kombinált technológiák	197
5.7.	Különleges technológiák	197
5.7.1.	Vákuumozott beton	197
5.7.2.	Pörgetett beton	202
5.7.3.	Szálerősítésű beton	203
5.7.4.	Ferrocement	207
5.7.5.	A lövellt beton	211
5.7.6.	Betonkészítés másodlagos nyersanyagokból	218
5.8.	A betontechnológia szabályozása	220

6. Építéstechnológia	221
6.1. A technológiák kialakulásának rövid története	221
6.2. Feszített beton	223
6.2.1. A feszítés elve	223
6.2.2. Feszítési rendszerek	225
6.3. Az üzemi előregyártás	233
6.3.1. Gyártási eljárások	233
6.3.2. Fejlődés az acélanyagban	234
6.3.3. Üzemi előregyártással előállított főbb építőelemek	243
6.3.4. Az elemek formázása	245
6.3.5. A gőzölés technológiája	245
6.3.6. Az elemek szállítása és tárolása	248
6.3.7. Betonárúk gyártástechnológiája	249
6.3.8. Vasbeton elemek gyártása	251
6.3.9. Előfeszített elemek gyártása	255
6.3.10. Üzemben előregyártott termékek	261
6.3.11. Beton- és Vasbetonipari Művek	273
6.4. Helyszíni előregyártás	276
6.4.1. Előregyártás a mélyépítésben	276
6.4.2. Előregyártás a magasépítésben	283
6.5. Monolitikus betonépítés korszerű zsaluzatban	283
6.5.1. Zsaluzatok és zsaluzati rendszerek fejlődése	283
6.5.2. Falkészítés nagytáblás zsaluzatban	285
6.5.3. Alagútzsaluzat	289
6.5.4. A csúszózsálas építéstechnológia	295
6.6. Különleges technológiák	305
6.6.1. LIFT-FORM technológia	305
6.6.2. Födémemelés (lift-slab) technológia	306
7. Vasbetonismeret	308
7.1. Feltalálják a vasbetont	308
7.1.1. A vasalt virágcserep	308
7.1.2. A vasalt csónak	309
7.1.3. Az igazi vasbeton kezdetei	312
7.2. A rozsdakérdés, a tűz hatása és a tapadás	313
7.3. A vasbetonépítés kezdetei hazánkban	315
7.3.1. A Monier-rendszer	315
7.3.2. Wunsch-rendszerű merev vasvázás betonszerkezet	318
7.4. A méretezés	319
7.4.1. A méretezési eljárások rövid története	319
7.4.2. A méretezés tiszta hajlításra	322
7.4.3. Méretezés nyíró- és csúsztatóerőkre	335
7.4.4. Nyomásra igénybe vett vasbeton elemek méretezése	344
7.4.5. Nyomásra igénybe vett kibetonozott acélcső méretezése	350

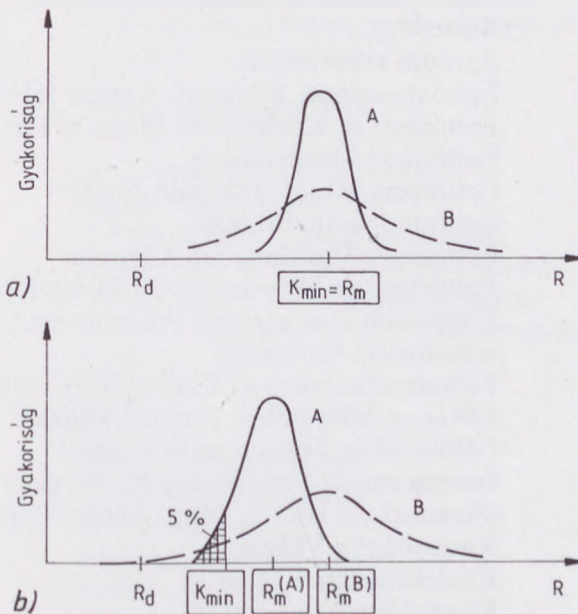
7.4.6.	Merevvázás szerkezetek szilárdsági számítása	352
7.4.7.	Vasbeton gerendák gazdaságos méretezése	353
7.4.8.	Mohr törésmélete	355
7.5.	A lassú alakváltozás (kúszás) hatása vasbeton tartókra	356
7.5.1.	A zsugorodás és lassú alakváltozás fogalma	356
7.5.2.	A lassú alakváltozást befolyásoló tényezők	357
7.5.3.	A lassú alakváltozás hatása beton- és vasbeton szerkezetek erőjátékára	361
7.5.4.	Alapvető viszkoelasztikus modellek	363
7.6	Erőátadódás betonban	365
7.6.1.	Bevezetés	365
7.6.2.	Az együttdolgozás kialakulása és tönkremeneteli módjai	367
7.6.3.	A τ_b -s összefüggést befolyásoló tényezők vasbetonban	370
7.6.4.	A betonacél lehorgonyzódása és toldása	377
7.6.5.	Repedéstágasság számítása	379
7.6.6.	Tartóvég vizsgálata	381
7.7.	Vasbeton szerkezetek viselkedése dinamikus teherre	383
7.7.1.	Egy londoni toronyház sarokrészének összeomlása	384
7.7.2.	Panelos épületek vizsgálata földrengésre	386
7.7.3.	Vasbeton keretvázak képlékeny csuklói (laboratóriumi vizsgálatok)	387
7.7.4.	Méretezés leeső test hatására	390
7.8.	A vasbetonismeret fejlődése a szabályozásban	392
7.9.	Vasbeton szerkezetek törésmélete	405
7.9.1.	Történeti áttekintés	405
7.9.2.	Feltevések az anyagokra és a terhekre	406
7.9.3.	A képlékeny határállapot jellemzése	408
7.9.4.	A képlékenységtan szélsőérték-tételei	410
7.9.5.	Rúdszerkezetek határállapot-vizsgálata (törésmélete)	410
7.9.6.	A tartó beállása	412
7.9.7.	Optimális tervezés, ill. méretezés	413
7.9.8.	Vasbeton lemezek méretezése a képlékenységtan szerint	413
	Irodalomjegyzék	415
	Névmutató	435
	Tárgymutató	442

1. Bevezetés

Sok minden változott egy évszázad alatt.

A cementet — francia hatásra — kb. 1900-ig cémentnek, a betont bétonnak nevezték. Ettől a megnevezéstől eltekintettem.

A betonnak kezdetben csak a térfogat szerinti keverési arányát adták meg. Később az átlagszilárdságát kg/cm^2 -ben. A II. világháború után az átlagszilárdságot pl. B 140-nel jelölték, ahol B volt a beton jele, 140 a beton átlagos kockaszilárdsága 20 cm élhosszú kockán 28 napos korban — az akkori mértékegységben — kg/cm^2 -ben, majd kp/cm^2 -ben. 1980 óta újfajta jelölést adtak meg (pl. C 16), amelyben a C betű a beton jele, 16 pedig MPa-ban a beton 15 cm átmérőjű, 30 cm magas hengeren meghatározott szabványos 28



1.1. ábra. Előírt küszöbértékhez igen eltérő átlagszilárdságok tartoznak. a) $K_{\min} = R_m$; b) $K_{\min} = 5\%$ -os alulmaradási küszöbérték; Jelölés: R_d = számítási érték = határfeszültség; A — jobb minőségű; B — gyengébb minőségű beton

napos nyomószilárdságának a küszöbértéke, amelynél a mérési eredmények csupán 5%-a lehet kisebb. Ezt a küszöbértéket — az 1.1. ábra szerint — különböző átlagszilárdsággal lehet elérni. Ezzel az előírással arra ösztönzik a beton előállítóit, hogy minél egyenletesebb minőségű betont állítsanak elő. Végig meghagytam a korabeli jelölést.

A II. világháború előtti vizsgált időszakban a mértékrendszer nem változott. A II. világháború után 1951-ben a tömeget megkülönböztették az erőtől. A tömeg mértékegysége a kg maradt, az erőé a kp (Mp) lett, és ennek megfelelően a feszültséget és a szilárdságot kp/cm^2 -rel vagy MP/cm^2 -rel jelöltük. 1980-tól nemcsak az erőt és a tömeget különböztették meg, hanem egységes mértékrendszert vezettek be. A könyvben ezekben a ma is érvényes mértékegységekben fejeztem ki a fizikai mértékegységeket. Ahol meghagytam a régi mértékegységeket, ott megadtam az újat is.

A gyakrabban előforduló *rövidítéseket* az alábbiakban foglalom össze:

ACI	American Concrete Institute (Amerikai Beton Intézet)
ÁÉH	Államépítészeti Hivatal
ÁÉTV	Általános Épülettervező Vállalat
ÁÉV	Állami Építőipari Vállalat
BME	Budapesti Műszaki Egyetem
BUV	Betonútépítő Vállalat
BVM	Beton- és Vasbetonipari Művek
CEB	Comité Eurointernational du Béton (Európai Beton Bizottság)
EN	Európai szabványok
ÉAKKI	Építőanyagipari Központi Kutató Intézet
ÉKME	Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem
ÉM	Építésügyi Minisztérium
ÉMI	Építőipari Minőségvizsgáló Intézet
ÉTI	Építéstudományi Intézet
ÉTK	Építésügyi Tájékoztatási Központ
ÉVM	Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium
FIP	Fédération International Precontraint (Nemzetközi Feszítettbeton Szövetség)
FOKA	Folyamszabályozó és Kavicskotró Vállalat
FŐMTERV	Fővárosi Mélyépítési Tervező Vállalat
FTV	Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat
IVBH	Internationale Vereinigung für Brücken- und Hochbau (Nemzetközi Híd- és Magasépítési Egyesület)
KBV	Kavicsbánya Vállalat
KÉV	Közlekedésépítő Vállalat
KÖZTI	Középülettervező Intézet
KPM	Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium

KTMF	Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola, Győr = Széchenyi István Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola = Széchenyi István Műszaki Főiskola
LAKÓTERV	Lakó- és Kommunális Épületeket Tervező Vállalat
MÁK	Magyar Általános Kőszénbánya Rt.
MÁVTI	MÁV Tervező Intézet
MGTSZ	Mezőgazdasági Termelő Szövetkezet
MÉLYÉPTErv	Mélyépítési Tervező Vállalat
MMÉE	Magyar Mérnök és Építész Egylet
NSZK	Német Szövetségi Köztársaság
ORSZAK	Országos Szakipari Vállalat
OVH	Országos Vízügyi Hivatal
RILEM	Reunion International de Laboratoire Materiaux (Építő- anyag Laboratóriumok Nemzetközi Szövetsége)
SZIKKTI	Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet
TTI	Tervezésfejlesztési és Technikai Építészeti Intézet (ko- rábban: Tervezésfejlesztési és Típustervező Intézet)
UKI	Útügyi Kutató Intézet
UVATERV	Út-Vasútervező Vállalat

A *jelöléseket* általában az előfordulás helyén megmagyarázom. A legsűrűbben ismétlődő jelöléseket az alábbiakban foglalom össze:

m	az adalékanyag finomsági modulusa
D	az adalékanyag legnagyobb névleges szemnagysága
A, B, C, D, E, F	az adalékanyag határgörbéi
x	víz—cement tényező = $\frac{v}{c}$
c	a beton cementtartalma, kg/m^3
v	a beton víztartalma, l/m^3
C_3S	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ = trikálcium-szilikát
$\beta\text{C}_2\text{S}$	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ = béta-dikalcium-szilikát
C_3A	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ = trikálcium-aluminát
C_4AF	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ = tetrakalcium-aluminát-ferrit
C	CaO
S	SiO_2
H	H_2O
CSH	kalcium-szilikát-hidrát
E	rugalmassági modulus
$m\%$	tömegszázalék
$V\%$	térfogatszázalék
R	szilárdság, MPa
R_c	nyomószilárdság, MPa
R_t	húzószilárdság, MPa
R_{tt}	tiszta húzószilárdság központos teherből

2. Portlandcement

2.1. Az ókori cementtől a portlandcementig

[B. H. Sinn (1973), G. Haegermann (1964), Nendtvich, G. (1889)]

2.1.1. Az ókori cement

A mai értelemben vett betonhoz hosszú út vezetett. Ehhez szükség volt olyan kötőanyagra, amely nemcsak összeragasztotta a műtárgyak természetes vagy mesterséges alkotóit, az ún. adalékanyagait, és nemcsak arra volt képes, hogy megszilárdult állapotban ellenálljon a víz hatásának, hanem arra is, hogy vízben és levegőn egyaránt megszilárduljon, azaz *hidraulikus tulajdonságokkal* bírjon.

A múlt század közepén már szükségesnek ítélték a kötőanyagok fogalmának definiálását, amit hazánkban *Mihálik J.* híres könyvében (1860) és később *Nendtvich G.* (1889) meg is tett.

A *közönséges kövér meszet* (Luftkalk, Fettkalk, Chaux grasse, Fat lime, White lime) mészkőből nyerték égetés útján. Napjainkban darabos égetett mésznek nevezzük. Vízzel keverve nagy hőfejlődés közben megoltódik, miközben jelentősen nő a térfogata (szaporaság). Ez az oltott mész.

Ha az égetett mészhez csak annyi vizet adtak, amennyi annak a megoltásához éppen elegendő volt, akkor porrá esett szét, és a hidraulizált meszet (Hydraulischer Kalk, Chaux hydratié, Slaked lime) kapták. Mai neve *mész-hidrátpor*. Ezt egy ideig hidraulikus tulajdonságúnak tételezték fel.

Hidraulikus mésznek (Hydraulischer Kalk, Chaux hydraulique, Water lime) a 10—25% agyagtartalmú mészkövek vagy márgák égetése révén előállított terméket nevezték. Ez vízzel keverve egészen vagy részben porrá oltódott, de kicsi volt a szaporasága és felmelegedése. Darabos formában vagy porrá oltva árusították.

A *hidraulikus pótlékok* (Hydraulische Zuschläge, Gangue hydraulique, Stuff hydraulic) olyan természetes vagy mesterséges anyagok, amelyek önmagukban nem szilárdulnak meg, csak mészhidrát jelenlétében. Ilyenek pl.: a vulkanikus tufából készült traszok, a puzzolán- és a szantorin föld, salakok, égetett agyagok.

A *puzzoláncement* (Puzzolan Cemente, Ciment pouzzolane, Puzzolane cement) finomra őrölt hidraulikus pótlék és mészhidrátpor keveréke. Ezeket a hidraulikus pótlék említésével nevezték meg, pl. traszcement.

Hidraulikus tulajdonságú habarcsot Babilon és Ninive romjainál, az egyiptomi építkezéseknél is találtak. Tudatos és rendszeres első alkalmazói a rómaiak voltak. Sőt, a fennmaradt írásos emlékek szerint csak ilyeneket használtak.

Hidraulikus természetű habarcsot használtak pl. az aldunai Traianus-híd pilléreihez, az aquincumi vízvezetékhez (általában a boltozatokhoz), a különféle mozaikmunkákhoz és a Panteon kupolájához.

A rómaiak csakis a hidraulizált meszet, a hidraulikus pótléket és a puzzoláncementeket használták. *Vitruvius*, Augustus császár idejében írott „De architectura” című építészeti munkája részletesen foglalkozik a habarcskészítéssel. E művéből kitűnik, hogy a rómaiak akkora jelentőséget tulajdonítottak a habarcskészítésnek, hogy arra külön tisztviselők ügyeltek fel.

A rómaiak habarcskészítési ismereteiket elterjesztették a birodalom minden részében. Ezek az ismeretek a birodalom bukásával feledésbe merültek. *Nendtvich G.* (1889) szerint talán csak Franciaország déli része kivételével. Ugyanis Lyon környékén és La Bresse-ben a nép még a múlt század végén is a rómaiaktól megtanult módon építkezett.

Hazánkban a pannóniai limest egész sor erődítmény védte a barbárok betörései ellen. Elsősorban Esztergomtól Nagytétényig, majd Dunapentelén, Pakson találhatóak nyomaik. Az építkezés ideje i. sz. 180—370. *Vastagh G.* (1943) kémiai vizsgálatokra alapozva azt állította, hogy opus incertum technikával készültek, azaz különböző nagyságú kövek, kavicsok vannak mészhabarcsba rakva. A vizsgálat alapján feltételezte, hogy nemcsak kalcium-karbonát keletkezett, hanem a mész és homok reakciója eredményeként kalcium-hidro-szilikátok is képződtek.

Hazánkban a XIX. sz. elején mészhidrátport és traszokat használtak hidraulikus kötőanyagként. Az 1820-ban kiadott „*Ingenieur-Direktiv*” utasításokat tartalmaz arra vonatkozóan, hogy ebből hogyan lehet vízálló vagy cementhabarcsot készíteni. Megadták azokat a magyarországi tufalelőhelyeket, amelyek alkalmasak puzzoláncement készítésére.

Századunkban ezek közül a traszlelőhelyek közül csak a mogyoródit tárták fel, elsősorban Rátkán, Sátoraljaújhelyen, Lőrincin, Taron termeltek traszt.

1867-ben Szegilongon traszmalmot építettek, amelyben *Müller J.* és *Cornides* erdőbényei traszt öröltek [*Szumrák P.* (1867, 1869)].

Magyarországon a hidraulikus habarcsot több helyen felhasználták és jól bevált.

1820-ban Swoboda országos műszaki igazgató a budai Császár-fürdő csatornája építéséhez verőcei traszt használt fel. 1864. évi elbontásáig mindig víz alatt volt és elbontásakor jó állapotban találták.

A habarcs készítését *Nendtvich G.* a következőképpen írta le. A mészhidráthoz liszt alakúvá örölt traszt kevertek és hozzá a kísérletek vagy a tapasztalat szerinti arányban élesszemű homokot. Jól összekeverték. Kevés vizet öntöttek rá, és a keveréket addig döngölték, amíg a falazó kanálhoz tapadt és egyenletes nyúlós habarccsá vált. Ha a habarcs döngölés közben keményedni kezdett, akkor annyi vizet öntöttek hozzá, amennyi éppen nyúlóssá tette [*Nendtvich G.* (1889)].

Ismételt döngölés után egy darabig védték a napsugárzás ellen, majd felhasználták. Egyszerre annyi habarcsot készítettek, amennyit aznap el tudtak dolgozni.

A főti templomot *Ybl* Miklós tervezte. A munkagödörben talajvíz volt. Először a vizet kimerték, majd az alapárok fenekét elegyengették és az alapárkot 2"-os pallókkal kibélelték. Ezután egy rész darabos égetett meszet öntöttek a gödörbe, amely a vizes homokban megoltódott. Két térfogatrész mogyródi zúzott követ jól összekevertek téglaliszttel és 30 cm-es rétegekben addig döngölték, amíg bizonyos keménységet elért. Ezután a második, harmadik réteget hasonlóan készítették, amíg a víz színe fölé nem értek. Néhány év múlva megvizsgálták és az alap kemény volt.

A budapesti rakpart Lánchídhöz csatlakozó részét 1854—55-ben *Reitter* Ferenc vezetésével építették. A betonlaphoz a keverési arány:

5	Vrész	mészhidrátpor,
2,5	Vrész	trasz,
10	Vrész	éles, tiszta kvarchomok,
3,5	Vrész	dunavíz.

Ezek összekeverve 15 Vrész sűrű habarcsot adtak. Az így elkészült habarcsot kétszer annyi zúzottkövel keverve süllyesztőszekrényben kb. 3,5 m mélyen a víz alá süllyesztették. Öt-hat nap múlva járni lehetett rajta. Jóságát az bizonyítja, hogy 1889-ben jó állapotban volt [*Nendtvich* G. (1889)].

Szumrák P. (1867) szerint 1867-ben a hazai vízépítésben csak trasz cementet használtak (a Ferenc-csatorna építési munkáit kivéve), pedig ismerték már a románcementet és a portlandcementet, de még nem volt cementgyárunk. *Szumrák* szerint a trasz cement ugyanolyan hidraulikus tulajdonságú, mint a portlandcement, jól használható és viszonylag olcsó. Könnyebb a kezelése, mint az égetéssel előállított cementeké, mert megkeverés után is hosszú ideig tárolható.

A fiumei kikötőben 1871—73-ban hullámtörésre és partvédelemre beton-tömböket készítettek.

Az 530 kg tömegű tömböket a parton készítették. A betont szantorinhabarcsba ágyazott, 100 kg-nál kisebb tömegű, durván faragott vagy faragatlan kövekből készítették. A habarcs összetétele: 11 Vrész szantorin föld hidraulikus pótlék, 4 Vrész oltottmész és 1 Vrész finom szemcséjű homok volt. A tömbök jól megszilárdultak és sikerrel helyezték el azokat a vízben. Az építési feladatot *Nádory* N. (1880) oldotta meg.

A XX. sz. elején újra előkerült a trasz kérdés [*Pesky* J. (1921, 1923)], jóllehet a román- és elsősorban a portlandcementek a puzzoláncementeket már kiszorították.

Már *Lampl* H.—*Sajó* E. (1914) is részletesen foglalkozott a traszkérdéssel. Vízi építményeknél nagy jövőt jósoltak neki az alábbiak miatt:

- a) A trasz leköti a portlandcement szabad meszét, így a mész kilúgozásával járó hátrányokat megszünteti (valószínűen a felületi mészkivirágzásra gondoltak).
- b) A portlandcementhez (bizonyos határig) adagolva, annak szilárdságát nem rontja, sőt növeli.

- c) A beton tömörségét, vízzáróságát fokozza.
d) Sokkal olcsóbb, mint a portlandcement (nem kell égetni), tehát fenti előnyök mellett a betont még olcsóbbá is teszi.

A trasz önmagában nem, de mésszel keverve (a mész lehet a cement szilárdulása során felszabaduló méshidrát is) köt és szilárdul. Kötőképessége oka, hogy a trasz reakcióképes kovasava (SiO_2) a mésszel vízben oldhatatlan kalcium-hidroszilikátokat alkot, alumínium-oxid tartalma pedig kalcium-hidroaluminátokat.

Azonban nem az összes SiO_2 , hanem csak a kötőképes, amorf SiO_2 képes a kalcium-hidroxiddal kalcium-szilikát-hidrátot alkotni. A selypi traszban a kötőképes SiO_2 a Magyar Mérnök és Építész Egyletnek a trasz vizsgálatára vonatkozó határozatai szerint meghatározva csak 21—25 m%. E vizsgálat szerint a 20%-os KOH-ban oldható részt tekintették kötőképes (aktív) kovasavnak. Az oldás során 2—3 m% reakcióképes Al_2O_3 , valamint a trasz SiO_2 -jához vagy Al_2O_3 -jához kötött alkáliák is oldódhatnak, de ezek is reakcióba léphetnek a szilárduló cementben lévő mésszel.

A traszok kavasvartartalma igen eltérő, ezért a lekötendő mészmennyiséget kísérlettel kell meghatározni.

Kedvezőtlen, ha akár a trasz, akár a mész túlsúlyban van. Ha a mész van túlsúlyban, annak lekötetlen mennyiségének káros következményei lehetnek. Ha a trasz van túlsúlyban, az nemcsak drágítja a habarcsot, hanem poros voltánál fogva rossz töltőanyag, csökkenti a szilárdságot.

A traszban lévő kémiaiilag kötött víz (hidrátvíz) és az oldható (aktív) kavasvartalom között arányosság van.

A trasz növeli a vízzáróságát, a savas és tengeri vizekkel szembeni ellenállást, a szilárdságot, a tapadást az acélhoz és csökkenti a kivirágzást.

Növeli a gazdaságosságot is, mivel a cement szabad mésztartalmával reakcióba lép, a cement egy részét a cementnél olcsóbb trasszal helyettesíthetjük. Ennek igazolására *Pesky J.* rotációs kemencében égetett cementtel és kb. 26 m% aktív kavasvat tartalmazó trasszal kísérletsorozatot végzett. A portlandcement 28 napos szabványos nyomószilárdsága 47,8, húzószilárdsága 2,98 MPa, a trasz szabványos 28 napos nyomószilárdsága 12,2 MPa volt.

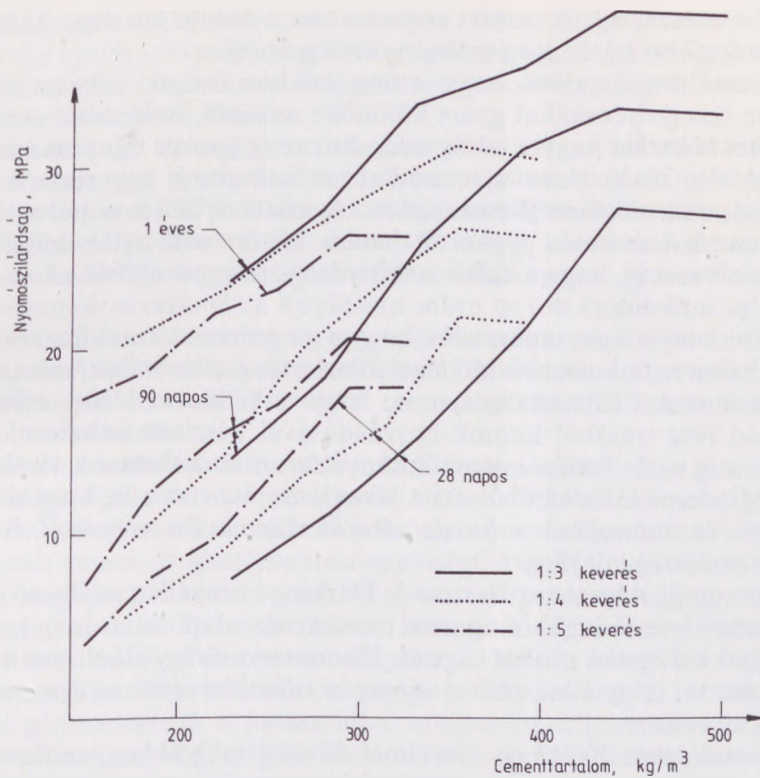
Töltőanyagként 0—3 mm-es dunahomokot használtak, a tömeg szerinti keverőarány 1 : 3, 1 : 4 és 1 : 5 volt úgy, hogy a kötőanyag 10, 20, 30, 40, ill. 50 m%-a trasz volt. A próbatesteket a vizsgálatig vízben tárolták. 28 napos, 3 hónapos és 1 éves nyomószilárdságot határoztak meg.

A cement utószilárdulása (28 nap—1 év) 40—45%, 10 m% trasszal kb. ugyanannyi, 20 m% trasszal 70—80%, 30 m% trasszal 100—120%, 40 m%-kal 150—155%, 50 m%-kal 210—310% volt.

Egy kísérlet eredményeit a 2.1. ábra szemlélteti.

E kísérletek ellenére csak 1950 után került sor a traszportlandcement szabványosítására és azután is nagyon keveset gyártottak.

A traszra vonatkozó előírások a 30-as évekre elavultak. 1933-ban új előírásokat adtak ki az 1909. évi helyett [*Pesky J.* (1934)].



2.1. ábra. A cement-trasz kísérletek eredményei [Pesky J. (1923)]

Századunkban is forgalomba hoztak puzzolán—, ill. trasz—mészhidrát vagy cement gyári keveréket. Ilyen volt a századfordulón a Vulkán-cement. A 30-as években a Hungária Kénsavgyár forgalomba hozta a Puzzolán—B-t, amely a Hungária Puzzolán—A-nak és mészhidrát-nak gyárilag előállított keveréke volt, a Puzzolán—A pedig trasz—mészhidrát keverék.

A II. világháború után még egyszer felmerült a kis szilárdságú mészpuzzolán gyártása *kőműves cement* megnevezéssel Hejőcsabán, de az építőipar bizalmatlanul fogadta, így gyártását meg kellett szüntetni.

2.1.2. A portlandcement

[B. H. Sinn (1973), Nendvich G. (1889), Bereczky E.—Reichard E. (1960)]

Az első jelentős és tudományosan megalapozott lépés akkor következett be, amikor az angliai Plymouth-i öbölben az Eddystone-i sziklára épített fa világítótorny 1756-ban leégett, és J. Smeaton (1724—1792) angol mérnököt bízták meg azzal, hogy kőből építsen új világítótornyot.

Eladdig az volt az elfogadott nézet, hogy minél keményebb a mészkő,

amelyből a meszet égetik, annál erősebb lesz a belőle készített habarcs is. Eszerint a legjobb kötőanyag márványból égethető.

J. Smeaton megvizsgálta, hogy a tengervízben melyik habarcs szilárdul legjobban. Kis golyócskákat gyúrt különféle mészből, homokból és traszból kevés vízzel és ezeket hagyta addig száradni, amíg gyenge ujjnyomásnak már nem engedtek, majd vízbe tette azokat. A habarcsok egy része a vízben feloldódott, más része megkeményedett. A márványból és a puha krétából égetett meszek habarcsra gyakorolt hatása között nem talált különbséget. Ebből azt olvasta ki, hogy a habarcs szilárdsága szempontjából *nem a mésző keménysége a fontos*.

Más kísérletekből azt tapasztalta, hogy a tengervízzel, trasz hozzáadásával készített habarcsok hosszabb idő alatt jobban megszilárdultak, mint az édesvízzel készítettek. Tapasztalta azt is, hogy a kétharmad rész mészből és egyharmad rész traszból homok hozzáadásával készített habarcsok vízben szétestek, míg az 1 : 1 mész—trasz aránnyal készített habarcsok vízállók maradtak. Mindeme kísérletekből azt a következtetést vonta le, hogy a *habarcs vízállósága és hidraulikus volta az alkotók kémiai összetételétől és nem a mésző keménységétől függ*.

Hallotta, hogy Aberthaw, Barrow és Darking környékén található kékes és barnás színű mészkövekből égetett meszek víz alatt szilárduló habarcsot adnak. Ezekkel égetési próbát végzett. Elemezte az így előállított meszeket megállapította, hogy a *mészkövek agyagtartalmában rejlik az égetett meszek hidraulikus volta*.

J. Smeaton tehát 2000 éves hiedelmet döntött meg akkor, amikor a mész égetésére szánt kőzeteket elemezte és kimutatta, hogy *annál jobb a kőzetből égetett mész hidraulikus tulajdonsága, minél több az oldási maradéka*.

J. Smeaton kimondta, hogy cementet kapott (valójában hidraulikus mész volt), és e cementhez a Portland félszigeten található kő mind szilárdság, mind tartósság szempontjából a legjobb.

J. Smeatonnal egyidejűen, ill. öt követően másutt is kísérleteztek.

Mindenesetre J. Smeaton kísérletei vetették meg a cementgyártás alapjait. Az első cementgyárat J. Parker építette az angliai Northfleetben 1796-ban. Az Angliában található márgagumókból, az ún. Sheppey-kőből stb. égetett cementet *románcementnek* nevezte el. Szabadalma száma 2120 (1796).

J. Parker társaságot alapított a románcement előállítására. A napóleoni kontinentális zárlat miatt azonban a románcement lassabban terjedt Európában, mint Angliában.

Ezt az időszakot rohamos fejlődés követte. Keresték a cementgyártáshoz alkalmas kőzeteket. Ahol ezeket nem találták, ott kémiai elemzéssel kutatták, hogy lehet mész- és agyagtartalmú kőzetek megfelelő keverése és megfelelő hőmérsékletű égetése útján mesterséges cementet előállítani.

Ezek közül megemlítem az angol E. Dobbsot, aki 1810-ben adta be Nr. 3376 szám alatt szabadalmát. Eszerint mészből, mészköből, agyagból, iszapból, kőből, utcai porból, földből, olcsó fém-oxidokból, homokból, piritből, hamuból vagy más földszerű anyagból keveréket kell készíteni, meg kell örölni

annyira, hogy a vízben lebegve maradjon. Utána ki kell szárítani, égetni és őrölni. Az égetés sebességét úgy kell megállapítani, hogy ne üvegesedjék és a CO₂ eltávozzék. Javasolta az őrlőmalmot, javaslatot tett a felhasználásra. A szabadalom feledésbe merült.

A német J. F. *John* határozott javaslatot tett az alkotók arányára. Ő állapította meg, az agyag a cement alapanyagában max. 25 m% lehet.

Jóllehet a francia L. J. *Vicat*-nak tulajdonítják az első mesterséges cement kikísérletezését (1820-as évek), J. *Aspdin* angol kőműves volt az első, aki 1824-ben Leedsben nagyban hidraulikus kötőanyagot gyártott és azt *portlandcementnek* nevezte el az Angliában sokra tartott építőkőhöz, a Portlandstone-hoz színben és keménységben való hasonlatossága miatt.

J. *Aspdin* Angliában sokoldalúan képzett és olvasott ember volt. 1824. okt. 21-én jelentette be Nr. 5022 sz. alatt „mesterséges kő előállításának a megjavítása” c. szabadalmát.

Részletek a szabadalmi leírásból: „Módszerem cement vagy mesterséges kő előállítására, épületek, vízi műtárgyak, ciszternák készítéséhez, vagy bármely más célra, amelyre alkalmazható (s amelyet portlandcementnek nevezek) a következő: veszek meghatározott mennyiségű mészkövet és elkészítem belőle a pépet vagy port. Ezután veszek meghatározott mennyiségű agyagos földet vagy agyagot, és addig keverem akár kézi, akár gépi erő segítségével vízzel, amíg el nem mállik. Miután ezt elvégeztem, a fenti keveréket egy edénybe helyezem szárítás céljából, akár a nap heve által, akár tűz, ill. csővezetéken vezetett gőz melegének a hatása által, amíg a víz teljesen el nem párologott. Ezután ezt a keveréket megfelelő darabokra töröm, kemencében kiegészítem, hasonlóan a mészégető kemencéhez, amíg a szénsav teljesen el nem távozik belőle. Az így kiegészített keveréket finom porrá kell őrölni, és ekkor megfelelő állapotba kerül cement vagy mesterséges kő előállításához. A port megfelelő mennyiségű vízzel kell keverni, hogy habarcssűrűségű legyen, és így kell felhasználni a kívánt célra.”

J. *Aspdin* 1825-ben Wakefieldben gyárat alapított. Gyermekai James és William folytatták a cementgyártást, James az atyja által alapított gyárban, William pedig több gyár alapításában vett részt. Williamt tekintik a portlandcement-gyártás igazi elterjesztőjének.

1974-ben mintát vettek egy olyan épületből, amelyet *Aspdin* fia, William 1841-ben épített, valószínűleg atyja szabadalma alapján. Ennek a szilárdsága 29 MPa volt. Ebből arra lehet következtetni, hogy alapanyagában már ez a cement jó volt. Amit az idők folyamán finomítottak rajta, az az égetési hőmérséklet pontosítása, az alapanyagban és a klinker kémiai összetételében az alkotók aránya, az őrlési finomság szerepének a felismerése, a minőség szabályozása.

B. H. *Sinn* (1973) azt írja, hogy *Aspdin* nagy „lökötő” volt. Ugyanis nagy titokzatosan azt állította, hogy az általa vasvitriolból, rézvitriolból, csonthamuból, rézsalakból és vassalakból összeállított és személyesen adagolt keverék a portlandcement fontos alkotója. Ezzel elsősorban I. Ch. *Johnsont*, a vetélytársát akarta megzavarni, aki J. *Aspdin* csínyeit azonban nem hosszú

ideig vette be. 1844-ben Johnson bejelentette, hogy a cementet szinterezési hőmérsékleten kell égetni. 60 évvel később azt állította, hogy a portlandcementet ő találta fel. Ezen Aspinnal sokáig elvitatkoztak.

2.2. Cementismeret a múlt században

[B. H. Sinn (1973), G. Haegermann (1964), Bereczky, E.—Reichard, E. (1960), Reichard, E. (1967)]

A portlandcement már megvolt. De még az évszázad hátralévő része kellett ahhoz, hogy a legfontosabb építőanyaggá váljék. Ehhez mind a kutatások, mind a tudományos művek hozzájárultak.

A portlandcement gyártását először *Pettenkofer* müncheni professzor írta le. Ő világította meg elsőként a zsugorodásig égetés (szinterezés) jelentőségét. Elsőként különböztette meg a románcementeket összetételük alapján (1849) és rámutatott a finomörlés jelentőségére.

W. Michaelis először írt a portlandcement tisztaságáról, finomságáról, írt a cement gyártásáról, kötéséről, szilárdulásáról, vizsgálatáról, tengervízben való viselkedéséről.

Az egyik sokat vitatott kérdés volt a **hidraulikus pótlékok szerepe** a portlandcementben.

A kohók koksztüzelését a Ruhr-vidéken kezdték el, és 1861-ben vezették be a *granulált kohósalak* előállítását úgy, hogy a kohóból vályúban kifolyatott kohósalakot vízszugárral hűtötték le.

A granulált kohósalakok rejtett hidraulikus tulajdonságait *E. Langen* már 1862-ben felfedezte. 1865-ben a kohósalakkal mint adalékkal mesterséges követ készítettek. *G. Prüssing* kimutatta, hogy nem minden kohósalak egyenértékű a cementben. Ő kezdte el a kohósalakcement gyártását.

Az első kohósalak-granuláló üzemet 1879-ben építették.

Tetmajer L. (1883) kimutatta, hogy a levegőn lehűlő bázikus kohósalaknak is van hidraulikus tulajdonsága, de sokkal kisebb, mint a granulált kohósalaké. Kísérlettel kimutatta, hogy utóbbival ugyanolyan szilárdság érhető el, mint a jó portlandcementtel. 1886-ban leírta a kohósalak-portlandcement gyártását a *Schweizerische Bauzeitungban* és a *Tonindustrie Zeitungban*. Innen számítják a kohósalak-portlandcement kezdetét.

Tetmajer Lajos szerint a kohósalak hidraulikus tulajdonságához az kell, hogy a kohósalakot folyós állapotban erős vízszugárral hűtsék, a $\text{CaO} : \text{SiO}_2 > 1$ legyen, és olyan finomra kell őrölni, ahogy csak lehet.

Jóllehet *W. Michaelis* elméletileg, *Tetmajer L.* kísérletileg igazolta a *hidraulikus pótlékok* hasznos szerepét a cementben, a Német Cementgyárosok Egyesülete hosszú időn át, még 1885-ben is tagadta, hogy salaklisztpótlékkal a cementet javítani lehetne. Gúnyosan titkos szernek nevezte, amely legfeljebb mutatványokra, vegyműhelyben való bűvészkedésre alkalmas, de a gyakorlatban nem használható. Az 1885. évi stettini határozatában hamisításnak tekint

minden gyártmányt, amelyhez égetés közben vagy utána idegen anyagokat kevernek. Aki tehát először alkalmazta a hidraulikus pótléket, az ezt titokban tette.

Végül R. *Feret* 1897-ben számos kísérletre és W. *Michaelis* elméletére támaszkodva arra következtetett, hogy ha puzzolánokat cementtel és vízzel összekeverünk, akkor a puzzolánok elsősorban a cementben lévő szabad mésszel, de mindenesetre azzal a mészhidrátal egyesülnek, amely cementszilárdulás során felszabadul. Ez a hatás egyrészt kedvező a szilárdulásra, másrészt pedig csökkenti a mészfeleslegből eredő hátrányokat [*Nádory*, N. (1898)].

Tetmajer L. rámutatott arra is, hogy a jól granulált bázikus kohósalak a mállott gránithoz hasonló. A szemcsék kör alakúak, üvegesek, egyes szemcsék habkőszerűek.

A másik vitatott kérdés a **magnéziaduzzadás** volt, amely évek múlva repedést okozott, a beton tönkrement. Németországban, Angliában és másutt erős károsodásokat figyeltek meg. Emiatt Németországban az építésüggyel foglalkozó miniszter megtiltotta a cementhabarcs felhasználását a magasépítésben.

W. G. *Dyckerhoff* már 1893-ra kimutatta, hogy míg a nagy magnéziatartalmú románcementek nem mennek tönkre, addig portlandcement esetében 5 m% a MgO-tartalom megengedhető felső határa. Ez a nézet azóta is tartja magát.

A harmadik vitatott kérdés volt a **kötésidő szabályozása**. Ugyanis a megörölt klinker gyorsan kötő. A leginkább vizsgált szabályozó anyag a kalciumklorid és a gipszkő volt. 1898-ban legtöbb gyáros már gyárban keverte a ma is használatos gipszkövet kötésszabályozás céljából, de még kísérleteztek. Végül is a gipszkő győzött.

A századforduló előtt már felismerték, hogy a jó hidraulikus kötőanyagoktól a következő tulajdonságokat kell megkövetelni [*Krenner*, V. (1887), *Nendtvich*, G. (1889)]:

1. Bizonyos idő alatt vízben és levegőn egyaránt meghatározott szilárdságot érjenek el.
2. A velük készített habarcsok térfogata a kötés és a szilárdulás tartama alatt mind levegőn, mind vízben állandó maradjon.
3. Legyenek bizonyos finomságúra öröltek.
4. Lehetőleg vízzárók legyenek.

A beton elterjedését éppen annak köszönhette, hogy az időjárással szemben ellenálló.

Tetmajer L. kísérletei szerint a kötőanyagok jósági sorrendje fagyállóság szempontjából: portlandcement, salakportlandcement, románcement.

A századforduló előtt hangsúlyozták, hogy a cement kötőerejére a *cement őrlési finomságának* nagy a hatása. Az őrlési finomságot kezdetben a 900-as szitán (lyukbőség 0,2 mm) fennmaradt résszel jellemezték. A durvább részeket egyes esetekben kiszitálták. *Krenner* V. (1887) az őrlésfinomság szerepéről így írt: „A cementnek a durvább részei tulajdonképpen csak külső felületükkel kötnek, a belső részei nem jutnak érvényre, s úgyszólván meddők maradnak,

úgyhogy e durvább részek olyan szerepet játszanak, mint a homok. Ha e durvább részek újból szétnyomatnak és megőröltetnek, éppen olyan jól kötnek, mint az elébb kirostált finom részek. Ugyanez a hidraulikus meszekre nem áll fenn.” Azóta ez a feltételezés bizonyítást nyert.

Már 1906 előtt felismerték, hogy *zsirtartalmú olajok* vegyi hatása a cementre és a betonra bomlasztólag hat, mert a zsírsavak a cementben levő mésszel mésszszappant alkotnak. Legártalmasabb az állati zsír, ezt követi az állati olaj, azután a növényi olaj, végül legkevésbé ártalmas az ásványi olaj. Egyedül a lenolajnak nincs káros hatása, mivel nem hatol mélyen a betonba, annak felszínén oxidálódik és védőréteget képez. Ebből a gondolatból kiindulva kezelik egyes esetekben ma is a régi útbetonok felületét lenolajjal és ezáltal védik a fagy és az olvasztósók bomlasztó hatásával szemben.

1880—1900 között Henry Le *Chatelier* (1850—1936) a legeredményesebb kutató. Tőle származik a *cement térfogatállandóságának a vizsgálata*. Továbbá optikai eszközökkel vizsgálva úgy jellemezte a cementet, hogy *az nem egységes, hanem különböző fázisokból*, trikálcium-szilikátból ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, jele: C_3S), dikalcium-szilikátból ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, jele: C_2S), trikálcium-aluminátból ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, jele: C_3A) és tetrakalcium-aluminát-ferritből ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, jele: C_4AF) áll. Kimutatta, hogy a legfontosabb a C_3S és a C_2S . Határozottan állította, hogy a C_2S -nek az égetéstől függően különböző kötőképességű módosulatai keletkeznek. Tanulmányozta az összes klinkerfázis hidratációját, a kalcium-szilikát-hidrátot, a tetrakalcium-aluminát-hidrátot és a tetrakalcium-ferrit-hidrátot szintetikusán is előállította. Eredményei alapján 1887-ben kifejtette a **cementszilárdulás kristályelméletét**.

Ezt az elméletet 1897-ben a svéd *Törnebohm* — anélkül, hogy *Le Chatelier* eredményeit ismerte volna — megerősítette, és a *klinkerfázisokat elnevezte* alitnak, belitnek, celitnek és felitnek. Ebből az első három megnevezést ma is használjuk. *Le Chatelier*-vel ellentétben azt állította, hogy a C_3S (alit) és C_2S (belit) felépítésében a timföld jelentékenyen részt vesz. Ma már tudjuk, hogy az alit és belit nem tiszta fázis.

W. *Michaelis* 1893-ban a *kristályelmélettel* szembeállította a **cementszilárdulás kolloid elméletét**.

Az elektronmikroszkópos vizsgálatokból ma már tudjuk, hogy mindkét szerzőnek igaza volt. A végtermék a szilárdsághordozó kalcium-szilikát-hidrát-kristály, amely kezdetben kolloid és később is annyira kisméretű, hogy kolloidnak tűnik. Ezt az elméletet *Powers* fejtette ki először 1945-ben.

Végül *Tamás F.* (1977) a cementszilárdulást oligomerizációs folyamatnak fogta fel.

A portlandcement hidraulikus modulusát W. *Michaelis* vezette be 1886-ban. Münchenben megállapították, hogy a portlandcement akkor jó, ha

$$HM = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} > 1,7.$$

Ha $HM < 1,7$, akkor a cement kis kötőképességű.

A magyar lábatlani Record portlandcement hidraulikus modulusa 2,2 volt. Később bevezették a klinker jellemzésére még az alumínátmodulust és a mésztelítési tényezőt.

2.3. Cementfajták

Kezdetben csak egyféle portlandcementet gyártottak. Később, különösen a II. világháború után — a követelmények sokfélesége miatt — lényegesen nőtt a cementválaszték. Megjelentek a heterogén cementek.

2.3.1. A kohósalak-tartalmú portlandcement

[Vidor S. (1914)]

Bár E. Langen már 1862-ben felismerte a kohósalak hidraulikus tulajdonságait, W. Michaelis és Tetmajer L. elméletileg is igazolta annak hasznos szerepét a cementben, hazánkban a kohósalakok cementipari felhasználására még várni kellett. A salakot azonban egyre jobban megismerték. Ha számításba vesszük, hogy a portlandcement ugyanazokból az alkotókból áll, mint a bázikus kohósalak, akkor a kohósalakok hidraulikus tulajdonságai természetesek. A kohósalak és a portlandcement átlagos kémiai összetétele közel van egymáshoz. A kohósalakot több kovásvavat tartalmazó, mészben szegény portlandcementnek is tekinthetjük.

Heusinger szerint a salak hidraulikussága feltételei:

1. A salak legyen bázikus, a $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ legyen 1-nél nagyobb.
2. Lehetőleg Al_2O_3 -dús legyen.
3. A kén, a mangán és a magnézium lehetőleg kis mennyiségben forduljon elő.

Tetmajer Lajos ezekhez még hozzáfűzi, hogy ha a kohósalakban a $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ az egységig süllyedt, azt a salakot habarcskészítésre még adalékanyagul sem használhatták fel. Továbbá minél nagyobb az $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ viszony, annál több mészre van szükség. Legjobb, ha az $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,45—0,5$, azaz a kohósalak alkotórészeinek kívánatos aránya:



Feltétel még, hogy a salakot fehéren izzó állapotban, minél hidegebb és bőségebb vízzel *granulálják*.

Kohósalak felhasználásával külföldön az alábbi cementeket gyártották.

a) A *salakcement* úgy készült, hogy a kohósalakot 20—30 m% száraz mészhidráttal örölték össze. Jóllehet a salakcementtel kiváló eredményeket értek el, ezt az eljárást nem sikerült elterjeszteni. Szükséges volt, hogy a $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ egynél kisebb legyen, és minél nagyobb volt az $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ viszony, annál több lehetett a mészhidrát.

b) A kohósalak alapanyaga a *vasportlandcementnek* is. A gyártás során a bázikus kohósalakot hozzákeverik a portlandcementhez. A vasportlandcement kohósalak-tartalma max. 30 m% lehet. A portlandcement szilárdulása során felszabaduló mészhidrát hat a kohósalakban feltárt kovasavra. Hazánkban ilyen cementet nem gyártottak, de pl. Németországban a szabványos cementek közé tartozik.

c) A nagyolvasztósalakok (kohósalakok) feldolgozásának harmadik módja a *nagyolvasztócement* gyártása. A nagyolvasztócement salakból készült 1—5 m% mészhidrát vagy kész portlandcement hozzáadásával. Az első eljárás *Passowé* volt, aki a salakot forgó szórókorongra vezette, ahol levegővel vagy vízgőzzel találkozva granulálódott.

Passow szerint csak a salak üveges része vesz részt a szilárdulásban. Ezért szerinte jobb, ha csak a salak üveges részét használják fel és azt kevés portlandcementtel teszik kötőképesé.

A gyakorlatban ez az eljárás nem vált be, mert a levegővel granulált salak igen kemény, nehezen őrlhető volt, másrészt minősége nem volt egyenletes. A salak önmagában nem kezd el kötni. Ehhez kellett *Passow* szerint 1 m% portlandcementet keverni. A portlandcementben lévő alitból felszabaduló kis mennyiségű mészhidrát gerjesztő anyagként indította el a kötést.

2.3.2. Fehér portlandcement

A színes betonokhoz igényelte az építőipar a fehér cementet. Több éves kísérletezés után 1930-ban kezdte meg gyártását a Bélapátfalvi Cementgyár „Üstökös” megnevezéssel. Ebből a cementből jelentős mennyiséget exportáltak.

A fehér portlandcementet vasszegény alapanyagokból kell előállítani, mivel a cement szürke színét a vasszennyeződés adja.

Hosszú kísérletezés után egy kárpátaljai kaolint (fehér agyag) megfelelőnek találtak. A vasmentes mészkövet pedig a Bélkő hegységből nyerték.

A cementet az Amme-Giesecke-Konegen gépgyár szabadalma alapján, az általa szállított gépekkel és technológiával gyártották.

A zsugorodási hőmérsékletet folyópát adagolásával csökkentették, és az eredeti előírás szerint az esetleges vasszennyeződések megkötésére a nyersiszapba kalcium-kloridot is tettek. Előírták a redukáló égetést és a klinker vízben való granulálását. A szállítószalagról a nagyobb szemcséket eltávolították, mert azok belseje rendszerint elszíneződött volt.

A II. világháború után a kárpátaljai kaolinhoz nem jutottak hozzá. Az ÉAKKI kutatta ki a megfelelő anyagot.

Bélapátfalván azonban meg kellett szüntetni a fehér cement előállítását, mert egy kemencét lekötött. Ugyanis ugyanabban a kemencében szürke cementet nem volt szabad égetni. A gyártást a különleges cementek gyártására szakosodott selypi gyár folytatta.

2.3.3. A szulfátálló cement

Hazánkban sok a szulfátos talajvíz, ezért szükség volt szulfátálló cementre. Kezdetben bíztak a bauxitcementben, de ez a cement erre a célra nem vált be.

F. *Ferrari* olasz mérnök 1919-ben szabadalmaztatta cementjét, amelynek lényege az volt, hogy nem tartalmazott trikálcium-aluminátot (C_3A), így a szulfátos talajvízben nem keletkezett ettringit, amely keletkezése közben a betont szétroncsolja. Ezt az ettringitet nevezik *cementbacillusnak*.

E cementet feltalálójáról *Ferrari-cementnek* is nevezik. 1945-ben cementjét *Ferrari univerzális cementnek* nevezte el egyéb jó tulajdonságai (kis zsugorodás, kis hidratációhő, jó bedolgozhatóság) alapján.

Az eredeti *Ferrari*-szabadalom az aluminátmodulust 0,64-ben rögzítette. Ugyanis ez esetben a teljes Al_2O_3 a tetrakalcium-aluminát-ferrit klinkerásványban kötődik. Hazai kísérletek szerint legkedvezőbb, ha a cement aluminátmodulusa 0,54. Ennek alapján nevezték el nálunk e cementet *S 54 jelűnek*.

1937-ben kezdték meg e cement nagyüzemi kísérleteit a lábatlani gyárban levő F. L. *Smidth*-kemencében. A szokványos portlandcement nyersanyagát piritpörkkel és dunahomokkal módosították. Kezdetben sok nehézséget okozott a gyűrűképződés a kemencében, ami miatt 3 naponként le kellett állni. A II. világháború után ezeket a nehézségeket leküzdötték és e cementet Lábatlanban azóta is gyártják. Ezenkívül BÉlapátfalván és Selypen is előállították.

Az *Eternit Művek* végzett olyan kísérleteket, hogy az S 54 jelű cementtel készített azbesztcement csövekben keserűvizet áramoltattak. 1,5 év múlva a csövek épek voltak, míg a szokványos cementtel készített csövek felülete hámlott. Másik nagyüzemi kísérlet a lágymányosi csatornépítés volt, ahol a csövek 10 esztendő múlva végzett ellenőrzésekor is sértetlenek voltak.

Az S 54 jelű cementtel elért eredményeket *Gáspár Géza* közlései alapján külföldön is ismertették.

2.3.4. A heterogén portlandcement

[*Bereczky E.—Reichard E.* (1960)]

A magyar cementipar századunk első felében csak egyfajta cementet, a nagy szilárdságú portlandcementet állította elő. Ilyen szilárdságú cement a feladatok jelentős részéhez felesleges volt. Külföldön már rátértek a különböző szilárdságú és a heterogén portlandcementek gyártására.

Hazánkban a szabványos szilárdság változtatását a heterogén portlandcementek bevezetésével együtt valósították meg. Ehhez azonban szabványok kellett.

Az új szabvány (l. 2.5. fejezet) megengedte a *cementkiegészítő anyagok* (nevezik hidraulikus pótléknak, hidraulitnak is) cementbe adagolását. Ha a cementkiegészítő anyag a gipszkövel együtt 15 m%-nál kevesebb volt, és a cement szilárdsága a követelményeknek megfelelt, akkor tiszta portlandce-

mentnek lehetett tekinteni. Ha ennél többet adagoltak, akkor kétféle heterogén portlandcement volt előállítható. Ha a cementkiegészítő anyag kohósalak volt, akkor *kohósalak-portlandcementnek* nevezték. Ha a cementkiegészítő anyag túlnyomó része savanyú, azaz trasz, puzzolán vagy pernye volt, akkor *traszportlandcement* volt a megnevezése.

Ezek a szilárdsági osztályok a földnedves habarcsvizsgálattal (2.5.2. fejezet) meghatározott szilárdságra vonatkoznak. A szabvány tehát az egyféle portlandcement helyett már négy szilárdsági osztályt engedett meg, és megkezdődött a heterogén portlandcementek gyártása.

Az MSZ 4702-81 szabvány (2.5.2. fejezet) tovább bővítette a heterogén portlandcementek választékát. A cementkiegészítő anyagok közül csak a savanyú pernye és a kohósalak maradt meg. A pernyét 10, 20 m%-ban, a granulált kohósalakot 20, 40, ill. 60 m%-ban adagolták a cementhez. A cement jelében a cementkiegészítő anyagot is meg kellett adni. Pl. a 350 kspc 40 azt jelentette, hogy a cement 350 szilárdsági osztályú, 20—40 m% közötti kohósalakot tartalmazott.

A szilárdság jele 35 MPa szabványos 28 napos szilárdságot jelent, de nem a korábbi földnedves, hanem ettől teljesen eltérő képlékeny habarcsvizsgálattal meghatározva. Ez a vizsgálati mód a mai napig érvényes.

Ettől az időszaktól a cementipar túlnyomórészt heterogén portlandcementeket (350 kspc 20, 350 kspc 40, 350 ppc 10, 350 ppc 20) gyártott.

2.3.5. Alitcement

1950—52-ben a Selypi Cementgyár gyártott alitcementet. Ennek a portlandcementnek igen nagy volt a C_3S -tartalma, amit 0,98 méasztelítési tényezővel értek el. Ennek köszönhette nagy kezdőszilárdságát, amely 1 napos korban 40, 2 napos korban 50 MPa volt a szabványos földnedves vizsgálat szerint. A 28 napos szilárdsága is nagyobb volt a többi cementénél. Ennek alapján 700 pc-nek lehetett tekinteni. Kitűnő tulajdonságai ellenére akkor megbukott, mert az előregyártó ipar a gőzölést választotta a kezdőszilárdság növelésére.

Ugyanakkor a külföldi előregyártó ipar a gőzölésmentes technológiákat részesítette előnyben, amiben nagy szerepe van az alit típusú cementnek, illetve az őrlési finomság növelésének.

2.3.6. A szigmacement

[Bereczky E.—Reichard E. (1960)]

A szigmacementet *Gottlieb* István szabadalmaztatta Izraelben a II. világháború alatt.

Alap gondolata az volt, hogy a szokásos portlandcementekből a kb. 30 μm -nél nagyobb szemcsék belseje a szilárdulásban nem vesz részt, inert anyagként viselkedik. Így a cement 20—30 m%-a nincs hasznosítva.

A cement finomabbra őrlésével ez a probléma megoldódna. A finomra őrt cementből 20—30 m%-kal kevesebb elég volna, de ez nem elég a vasbeton szerkezet szükséges tömörségének az eléréséhez. Emellett a finomőrlésű cement zsugorodása is nagyobb a szokványos cementénél. A zsugorodás mérséklését, a cementmennyiség fokozását *Gottlieb* mészköliszt adagolásával javasolta elérni.

Hazánkban 1948-tól gyártotta a Lábatlani Cementgyár. A megfelelő gyártóberendezések hiányában a cement homogenitása nem volt jó, ezért e cement gyártását leállították.

Az európai szabványokban újból jelentkezik *Gottlieb* elgondolása (karbonátadalékos cement).

2.3.7. Kohósalak-portlandcement előállítására nedves őrléssel

[Balázs Gy.—Kilián J. (1953, 1954)]

A cementet általában száraz őrléssel állítják elő. Ismert, hogy ugyanaz az őrlési finomság nedves őrléssel sokkal kisebb energiával állítható elő és nedves őrléssel a kevésbé aktív salakok is aktívabbá tehetők.

A cementek és más kötőanyagok nedves őrlésével már régóta foglalkoznak. A módszer behatóbb tanulmányozása 1931-ben indult meg a Szovjetunióban. A II. világháborúban azután a cementgyárak nagy részét lebombázták, és a hiányt nedvesen őrt kohósalakkal pótolták az uráli, a szibériai, a közép-ázsiai építkezéseken.

Belgiumban a *Trief-eljárás* honosodott meg, amit a franciák is átvettek. Itt jegyzem meg, hogy a dunai duzzasztók építésére alkalmas cementek kutatásakor — 1967—68-ban — a SZIKKTI [*Opoczky L.* (1965)] is végzett kísérleteket a *Trief-eljárás*sal. Az eljárás lényegét — a műszaki érdekessége miatt — próbálom összefoglalni.

A franciák elsősorban acélgvári Thomas-salakot használtak. A Bort-les-orgues-i gát építésénél a cement összetétele:

kohósalak	68,5 m%
gyári cement	30,0 m% (tisztá pc)
NaCl	1,5 m%.

A 30 m%-os portlandcementarányt kísérlettel határozták meg. Ha a cement ennél több volt, akkor már alig volt eltérés a kohósalak-portlandcement és a tiszta portlandcement 90 napos szilárdsága között. Ha kevesebb volt a portlandcement, akkor a két alkotó összekeverése nem volt tökéletes.

A kohósalakot három nagy acélgvárból kapták és 30 m% vízzel 10 t/h teljesítőképességű golyósmalmokban őrték meg. Az őrlés után a kohósalak a keverőkádakba (33 db, egyenként 95 m³-es kád) került. Innen szivattyúkkal a betongyár önműködő adagolóiba vitték, ahonnan az 5000 l-es betonkeverőbe adagolták.

A gátépítés néhány adata: 245 000 t kötőanyagot használtak fel. A legnagyobb napi teljesítmény 3200 m³ beton volt. A kötőanyag nedves őrléssel feleannyiba került, mintha száraz őrlésű cementet használtak volna (csak nagy építkezésen ennyire gazdaságos). A portlandcementtel szemben nagy előnyt jelentett a kisebb hidratációhő, ami a repedésveszélyt lényegesen csökkentette. Előny volt az is, hogy a nedvesen őrlött kohósalak hosszú ideig tárolható romlás nélkül, míg a megkevert portlandcementbetont azonnal fel kell használni. Kedvező volt a kohósalak-portlandcementbeton zsugorodása, a betonfelületek esztétikus megjelenése.

2.3.8. Duzzadó cement

A bauxitcement alapú duzzadó cement (3.9.2. fejezet) tartószerkezeti célra nem alkalmas. *Váradi Gy.* (1951) ismertette a *portlandcement alapú* duzzadó cementet, amelyet *H. Lossier* francia mérnök (1925—1944) dolgozott ki fejlesztés céljaira. A cement 3 alapanyag keverékéből áll: alapanyaga a portlandcement, a duzzadást előidéző anyag a szulfo-aluminát, stabilizáló alkotó rendszerint a kohósalak, amely a duzzadási folyamatot megállítja. Az összetétel változtatásával 2—15 mm/m duzzadás érhető el.

A cikk ismerteti a cement tulajdonságait, felhasználási területét. Hazánkban nem gyártották.

Megjegyzés: nem ez az egyetlen portlandcement alapú duzzadó cement, amelyet külföldön gyártanak.

2.3.9. Mérsékelt C₃A-tartalmú cementek

A 60-as években a SZIKKTI Cementosztályán *Révay Miklós* kutatásai során arra az eredményre jutott, hogy bizonyos ipari feladatok megoldásához célszerű a cement C₃A-tartalmát mérsékelni.

Egyik ilyen termék volt az **S 100 450 pc**. E cementnek a szokványos portlandcementhez viszonyítva legfontosabb ismertetője, hogy aluminátmodulusa (*AM*) 0,7—1,0 lehet. A cement megnevezésében 100 az aluminátmodulusra való utalás ugyanúgy, mint az *AM*=0,54 az S 54 jelű szulfátálló portlandcement jelében.

Az S 100 jelű cementet 1982-ben szabványosították (MSZ 4702/4—1982). Kidolgozói (*Révay Miklós* és *Kovács Róbert*) mérsékelt szulfátálló cementnek tekintették, mivel az MSZ 523-8 szerinti szulfátduzzadása az S 54 jelű cementekét megközelítette, sőt el is érte (0,2—0,4 mm/m). A cementet a Bèlapátfalvi Cementgyár gyártja.

A SZIKKTI Cementosztálya (*Opoczky Ludmilla*) az *azbesztcementek gyártásához* dolgozott ki mérsékelt C₃A-tartalmú cementet. 1982-ben szabványosították (MSZ 4782-82, jele ACM 450 pc és ACM 350 pc).

E cement szilárdsági tulajdonságait a 2.5. fejezet tartalmazza. Megkötötték

a cement őrlési finomságát (260, ill. 250—300 m²/kg). Követelmények ásványi összetételre:

C ₃ A (Bogue szerint számolva)	≦	8 m%
szabad CaO	≦	1 m%
C ₃ S	≧	50 m%.

A cement optimális jellemzői az RBB-diagram alapján:

jellemző szemcseméret	$x \cong$	20—25 μm
egyenletességi tényező	$n \sim$	1.

Ezt a cementet a BÉlapátfalvai és a Lábatlani Cementgyár gyártotta.

Különleges igények kielégítésére kísérletezte ki a SZIKKTI Cementosztálya (Révay Miklós) az **útcementet**. E cement legfontosabb jellemzői:

aluminátmodulus (AM)	0,8—1,2
őrlési finomság Blaine szerint	280—300 m ² /kg
28 napos szilárdsága	
nyomó, legalább	40 MPa
hajlítóhúzó, legalább	7,5 MPa.

A szokványos cementekhez viszonyítva nagyobb a hajlítóhúzó-szilárdsága és jobb a repedésérzékenysége.

Ezt a cementet nem szabványosították, de gyártották az M7 autópályához és a ferihegyi, sárréti stb. repülőterek betonjához.

Összehasonlításként megemlítem, hogy az 1969. évi (július 2—4.) Párizsi Útügyi Kongresszuson összefoglalták a nyugat-európai (PIARC) tagországok betonútépítési előírásait és gyakorlatát. Az összeállításból világosan kiderült, hogy közönséges (Z 275—Z 325) jelű portlandcementet vagy kohósalak-portlandcementet használtak, ami a mi 350 pc-ünkhöz áll legközelebb, a cement C₃A-tartalmát korlátozták 10 m%-ban, a közepes őrlési finomságú cementet (fajlagos felület kb. 300 m²/kg) tartják megfelelőnek [Balázs Gy.—Erdélyi A. (1970)]. A 30-as évek útcementjeit O. Graf és K. Walz (1939) foglalta össze tanulmányában.

A SZIKKTI által kidolgozott három cement közös vonása a kedvező repedésérzékenység. Tulajdonságaik közel vannak egymáshoz. Ezért *többcélű cementnek* is tekinthetők. E célok közé a *jól gőzölhetőség* is beletartozik.

Mivel a cement C₃A-tartalma korlátozva van, ezért kedvező e cementek hidratációhője is. Emiatt a Dunakiliti Duzzasztóműhöz alapcementnek az S 100 jelű cementet ajánlottuk.

2.3.10. 550 pc

A cement kezdőszilárdságát kétféleképpen szokás növelni: a cement C₃S-tartalmának a növelése lehetőleg 60 m% fölé vagy a cement őrlési finomságának a növelése kb. 500 m²/kg fajlagos felületig. Az elsőre példa az alitcement. A másodikra példa a Tatabányai Cementgyár által előállított 550 pc. A

gyárban az égetőkemencék leállítására után az őrlőberendezés kihatás nélkül volt. Itt a váci 450 pc-t *Grek.sa* István irányításával utánőrléssel 550 pc-re javították. A cement fajlagos felülete kb. 550 m²/kg volt.

A betontechnológiai kísérleteket túlnyomórészt az Építőanyagok Tanszékén [Balázs Gy.—Kolostori J.—Székely I. (1989)] végezték. A kiváló eredmények ellenére csak a Békés megyei ÁÉV-nél honosították meg, ahol is a cementben rejlő kezdőszilárdság-növelő hatást 30—40 °C-os levegő hatásával kombinálták. Így állítottak elő falpaneleket és más előregyártott elemet.

A tatabányai 550 pc árkérdések miatt nem terjedt el.

Pár évvel ezelőtt a Beremendi Cementgyárban (*Hugyák* László irányításával) állítottak elő a szabványos előírásnak megfelelő 550 pc-t. De mert az építőipar nehezen tért el a megszokottól, ez a gyártás is megszűnt. Remélhetőleg az új gazdasági feltételek között mindenki jobban utána számol a betonja költségének és az 550 pc-re szükség lesz. Tudomásunk szerint a beremendi, a bélapátfalvai és a váci cementgyár készült fel e cement gyártására.

2.3.11. Fokozott szulfátállóságú vízzáró cement (jele: FSC)

A SZIKKTI Cementosztálya (*Opoczky* Ludmilla) dolgozta ki. Az S 54, ill. az S 100 jelű cementek tekinthetők szulfátálló, ill. mérsékelten szulfátálló cementeknek. A módosítás e cementek vízzáróvá tételét célozta. Fenti két cementből és (C₃S min. 50 m%, C₃A legfeljebb 5 m%) hidrofíllé tett szilika-porból állítják elő intenzív homogenitással. A bedolgozhatóság elősegítésére képlékenyítő adalékszert adagolnak hozzá.

A cementet megrendelésre a CEMKUT Kft. gyártja.

2.3.12. EN 197/1-2 szerinti adalékos cementek

Az új európai (EN) szabványokat mi is átvesszük.

A cementkiegészítő anyagok közül az 1972. évi szabványban csak a kohósalak és a pernye szerepel.

Néhány nyugati előírás szorgalmazza a **traszportlandcementet** kőzetbarát tulajdonságai miatt. A műemlékvédelemben ajánlják műemlék épületek habarcsa kötőanyagául. Felhasználása mellett szól a portlandcementnél világosabb színe, a mézskivirágzást csökkentő hatása [Balázs Gy.—Boros Jné—Majner J. (1972)]. Hazánkban is alkalmazták a Bazilika restaurálásához, és néhány klinkertégla burkolású reprezentatív épület habarcsául a külföldről behozott traszportlandcementet, ill. traszportlandcement-tartalmú száraz habarcsokat.

A CEMKUT Kft. közreműködésével a Hejőcsabai és a Váci Cementgyárban folynak nagyüzemi kísérletek traszportlandcement előállítására.

A szigmacement gondolata az európai szabványokban újra feléledt.

A mészkőadalékos cement előnyéül az alábbiak hozhatók fel:

— A mészkő könnyebben őrlhető a klinkernél. A klinkerrel együtt őrlve annál finomabbra őrlődik, a finomabb mészkőliszt a cement szemcsék közti hézagot kitölti, a cementkő tömörebb lesz.

— Javítja a habarcs bedolgozhatóságát.

— Javítja a beton fagyállóságát.

— A mészkövet nem kell kiégetni, ezért a cementgyártás energiatakarékosabb.

— Bár a mészkőlisztet inert anyagnak tekintjük, nem zárható ki, hogy aktív adalékanyagként viselkedik.

Eddigi nagyüzemi tapasztalatok alapján 350 mpc 20 és 450 mpc 20 jelű cement állítható elő. Több cementgyárunk is tervezi a bevezetését.

A litofil cementet Révay Miklós dolgozta ki a SZIKKTI-ben.

Jó minőségű klinkerből zeolit tartalmú hidraulikus kiegészítő anyag hozzáadásával készítik. A zeolit kiömlésbeli vulkáni tufa, örleménye a traszhoz hasonló, tulajdonságai is a traszportlandcementével egyeznek meg.

A hazai gyakorlatban kétféle összetételben készítik:

Litofil 20, szilárdsága alapján 350 pc.

Litofil 40, szilárdsága alapján 250 pc. A szám a zeolit mennyiségét jelenti a cementben.

2.3.13. Módosított kötésű, gipszkőmentes nagy szilárdságú cement

Opoczky Ludmilla kísérletezte ki a SZIKKTI Cementosztályán.

Nagy C_3S -tartalmú klinker, nátrium-karbonát és képlékenyítő adalékszer (pl. kalcium-lignoszulfonát) nagy finomságúra (min. 500 m^2/kg) őrlésével állítják elő.

Legfontosabb tulajdonsága nagy kezdő- és végszilárdsága, fokozott fagyállósága, amit a cement nagy C_3S -tartalmán és nagy őrlési finomságán kívül a kis víz—cement tényezőnek és a módosított kötési mechanizmusnak tulajdonítanak.

Kötési ideje: 5—30 perc. Nyomószilárdsága 1, 3, 7, ill. 28. napos korban min. 25, 40, 55, ill. 70 MPa.

Kedvező tulajdonságainál fogva alkalmas vékony héjszerkezetek, gépálapok készítésére, gyors javításokra.

A cementet a CEMKUT Kft. megrendelésre legyártja.

2.4. A hazai cementgyártás

[Talabér J. (1966), Bereczky E.—Reichard E. (1960)]

2.4.1. Előzmények

[Nendtwich G. (1889), Mihálik J. (1860), Nagy D. (1891)]

A múlt század közepén kétféle cement kezdhette meg diadalútját: a románcement és a portlandcement.

A *románcementet* (Roman cement, Ciment romain, Roman Cement, Parker's Cement) nagy agyagtartalmú mészmárgák égetése által állították elő úgy, hogy az égetési hőmérséklet az olvadási hőmérsékletnél kisebb volt. Ez vízzel keverve már nem esett porrá. Porrá örölve árusították.

A *portlandcementet* (Portland cement, Ciment portland, Portlandcement) kezdetben úgy állították elő, hogy a románcementnek megfelelő összetételű márgákat vagy azonos kémiai összetételű, agyag- és mésztartalmú anyagokat, kőzetkeveréket az olvadási hőmérséklet kezdetének megfelelő hőmérsékleten égették, majd finomra örölték.

Hazánk cementipara lassan alakult ki. Clark Ádám a Lánchíd építésénél, Mihálik János a Ferenc József zsilip építésénél a románcementet maguk égették.

A hazai iparosodást az osztrák uralkodóház ellenezte. Mária Terézia rendeletben tiltotta meg Magyarországon a gyáralapítást, amely rendelet még a XIX. század elején is hatott. A reformkor sem hozott alapvető változást, jóllehet Széchenyi István és társai a fejlődést szorgalmazták. A szabadságharc utáni elnyomás azután mindent visszavetett.

Az 1867. évi kiegyezés a polgári forradalmat felemás módon zárta le, a megőrzött feudális maradványok még jelentettek féket, azonban a kapitalista fejlődés számára a kiegyezés mégis megteremtette azt a politikai nyugalmat, amely a külföldi és hazai vagyonos réteget tőkék gyümölcsöző befektetésére készítette.

Ugrásszerűen megnőtt a külföldi tőke beáramlása, meggyorsult a hazai tőkeképződés, kialakult a hitelhálózat. Megkezdődtek az országot behálózó vasútépítések, vízszabályozások, kikötők épültek, fellendült a vas- és ércbányászat, kohászat, nőtt a mezőgazdasági termelés, a feldolgozó ipar. Budapest jó ideig a világ legnagyobb malomipari központja lett. A falusi lakosság tömegesen vándorolt a városokba, főként a fővárosba. Azok a városok fejlődtek elsősorban, amelyek egyben vasúti csomópontok révén termény- és áruforgalmi központokká lettek, vagy természeti kincsek közelében voltak. Rengeteg ház, középület, gyár épült a városokban. 1873 után Pesten megépült a kis- és nagykörút. Megépült az Opera, a Parlament és Pesten Európa első földalattija [Gonda Imre—Niederhauser Emil (1977)].

Az iparosítás kikényszerítette a hazai cementgyártás megindítását.

2.4.2. A forgókemencék

[Stein S. (1903)]

A portlandcementet a századfordulóig úgy gyártották, hogy a mészkő és az agyag keverékét téglává sajtolták, a téglát megszáritották és aknás vagy körkemencében zsugorodásig égették, majd megőrölték. A gyártási technológia sem a nyersanyag előkészítésénél, sem az égetésnél nem tette lehetővé az egyenletes minőségű cement előállítását.

A század végén a minőség terén is, a gyártási technológiában is forradalmi változást hoztak a forgókemencék. A kezdetben csak 20—30 m hosszú, kb. 2 m átmérőjű, percnként kb. egy fordulatot tevő, samottal bélelt forgókemencékbe a nyersanyagot már nem téglá, hanem finom por vagy iszap alakjában juttatták be. A kemence ellenirányú tüzeléssel (szénpor) működött, és a jól előkészített nyersanyag a kemence forgásának megfelelően haladt a tűzzóna felé. A nyersanyag előbb kiszáradt, majd a mészkő kiégett és a keletkezett CaO az agyagalkotókkal reakcióba lépve a tűzzónában létrehozta a *klinkert*. Ez a technológia már lehetővé tette az egyenletes minőségű cement gyártását.

Az új rendszerű égetés során előállított portlandcement húzószilárdsága 2, 7 és 28 napos korban 0,95; 2,5 és 3,3 MPa, nyomószilárdsága 7,0; 31,8 és 50,0 MPa volt. A nyomószilárdság kb. kétszerese volt a régi módon előállított cementének.

Az égetés olcsóbb lett azzal is, hogy a kiégetett klinkert kezdetben egy aknában, később kis forgódobban ellenáramú levegő befúvatással hűtötték le, és az így felmelegedett levegőt használták fel a szénpor szárítására és befúvatására.

A forgókemence jelentette a mai értelemben vett portlandcementgyártás kezdetét.

A cementgyártás részleteit kézikönyvek [Talabér J. (1966), Riesz L. (1989)] ismertetik.

2.4.3. A Lábatlani Cementgyár

[Nendvich, G. (1889), Bereczky E.—Reichard E. (1960), Sarlós J. (1968)]

1867-ben *Lichnowszky* Ferenc lengyel menekült tárta fel, hogy Lábatlanon és környékén cementgyártásra alkalmas nyersanyag van (piszkei, süttői márvány, szén, vízi közlekedés lehetősége).

Kezdetben négy helyen (egy Piszkén, kettő Lábatlanban és egy Nyergesújfalun) égettek románcementet, ebből a lábatlani és a nyergesújfalui fejlődött nagyüzemmé.

A lábatlani gyárat *Konkoly Thege* Balázs komáromi földbirtokos és állatkereskedő alapította 1868-ban. Ez a gyár a tégláégetésnél megszokott 16 kamrás, egyenként 50 m³-es körkemencéből állt. A kemence kéménye 60 m magas volt. A vállalkozásba betársult *Hannig* Miksa budapesti termény- és bizományi kereskedő. 1871-ben megvették a másikat, 1869-ben épített lábatlani cementgyárat, amely „Lábatlaner Portlandcement, Hydraulisch und Fettkalk-



Fabrikmarke
ROON-GYÁR
emblémája



2.2. ábra. A Látalani Cementgyár emblémája [Bereczky E.—Reichard B. (1960)] a) I. gyár;
b) II. gyár

fabrik und Dampfziegelei AG” néven működött. Konkoly Thege tönkrement, Hannig 1873-ban meghalt. Előtte a Rogge család társult be, és Hannig halála után továbbfejlesztette a gyárat, 1876-ban két kis aknakemencét (aknás pestnek neveztek), 1887-ben pedig egy nagy aknakemencét építtetett. Az 1873. évi gazdasági válság és a szakértelem hiánya miatt a gyár nem tudott megerősödni. A gyárat 1878-ban gróf Waldemar Roon, korábban porosz hadügyminiszter vette meg és külföldi szakembereket hozott. A gyár neve Gróf Roon-féle román- és portlandcementgyár (emblémája 2.2. ábra). 1872-től 25 éven át Wendland Károly volt a gyár igazgatója. Ez idő alatt a gyár sokat fejlődött.

A portlandcement gyártása 1876-ban kezdődött.

1890-ben Weisenbacher Endre budapesti lakosé lett a gyár, neve nem változott.

1892-ben társult a Holtzspach A. és fiai céggel, és megalakult az Egyesült Téglá- és Cementgyár Rt., amelynek valódi tulajdonosa a Pesti Magyar Kereskedelmi Bank volt. 1900-ban magába olvasztotta a Látalani Magyar Lősztéglá és Mészgyárat, és annak a területén építették fel az új forgókemencéket.

A románcementet olyan mészmárgából készítették, amelynek a CaCO_3 -tartalma 65—70 m%, agyagtartalma 30—35 m% volt. Nyersanyaga sárgásbarna színű, igen tömött, kagylós törésű volt. Részben olyan körkemencében égették, amelynek 16 db, egyenként 30 m³-es kamrája volt, részben 4 db aknás pestben. A kiegészített agyag az őrlőmalomba került, amely excentric zúzókkal, hengerekkel volt ellátva és négy köre járt. A kész cementet vagy 300 kg-os hordókban, vagy 80 kg-os zsákokban árusították. Napi termelés 100 t volt.

A portlandcement gyártásához szükséges nyerslisztet 97 m% CaCO_3 -tartalmú édesvízi mészkőből és 60 m% agyagtartalmú márgából a végleges összetételnek megfelelően keverték. Az őrlőberendezés a románcementnél ismertetettel egyezett meg. A homogenizált, 78—78,5 m% CaCO_3 -tartalmú örölt nyersliszt egy nagy kádba hullt, amelybe meleg vizet eresztettek. Kevergetés után ebből az anyagból téglákat sajtoltak, amelyeket szabad levegőn vagy szárító-

kamrában mesterségesen kiszárítottak. A teljesen kiszárított téglákat a négy koksztüzelésű égetőkemencébe szállították, ahol teljes lágyulásig égették. Az égetés után nagy darabokban kikerülő kemény, zöldesszürke anyagot egy háromjáratú, erős excentric zúzóval és hengerművel ellátott malomban megőrölték, és az őrlemény silókba került. Ezt a cementet 180 kg-os hordókba vagy 100 kg-os zsákokba csomagolták. A napi termelés kezdetben 20 t volt, amit az igények növekedésével napi 40 t-ra növeltek.

A cementek jellemzői az 1887. évi átlagos eredmények alapján [*Nendtvich G.* (1889)]:

Jellemző		Románcement	Portlandcement
SiO ₂	m%	29,50	22,48
Al ₂ O ₃	m%	7,02	5,29
Fe ₂ O ₃	m%	4,23	4,10
CaO	m%	44,05	63,68
MgO	m%	3,04	—
SO ₃	m%	—	nyomokban
K ₂ O, Na ₂ O	m%	—	1,53
Izzítási veszteség		2,80	2,09
Sűrűség, g/ml		2,88	3,14
Húzószilárdság, MPa			
7 napos		0,42	1,18
28 napos		0,98	1,68
3 hónapos		1,69	2,11
6 hónapos		1,82	2,42
1 éves		2,38	2,76
28 napos kockaszilárdság, MPa		7—7,5	16

Kezdetben a húzószilárdságnak nagyobb jelentőséget tulajdonítottak, mint a nyomószilárdságnak.

A századfordulón a lábatlani cementnek jó híre volt, sok nevezetes épület-hez használták (Országház, Rudas fürdő, Földalatti Vasút, Vigadó, Országos Földtani Intézet stb.).

A cementgyári részvénytársaság 1892—1898-as években nyereséges vállalat volt. Ezt az időszakot 1903-ig veszteséges, majd 1906-ig egy mérsékelt nyereséggel záruló időszak követte. Ezt a fellendülőben lévő három évet azonban már nagyarányú korszerűsítésre használták fel.

A lábatlani gyárban csak románcementet égettek tovább aknakemencében, a portlandcement égetésére 1904—1906-ban 2 db Fellner és Ziegler típusú, 25 m hosszú forgókemencét építettek. Teljesítményük napi 50—60 t klinker volt.

Ezt a forgókemencét 1917-ben 2 db, egyenként 36 m hosszú Polysius típusú forgókemencével váltották fel. Teljesítményük napi 90 t portlandklinker volt.

A téglagyár helyén tehát új gyár épült, amely hosszú időre meghatározta a gyár termelését.

A vállalat termelésében jelentős felfutás következett be. Az I. világháború azonban pangást hozott az építkezésben, ami a vállalatot veszteségesé tette. Csak 1917-ben indultak új, háborús beruházások. A háború után románcementet már nem gyártottak.

A század elején megépített gyár a háború végére elhasználódott, közben a cementgyártás is sokat fejlődött. Az addig működő gyár, amely az I. gyár nevet viselte a „régí gyár” nevet kapta, és 1924-re megépítették a II. gyárat.

Az új gyár fő része az 56 m hosszú, a koppenhágai F. L. Smidth cég forgókemencéje volt, napi 180 t klinker kapacitással. A „száz éves beszámoló” azt is megemlíti, hogy két Smidth-kemencét terveztek megépíteni, a másodiknak is elkészült az alapja. Ennek a megépítésére azonban a gazdasági nehézségek miatt nem került sor. Egyébként a Smidth-kemencével egy időben készült el a kemencecsarnok, a gyártáshoz nélkülözhetetlen malom és más kiszolgáló berendezések.

Az 1929'—33. évi világgazdasági válság idején a gyár az év jelentős részében állt, munkásait elbocsátotta.

1933. január 1-én az Egyesült Téglá- és Cementgyár beolvadt a Salgótarjáni Kőszénbánya Rt.-be, miután az a részvények 97%-át birtokolta.

1935-ben a poros Polysius-kemencéket is átállították nedves eljárására, és azóta is így folyik a termelés. A nedves eljárás lényege az, hogy a bányaudvarban a mészkövet 300—400 mm méretűre törik, és osztályozzák. A darabos kőből meszet égetnek, az apró követ utántörés után golyósmalomban — agyaggal együtt — iszappá őrlik. Ezt a nyersiszapot homogenizálás és tárolás után a forgókemencében klinkerré égetik. A klinkert hűtés és pihentetés után cementté őrlik.

Jelentősebb beruházás (a mészégetés fejlesztését nem számítva) 1948-ban a 98,6 m hosszú, napi 300 t kapacitású Unax forgókemence üzembehelyezése volt. A beruházás része volt még a TITAN kötőrő, az UNIDAN iszapmalom, a TIRAX szénmalom, két UNIDAN cementmalom és más kiszolgáló berendezések. A beruházás még a háború alatt megkezdődött.

A Lábatlani Cementgyárat 1949. ápr. 22-én államosították. A gyár neve Lábatlani Cement- és Mészművek Nemzeti Vállalat lett.

Az államosítást megelőzően megkezdett beruházások folytatódtak. Az 1950-es évek elején megépült a gyár és Bersek-bánya között az új drótkötélpálya, a dunaparton 2 db 6000 t-ás cementsiló.

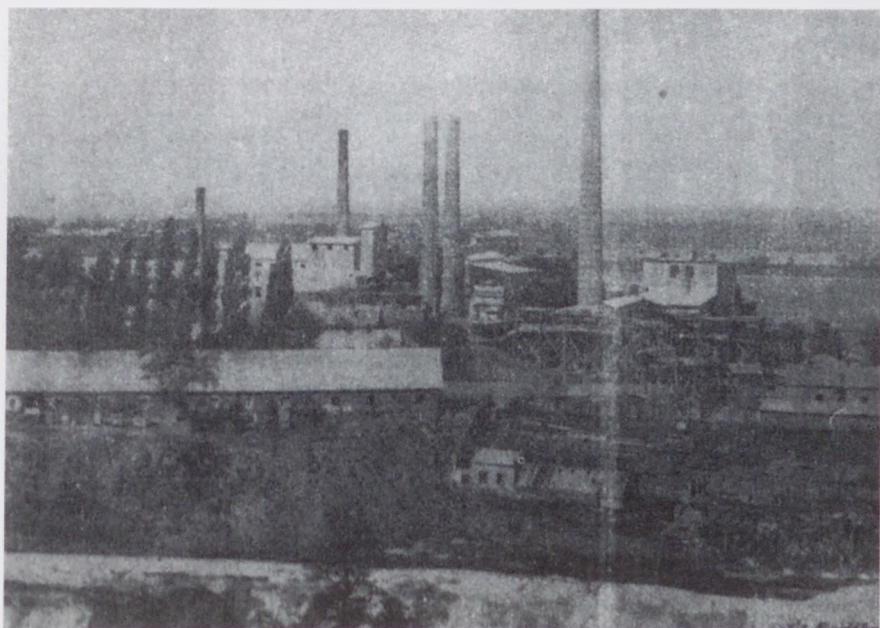
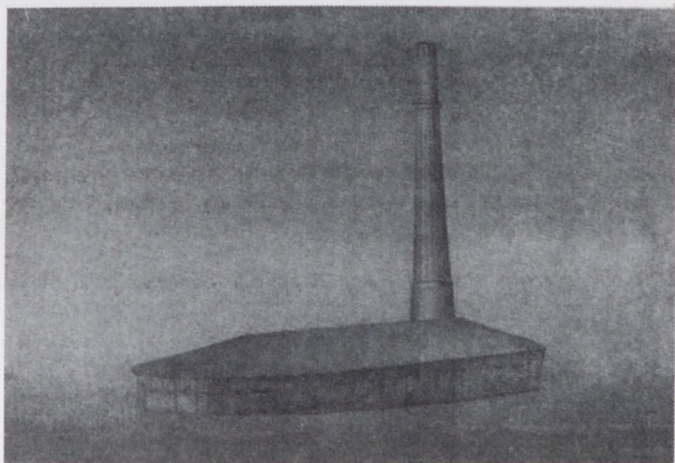
1952-ben nagyméretű rekonstrukció kezdődött. A régi gyárat lebontották, helyén új üzem épült.

1953-ban megépült az I. román gyártású kemence 270 t/nap kapacitással, 1955-ben a II. román gyártású kemence 270 t/nap kapacitással, nedves eljárással.

1959-ben helyezték üzembe a magyar tervezésű és gyártású, 430 t/nap, 1961-ben az ugyancsak magyar gyártású, 280 t/nap kapacitású forgókemencét. Az utoljára épített Unax-kemencét is bővítették 320 t/nap kapacitásra. Az 5 kemence napi kapacitása 1570 t lett. A gyár, amely 1950-ben csak 142422 t klinkert és 181999 t cementet termelt, 1962-ben már 479 526 t klinkert és 517000 t cementet állított elő.

Amíg a váci gyár meg nem épült, a lábatlani gyár volt hazánk legnagyobb cementgyára.

1956-ban helyezték üzembe a II. 3,5 km hosszú kötélpályát Bersek-bánya és a gyár között. 1962-ben a Dunaparton megépült a III-as cementcsomagoló és 6 db cementsiló. A cementet Flux csomagológéppel zsákolták. A forgóke-
mencéket két iszapkád látta el nedves iszappal.



2.3. ábra. A Lábatlani Cementgyár [100 éves a Cement- és Mészművek Lábatlani Gyára]. *a)* Az 1868-ban épített körkemence és a kéménye; *b)* 2 db Polysius gyártmányú és 1 db Smidth gyártmányú kemence üzemelt 1924-ben

A 70-es években korszerűsítették az S 54 jelű cement gyártását. 1979-ben elkészült a 100 t/h kapacitású új vagonbuktató.

A mészüzem termelését 1956-ban, 1968-ban, majd 1983-ban leállított kemencék révén fokozatosan megszüntette. 1988-ban megalakult az ARAGONIT Mészművek Kft. néven egy új osztrák—magyar vegyesvállalat, amely 1990-ig 140 et kapacitású, regeneratív rendszerű ikerkemencés mészüzemet épített.

A leállított Tatabányai Cementgyárat a Lábatlani Cementgyárhoz csatolták. Ez az állapot 1988-ig, a privatizáció beindításáig tartott. A tatabányai gyárat elsősorban reléállomásként működtették.

A cementgyártás nyesanyagbázisát napjainkban a Kecskető-hegyre telepített saját kezelésű kőbánya és berseki agyagbánya képezi. Az összes cementgyárunk közül ennek van a leegyenletesebb minőségű, kémiai összetétel szempontjából is a korszerű gyártáshoz leginkább megfelelő alapanyaga. A széntüzelés gondjai azonban már a 70-es évek végén kezdtek jelentkezni, amikor az oroszlányi szenet márkushegyi lignittel váltották fel. Olajtüzelésre tértek át. Ekkorra azonban gazdaságos lett a lengyel import szén, ezért javított formában visszatértek a széntüzelésre. Az átállást az 1990. jan. 1-től a Lábatlani Cementipari Kft. fejezte be. A cementgyártáshoz szükséges erőművi pernyét Dorogról kapják. Tehát minden közel van és a Tatabányai Cementgyár leállítása miatt központi helyen fekszik, termékeire szükség van.

Jelenlegi termékválasztéka: a 350 S 54 pc, a 350 ppc 10 és a 450 ppc 20 jelű pernyeportlandcementek, amelyekre nagy felhasználó a Lábatlani Vasbetonelemgyár és az Eternitgyár.

A jó és viszonylag olcsó cementgyártáshoz megvannak a feltételek, de a 80-as évek végére a gyár technológiája elavult.

A kedvező helyzeti előnyök miatt a gyár rekonstrukcióját irányozták elő, de a beremendi, hejőcsabai és bélapátfalvai gyárakéhoz hasonló alapvető korszerűsítésre nem kerülhetett sor. De az új tulajdonosokkal (HOLDERBANK) egyetértésben a tüzelés korszerűsítése mellett megteremtették a másodlagos tüzelőanyagok felhasználásának feltételeit, elektrofilterek beépítésével megoldották a légszennyeződési problémákat, az üzembiztonság fokozása érdekében „nedveskemence-optimalizálási program” keretében egyes részeket korszerűsítettek.

A gyárról a 2.3. ábra mutat fényképet.

2.4.4. A Nyergesújfalui Cementgyár

[Nendtvich G. (1889), Bereczky E.—Reichard E. (1960)]

A Nyergesújfalui Cementgyárat *Benko* Károly és *Kolbenheyer* Ferenc építésszek és *Rauschler* Vilmos műszaki igazgató alapították 1870-ben. A gyártelep Nyergesújfaluban, közvetlenül Piszke és Lábatlan alatt a Duna partján, a Budapest—Esztergom—Komárom közötti országút mentén feküdt. Közlekedési lehetőségei jók voltak. A gyárhoz közel voltak az alapanyagok is, nevezé-

tesen a mészmárga-bánya 18 km-re, Nyergesújfalu határában, a köszen Tokodon.

A mészmárgát folytonosan üzemelő nyolc nagy aknakemencében (aknás pestben) égették ki, a kiégetés után gondosan válogatták, finomra örölték. A gyár adatai szerint a 900-as szitán 7 m%, a 2500-as szitán 8 m% volt a szitamaradék.

A gyár kezdetben 14 000 t klinkert tudott égetni, és 20 000 t-át meg tudott volna örölni. Az őrlőkapacitás tehát nem volt kihasználva. A kezdeti jó minőség romlott, a termelés évi 2000 t-ra esett. 1887-ben a *Hoffmann* cég vette át a gyárat és 1888-ban már ismét 8900 t cementet termeltek. A cement nagy részét vasutak építéséhez használták fel.

A gyárat 1900-ban *Sátori M.* pesti vállalkozó vette meg, majd eladta a Hitelbanknak. 1900-ban Magyarország területén a leggyengébb minőségű cementet itt gyártották. 1920-ban a Belga—Magyar Bank vette meg. *Hauen-schild A.* megpróbálta az aknakemencéket felújítani. De a gyár a versenyt nem bírta. A kartell 1925-ben megvette és a gyártást megszüntette.

A nyergesújfalui gyárban előállított cement tulajdonságaiban hasonlított a lábatlani cementhez.

2.4.5. Az Újlaki (óbudai) Cementgyár

[*Nendtvich G.* (1889), *Berezky E.*—*Reichard E.* (1960)]

A gyárat 1880-ban építette *K. L. Cross* Buda-Újlakon a József-hegy lábánál „*Józsefhegyi Cementgyár Cross és Tsa*” cég neve alatt, kezdetben hidraulikus mész gyártására. A gyár a József-hegy oldalát egészen az Üröm utcáig elfoglalta. A nyersanyagot csillén kaptá a felette lévő bányából. Az aknás pestekben kiégetett anyagot kihűlés után megörölték úgy, hogy a 900-as szitán fennmaradt rész kb. 7 m% volt. A kész terméket 50—80 kg-os zsákokba, ill. 200—250 kg-os hordókba csomagolták.

A gyár többször cserélt gazdát. 1888-ban *Melocco L.* a „*Melocco* testvérek cementműkögyára és beton útépitő vállalata” cég főnöke vette meg és „*Melocco L. I.-ső budapesti románcement, hidraulikus mész és mesterséges portlandcementgyár*” cég nevet adta neki.

A nyersanyag kémiai elemzése után megállapították, hogy az portlandcement gyártására is alkalmas. Ezt úgy gyártották, hogy a megfelelő nyersanyagot gépekkel megfelelő finomságúra örölték, téglá alakúra sajtolták, részben szabad levegőn, részben mesterségesen kiszáritották, az égetőkemencékben töpörödésig égették, majd finomra örölték.

1889-ben 10 órasi munkaidő alatt 50 t román- és 20 t portlandcementet állítottak elő.

A gyár termékei — a gyár kedvező földrajzi helyzeténél fogva, meg azért is, mert az építési tevékenység újra lendületbe jött — kelendők voltak: a magyar északkeleti vasút több hídja és viaduktja, a magyar-gácsországi vasút, a nyugati vasút, a budapesti Ferenc József lovassági kaszárnya, a m. kir.

államvasutak gépgyára, diósgyőri vas- és acélművek alapjai, az ármentesítés-nél épített zsilipek, a Lipót utcai, Akácfa utcai és Rózsa téri gyalogjárók, és még sorolhatnánk.

A gyárat 1922—29 között megkísérelte *Loewentritt* mérnök korszerűsíteni. Cementsilókat, új cementmalmot építettek. A gyár napjai azonban meg voltak számlálva. A Melocco család részvényeit a Magyar Általános Ingatlanbank, ettől 1929-ben a kartell megbízásából a MAK vásárolta meg és a gyárat leállította.

2.4.6. Beremendi Cementgyár

1969-ben, a gyár 60 éves fennállásának évfordulója alkalmából a gyár emlékkönyvet, majd 1987-ben gyárismertetőt adott ki, amit forrásmunkaként használtam fel. Utóbbit *Bényei Károly* írta.

A cementgyár létesítése a térségben az 1907. évi ipartörvény III. tc.-éhez kapcsolódik, amely az iparosítás nagyszabású támogatását helyezte kilátásba. Ennek keretében a kormány a nagyobb földbirtokosokat ipari üzemek létesítésére buzdította. Ebben az időben Beremend és környéke L. *Schamburg* német herceg tulajdona volt, aki a kormány kezdeményezéséhez csatlakozva cementgyár építését határozta el. A földtani kutatásokat, a gyár szerelését is német szakemberek végezték. A tervezés (valószínűen tippusterv volt) és építés együtt nem tett ki 2 évet. Az építési, szerelési munkákat 1910 februárjában kezdték el (az alapozást a tervezéssel egy időben készítették el), és 1910. november 27-én kiszállították az első vagon portlandcementet.

A feltárások szerint a gyár mellett lévő mészkőbánya a legtisztább magyarországi mészkő. A gyár rendelkezésére álló agyag ugyancsak kedvező. Mindkettő alkalmas jó minőségű cement gyártására, ami a kezdeti nehézségek után sikerült is.

A cementgyárban a klinkert kezdetben 2 db 2,2 m átmérőjű, 35 m hosszú, napi 100 t kapacitású forgókemencében égették. Télen kereslet hiánya miatt rendszerint szünetelt a cementgyártás. Az energiát 735 kW-os és 260 kW-os gőzgép szolgáltatta, mivel akkor elektromos hálózat még nem volt a környéken kiépítve. A gőzgépekhez a gőzt 5 db 100 m² fűtőfelületű Cornwall kazán szolgáltatta.

Az üzem berendezései általában kötélmeghajtásúak voltak, csak a gyári kutakat, a gőzgépek tápszivattyúit és a kötélpályákat működtették 75 kW-os egyenáramú motorral. A mészkövet a gyárba drótkötélpályán szállították.

A megnövekedett cementkereslet miatt már 1912-ben egy újabb, 3 m átmérőjű, 50 m hosszú forgókemencével (III. számú) bővítették a termelést. Az új létesítmények közül a forgókemencét már villamos energia hajtotta meg, amit gőzturbinával állítottak elő.

A gyárat 1918-ban, a szerb megszállás idején leállították, és az I. és II. számú forgókemencét 1922-ben, a III. számút 1928-ban indították újra. Időközben a III-as kemence porkamrájába a Schlick Nicholson Gépgyár egy

1000 m² fűtőfelületű hőhasznosító füstgázkazánt épített. 1939—44 között csak a III-as kemencét üzemeltették.

Kezdetben a cement minősége ingadozott, ezért csak 1924-ben tértek át a nagy szilárdságú portlandcement gyártására, amelyre 50 MPa 28 napos szilárdság volt előírva a földnedves habarcsvizsgálat szerint.

1918-ban az alapítótól a gyárat a Magyar Agrár- és Járadékbank vette meg, 1919-ben ez a bank a Magyar Hitelbankkal 50-50%-ban lett tulajdonos. 1920-ban a gyár részvényeinek a 70%-a a Magyar Általános Kőszénbánya Rt. (MÁK) tulajdonába ment át. Sőt még ebben az évben a MÁK egyedüli tulajdonos lett.

A gyárat 1947-ben államosították. A háború után a termelést csak 1949-ben indították újra, mindhárom kemencével. Kezdetben csak kisebb fejlesztéseket végeztek. Ennek során a gépeket elektromos meghajtásra állították át és az energiaellátás javítására 1500 kVA-10 turbógenerátort, valamint a kőbányába új töröket építettek be. A gyár e kisebb korszerűsítések ellenére elavult maradt.

A 60-as évek végén részletes nyersanyagkutatások ismeretében a kormány új cementgyár létesítését határozta el Beremend térségében. A beruházó a SZIKKTI volt. A gyár 1972-ben kezdte meg termelését, és már ebben az évben 160 et cementet termelt. Névleges kapacitását — az akkori beruházási gyakorlattól eltérően — a nemzetközi normáknak megfelelő idő alatt érte el.

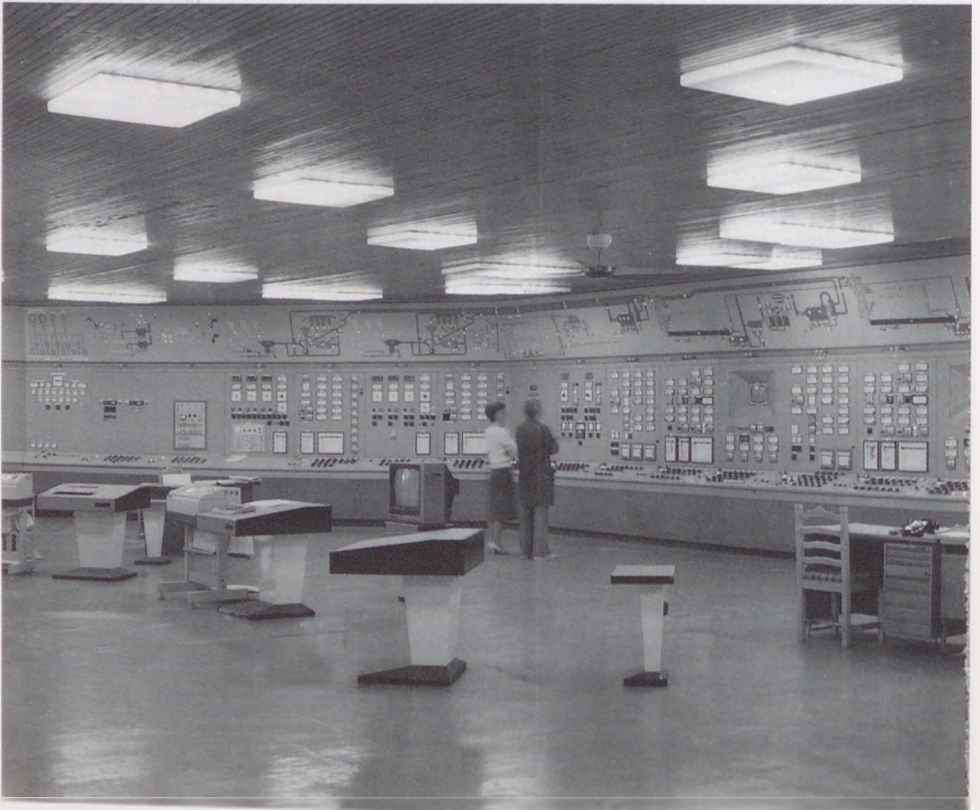
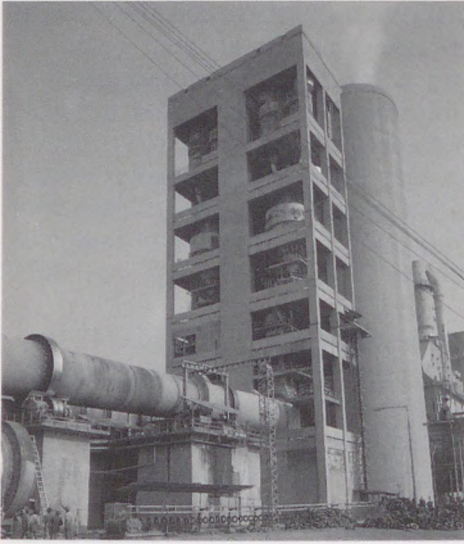
A gyár építése korszakváltást jelentett a magyar cementiparban. Berendezései és technológiája megfelelt a nemzetközi színvonalnak. Minőségi változást jelentett a fajlagos energiaigény csökkenése, mivel a száraz eljárásra tértek át, egy nagyságrenddel megnőtt a berendezések fajlagos teljesítménye. A központi vezérlés is világszínvonalon állt. Tüzelőanyagként fűtőolajat használtak. Építése idején hazánk legkorszerűbb gyára volt.

A klinkergyártáshoz szükséges mészkövet és löszös agyagot a gyár saját bányájából gépjárművekkel szállítja a feldolgozás helyére. A nyerslisztet 2 db 140 t/h kapacitású, Klöckner—Humboldt—Deutz gyártmányú, tandem kapcsolású, szárítva örlő körfolyamatos malomban örlik meg, és 2 db 3000 t-ás vasbeton silóban homogenizálják. Mindkét folyamatot — előzetes röntgenvizsgálat után — magyar gyártmányú számítógéppel irányítják.

A klinkert szintén KHD gyártmányú, Humboldt rendszerű, 2 db 1500 t/nap kapacitású, lebegtető hőcserélős forgókemencében égetik, és Fuller-Combi (CPAG gyártmányú) rostélyhűtővel hűtik le. A cementet 3 db 100 t/h teljesítményű, NDK gyártmányú, körfolyamatos rendszerű malomban örlik meg. A cementet 1 db 2400 zsák/h teljesítményű, cseh szlovák gyártmányú, ill. 1 db Haver-Boecker 8 RS NE/C típusú, azonos teljesítményű körforgós gépekkel zsákolják. Az ömlesztett cement kiadása fajtánként közúton és vasúton egyaránt lehetséges.

Jelenleg a gyár 20 éves. Hatékonysági mutatóit — a cement iránti igény csökkenése ellenére — tartani tudja.

A főbb technológiai berendezéseinek a portalanítása — a szükséges átalakításokat, ill. cseréket követően — megfelel a jelenlegi nemzetközi előírásoknak.



2.4. ábra. Képek a Beremendi Cementgyárról (1966). *a)* Forgókemencék és hőserclő tornyok; *b)* cementtároló silók; *c)* központi vezérlőterem

E munka során először a SZIKKTI által tervezett nyersalmi portalanítás átalakítását végezte 1975-ben a nyugatnémet LURGI cég. 1985—87 között ugyanez a cég a portalanítókat, mivel elhasználódtak, újakra cserélte ki. Ezek portalanítási hatásfoka 99,84%, ami megfelel az európai előírásoknak. A LURGI cég 1988—89-ben a klinkerhűtők örvénycsöves portalanítóit 4/4 DDS 28 típusú kavicságyas porszűrőkre cserélte ki. Végül 1992-ben a cementmalmok elektrofiltereit a korszerűbb DS 36/3,6 típusú zsákos portalanítókra cseréltették ki.

A gyár jelenleg 350 ppc 10, 350 ppc 20, 450 pc, 550 pc jelű cementet állít elő. Az erőművi pernyét a Pécsi Hőerőműből szerzi be. A klinker előállítására fordított fajlagos hőenergia 3200—3350 kJ/kg klinker.

A gyárat a 2.4. ábra szemlélteti.

2.4.7. Bélapátfalvai Cementgyár

A gyárat 1908-ban alapították. A gyár vezetősége 1960-ban „50 év az építőipar szolgálatában” és 1980-ban „A cementgyártás 70 éves Bélapátfalván” c. ünnepi kiadványban foglalta össze a gyár történetét. Ezeket forrásmunkának tekintem.

A bélapátfalvai portlandcement-gyárat lovag *Wessely* Károly bécsi építészeti tanácsos, nagyvállalkozó alapította az iparfejlesztési törvény kezdeményezésére. *Wessely* a Bélapátfalvával határos több ezer holdas szilvásváradi erdőnek is a tulajdonosa volt. A faszállítás nehézségeinek leküzdésére a Magyar Agrár- és Járadékbank segítségével keresztülvitte az eger—putnoki vasút megépítését. 1908-ban indult meg a helyiérdekű vasút, amelyet a szénbányával kötőpálya kötött össze.

A cementgyártás fő nyersanyagát a közeli Bélkő hegység mészkőbányája adta.

1910-ben helyezték üzembe a nedves eljárással működő, 2,5 m átmérőjű, 40 m hosszú, 90 t/nap kapacitású forgókemencét. A második ugyanilyet 1912-ben indították. A harmadik, 180 t/nap kapacitású forgókemence, amely 3 m átmérőjű és 50 m hosszú volt, 1913-ban kezdte működését. A mészkövet pofástörőkkel és golyósmalmokkal őrölték iszappá. A szemet Roulette malmokban, a cementet Ergo csőmalmokban őrölték meg. A gyár cementkapacitása a háború kezdetén 400 t/nap volt. Az elektromos áramot a gyár maga állította elő. A vizet víztárolóból nyerték (mai gyári tó). A gyár kezdettől jó minőségű, nagy szilárdságú cementet gyártott.

Wessely 1914. évi halála után a csődbe jutott gyár 1917-ben az Angol—Magyar Bank tulajdonába került. A közös gondok miatt a Budapestvidéki Kőszénbánya Rt. és az Angol—Magyar Bank 1918-ban közös vezetőségű szindikátust hozott létre. A teljes egybeolvadás után 1923-ban a vállalat az *Egercsehi Kőszénbánya és Portlandcementgyár Rt.* nevet vette fel.

1925-ben hazánk cementfogyasztása 220 ezer t-ás mélypontra süllyedt. Ekkor jött létre a cementkartell, amely a gyártható mennyiséget és a terítési

területet meghatározta. A Bélapátfalvai Cementgyár részesedése az 1925. évi 12,5%-ról 1929-re 23%-ra nőtt, ami a II. világháborúig meg is maradt.

Amikor az országos cementfelhasználás igen kicsi volt, akkor fejlesztésbe kezdtek. A forgókemencét hőhasznosító kazánokkal szerelték fel. Növelték a gőz villamos energiává alakítás hatásfokát 2 db 3000 lóerős gőzturbinával. Az egercsehi bányát is innen látták el energiával. Új kötélpályát építettek, új palabányát nyitottak, tároló silókat építettek, automata zsáktöltő berendezéseket állítottak üzembe és jutazsák helyett saját gyártású papírzsákokat használtak. 1929-ben megépítették a negyedik, MIÁG gyártmányú, 5 m átmérőjű, 50 m hosszú forgókemencét.

Ezt a fejlesztést a Magyar-Angol Bank nem vállalta, ezért a gyár a Budapestvidéki Kőszénbánya Rt. tulajdonába került.

1930-ban az egyik kemencében fehér cementet kezdtek gyártani és „Üstökös” néven forgalmazták. A gyártás 1950-ig tartott.

A gyárat 1942-ben a Magyar Kereskedelmi Bank és a Magyar Általános Hitelbank vásárolta meg.

1943-ban volt a legnagyobb a termelés, évi 120 et, de a kapacitás ekkor sem volt kihasználva. A gyár 1944 novemberében leállt.

A Bélapátfalvai Cementgyárat 1948. márc. 2-án államosították és a neve Bélapátfalvai Cement- és Mészmű lett.

Az államosítás után a termelést különböző fejlesztésekkel fokozták. Az anyagellátás biztosítására — a kimerült agyagbánya helyett — a Béklyó déli oldalán új palabányát nyitottak. A fehér klinkert gyártó kemencét normál klinker gyártására állították át. Kis módosításokkal modernizálták a kötélmeghajtást. Két cementörlő malmot építettek, ami által négy örlőberendezésük lett. Ezekkel a kisebb korszerűsítésekkel a gyár kapacitását évi 180 ezer t-ra növelték.

1951-ben a gyár áttért a heterogén portlandcementek gyártására, amihez adalékanyag-előkészítőre és szárítóra volt szükség.

1962-ben 190 ezer t cementgyártással elérték a teljesítőképesség határát. A cementgyár előregedett, de a termelést kisebb korszerűsítésekkel, karbantartással fenn kellett addig is tartani, amíg az alapvető korszerűsítésre sor került.

Mivel hazánkban sok az agresszív talajvíz, és a szulfátálló importcement igen sokba került, a gyár — előkísérletek után — 1964-ben elkezdte az S 54 jelű szulfátálló cement gyártását. A gyár 1964-ben már 23 ezer t-át állított elő. 1972-ben már csak S 54 jelű cementet gyártottak. 1975-ben érték el a termelési maximumot, 194,5 ezer t-át.

Tervbe vették a cementörlés korszerűsítését is. A Beremenden és Hejőcsabán már megismert NDK-beli, 3 m átmérőjű, 12 m hosszú cementmalmot építettek, amely a korábbi négy cementmalmot feleslegessé tette. A malom teljesítménye 35—38 t/h volt — 280 m²/kg Blaine szerinti fajlagos felület esetén.

1964-ben 4 silót alkalmassá tettek a vasúti ömlesztett cementszállító kocsik töltésére, az I. és II. silót pedig a korszerű közúti szállításhoz mérlegekkel látták el. 1965-ben megszűnt a zsákgyártás, és ettől az időtől a papírzsákokat a

2.1. táblázat. A bélapátfalvai régi és új gyár fontosabb fajlagos mutatói

Fajlagos mutatók	Mértékegység	Régi gyár	Új gyár
Technológia		nedves eljárás	száras lebegtető hőcserélős eljárás
Cementtermelés	t	190 000	1 250 000
Termelékenység	munkaóra/t cement	3,5	1,45
Létszám	fő	750	1 100
Fajlagos hőfelhasználás	kJ/kg klinker	11 700	3 560
Fajlagos vill. energia felh.	kWh/t	115	131
Egyidejű vill. energia igény	MW	4,3	23
Teljesítmény	t/h/malom	16,5	165
Nyersmalom-teljesítmény	t/h/össz.	66	330
Klinkerkemence-teljesítmény	t/nap/kemence	180/90	1 600
	t/nap/össz.	540	3 200
	t/h/cement	38	85
Cementmalom-teljesítmény	t/h/össz.	38	340
Villamos betáplálás	kV/kV	35/5	120/6,3
Vízfelhasználás	m ³ /nap	1 410	3 700
Állóeszk. ért.	mFt	164	7 800
Porkibocsátás	t/nap	50	5

váci zsákgyártól vásárolták. 1965-ben 3 db 30 m³-es olajtároló tartályt építettek az eddigi 57 m³-es mellé és rátértek az olajtüzelésre. A III. kemencét 1966-ban, a IV.-et 1967-ben, az I. és II. kemencét 1968-ban állították át olajtüzelésre. Ehhez még egy 500 m³-es olajtartályt építettek.

Közben a mészüzemet is fejlesztették. 1978-ban már 92 ezer t égetett meszet termeltek.

Az Állami Tervbizottság 1973-ban Bélapátfalvára új, nagy teljesítményű cementgyár építését határozta el. Az 1973. december 17-én aláírt Szovjet—Magyar Kormányközi Egyezmény szerint a cementgyárat szovjet technológiával, szovjet tervezők közreműködésével építették meg. Elkezdődött a tervezés. Az 1976. március 26-i engedély-okmányban lefektették a gyár főbb termelési mutatóit, kijelölték az építővállalatokat. A kivitelezés során felmerült nehézségek miatt 1978-ban módosított engedélyezési okmányt adtak ki megváltozott költségekkel és határidőkkel, az új gyár korszerűségére jellemzők a 2.1. táblázat adatai.

Miben állt az új gyár korszerűsége?

— A távozó füstgázokat a nyersliszt előmelegítésére használják fel hőcserélőkben, ami az energiatakarékosságot lényegesen növeli.

— A gyár termelése 6,5-szerese a réginek, miközben a létszám csak 1,5-szeresére nőtt. A termelékenység is 2,5-szeres.

— A régi gyár porkibocsátása a kéményekből napi 50–60 t volt, az új gyáré — a sokkal nagyobb termelés ellenére — kb. napi 5 t-ra csökkent. A gyár megfelel a szigorú környezetvédelmi előírásoknak.



2.5. ábra. A Belpátfalvai Cementgyár távlati képe 1990-ben

A régi gyárral együtt megszűnt az S 54 jelű cement gyártása. Az új gyár S 100 típusú 450 pc gyártására, valamint döntő többségében 350 ppc 10 és 350 ppc 20 készítésére rendezkedett be. A pernyét a Gyöngyösvisontai Erőműből kapja.

A gyár alapvető technológiája a 2 db 1600 t/nap teljesítményű, száraz eljárású, hőcserélős kemencére épült. A nyersörlést 2 db KHD gyártmányú, TANDEM rendszerű, a cementörlést pedig 4 db szovjet gyártmányú, körfolyam rendszerű malom látja el.

A cement zsákban és ömlesztett formában szállítható. A füstgázokat 4 elektrofilter portalanítja. A kemencerendszer üzemét R 10 számítógép vezérli.

A kőbányát a cementgyárral 1000 mm széles, 700 t/h teljesítményű szállítószalag köti össze.

A beruházást az ÉPBER bonyolította. Generáltervező a SZIKKTI volt 11 alvállalkozó bevonásával. A kivitelezést 5 generálkivitelező és 8 alvállalkozó végezte. A technológiai berendezések gyártásában, szállításában és beszerelésében 34 hazai vállalaton kívül Ausztria, Csehszlovákia, Japán, Lengyelország, NDK, NSZK és a Szovjetunió vállalatai vettek részt.

1979 elején a régi gyárban 80 et klinkert termeltek. Ez a gyár 1979. július 1-jén állt le, és 1 hónapon belül megindult a próbaüzem az új gyárban.

A gyár az 1980. évi üzembehelyezése után a tervezett mutatókat nem érte el, ezért jelentős átalakításokra volt szükség. Ez az átalakítási program 1986-

ban fejeződött be. Ennek eredményeként a klinkertermelő kapacitás 960 et/év, a cementtermelés 1100 et/év lett. A gyár az átalakításokkal korszerűnek mondható.

Kedvezőtlen a gyár fajlagos bruttó állóeszköz igénye, amely kétszerese a hejőcsabai és közel kétszerese a beremendi gyárénak.

A gyár távlati képét a 2.5. ábra szemlélteti.

2.4.8. Hejőcsabai Cement- és Mészművek

1980-ban a Műszaki Könyvkiadó gondozásában a gyár „Hejőcsabai Cement- és Mészmű története az alakulástól napjainkig” c. emlékkönyvet adta ki. Felelős kiadó: Szabó István igazgató. Ezt a könyvet forrásértékűnek tekintetem.

A század elején az államilag szorgalmazott iparosodás különösen jelentős volt Miskolcon és környékén. A hely kiválasztásánál szerepet játszott a Vasgyár, Miskolc vasúti csomópont szerepe és a rendelkezésre álló jó minőségű alapanyag. Várhegy, Nagykőmázsa és Poklostető hegyek mészkővagyonra 98 m% tisztaságú.

A várhegyi kőbánya területe a Görömböly-Tapolcai Apátság tulajdona volt és 1890-ben bérleményként nyitotta meg *Weisskopf* A. bányavállalkozó miskolci lakos. A bányanyitást engedélyt 1890. aug. 24-én, a lóvontatású iparvágány engedélyt 1902. júl. 2-án adták ki. Kezdetben csak cukorgyáraknak szállítottak mészkövet. *Weisskopf* A. 1910-ben kért csak engedélyt 2 boglyakemencére az Iparügyi Minisztériumtól. Meg is kapta. De a MÁK Rt. körkemencés mészüzem létesítésére kért engedélyt, és emiatt az Iparügyi Minisztérium kiadott engedélyt visszavonta.

Először *mészüzemet* építettek, amelynek építése 1914 márciusában fejeződött be. Az üzem terveit *Echart* V. és *Hotop* E. (Budapesti Magyar Műszaki Tervező és Építő Rt.) készítette, főépítésvezető *Székely* K. főépítész volt.

A tulajdonos a Magyar Általános Kőszénbánya (MÁK) Rt. volt, amely a felsőgallaival azonos típusú és teljesítményű Hoffmann-rendszerű körkemencét építtetett. A mészkőbánya és a mészkőüzem első felelős vezetője *Schäffer* P. bajor technológus volt.

A mészkőüzemet 1948. márc. 25-én államosították. A gyár Hejőcsabai Mészmű néven önálló nemzeti vállalat lett, 1951-től pedig Hejőcsabai Cement- és Mészmű lett a neve, mert közben megkezdtek a cementgyártást. A Vegyiműveket Tervező Vállalat tervei alapján a mészüzem telephelyén puzzolán cementüzemet hoztak létre egy forgókemencés mészégető kemence üzembehelyezésével. 1950 tavaszán kezdték meg a cementüzem építését. Mészégetésre a Lábatlani Cement- és Mészműből hoztak át egy 2,1 m átmérőjű, 36 m hosszú forgókemencét.

Új mészkőbányát nyitottak a Nagykőmázsa hegy A.f. 315 m-es szintjén. A meszet 1200–1250 °C hőmérsékleten égették. A kemence napi teljesítménye 50–60 t égetett mész volt. A mészüzem 1950 szeptemberétől üzemelt. Ugyan-

csak 1951. szeptemberben helyezték üzembe a puzzolánüzemet. Ettől az időtől napi 25—30 t égetett meszet a puzzoláncement gyártásához használtak fel. A puzzolán bodrogkeresztesi és sátoraljaújhelyi vulkáni tufából örölt trasz volt. Ún. *kömüvescementet* állítottak elő 60 m% traszból és 40 m% égetett mészből.

Ez a cement visszatérést jelentett a múlt századi cementgyártáshoz azzal a megfontolással, hogy a kisebb szilárdsági igényhez kár nagy szilárdságú cementet felhasználni. Az építőipar azonban idegenkedett ettől a cementtől, ezért 1952 áprilisában gyártását megszüntették. A mészégetés tovább folytatódott és csak 1958-ban szűnt meg.

A cementipari szakmunkások hiánya és a tervbe vett Kohósalak Cementgyár létesítése indokolta egy szakmunkásokat is képző, cementipari gépjavító és karbantartó üzemegység létrehozását a vállalat keretében. Az üzemi egység 1950-ben valósult meg a Diósgyőri és Borsodvidéki Gépgyártól átvett munkáló gépekkel és műszaki személyzettel. Az üzem igen gyorsan fejlődött. 1952. jan. 1-jével az Építésügyi Minisztérium ebből az üzemegységből Cementipari Gépgyártó Nemzeti Vállalatot alapított. Feladata volt a cement- és mészipar igényeinek kielégítése: gépek gyártása, szerelése és javítása. *Ez a vállalat az építőanyagipar gépjavító vállalatává fejlődött.*

1950 novemberében kezdték építeni a Vegyiműveket Tervező Vállalat tervei alapján Hejőcsabán az ország első kohósalak-portlandcement gyárat. A gyár gépi berendezéseit az NDK-beli Polysius és Abus cementipari gépgyártó cégek, kisebb részben hazai gépgyártó vállalatok szállították.

Az első ütemben a kohósalak-szárító és cementörlo üzemrész épült meg, és 1952. augusztusban megindult a próbaüzemelés. Ehhez a diósgyőri és ózdi granulált kohósalakot használták fel. Az első időkben a klinkert más cementgyárakból szállították. Kis szilárdságú cementeket gyártottak. Kezdetben 28 MPa, 1953 II. felétől 30, ill. 40 MPa 28 napos szabványszilárdságú cementeket gyártottak kb. 55, ill. 40 m% granulált kohósalak-tartalommal.

A második ütemben a csomagoló épület építését fejezték be a 4 db 6000 t-ás cementsilóval együtt.

A harmadik ütemben helyezték üzembe a kötélpályát, a 20 000 t-ás nyersanyagtárolót, valamint a 4 db klinkerégető *aknakemencét*.

A megépült gyárat 1953. nov. 1-jén helyezték üzembe.

A cementgyártás technológiája a következő volt:

A Nagykőmázsáról kötélpályán szállított mészkövet és a templomhegyi agyagbányából kötélpályán szállított agyagot 3:1 arányban keverték, majd 24 mm átmérőjű, 16 m hosszú egyenáramú forgódobos szárítóokban addig szárították, amíg a nyersanyag nedvességtartalma 2 m% alá csökkent. A kiszárított anyagot 2 m átmérőjű, 12 m hosszú malmokban lisztfinomságúra örölték. Ezt követte a homogenizálás és kokszzorral keverés. Az aknakemencék 2,8 m átmérőjű, 9 m magas, tűzálló anyaggal bélelt acélhengerek (4 db) voltak, melyekben az anyag felülről lefelé haladt. A kiégetéshez szükséges levegőt, valamint a klinker lehűtését az alulról felfelé áramló levegővel érték el.

A malmokat, a kohósalak- és nyersanyagszárítókat nagyrészt hazai gyárak szállították, a többit az NDK-ból vették.

A cementgyártás pontos technológiai fegyelmet kívánt.

A gyár 1964-ben 400 et, 1968-ban 515 et 300-as és 400-as kohósalak-portlandcementet gyártott, utóbbihoz 256 et klinkerégető kapacitással.

1960-ban hővítették és teljesen gépesítették a mészkőbányát és korszerűsítették a gyárat. Az aláfúvó ventilátorokat turbófúvók váltották fel. A nyersanyag előkészítésére granuláló tányérokot építettek, a nyersliszt és a tüzelőanyag összemérésére szalagmérlegeket szereltek fel. A beérkező nyersanyagok (kohósalak, gipszkő, tüzelőanyag) ürítésének a megkönnyítésére 1 db 120 t/h kapacitású vagonbuktatót építettek. Az őrlési kapacitást 50 t/h-ról 70 t/h-ra növelték 2 db 16 t/h teljesítményű, a Jászberényi Aprító-gépgyár által szállított cementmalommal. A csomagolást is 38 t/h-ról 70 t/h-ra növelték 1 db csehszlovák gyártmányú, Flux típusú csomagológéppel. A klinkerégető kapacitást az 5. sz. Lősche gyártmányú aknakemencével bővítették.

Az aknakemencés cementgyártás energiaigénye 4850—5100 J/g volt, szemben a forgókemencés égetés 5800 J/g országos átlagával.

Az ország cementszükségletének a növekedése szükségessé tette egy új nagy teljesítményű cementgyár építését. A feltételek Hejőcsabán adottak voltak.

Az 1971-ben elkezdett és 1975-ben üzembehelyezett új gyár hazánk legnagyobb és legkorszerűbb cementgyára. A gyár két gyártósorának éves kapacitása 1,1 millió t klinker és 1,3—1,5 millió t cement. Tüzelőanyagként csak földgáz használható.

A további ismertetéshez felhasználtam a „Cement és Mészművek Hejőcsabai Gyára. Épült 1971—75. évben” c. kiadványt, amelyet Cserhalmi Sándor állított össze, továbbá a Hejőcsabai Cement- és Mészipari Rt. 100 éves története és a „HCM Rt.” c. tájékoztatót.

A gyár korszerűségének jellemzői:

a) Összteljesítménye és a gyártósorok mérete nemzetközi színvonalú.

b) A cementgyártás fajlagos energiaigénye ebben a gyárban a legkisebb.

Nyersanyagai a nagykömázahegyi mészkőbányából és a csosznyatetői agyagbányából származnak. A diósgyőri és ózdi kohósalak hosszú időre biztosítottak látszott. A nyersanyag kitermelése, tárolása korszerű.

Az üzemet központi vezérlésű számítógépes irányítású nyerslisztőrlő berendezéssel szerelték fel. A nyersliszt szárítására a kemence füstgázait használják fel.

A klinkerégetésre száraz eljárású, 2 db 2000 t/nap teljesítményű Dopol rendszerű (Polysius) forgókemence szolgál négyfokozatú ciklonos hőcserélővel. A kemencék átmérője 4,6 m, hosszuk 80 m, teljes hosszuk a 9 db 2 m átmérőjű, 18 m hosszú bolygóhűtővel 104 m.

A kemence és a nyersmalom füstgázainak tisztítását a 2 db kondicionáló hűtővel ellátott elektrofilter végzi. A lávozó portartalom 50 mg levegőköbméterenként.



2.6. ábra. A Hejőcsabai Cementgyár távlati képe jól szemlélteti a gyártási folyamatot (jobbról balra haladva)

A cementet 3 db kétkamrás, elevátoros körfolyamórlésű malomban őrlik, amelyek elektrofilteres portalanításúak. A malom 4,4 m átmérőjű és 15 m hosszú. A malomhoz 2 db 6 m átmérőjű szélosztályozó tartozik.

A gépek, gépcsoportok központi vezérlésűek és ellenőrzésűek.

A cement tárolására 8 db 6000 t-ás cementsilót építettek, melyek ürítését levegőlazítással, távműködtető adagoló berendezésekkel oldották meg. Mind a zsákos, mind a közúti, ill. vasúti ömlesztett szállítás lehetséges.

A cementgyár generáltervezője a SZIKKTI volt és a beruházást is bonyolította. A tervezésben még 17 tervezőintézet működött közre.

A gyár építéséhez 150 000 m³ betont használtak fel.

A gépi berendezések szállítói:

- a nyugatnémet Polysius cég a technológiát, a fő technológiai gépeket és a folyamatszabályozás berendezéseit,
- a csehszlovák Prerovi Gépgyár a kemenceköpenyeket, malomköpenyeket, egyes vasbeton-szerkezeti részeket és a csomagológépeket,
- a nyugatnémet Lurgi cég az elektrofiltereket,
- a szovjet Masinoexport cég a mészkőbányai töröket,
- a nyugatnémet Eickhoff cég a bánya és a gyár közötti szállítószalagot,
- a többi berendezéseket hazai cégek szállították.

A gyártás folyamatát a 2.6. ábra szemlélteti.

2.4.9. Tatabányai Cementgyár

Nagy Mihály, a gyár igazgatója 1982-ben emlékkönyvet adott ki a gyár 70 éves évfordulójának alkalmából, amit forrásmunkának tekintek.

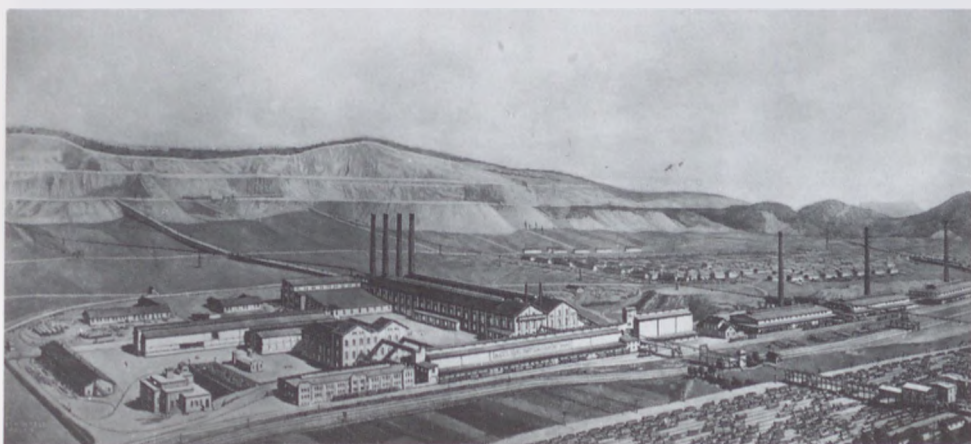
A gyárat a MÁK Rt. építtette. A gyár létesítését egyrészt megelőzte az 1896-ban megnyitott I. akna, majd a rendszeres széntermelés 1910-ig kilenc aknában. Másrészt megelőzte 1902-ben a Keselő hegyi mészkőbánya megnyitása is. A mészkövet részben utépítéshez használták, részben mezei vagy aknás kemencében égették ki. Az iparszerű mészegetés 1905-ben kezdődött.

1911-ben kezdődött a cementgyár tervezése, majd 1911. júl. 15-én Felsőgalán a gyár építése. Egy év múlva az első forgókemence megkezdte a termelést. Kiváló minőségű lett a cement, szükség volt a bővítésre. 1913-ban elkészült a második, 1917 elejére a 3. és 4. forgókemence (2.7. ábra). A gyár 217 fővel kezdte a termelést. Berendezéseit a koppenhágai F. L. Smidth cég szállította. Ezek akkor a világszínvonalat jelentették. A négy kemence kapacitása 240 et klinker volt. A háború után a kis kereslet, a szén- és áramhiány csak a kapacitás harmadának a kihasználását tette lehetővé. A veszteséget az 1925. és 1926. évi kartellmegállapodásokkal igyekeztek elkerülni. Ezekben rögzítették a termelhető mennyiséget. 1927-ben fellendült az építési tevékenység, 263 et cementet termeltek.

A MÁK 1927. okt. 21-i igazgatósági ülésén határozták el egy új, nagy teljesítményű forgókemence megépítését. Ez 1928-ban épült meg a hozzátartozó bővítésekkel együtt.

1928. máj. 16-án kezdték el a *Citodur cement* gyártását mészegető körkemencében, amelyről a 3.3. fejezetben számolunk be.

Az 1929-ben elkezdődött világgazdasági válság hatására 1933-ban 82 et-ra esett vissza a termelés.



2.7. ábra. A Tatabányai Cementgyár látképe a 20-as években (Hollenzer Béla MAGYAR FOTÓ). (A 4 kémény egymás mellett a cementgyártást, a 3 egyedi kémény a mészgyártást szolgálta.) Az egyik Hoffman-kemencében égették a bauxitcementet



u



b



c

2.8. ábra. Képek a Tatabányai Cementgyárból (Hollenzer Béla MAGYAR FOTÓ). *a)* Kézi erővel töltik és szállítják a cementzsákokat; *b)* és a csilléket (századunk első felében); *c)* a szállítóeszközöket exkavátor tölti meg (századunk második felében)

1935-ben ismét nőtt a cementigény, amelyet a hadiipari építkezések, a felvidéki, erdélyi, délvidéki területek visszacsatolása miatt megnövekedett építkezések csak fokoztak. A gyár a legtöbb cementet, 293 et-át 1942-ben termelte. Ezt követően a háború és a szénhiány hatására csökkent a termelés.

A gyárat 1948. máj. 11-én államosították. A neve Tatabányai Cement- és Mészművek lett.

Már a háború előtt is különböző gondokkal küzdöttek. 1949-ben már nagyrészt biztosították a megfelelő minőségű és mennyiségű mészkövet. Megoldották a gépesített kötermelést és a kő üzembe szállítását. Kicserélték a töröket és a szállítóberendezéseket. Biztosították a márgaszükségletet stb.

A kisebb fejlesztésekkel azonban csak a gyár életét hosszabbították meg. A valamikor európai színvonalú, legkorszerűbb cementgyár hazánk legelavultabb, legkorszerűtlenebb gyára lett. A nedveseljárású klinkergyártás, az igen nagy energiaigény, a rossz alapanyagadottság, a rendkívül nagy környezet-szennyezés miatt a klinkerégetést 1983. dec. 31-ével megszüntették. Azóta a gyár tevékenysége:

- Más gyárakból szállított klinkerből cement előállítás. Itt állították elő a váci 450 pc-ből utánörléssel a váci 550 pc-t.
 - A tárolókapacitás reléállomásként működtetése.
 - A többi gyár központi anyagraktárbázisa.
 - Javítóműhelyében javítják a cementipar mobil kőbányai gépeit.
- A cementgyári munkáról szemléltet 3 képet a 2.8. ábra.

2.4.10. Selypi Cementgyár

A gyárra vonatkozó információt részben *Szabó Szaniszló* műszaki igazgatótól kaptam, részben *Bereczky E.—Reichard E.* (1960) könyvéből vettem.

A gyárat 1907-ben alapította a Vulkán Cementgyár Rt. az ún. vulkán cement elnevezésű trasz—mészhidrát keverék (mészpuzzolán) előállítására. A gyár 1909-ben kezdett termelni 15—20 fővel. Ezt a cementet néhány éven át vízepítésekhez használták [*Lampl H.—Sajó E.* (1914)]. Ebben az időben már a portlandcement kezdett egyeduralgódóvá válni. Értékesítési gondok miatt a cementgyárat eladták a Beocsini Cementgyári Uniónak. Az új tulajdonos Polysius tervek és gépek felhasználásával 1910-ben megkezdte a portlandcement gyártását.

A gyár egy kemencéjével hazánkban a legkisebb gyár volt. 1918-ig két műszakban üzemelt, 12 órás munkaidővel, kb. 130 dolgozóval. A gyár az I. világháború alatt leállt és csak 1921-ben indult újra. 1939-ig évente csak 4—5 hónapon át dolgoztak. 1939-től 1944-ig, amikor a háborús készülődés miatt megnőtt a cementigény, 8—9 hónapon át termeltek és áttértek a három műszakos termelésre. A létszám 160 főre nőtt. A napi termelés ebben az időben 100 t klinker és 140—150 t cement volt. A II. világháborúig alig korszerűsítettek. A gépeket gőzgép hajtotta kötéláttelekkel. Csak a kis teljesítményű cementmalmot cserélték MIAG-malomra.

A cementgyárat 1948. márc. 2-án államosították.

A háború után a gyárat korszerűsítették. Az elavult egykemencés rendszert kétkemencésre bővítették. A második forgókemence a Lábatlanban leszerelt Polysius kemence volt. 1957-ben elsőként tért át a gyár az olajtüzelésre, ezzel megjavult a cementminőség egyenletessége.

Kezdetben 20 m% trasztartalmú cementet gyártottak, majd áttértek a mátravidéki pernye felhasználására.

A mátraszöllősi kőbánya kimerülése után Dorogról, Felnémetről, Vácról szereztek be a mészkövet. A szállítás olyan mértékig megdrágult, hogy rátértek a különleges cementek gyártására. Felváltva állították elő az S 54 jelű szulfátálló, a fehér- és a tűzálló cementet. A gyár éves termelése 60 000—65 000 t cement volt.

1970-ben elkezdtek az azbesztcement nyomócsövek gyártását. 1981-től kezdve a gyár két fő terméke az eternit nyomócső és a tűzálló cement.

A gyár 1981-ig közvetlenül a Cement- és Mészipari Művekhez tartozott, majd irányítását az Eternit Azbesztcementipari Vállalat Nyergesújfalú vette át.

2.4.11. Dunai Cement- és Mészmű

A gyár fennállásának 25 éves évfordulójára „A DCM negyedszázados története alkalom a számvetésre” címmel emlékkönyvet adtak ki, *Sági Ágnes* szerkesztette. Ezt a megemlékezést és *Pintér S.* (1993) és *Kovács J.* (1993) cikkét forrásértékűnek tekintem.

A Gazdasági Bizottság 1959-ben határozta el a Dunai Cement- és Mészmű építését.

A tervezett kapacitás 1 millió t cement/év, a tervezett költség 2,5 milliárd forint, az átadási határidő 1964. Határozat volt az is, hogy a gyárat NDK-beli Lepol kemencékkel szerelik fel.

A DCM mészkőigényét a Naszály-hegy biztosította.

A gyárépítést országos ügynek tekintették. A KISZ vállalt védnökséget az építés felett és kiadták a jelszót: „zöld utat a DCM-nek”.

Az I. sz. kemencét 1963. márc. 21-én, a II. kemencét aug. 20-án, a III.-at nov. 3-án adták át. A cementtermelés 1965-ben elérte a 721 et-át. 1963-ban csak 500-as portlandcementet gyártottak, 64-ben 600-as és 700-as pc-et és 1965-ben 600-as és 500-as pc-t és 500-as és 300-as kohósalak-portlandcmentet (kspc-t). Felépült a zsákgyár is 30 millió db/év kapacitással.

Ha az 1950—59 között eltelt időt tekintjük a gyárépítés első ütemének, a másodiknak a DCM építését, akkor most a harmadik ütem következett. 1966. jún. 21-én lezárult az a vizsgálat, amely a cementgyár műszaki—gazdasági mutatóit értékelte, és a jelentés megállapította, hogy „az üzemeltetés, illetve részleges üzemeltetés egy-másfél éve alatt a DCM technológiai berendezései igen sok területen nem tudták produkálni a tervfeladatokban előírt műszaki gazdasági mutatókat”. A hibákat elsősorban az NDK-ból származó berende-

zések okozták. A 3338/1964. sz. kormányhatározattal a hibák kijavítását rendelték el.

A cementgyár a javítás határidejét 1968. dec. 31-re, az ezzel összekapcsolt bővítés programját 1970 júniusában rögzítette. Utóbbival a kapacitást 765 et klinker és 1062,5 et cement előállítására növelték. Mindezzel egyidejűen megépült a mészüzem is.

A klinkerkapacitás bővítését a IV. Dopol kemencével kívánták megoldani, amelynek kapacitása 1000 t/nap volt 3270 J/g hőfelhasználással. Ez a kemence 1971. szept. 30-án kezdett termelni.

1966—70 között 30 milliónál több papírzsákot gyártottak évente. A zsákolt cement aránya az 1966. évi kb. 70%-ról 1970-re kb. 30%-ra csökkent. A cementexport — a hazai igények miatt — az 1966. évi 169 et-ről 1970-re megszűnt.

A gyár 4. korszaka az 1971—78. év. 1971 szeptemberében intézkedési terv készült a gyár termelési helyzetének stabilizálására. A tervezett stabilizációs szintet, amely évi 820 et klinker, 1090 et cement, 50 et mészt gyártását irányozta elő, 1974-ben kellett elérni. Az optimális szintet (900 et klinker, 1170 et cement, 100 et égetett mészt) pedig 1977-ben. A tervezett szinteket kb. a tervezett időben el is érték.

Meg kell említeni a környezetvédelemre tett erőfeszítéseket. A gyár porkibocsátása 1974 előtt meghaladta az évi 17 et-át, ami 1980-ra, a beépített szűrőkkel, évi 10 et-ra csökkent. Emiatt a légszennyezés miatt még évi 3,5—4 millió Ft légszennyezési bírságot fizettek, ami 1988-tól évi 32,5 millió Ft-ra nőtt volna a terv szerint.

A cementgyártás 5. korszaka az 1979-től napjainkig eltelt idő.

Míg építése idején — minden nehézség ellenére — a legkorszerűbb cementgyárunk volt, 1980-ra már három korszerűbb és nagyobb kapacitású gyárunk (beremendi, hejőcsabai, bélapátfalvai) kapcsolódott be a termelésbe. A CEMŰ a korszerűbb cementgyárak teljes kapacitását igyekezett elsősorban kihasználni, így a váci gyárnak a továbbiakban bizonyos pufferfeladatokat is el kellett látnia.

A termelés bizonyos csökkenését vonta maga után az is, hogy mérséklődött az építőipar beruházási üteme. A piac törvényei kezdtek érvényesülni, ami a gyártól is nagy rugalmasságot kívánt: a gyár közvetlenül eladóvá vált. Lehetővé tették a hétvégi szállításokat. Szállítottak külföldre, a vízi szállítást is megszervezték. Télen tartalék klinkert termeltek. Ebben az időben növelték a cementválasztékot a 450 R_{pc}-tel és a 250 k_spc 60 jelű cementtel.

Időközben a gyár berendezései erősen elhasználódtak, a fajlagos hőfelhasználás sem felelt meg a korszerű követelményeknek, a környezetvédelmi intézkedések sem voltak elfogadhatók.

A gyár központi elhelyezkedése azonban szükségessé tette a biztonságos termelés megteremtését a legkorszerűbb technológia alapján.

1981-ben a gyárban megtartott miniszteri értekezleten elhatározták a gyár technológiai rekonstrukcióját, a környezetvédelmi feladatok megoldásával együtt. 1983-ban álltak át a földgáztüzelésre, ill. az alternatív fűtésre.

A pénzhiány azonban megint közbeszólt. 1986-ban az Állami Tervbizottság megvitatta a lehetőségeket és elfogadta a beruházás két ütemre bontását. A döntés alapján írt ki az ÉVM nemzetközi versenytárgyalást a Váci Cementgyár berendezéseinek a szállítására.

A beruházás 1987—1991-ben valósult meg.

Az új vonal megépítésére a KRUPP POLYSIUS AG kapott megbízást [Kovács J. (1993)], amely az élenjáró műszaki—technológiai színvonalú gyártósorra vonatkozott. A gyártósor kb. 20%-át közvetlenül a cég szállította, a többi POLYSIUS tervek alapján hazai gyártásban, ill. hazai tervek alapján készült 1987—91 között.

Az új gyártósor a következő részekből áll:

a) 800 t/h teljesítményű szállítószalagon érkezik a nyersanyag, amelyből POLMAT típusú *automatikus mintavevő készülék* óránként 2 mintát vesz. A minta szabványosan csökkentve, szárítva—őrölve csőpostán a központi laboratóriumba jut.

b) A bányából érkező mészkő—agyag keverék *előhomogenizálására* a fedett csarnokban, Chevron rendszerben (400—500 réteg egymás felett) kerül sor. Kapacitása 2×40 et.

c) A *nyersőrlést* RM típusú Koller-járat végzi. A nyerskeveréket a hőcserélő rendszerből távozó füstgázok felhasználásával szárítják. A megfelelő finomságú nyersliszt Sepol rendszerű szélosztályozón át elektrofilterbe kerül. A durva szemcséket elevátor visszaviszi a malomba. A nyersliszt aerációs csatornán át a nyersliszt silóba jut.

d) Az új gyártósorhoz, valamint a régi IV jelű átépített vonalhoz átfolyásos rendszerű kétkamrás *homogenizáló és keverősilót* építettek, amely 20 m belső átmérőjű, 42 m magas és 12 et kapacitású.

e) A *forgókemence* NDK gyártású. Főbb adatait a 2.2. táblázat tartalmazza.

A kemence üzemeltethető földgáz, fűtőolaj, ill. földgáz—fűtőolaj vegyes tüzeléssel.

A kemencéhez ötfokozatú REPOL-AS-LC jelű hőcserélő tartozik, amely előkalcináló aknával kombinált.

2.2. táblázat. Az új váci forgókemence műszaki adatai

Megnevezés	Mértékegység	Érték
Kemenceméret	m × m	4,2 × 57
Lejtés	%	3,0
Alátámasztás		3
Hajtásteljesítmény	kW	400
Fordulatszám	min ⁻¹	3,5
Teljesítmény	t/nap	2700
Fajlagos hőfelhasználás fűtőolaj-felhasználás esetén	kJ/kg	2750
Fajlagos villamosenergia-felhasználás	kW/t	12,0



a



b

← **2.9. ábra.** A Dunai Cement- és Mészművek Gyára. *a)* balról jobbra: nyerslisztőrölő, nyerslisztáró siló, hőcserélő torony, előtte porlevélasztó és klinkerhűtő kéménye, mögötte a három régi kémény, amelyek 1990. dec. óta nem működnek; *b)* új nyerslisztőrölő és nyerslisztáró siló, mellette egymás mögött a 3 használaton kívüli kémény

A forgókemencéhez REPOL 3121-2 típusú tolórostélyos, hidraulikus meghajtású, 65,6 m² rostélyfelületű klinkerhűtő tartozik. Hatásfoka 65%. A klinker hőmérséklete a hűtés végén kb. 65 °C-kal van a környezet hőmérséklete felett. A hűtő végén van a kalapácsos klinkertörő. A hűtő levegőjét Lurgi típusú kavicságyas szűrővel tisztítják.

f) A *folyamatirányítást* a KRUPP POLYSIUS cég POLCID rendszere látja el. A rendszer szintjei:

- operatőri szint,
- irányító számítógép a gyártási folyamat általános ellenőrzésére és vezérlésére,
- vezérlő és szabályozó számítógépek egy-egy technológiai részegység konkrét vezérlésére (hajtásvezérlés, mérési adatgyűjtés, feldolgozás stb., a Kft.-ben 8 db van),
- folyamatszint, amely a technológia és a vezérlő számítógépek közötti jelkapcsolatot biztosítja.

Az irányítási rendszeren belül vannak még olyan — főként PLC-t tartalmazó — alrendszerek, amelyeknek önálló belső programja van, de irányításukat a POLCID végzi. Ilyenek: keverőágy behatárológép és felszedőgép, malom adagoló mérlegek, POLDOS kemenceadagolás, hűtőhajtások, kavicságy szűrők.

A POLCID-dal közös hardvert használ a KCS-szoftver, amely egy önálló programcsomag, feladata a kemence üzemének optimalizálása.

Önálló rendszerként működik a kemenceköpeny hőmérsékletét mérő KTS-rendszer.

g) Minőségellenőrzési rendszerüket minőségsszabályozásra használják fel. Ugyanis a klinker minőségét a nyersliszt jellemzőinek optimális és időben állandó beállításával érik el. A mintavételi helyek: a keverőágy előtt, a nyersmalmok után (automatikusan) és a kemencelisztből (kézi módszerekkel). Az *a)* szerint vett mintát a POLAB-rendszer tablettázza, majd röntgenfluoreszcens analízátor (RFA) elemzi.

Ezzel a fejlesztéssel a váci gyár is felsorakozott a korszerű gyárak közé. A gyárat a 2.9. ábra szemlélteti.

2.4.12. Eternit Művek

Forrásmunkának tekintem a Nyergesújfalu Nagyközségi Tanácsa „Nyergesújfalu a történelem tükrében” c. 1985-ben kiadott tanulmányát (írta: Kotra M.).

Az Eternit védjegyű azbesztcementet az osztrák *Hatschek L.* találta fel. Második gyárát 1903-ban Nyergesújfalun építette fel.

Az eternit három fő alkotórésze: a cement, az azbeszt és a víz. Ezek közül az azbesztet Oroszországból, Kanadából és Dél-Afrikából szereztek be.

A termelést 80 fővel, 2 kazánnal, 1 gőzgéppel, 2 palagyártó és 1 vágógéppel kezdték meg. A vállalatot 1910-ben bővítették. Ebben az időben a vállalat saját palafedő mesterével vállalta a tetőfedést a monarchia területén. Ezzel elkerülték a vitákat és gyűjtötték a gyártási tapasztalatokat.

1923-ban kezdték meg a burkolólemezek, 1928-ban a hullámlemezek, 1931-ben a csövek gyártását, utóbbit olasz gépekkel. (Az olaszok 1916 óta gyártottak már csöveket.)

A gazdasági válság idején lecsökkent az építkezés, a gyár csak évi 2—3 hónapot üzemelt. A javulás 1935-ben kezdődött.

1940-ben a szénrel működő gőzgépeket villamos meghajtásúakkal váltották fel.

1941-ben bővítették a csőgyártást. A létszám 500 főre emelkedett. A háború miatt csökkent az azbesztbehozatal, 300 főre csökkent a létszám. 1944-ben Rudnoknál, Kassa mellett azbesztbányát nyitottak. A háború alatt elpusztult a palaraktár is, és az azbeszt helyettesítésével különböző pótanyagokkal (pl. papírral) kísérleteztek.

Az Eternit Műveket 1949 decemberében államosították.

Az államosítás után 1951-ben az idomgyártásban bevezették a Silumin-modelleket. Megkezdték az ömlesztett cement felhasználását. 1952-ben újabb gépi berendezéseket vettek a fizikai munka könnyítésére. 1953-ban új idomgyártó csarnokot, 1962-ben új csőgyárat létesítettek, ami a csőtermelést megkétszerezte. Gépesítették a csövek mozgását, csökkentették a porártalmat, a zajszintet.

A gyár termékei bővültek: a tetőfedő, hullám- és burkolólemezen, nyomó-, lefolyócsövön és csőidomon kívül 30—40 méretben gyártottak eternit vázákat, amelyeket elsősorban külföldre szállítottak.

1971-ben a gyár létszáma már 850 fő volt. A Dunától elhódított területen bővítették a gyárat. 1974. év végére készült el az új lemezgyártó csarnok a kisegítő üzemekkel.

A vállalat a SZIKKTI-vel (*Opoczky Ludmilla*) együttműködve kidolgozta a szipernit lemezt, amely cementből, azbesztből és duzzasztott perlitből készített új, könnyű, jó hő- és hangszigetelő építőanyag. A vállalat selypi részlegében gyártották és tüzgátló lemezként árusították. Alkalmas belső burkolatok, álmennyezetek, válaszfalak készítésére, acélszerkezetek hővédelmére. Faipari szerszámokkal jól megmunkálható.

Ezenkívül gyártották a fél négyzetméteres (ún. takarékos) tetőfedő lemezeket. A takarékoságot az jelenti, hogy a felrakáshoz kevesebb lécre, deszkára van szükség. A vállalat kidolgozta az anyagában színezett tetőfedő elemeket.

A gyártáshoz felhasznált azbesztet döntően a Szovjetunióból szereztek be (Magyarország részt vett azbesztbánya nyitásában). Ez rövid szálú azbeszt volt. Venezuelából, Kanadából hosszú szálú azbesztet hoztak be.

Közben Nyugat-Európában kimutatták, hogy nemcsak az azbesztcement gyártása, hanem felhasználása is az ún. „azbesztózis” veszélyét rejt magában, és az azbeszt építőipari felhasználását megtiltották. Hazánk sem kerülheti el, hogy a bevált építőanyagba az azbeszt helyett más erősítő szálát keressen.

2.4.13. A cementipar szervezete az államosítás után

A Mész-, Cement- és Üvegipari Igazgatóság a Nehézipari Minisztérium IX. Főosztályaként 1948 szeptemberében *Siklós* Ferenc vezetésével alakult meg. Vezetésével jött létre a Mész- és Cementipari Központ, amelynek első vezérigazgatója *Miskolczy* László, helyettese *Goda* János lett. 1949-ben *Goda* Jánost vezérigazgatónak, *Bereczky* Endrét helyettesének nevezték ki, később *Goda* a Szénbányászati Igazgatóság vezetője lett, *Végh* József lett a vezérigazgató. *Bereczky* Endrét 1950. augusztustól *Beke* Béla váltotta fel a vezérigazgató-helyettesi poszton.

1950 augusztusában kivált a központból a Mész- és Üvegipari Beruházási Vállalat. Igazgatója *Bese* Sándor, helyettese *Bereczky* Endre lett. Ez a vállalat rövid életű volt, mert 1951 nyarán megszűnt. A vállalat egy részéből alakult a Dunai Cement- és Mészmű beruházását előkészítő csoport.

1950. dec. 31-ével megszűntek az ipari központok, és a főosztály a Nehézipari Minisztériumból az Építőanyagipari Minisztériumba, majd alig egy évvel később az Építésügyi Minisztériumba került. A főosztály, ill. igazgatóság vezetője *Holecz* Balázs, főmérnöke *Talabér* József lett.

1959-ben megkezdődött a Dunai Cement- és Mészmű építése. A beruházást *Talabér* József irányította. Helyét az iparigazgatóságokon *Chikán* Jánosnak adta át. A terveket az IPARTERV Építőanyagipari Osztálya *Péntek* László vezetésével készítette el.

1963. január 1-jével a cement- és mészipart egy vállalatba tömörítették. A neve Cement- és Mészipari Országos Vállalat, székhelye Vác lett. Első vezérigazgatója *Andrejko* Gyula vegyészmérnök, műszaki igazgatója *Chikán* János gépészmérnök lett.

1968. január 1-jén a vállalat nevét Cement- és Mészművek, Vác névre változtatták. Ettől kezdve az egyes cementgyárak megnevezése:

- Cement- és Mészművek Lábatlani Gyára, Lábatlan;
- Cement- és Mészművek Beremendi Gyára, Beremend;
- Cement- és Mészművek Bélapátfalvai Gyára, Bélapátfalva;
- Cement- és Mészművek Selypi Cementműve, Selyp;
- Cement- és Mészművek Tatabányai Gyára, Tatabánya;
- Cement- és Mészművek Váci Gyára, Vác;
- Cement- és Mészművek Hejőcsabai Gyára, Hejőcsaba.

Ebbe a trösztbe tartozott még a Dorogi Mészmű, az Eternit Azbesztcementgyár, valamint a Cementipari Gépjavitó Vállalat.

Nem tartozott a cementiparhoz, mégis itt említem meg a cementipart kiszolgáló, fejlesztését vállaló SZIKKTI-t. Jogelődjét, az Építőanyagipari Központi Kutató Intézetet (ÉAKKI) 1953-ban alapították. Az ÉAKKI-val majdnem egy időben hozták létre az Építőanyagipari Tervező Intézetet (ÉATI), amely rövid idő múlva beolvadt az IPARTERV-be, majd 1966-ban a SZIKKI-be és abból a SZIKKTI (Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet) lett. Ettől kezdve egy intézetbe került a szilikátipari kutatás és tervezés. A SZIKKTI igazgatója *Talabér József* lett.

A privatizáció során az alábbi változások történtek. A CEMŰ megszűnt. A vállalatok új megnevezése:

Hejőcsabai Cement- és Mészipari Rt.;

Beremendi Cement- és Mészipari Rt.;

Eternit Osztrák—Magyar Építőanyagipari Kft. Nyergesújfalú (alapítói: Eternit Werke Ludvig Hatschek AG. Ausztria, 51%; Eternit V., 39%; Werimpee AG. Ausztria, 10%);

Eternit Vállalat, Selyp;

Lábatlani Cementipari Kft.;

Dunai Cement- és Mészmű Rt.;

Bélapátfalvai Cement- és Mészipari Rt.;

TRANSCEM Kft. Tatabánya.

A Heidelberger Zement Aktiengesellschaft és a Schwenk Zementwerke KG. a beremendi, a bélapátfalvai és a váci cementgyárak, a Holderbank Financiere AG. a lábatlani, a bélapátfalvai és a hejőcsabai cementgyárak fő részvényesei.

A cementgyárak 1990-ben megalakították a tagok társulása révén a *Magyar Cementipari Szövetséget*, amelynek *Koltai Imre* lett a vezérigazgatója.

Ennek a gyárakon kívül tagja még:

CEMKUT Kft. } (a SZIKKTI volt két osztálya)
TECHNOCEM Kft. }
CEMINVEST Kft;
CEMORG Kft; és a
CEMKER Kft.

2.4.14. A gyárak egyéb közös jellemzői

A cementipar környezetszennyező iparág

Az 1960-as évek elején még nem volt környezetvédelmi törvény, a porkibocsátást csak a Nehézipari Minisztérium házi rendelete szabályozta.

Megmozdult a lakosság és különböző fórumokon egyre erőteljesebben követelte a környezetszennyezés csökkentését. A környezetvédelmi előírások egyre szigorodtak.

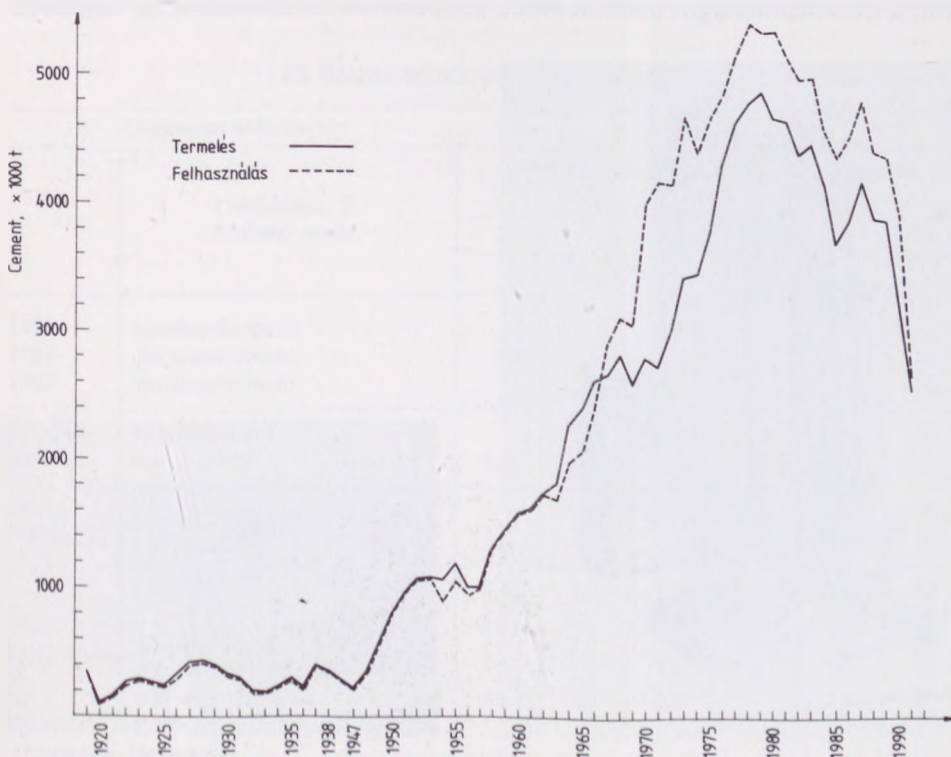
A cementipar úgy próbált meg ezeknek eleget tenni, hogy az új cementgyárakat (beremendi, hejőcsabai, bélapátfalvai) eleve ellátták korszerű portalanító berendezésekkel, a régieket pedig utólag szerelték fel ilyenekkel, hogy a követelményeknek megfeleljenek.

A gyárakban általában nagy volt a *munkaerő-vándorlás*, sok képzetlen munkaerővel dolgoztak. Igyekeztek megkötni a munkaerőt munkásszállókkal, munkáslakásokkal, öltözővel, üzemi konyhával.

Az elmúlt 40 évben általában volt *munkaverseny*. Azt, hogy mi volt ennek a gyakorlati haszna, az utókor majd kiértékeli. Mindenesetre büszkék voltak a vezetők és a dolgozók egyaránt az Élüzem, a Szocialista munka gyára, a Szocialista brigád, Kiváló gyár, Minisztertanács és SZOT Vörös Vándorzászlója kitüntetésre.

2.4.15. Cementtermelésünk

Cementtermelésünk időbeli alakulását a 2.10. ábra szemlélteti. Ez a valóság. Az OMFB tanulmányokban lefektetett „álmok” szerint 1990-re cementtermelésünket kb. 8,5 mt/év-re kellett volna felfuttatni.



2.10. ábra. Portlandcement-termelésünk időbeli alakulása (Simon Gyula)

2.5. A cement vizsgálata és szabványosítása

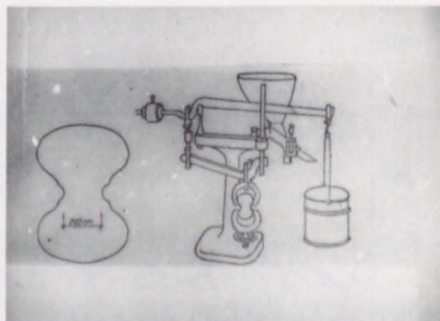
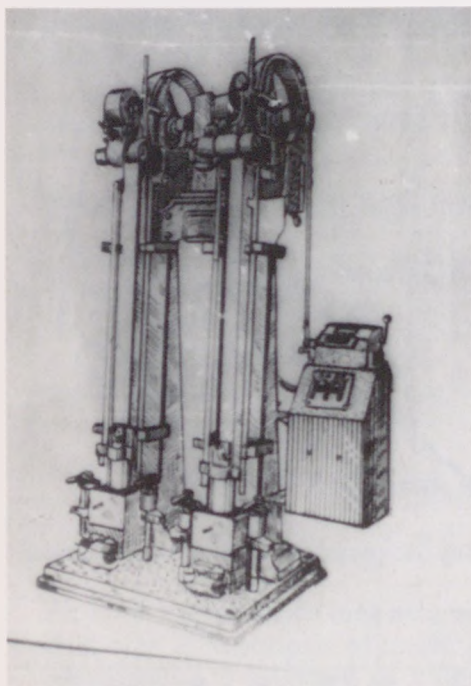
2.5.1. A vizsgálati módok kialakulása, a szabványosítás kezdete

[B. H. Sinn (1973), G. Haegermann (1964), Nendtvich G. (1889)]

Louis Vicat francia hidász mérnök vezetője volt a „Corps des Ponts et Chaussées”-nek. 1829-ben megjelent művében leírta a ma is érvényesnek tekinthető *kötési idő* vizsgálatát. „A habarcs megkötött, ha egy merőlegesen levágott, 1,2 mm átmérőjű tű 300 g-mal terhelve nem hatol be abba.”

A cementgyárak és a felhasználók érezték a cementtel szembeni egységes követelmények hiányát, ezért megindultak a kísérletek új vizsgálati módok kifejlesztésére.

A húzó-nyomó vizsgálatot az 1851. évi londoni világkiállításon mutatták be. Az 1860—78-as években a gyárak elkezdték a cement szilárdsági vizsgálatát, amelyen a cementpép központos húzóvizsgálatát értették. Majd Rudolf Dyckerhoff javaslatára a *földnedves habarcsvizsgálat* honosodott meg, amely 1972-ig nálunk is szabványos vizsgálat volt. A cement—homok aránya 1 : 3 volt, a húzószilárdságot piskóta alakú próbatesten határozták meg, legkisebb



2.11. ábra. Első cementvizsgáló eszközök. a) Tetmajer—Klebe-rendszerű verőgép; b) piskóta-szakító gép

keresztmetszete 5 cm² volt, és Tetmajer—Klebe rendszerű verőgépen 600 Nm munkával (2 kg, 120 ütés) tömörítették. A nyomószilárdságot 50 cm² felületű kockán vizsgálták, melyet 2400 Nm munkával, (3,2 kg, 150 ütés) tömörítettek (2.11. ábra).

A habarcs a bedolgozás után éppen csak izzadt. Kezdték elfogadni a 28 napos szilárdságot és a próbatestek vízben tárolását.

W. Michaelis (1840—1911) H. Frühlinggel és A. Rudeloffal 1872-ben megalapította az első anyagvizsgáló laboratóriumot.

1877-ben 23 német gyár megalakította a „Verein Deutscher Zementfabrikanten”-t és ez kiadta 1878-ban az első cementszabványt. 1878-ban Ausztriában megalakult az Osztrák Építész és Mérnökegyesület, amely előírásokat készített. A magyar származású Tetmajer Lajos svájci professzor megalapította a svájci cement-, mész- és gipszgyárak egyesületét, amely a svájci mérnök és építész egyesülettel együtt elkészítette a cementszabványt. A szabványosítás világviszonylatban igen gyors volt, 1881-ben Svájcban és Oroszországban, 1884-ben Amerikában, 1889-ben hazánkban, 1894-ben Norvégiában szabványosítottak. A szabványos szilárdsági követelményeket, melyek hazánkban 1956-ig voltak érvényben, a 2.3. táblázat tartalmazza.

1885-ben Münchenben, Berlinben, Drezdában, Zürichben és Bécsben megalapították az „Internationaler Verband für die Materialprüfungen der Technik” szervezetét.

2.3. táblázat. Szabványos cementszilárdságok

Földnedves habarcs, v/c		1935 (30 m%)					
Év	Cementfajta, ill. minőségi osztály	Húzószilárdság MPa			Kockaszilárdság MPa		
		2	7	28	3	7	28
		napos korban, vízben tárolva					
1878	portlandcement			1,0			
1887	portlandcement			1,6			16
1897	portlandcement			1,6			16
I. világh. katonai	románcement nagyszil. pc	1,2	3,0*	3,7	20	45*	8 56
1935 MOSZ 32	portlandcement nagyszil. pc	2,0	1,5 2,7	2,2 3,0	25	20 40	28 50
1956 MSZ 4702	600-as pc	2,5	3,2	3,5	25	45	60
	500-as pc	2,0	2,7	3,0	20	35	50
	400-as pc	—	2,0	2,6	—	28	40
	500-as kohósalak és trasz pc	—	2,2	3,0	—	30	50
	400-as kohósalak és trasz pc	—	1,4	2,0	—	15	40

Megjegyzés: * = 8 napos

A táblázatban mindaddig feltüntettük a követelményeket, ameddig a földnedves habarcsvizsgálat érvényben volt.

Az 1889. évi magyar előírások [*Schustler, J. (1895)*] a cement csomagolásának, tárolásának a módját, a térfogatállandósági, a kötésidő, az őrlési finomsági vizsgálatokat már tartalmazzák.

A cement minőségi osztályát kezdettől fogva a földnedves habarcsvizsgálattal jellemezték. A múlt században azonban csak a 28 napos szilárdságot írták elő.

A magyar szabványosítást az 1866-ban megalakult Magyar Mérnök- és Építész Egylet gondozta és a betonépítéssel, a cementkutatásokkal és vizsgálattal kapcsolatos eredményeket Közlönyben és Heti Értesítőjében le is közölte. Az első évfolyama 1867-ben indult meg, megelőzve a külföldi hasonló szakmai lapokat.

A földnedves habarcsvizsgálat nagy hátránya, hogy csak költséges készülékkel, központi laboratóriumban végezhető el. A vizsgálat körülményes és időt rabló. Ezért a cementet a kisebb építkezéseknél meg sem vizsgálták.

Már a századforduló előtt megvolt a törekvés a húzóvizsgálat egyszerűsítésére, azaz a központos húzóvizsgálatot hajlító-húzóvizsgálattal helyettesítsék [*Schustler J. (1894)*].

A múlt század végén *C. Bach* és *A. O. Föppl* müncheni egyetemi tanárok kísérletek alapján foglalkoztak a *cementek valóságos és látszólagos húzószilárdságával*. Látszólagosnak nevezték a szabványos 8-as alakú próbatest húzószilárdságát, szemben a hasáb alakú próbatest húzószilárdságával, amelyik mindig kisebb volt a másikkal. Mivel azonban a szabványos húzószilárdságot nem a szerkezetek közvetlen tervezésére, hanem csak a cementek ellenőrzésére használták fel, ez a vita elült [*Gaál A. (1898)*].

Széles körű kísérlettel igyekezett *Schustler J. (1902)* bizonyítani, hogy a cementek szaporasága szintén cementjellemző, mivel a cementgyárosok gyakran úgy ajánlották a cementjüket, hogy az szaporább, mint a másik gyárosé.

Ezt a felfogást *Zielinski* Szilárd élesen támadta azzal, hogy a cementek egyik fő tulajdonsága a térfogatállandósága, amely eleve kizárja a szaporaság olyan fogalmát, miszerint a cementek vízzel keverve térfogatukat duzzadás közben változtatnák. A térfogatállandósági vizsgálattal éppen az ilyen duzzadó cementeket akarják a felhasználásból kizárni.

A vita után erről a kérdéstről többé nem esett szó. A cementvizsgálatot a cementgyárakban rendszeresítették.

A cement gyári minősítésén kívül a nagyobb építkezéseken is végeztek ellenőrző vizsgálatot. Így az Országház-építés végrehajtó bizottsága megkövetelte *Holtzspach A.* és fiai és *Hauszmann Sándor* építési vállalkozóktól, hogy csak az osztrák szabványoknak megfelelő cementet szabad beépíteni. Ehhez az építési irodában laboratóriumot rendeztek be és a beépített kb. 10 000 t cementet az alábbiak szerint vizsgálták meg:

Hajórakományonként véletlenszerűen kiválasztottak 25 zsákot és mindegyikből 1 próbát vettek. Ezt gondosan összekeverték. Csak a húzószilárdságot vizsgálták. A habarcs összetétele: 1 rész cement, 3 rész normálhomok, 10-12 m% víz volt a cementre vonatkoztatva. A sablonba a habarcsot kézi döngöléssel dolgozták be. Kezdetben a svájci szabvány szerint 6-6 próbatestet

készítettek, ebből a 4 legjobb eredmény átlagát fogadták el szilárdságnak, később az osztrák szabványok szerint 10 próbatest közül a 6 legjobbnak az átlagát. A próbatesteket 24 órás korrig nedves ruhával takarták le, azután vízben tárolták.

Az építkezés során nem a Vicat-tüvel ellenőrizték a *kötési időt*, hanem úgy, hogy 40 m% vízzel péplepényt készítettek és mérsékelt ujjnyomással ellenőrizték, hogy hagy-e a lepény felületén észrevehető nyomot.

Kötés kezdetének azt az időt tekintették, amikor ilyen nyom nem maradt. Ezzel párhuzamosan higanyos hőmérőt nyomtak a pépbe és percenként feljegyezték a hőmérsékletet. Amikor a hőmérséklet a legnagyobb volt, az rendszerint megegyezett az előbbieket szerint megállapított kötési idő kezdetével. Ezenkívül az őrlési finomságot a 900-as szitán fennmaradt szitamaradékkal jellemezték.

A helyszíni vizsgálatok alapján csak egy szállítmányt nem használtak fel a 26 szállítmányból.

Az átlagos eredmények:

Húzószilárdság, MPa		
7 napos korban		0,40
28 napos korban		1,05
3 hónapos korban		1,55
6 hónapos korban		1,80
1 éves korban		2,12
Szitamaradék a 900-as szitán,	m%	3,30
Kötési idő kezdete	perc	16,5
Max. hőmérséklet-emelkedés	°C	6,4
A max. hőmérséklet-emelkedésig eltelt idő	perc	13,5
Sűrűség	g/ml	2,87

A cement felhasználásával mindig megvárták a 7 napos, némely esetben a 28 napos vizsgálati eredményeket.

A felhasznált románcement megfelelt az előírásoknak. 28 nap utáni szilárdulása igen nagy volt. A kötési időt akkor még nem szabályozták, így az kicsi volt.

Nendtvich G. (1889) mint az építés ellenőre feljegyezte, hogy a vízzárósággal sem volt baj. A 75 cm vastag alapbetonon 5 m magas vízoszlop nyomására sem észleltek vízszivárgást.

A század végére — az ellenőrző vizsgálatok szerint — cementgyártásunk megszilárdult. Ezért keserűen jegyezte meg *Nendtvich G.* (1889), hogy bár kb. 1 évtizede vannak gyáraink, még mindig nagyon sok külföldi román- és portlandcementet hozunk be, pedig erre semmi szükségünk nincs, mert cementjeink nem rosszabbak a külföldi cementeknél és megfelelnek az érvényes szabályzatoknak. „Ezért nem is tudok erre egyéb okot képzelni, mint azt a — fájdalom — nagyon is *általános nemzeti rossz tulajdonságot, hogy mindent kitűnőnek tartunk, ami idegen, s mindent becsmélünk, ami hazai, vagy azt az*

indolenciát, hogy ezelőtt 20 évvel hozzászokva a perlmoosi és kufsteini vagy oppelni cementekhez, a mai napig sem tudunk elszokni tőlük.”

Ez a nemzeti tulajdonságunk 100 év alatt keveset változott.

2.5.2. Új cementszabványok a II. világháború után

A háború után felmerült a cementválaszték bővítésének az igénye. Ehhez azonban új szabványokra volt szükség. Addig csak a portlandcementet és a nagy szilárdságú portlandcementet ismerték.

Az új szabványok kidolgozását az Építőanyagipari Tudományos Egyesület Cement Szakosztálya kezdeményezte. A Szabványügyi Hivatal létrehozott egy bizottságot. Elnöke *Varga József* egyetemi tanár, helyettese *Grofcsik*

2.4. táblázat. Szabványos cementszilárdságok 1972-től

Év	Képlékeny habarcs, Cementfajta, ill. minőségi osztály	$v/c=0,6$ (1953);				$v/c=0,5$ (1971)			
		Hajlító-húzó szilárdság MPa				Nyomószilárdság MPa			
		1	3	7	28	1	3	7	28
		napos korban				napos korban			
1972 MSZ 4702	Portlandcementek								
	550	3,0	4,0	6,0	7,5	15	25	45	55
	450-R	2,5	3,5	5,0	6,5	10	18	35	45
	450	—	3,5	5,0	6,5	—	18	35	45
	350	—	3,0	4,0	5,5	—	14	25	35
	Kohósalak- és pernyeport- landcementek								
	450-es	—	3,0	4,5	6,5	—	15	30	45
350-es	—	2,5	3,5	5,5	—	12	20	35	
250-es	—	—	2,0	4,0	—	—	12	25	
200-as	—	—	1,5	3,5	—	—	10	20	
1981 MSZ 4702/2	Portlandcementek, kohósalak- portlandcementek, pernye- portlandcementek,								
	550 pc	—	4,0	6,0	7,5	—	25	40	55
	450-R pc	2,5	4,0	5,0	6,5	15	25	35	45
	450 pc	—	3,5	5,0	6,5	—	18	35	45
	450 kspc 20	—	3,5	4,5	6,5	—	18	30	45
	450 ppc 10	—	3,5	4,5	6,5	—	18	30	45
	350 ppc 10	—	3,0	3,5	5,5	—	14	20	35
	350 kspc 20	—	3,0	3,5	5,5	—	14	20	35
	350 kspc 40	—	2,5	3,2	5,5	—	12	18	35
	350 kspc 60	—	2,2	3,2	5,5	—	10	15	35
	250 kspc 60	—	—	2,0	4,0	—	—	10	25
	250 kspc 80	—	—	1,8	4,0	—	—	8	25

2.4. táblázat folytatása

Képlékeny habarcs,		$v/c=0,6$ (1953);				$v/c=0,5$ (1971)			
Év	Cementfajta, ill. minőségi osztály	Hajlító-húzó szilárdság MPa				Nyomószilárdság MPa			
		1	3	7	28	1	3	7	28
		napos korban				napos korban			
1982 MSZ 4702/3	Portlandcement, azbesztce- ment termékek gyártásához	—	—	—	—	—	—	—	—
	AcM 450 pc	—	3,5	5,0	6,5	—	18	35	45
	AcM 350 pc	—	3,0	3,5	5,5	—	14	20	35
1982 MSZ 4702/4	Szulfátálló portlandcementek	—	—	—	—	—	—	—	—
	S-100 450 pc	—	3,5	5,0	6,5	—	18	35	45
	S-100 350 kspc	—	3,0	3,5	5,5	—	14	20	35
	S-100 350 ppc 10	—	3,0	3,5	5,5	—	14	20	35
	S-54 350 pc	—	3,0	3,5	5,5	—	14	20	35
1982 MSZ 4702/5	Kis hőfejlesztésű portlandce- mentek	—	—	—	—	—	—	—	—
	KH 250 kspc 60	—	—	2,0	4,0	—	—	10	25
	KH 250 ppc 20	—	—	2,0	4,0	—	—	12	25
1982 MSZ 4702/6	Fehér portlandcementek	—	—	—	—	—	—	—	—
	450 fehér pc	—	3,5	5,0	6,5	—	18	35	45
	350 fehér pc	—	3,0	4,0	5,5	—	14	25	35
	350 fehér pc 20	—	3,0	3,5	5,5	—	14	20	35
	350 fehér pc 40	—	2,5	3,2	5,5	—	12	18	35
1982 MSZ 4702/7	Színes portlandcementek	—	—	—	—	—	—	—	—
	Színes 350 pc 20	—	2,5	3,2	5,5	—	12	18	35
	Színes 250 pc 40	—	—	2,0	4,0	—	—	10	25
1982 MSZ 4702/8	Mélyfűrési portlandcementek	—	—	—	—	—	—	—	—
	Hmf pc	2,7*	—	—	—	—	—	—	—
	Fmf pc	6,5*	—	—	—	—	—	—	—
1982 MSZ 4702/9	Aluminátcementek	—	—	—	—	—	—	—	—
	550 aluminátcem. I.	—	—	—	—	40	55	—	—
	450 aluminátcem. I.	—	—	—	—	30	45	—	—
	350 aluminátcem. II.	—	—	—	—	—	35	—	—
	250 aluminátcem. III.	—	—	—	—	—	25	—	—

MEGJEGYZÉS: * = 48 órás korban

2.5a táblázat. Cementfajták és összetétel: tömegszázalékban¹⁾
(ENV 197-1)

Cement-fajta	Megnevezés	Jelölés	Klinker K	Granulált kohósalak S	Szilika D ³⁾	Puzzolán		Szállópernye		Égetett pala I	Mészke L	Mellékalkotórészek ²⁾	
						termékek P	ipari Q ⁴⁾	savanyú V	bázikus W				
I	Portlandcement	I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Portland-salak cement	II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Portland-puzzolán cement	II/A-P	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		II/B-P	65-79	—	—	—	21-39	—	—	—	—	—	0-5
		II/A-Q	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		II/B-Q	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
	Portland-pernye cement	II/A-V	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
		II/B-V	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
II/A-W		80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5	
II/B-W		65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5	
Portland-égetett pala cement	II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5	
	II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5	
Portland-mészke cement	II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	0-5	
	II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5	
Portland-kompozit cement	II/A-M	80-94	—	←	—	—	—	—	—	—	6-20	0-5	
	II/B-M	65-79	—	←	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5	
←----- 6-20 ⁵⁾ -----→													
←----- 21-35 ⁵⁾ -----→													

III	Kohósalak-cement	III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	0-5
		III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	0-5
		III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	0-5
IV	Puzzoláncement	IV/A	65-89	—	←	-----11-35-----→	—	—	—	0-5
		IV/B	45-64	—	←	-----36-55-----→	—	—	—	0-5
V	Kompozit cement	V/A	40-64	18-30	—	←	-----18-30-----→	—	—	0-5
		V/B	20-39	31-50	—	←	-----31-50-----→	—	—	0-5

1) A táblázatban levő értékek a cementszemesítésre vonatkoznak, a kalcium-szulfátot és az adalékokat nem szabad figyelembe venni.

2) A mellék alkotórészek a töltőanyagok lehetnek vagy a fő alkotórészekből egy vagy több, de akkor ezeket nem kell a cement fő alkotórészeként figyelembe venni.

3) A szilikaport mennyisége legfeljebb 10% lehet.

4) A nem ferro-salak aránya legfeljebb 15% lehet.

5) A töltőanyag aránya legfeljebb 5% lehet.

János tudományos osztályvezető volt. A 35 tagú bizottság — köztük *Mihailich* Győző egyetemi tanár és *Hász* Sándor műszaki tanácsadó — javaslatait 3 tagú albizottság dolgozta ki. Az albizottság vezetője *Bereczky* Endre, a Cement- és Mészipari Központ helyettes vezérigazgatója volt.

A bizottsági munka eredményeként az alábbi szabványok jelentek meg:

MSZ 4702 Cementek,
MSZ 523 A cementek fizikai vizsgálata,
MSZ 525 A portlandcementklinker vegyelemzése,
MSZ 4706 Savanyú hidraulikus cementkiegészítő anyagok,
MSZ 4707 Kohósalak hidraulikus cementkiegészítő anyag.

Valamennyi fizikai és mechanikai vizsgálat változatlanul maradt, de a három tiszta portlandcemente az egy szilárdsági osztály helyett hármat vezettek be. A két kisebb szilárdsági osztályban a heterogén portlandcementeket is szabványosították (2.3. táblázat).

1956-ban nem kötelezően bevezették a képlékeny habarcsvizsgálatot. Az 1972-ben a földnedves habarcsvizsgálat helyett a képlékeny habarcsvizsgálatot tették kötelezővé és a 2.4. táblázatban feltüntetett szilárdsági osztályokat vezették be. 1981-ben a szabványokat módosították.

Felmerült a kétféle cementvizsgálat eredményeinek az átszámíthatósága. A cementek megfelelése

földnedves képlékeny habarcsvizsgálattal	
600	450
500	350
400	250

szilárdsági osztályú.

Jelenleg az EN szabványok átvétele van folyamatban. A szabványos cementek megnevezését a 2.5. táblázat tartalmazza.

2.5b táblázat. Mechanikai és fizikai követelmények
(ENV 197-1: 1992)

Osztály	Nyomószilárdság (N/mm ²)				Kötési idő kezdeté perc	Tágulás mm
	Kezdeti szilárdság		Szabványos szilárdság			
	2 nap	7 nap	28 nap			
32,5	—	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 60	≤ 10
32,5 R	≥ 10	—				
42,5	≥ 10	—	≥ 42,5	≤ 62,5		
42,5 R	≥ 20	—				
52,5	≥ 20	—	≥ 52,5	—	≥ 45	
52,5 R	≥ 30	—				

A cementek fő csoportjai

- I Portlandcement
- II Portland-kompozit cement
- III Kohósalak-cement
- IV Puzzoláncement
- V Kompozit cement

3. A bauxitcement

3.1. A kezdetek

[Kiss J. (1929), Talabér J. (1955, 1991), Talabér J.—Révay M. (1989)]

A kalcium-aluminátok hidraulikus tulajdonságairól *Fremy* 1865-ben, *Schott* 1906-ban már említést tett [*Mihailich Gy.*—*Haviár Gy.* (1966)], mégis a bauxitcementet *Jules Bied* találta fel 1908-ban Franciaországban. E találmány alapján kezdte gyártani a francia *Lafarge*-cég a bauxit- vagy aluminátcementet. A bauxitcementeket lassú kötés és kezdeti nagy szilárdság mellett az jellemezte, hogy szilárdságuk nagyobb volt a jó minőségű portlandcementekénél, és feltételezték, hogy jobb a vegyi hatásokkal szembeni ellenálló képességük is. *Jules Bied* kutatásai, amelyek végül is a bauxitcementhez vezettek, olyan cementre irányultak, amely a szulfátos talajvíznek jobban ellenáll a portlandcementnél. A bauxitcement kedvező tulajdonságainak köszönhető, hogy hamarosan megkezdődött gyártása Angliában, USA-ban, Németországban, Olaszországban, Spanyolországban, Indiában, Magyarországon, Csehszlovákiában, Szovjetunióban, Japánban is.

1927. év folyamán a Magyar Általános Kőszénbánya (MÁK) Rt. és az Egyesült Téglá- és Cementgyár Rt. közölték, hogy a magyar bauxit felhasználásával bauxitcementet gyártanak, mely olcsóbb lesz a *Lafarge*-cég cementjénél. *A MÁK Rt. tatabányai cementgyárában 1928 őszén megkezdte e cement gyártását Citodur néven.*

3.2. A bauxitcement anyagai

[Kiss J. (1929)]

A bauxitcement egyik alapanyaga a *bauxit*. A bauxit kolloidméretű ásvány-szemcsékből álló közet. Franciaországban *Les Baux* község határában fedezték fel, innen származik a neve is. Hazánk bauxitvagyon a Föld bauxitkészletének 1%-át sem éri el.

A bauxitok a különféle alumíniumtartalmú kőzetekből keletkeztek, különleges geológiai és klimatikus körülmények között.

A bauxittelepeket az irodalom két nagy csoportra osztja: lateritbauxitra és karsztbauxitra. Földünk bauxitvagyonának kb. 85%-a lateritbauxit. A

karsztbauxit karsztos kőzetek mélyedéseit tölti ki. Hazai bauxitjaink karsztbauxitok.

A magyar bauxit színe legtöbbször jellegzetesen barnásvörös, annak minden árnyalatában, a benne lévő vas-oxidoktól függően. Előfordul azonban sárga, sárgászöld, barna, szürke, sőt fehér színben is. Ez utóbbi igen kevés vas-oxidot tartalmaz.

A bauxit kémiai összetétele, mely a bauxitminőség legfontosabb jellemzője és a bauxit ipari használhatóságának legfőbb fokmérője, rendkívül változatos képet mutat.

A gyakorlatban akár timföldgyártásra, akár bauxitcement-gyártásra felhasználható bauxitok oxidos kémiai összetételének szélső értékei (m%):

Al_2O_3 : 45—70	TiO_2 : 0—3,5
Fe_2O_3 : 0—28	H_2O : 8—40
SiO_2 : 1—10	

A bauxit a fő komponenseken kívül gyakran tartalmaz CaO -ot, MgO -ot, ritkábban P_2O_5 -ot, V_2O_5 -ot és MnO_2 -ot.

A timföldgyártás és az aluminátcement-gyártás nyersanyaga szempontjából különös fontosságú a SiO_2 -tartalom. Irodalmi utalásokban is, de a köztudatban is általában úgy szerepel, mint az aluminátcement gyártására a nagy SiO_2 -tartalmú, tehát gyenge minőségű bauxitok felhasználása jöhet számításba. Azonban a kovasav a klinkerképződés során olyan ásványokat képez, amelyek az aluminátcementek szilárdsága szempontjából értéktelenek. Idetartoznak a gehlenit ($2 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) vagy a dikalcium-szilikát ($2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$).

A bauxitcement másik alapanyaga a *mész*, amelyet ugyanúgy kell megválasztani, mint a portlandcementhez.

3.3. A cementgyártás

[Talabér J. (1955), Talabér J.—Révay M. (1989), Bereczky E.—Reichard E. (1960), Révay M. (1968)]

Bied az első aluminátcementet vízköpenyes kúpoló kemencében *olvasztás útján* állította elő. A mész—bauxit—koksze keveréket 1500 — 1600 °C hőmérsékleten olvasztotta meg. A kemence a nagyolvasztóhoz hasonlóan működött. A koksze a bauxit vastartalmát fémvassá redukálta, melyet időnként lecsapoltak. Az eljárás fajlagos hőigénye 6000 — 8000 kJ/kg cement volt. Majd elektrokemencében való olvasztással is kísérleteztek. Ennek az eljárásnak rendkívül nagy volt az energiaigénye.

Természetesen próbálkoztak a portlandcement gyártásánál jól bevált *forgókemencével* is. Ez a technológia azonban nem vált be, mert a nyersanyag lágyuláspontja és az olvadáspont kezdete között igen kicsi a hőmérsékletkülönbség. Emiatt rendszeresek voltak a betapadások, amelyek a forgókemence folyamatos üzemét igen nehézvé, majdnem lehetetlenné tették.

3.1. táblázat. A hazai bauxitcement alapanyagainak átlagos összetétele

Alkotó	Mennyiség, m%	
	bauxit	mészke
Izzítási veszteség	19,13	43,2
SiO ₂	6,24	1,00
Fe ₂ O ₃	17,05	0,50
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	57,72	0,50
CaO		53,80
MgO		1,00

A bauxitcement gyártásának másik útja a *zsugorításos* eljárás. Magyarország — általános feltűnésre — ezt az utat választotta. Az első kísérleteket 1927—28-ban *Varga József* egyetemi tanár végezte. E kísérletek alapján a Magyar Általános Kőszénbánya Rt. (MÁK) *Spiegel Ernő* központi igazgató irányításával *Kreiten József* és *Bergman Ernő*, a felsőgallai gyár vezetői már 1928-ban létrehozták a zsugorításos eljárással dolgozó *bauxitcementgyárat*. Ez a bauxitcement „*Citodur*” márkanéven vált közismertté [Közlemények (1928)].

Ezt a technológiát csak Csehszlovákia alkalmazta, a Ladcén (Lédecen) előállított cementet Bauximent néven forgalmazták. Ez a gyár is a MÁK tulajdona volt.

A hazai termelés telepítésénél a helyi adottságok meghatározóak voltak. A tatabányai szénbányában szénfelesleg volt. A működő portlandcementgyárban és mészkeüzemekben szakképzett munkaerő állt rendelkezésre. Jó volt a vizsgáló bázis. Rendelkezésre állt a mészégető körkemence, amelyben a kísérleteket, majd a gyártást elvégezheték. Közel volt a mészke a szállítóberendezésekkel és viszonylag közel volt a bauxit.

Az üzem napi 200 t cement előállítására tervezték, de első lépcsőben csak 100 t napi termelésre építették ki és a tervezettet sohasem érték el.

Az alapanyagok átlagos kémiai összetételét a 3.1. táblázat tartalmazza.

A gyártás eltért a portlandcementétől. A nyersanyagot 14—14,5 m% víztartalommal téglává préselték a téglaiparban szokásos gőzzel fűtött prészerszámú kettős présel. (Dorstein rendszerű.)

A cementet Eckhardt rendszerű körkemencében égették.

A klinker előállításának hőszükséglete kb. 4000 kJ/kg volt.

3.4. Az új cement tulajdonságai

1929-ben a MÁV laboratóriumában *Kiss Jenő* (1929) összehasonlító kísérleteket végzett.

A Citodur cement jellemzői a következők voltak:

Színe barnás, vöröses.

3.2. táblázat. A Citodur cement kémiai összetételének összehasonlítása más cementekével
[Kiss J. (1929)]

Jellemző m%	Francia és svájci bauxit-cementek összetételének határértéke	Citodur cement	Lábatlani Rekord portlandcement
Oldhatatlan	0,79—3,60	2,00	
Izz. Veszteség	—	0,30	0,41
SiO ₂	3,81—10,83	4,32	22,49
Al ₂ O ₃	37,74—42,60	42,25	4,08
Fe ₂ O ₃	1,20—7,33	14,11	3,64
FeO	4,22—10,66	—	—
CaO	30,03—41,87	36,82	66,60
MgO	0,25—0,85	0,11	2,05
CaCO ₃	0—2,79	—	—
SO ₃	—	0,54	0,75
		100,5	100,2

Kémiai összetételét más cementekével összehasonlítva a 3.2. táblázat szemlélteti.

A Record portlandcement hidraulikus modulusa 2,2, a Citodur cementé 0,79 volt.

A Citodur sűrűsége 3,0—3,12, halmazsűrűsége lazán beeresztve 1030—1080 kg/m³ volt.

Szitamaradék 4900-as szitán 3 m%, 900-as szitán 0,1 m%.

Lepény és főzőpróba szerint térfogatállandónak bizonyult.

Vízigénye 26 m% volt.

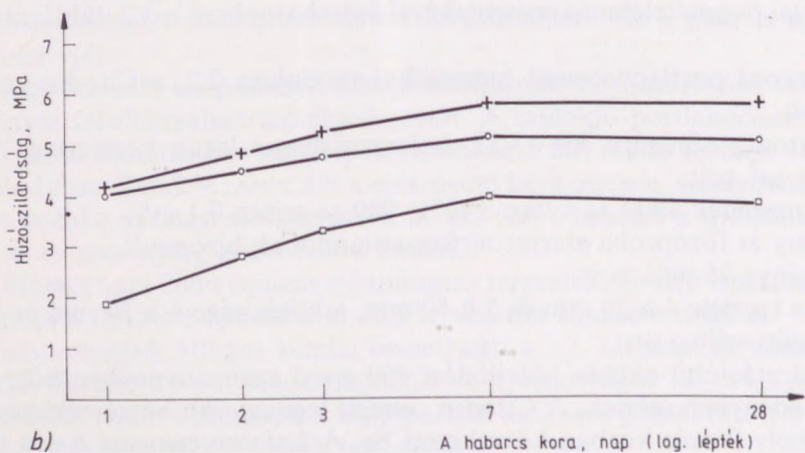
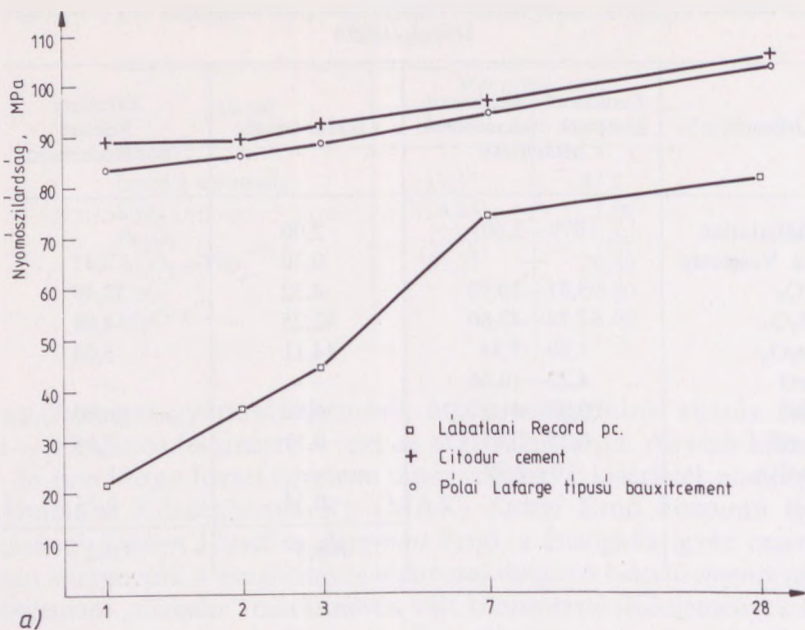
Kötés kezdete 4 h 20 min és 5 h 50 min, a kötés vége 6 h 30 min és 6 h 50 min között változott.

A hidratáció hő okozta hőfejlődést 400 g-nyi szabványpépben hőszigetelt Dewar-edényben mérték. A Citodur cement legnagyobb hőmérséklete 68 °C volt, amely 9 órás korban következett be. A Lafarge cementé 6 óra múlva 94 °C volt.

A Citodur cement mésszel keverve gyorsan kötővé vált. A portlandcementhez Citodurt 2, 3, 5, 10, 20, ill. 30 m%-ban keverve a kötési idő kezdete 44', 28', 12', 7', 2' alatt lett. E jelenségek megmagyarázzák, hogy *Citodurt és pc-t keverni nem szabad.*

A Citodur ellenállóbb volt a szulfát- és kloridoldatokkal, humuszsavakkal szemben, mint a pc.

Földnedves habarcsvizsgálattal kapott szilárdságokat, amelyhez 5 mm legnagyobb szemnagyságú durvahomokot használtak fel, a 3.1. ábra szemlélteti. A Citodur cement szilárdsága közel azonos volt a Lafarge típusú cementével



3.1. ábra. A lábatlani „Record” pc, a „Citodur” és a Lafarge típusú bauxitcement nyomó- (a ábra) és húzószilárdsága (b ábra). Keverési arány 1 : 3, földnedves habarcs, vízben tárolás [Kiss J. (1929) adataiból]

és minden korban nagyobb volt a lábatlani Record portlandcementénél. A pc-hez viszonyítva annál nagyobb volt a különbség, minél fiatalabb volt a habarcs. A kezdőszilárdság előrebecslésével Dolezsai K. és Révay M. (1964) foglalkozott.

3.5. A bauxitcement romlását előidéző folyamatok

[Talabér J. (1956, 1962, 1967), Talabér J.—Révay M. (1965, 1979, 1989), Talabér J. (1991), Dolezsai K.—Révay M. (1966), A. M. Neville (1976)]

Míg a portlandcement-klinker ásványi összetételének kiszámítására — a kémiai összetétel függvényében — gyakorlatilag elfogadható pontosságú módszerek állnak rendelkezésre (Bogue, Lea-Parker), addig a bauxitcementek ásványi összetétele koránt sincs ennyire tisztázva. Az utóbbi években a SZIKKTI-ben (Radler László) kidolgoztak ugyan egy figyelemre méltó röntgenográfias eljárást, tájékoztatásul mégis a Révay M.—Dolezsai K. (1989) által kidolgozott ásványi összetételt tekintem kiindulási alapnak, melyet a bauxitcementek és a tűzálló timföldcementek gyártástechnológiájának kidolgozása során állítottak össze. Eszerint a vizsgált cementeket túlnyomórészt kalcium-aluminát és kalcium-aluminát-ferrit vegyületek alkotják. Ezek legismertebb képviselői a CA, CA₂, C₁₂A₇ és a gyűjtőfogalmú C₄AF.

A bauxitcementek hidratációja szempontjából legjellemzőbb aluminátok hidratációját a 3.3. táblázat tartalmazza. A vasvegyületek hidratációja tovább szélesíti az amúgy is bonyolult képet.

A hexagonális hidrátok instabilak, melyek a hőmérséklet, a nyomás, a levegő CO₂-tartalma, a víz—cement tényező és az oldat pH-ja függvényében — hosszabb-rövidebb idő alatt — stabilis termékekké, C₃AH₆-tá és Al(OH)₃-dá alakulnak át (3.4. táblázat).

Az aluminátcementek transzformációjának nevezett ezen átalakulás igen nagy szilárdságcsökkenéssel jár. A szilárdságcsökkenés közvetlen oka a na-

3.3. táblázat. A bauxitcement fő klinkerásványai átalakulási reakciói
[Talabér J. (1991)]

Klinkerásvány	Kémiai reakció	Kristályforma	Hőmérséklet növ. iránya
6CA + 60H	→ 6CAH ₁₀	h	
6CA + 33H	→ 3C ₂ AH ₈ + 3AH ₃	h	↓
6CA + 24H	→ 2C ₃ AH ₆ + 4AH ₃	sz	
6CA ₂ + 78H	→ 6CAH ₁₀ + 6AH ₃	h	
6CA ₂ + 51H	→ 3C ₂ AH ₈ + 9AH ₃	h	↓
6CA ₂ + 42H	→ 2C ₃ AH ₆ + 10AH ₃	sz	
C ₁₂ A ₇ + 60H	→ 2CAH ₁₀ + 5C ₂ AH ₈	h	
C ₁₂ A ₇ + 51H	→ 6C ₂ AH ₈ + AH ₃	h	↓
C ₁₂ A ₇ + 33H	→ 4C ₃ AH ₆ + 3AH ₃	sz	

h = hexagonális
sz = szabályos

3.4. táblázat. A kalcium-aluminát-hidrátok átalakulási reakciói
[Talabér J. (1991)]

Jel	Kalcium-aluminát-hidrátok	Kémiai reakció
1	CAH ₁₀ → illetve 3CAH ₁₀ →	1/3C ₃ AH ₆ + 2/3AH ₃ + 6H C ₃ AH ₆ + 2AH ₃ + 18H
2	CAH ₁₀ → illetve 2CAH ₁₀ →	1/2C ₂ AH ₈ + 1/2AH ₃ + 4,5H C ₂ AH ₈ + AH ₃ + 9H
3	C ₂ AH ₈ → illetve 3C ₂ AH ₈ →	2/3C ₃ AH ₆ + 1/3AH ₃ + 3H 2C ₃ AH ₆ + AH ₃ + 9H
4	C ₄ AH ₁₃ →	C ₃ AH ₆ + CH + 6H

gyobb moltérfogatú instabilis vegyületek kisebb moltérfogatú stabilis vegyületekké való átalakulása során bekövetkező porozitásnövekedés.

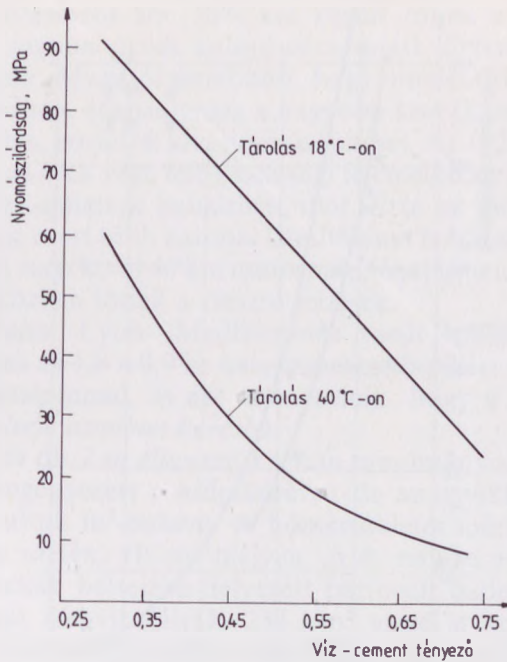
Az átalakulást befolyásoló tényezők összefüggnek egymással. Különösen fontos a *hőmérséklet* és a nedvesség szerepe. Míg 20 °C hőmérsékleten alig képződik C₃AH₆, 30 °C vagy ennél nagyobb hőmérsékleten ez a rendszer meghatározó vegyülete.

Több kutató [Talabér J. (1956), Taylor (1972), Révay (1979)] kimutatta, hogy ez a stabilitás CO₂ jelenlétében megváltozhat, mivel a CO₂ a legtöbb kalcium-aluminát-hidráttal reakcióba léphet (3.5. táblázat).

A rendszer termodinamikailag stabil vegyülete a CaCO₃, az AH₃ és a víz. A karbonátosodás annál jelentősebb, minél porózusabb és minél több szabad víz van jelen a betonban. Itt van *nagy szerepe a víz—cement tényezőnek*. Kis víz—cement tényezőjű betonokban még évek múlva is kicsi volt a karbonátosodás mélysége, ugyanakkor 0,5—0,55 víz—cement tényezőjű betonokban 15 év alatt 5—10 mm volt a karbonátosodás.

3.5. táblázat. A kalcium-aluminát-hidrátok karbonátosodási reakciói
[Talabér J. (1991)]

	Kalcium-aluminát-hidrátok	Kémiai reakciók
1	C ₃ AH ₆ + 3CO ₂	→ 3CaCO ₃ + AH ₃ + 3H
2	CAH ₁₀ + CO ₂	→ CaCO ₃ + AH ₃ + 7H
3	C ₂ AH ₈ + 1/2CO ₂	→ 1/2C ₃ ACaCO ₃ H ₁₂ + 1/2AH ₃ + 1/2H
4	C ₄ AH ₁₃ + CO ₂	→ C ₃ ACaCO ₃ H ₁₂ + H
5	C ₃ A · CaCO ₃ H ₁₂ + 3CO ₂	→ 4CaCO ₃ + AH ₃ + 9H
6	C ₂ AH ₈ + 2K ₂ CO ₃	→ 2CaCO ₃ + AH ₃ + 2K ₂ O + 5H



3.2. ábra. A víz—cement tényező és a hőmérséklet hatása a nyomószilárdságra [Talabér J.—Révay M. (1989)]

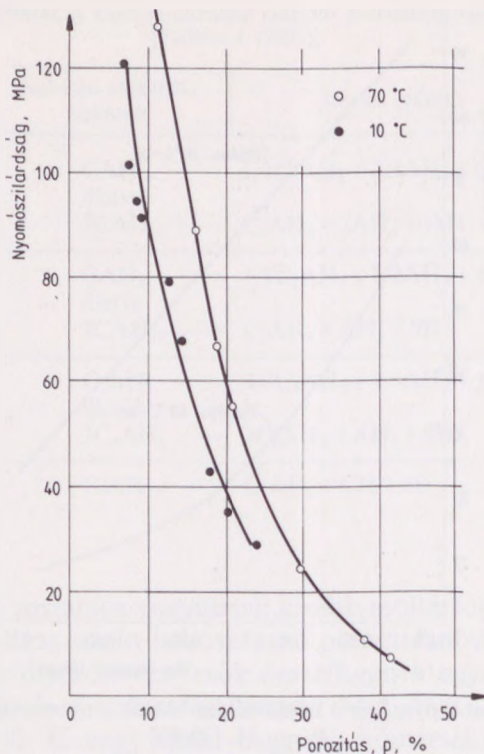
A bauxitcementek átalakulási folyamatát a kor, a hőmérséklet és a víz—cement tényező függvényében a 3.2. ábra szemlélteti.

Ha a bauxitcement vagy az adalékanyag alkáliákat (Na_2O , K_2O) tartalmaz, a romlás meggyorsul. Ugyanis alkáliák jelenlétében a karbonátosodás nagymértékben növeli a porozitást, csökkenti a betonok szilárdságát. Ez az *alkálihidrolízis*.

Az alkálihidrolízis hatására a beton felületén kezdetben sötét foltok, felületi repedések, hámlások jelennek meg. A beton felülete pépesedik, a betonon fehér bevonat képződik. Hasonló jelenséget a METRO építésénél használt bauxitcement alapú duzzadó cementnél is megfigyeltek, ha a bauxitcement vízűveggel érintkezett.

Miután a bauxitbeton romlásának okait egyre inkább megismerték, a 60-as években a nyugati országokban a bauxitcement gyártása újra fellendült. A fellendülést újabb megtorpanás követte. Ugyanis Angliában az iskola-uszoda program keretében készített bauxitbetonok meghibásodtak.

Újra nagy lendületet vett a bauxitcement romlása okainak a kutatása. A kutatók egyetértének abban, hogy a *hidrátok átalakulását a porozitás növekedése követi, ami viszont szilárdságcsökkenést okoz*. Révay M. érdeme, hogy a szilárdság és a porozitás összefüggéseinek a törvényszerűségeit továbbfejlesztette.



3.3. ábra. A porozitás és a szilárdság összefüggése kétféle hőmérsékleten [M. T. Fourie—R. Rabot (1973)]

A porozitás és szilárdságcsökkenés általános összefüggését a 3.3. ábrán mutatjuk be.

A Citodur cement hidratációhője 24 órás korban 310—370, a portlandcementé 150—280 J/g. Ez adja a magyarázatát a *gyors kezdeti felmelegedésnek*.

A bauxitcement szilárdulása során nem keletkezik $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Ezzel magyarázzák a portlandcementénél nagyobb korrózióállóságát pl. szulfátos talajvizben. Továbbá zsíroknak, olajoknak, bornak, cukroknak, fenoloknak, krezoloknak, kénsavnak jobban ellenáll a portlandcementnél. Ugyanakkor tejsav, sósav, ecetsav és lúgok hatásának nem eléggé ellenálló.

3.6. A bauxitbeton karrierje és bukása

A bauxitcement először 1916-ban Verdun ostrománál hívta fel magára a figyelmet azzal, hogy a franciák a bauxitbeton ütegállásokból 1 nap múlva lőttek, amihez portlandcementbeton használatuk legalább 7 nap kellett. Továbbá a nappal széjjelölt falakat éjjel kijavították. Ez meglepte a németeket. A bauxitcement ekkor még hadititok volt.

A hazai bauxitcement kb. 50%-kal került többre a portlandcementnél. Ennek ellenére nagyon gyors szilárdulása miatt közkedvelt lett. „Magyar csodáról” beszéltek. Magától értetődött, hogy mindenütt használták, ahol az építési idő lerövidítése ellensúlyozta a nagyobb árat (károk, meghibásodások gyors helyreállítása, portálok kiváltóinak építése). Az 1929. évi világgazdasági válság után a 30-as évek vége felé gazdasági felemelkedés következett be, ezért sok ipari épületet építettek bauxitbetonból. Erre az időre esett a hadsereg gyors fejlesztése is, ezért több katonai létesítményt is építettek bauxitbetonból. Budapesten épült ezen kívül 40 km csatornahálózat is bauxitbetonból. Különböző helyekről közben jöttek a riasztó jelzések.

1924-ben a Paris—Lyon—Mediterranée vasút építése során [Makay I. (1926)] 4 m magas és $1,8 \times 0,9$ m keresztmetszetű pillért építettek 300 kg/m^3 bauxitcement-tartalommal, és azt tapasztalták, hogy a *beton széle gyorsan megszilárdult, belseje azonban kevésbé.*

E jelenséget két db 2 m élhosszú kockán tanulmányozták. Mindkét kocka összetétele megegyezett a hídpillérével, de az egyikhez 234 l, a másikhoz 184 l vizet adtak m^3 -enként. A hőmérsékletet mérték mind a kockák belsejében, mind szélén, 10 cm mélyen. A 8. napon a kockákat szétrobbantották. A kockák belsejébe helyezett perforált bádoghengerekben lévő beton szilárdságát megvizsgálták. 234 l/m^3 vízzel a kocka belsejében 5,4 MPa, 10 cm-re a széltől 8,0 MPa szilárdságot kaptak, 184 l/m^3 vízzel 5,4, ill. 9,6 MPa-t.

Készítettek 2 m-es kockát 350 kg/m^3 portlandcementtel és 260 l vízzel. 15 napos korban a szilárdság 5,8, ill. 5,4 MPa volt.

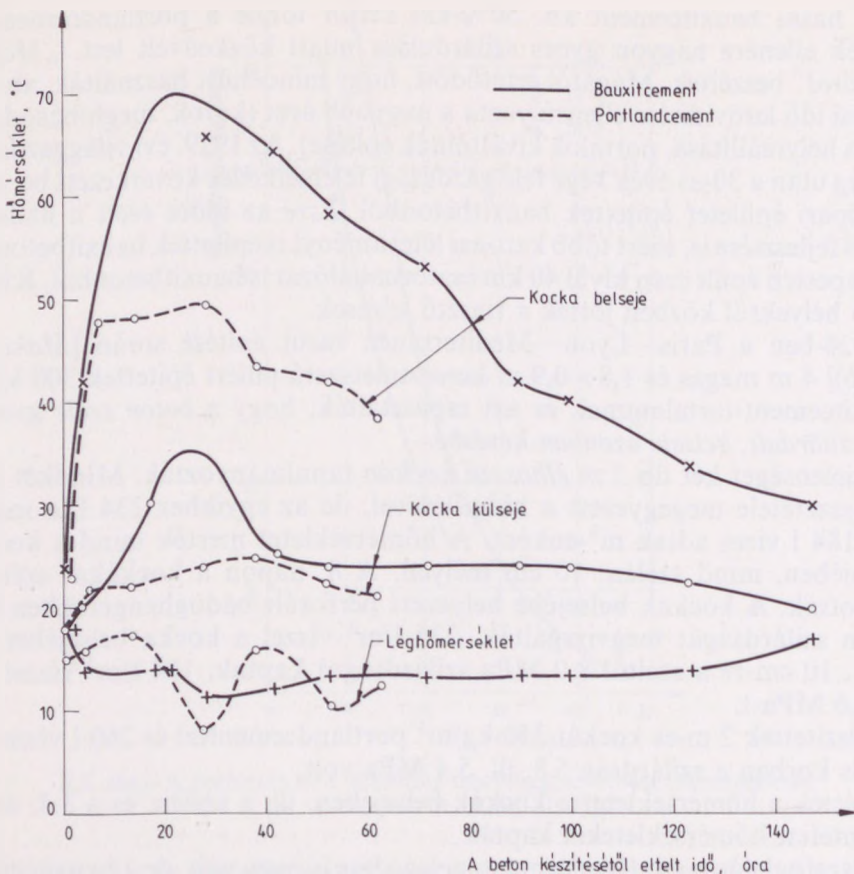
Mérték a hőmérsékletet a kockák belsejében, ill. a szélén, és a 3.4. ábrán feltüntetett hőmérsékleteket kapták.

Összefoglalás: a portlandcement melegezése is nagy volt, de a bauxitcement lényegesen nagyobb volt, mert kb. ugyanaz a hőmennyiség sokkal gyorsabban szabadult fel. Bauxitcementtel készített vastag beton belseje kisebb szilárdságú, mint a külseje. Ugyanez portlandcementtel készített betonban nem állt fenn. Ezt a jelenséget eddig nem ismerték.

Kedvező tapasztalatról is érkezett hír.

A *culoz—modenai vasútvonalon* (MMÉEK (1927)) a modenai állomás közelében az egyik vasszerkezetű felüljárót átépítették. Az új hid kocsiútja 4,5 m széles, gyalogjárói 0,75 m szélesek voltak. A felüljáró 2×20 m szabad nyílású, 3 támaszú, négy főtartós bordás lemezhid volt. Mivel a felszerkezetet télen építették, bauxitcementet használtak. A beton összetétele ugyanolyan volt, mint a portlandcement esetén lett volna, csak a keverővíz volt több, hogy a beton képlékeny legyen. A hideg miatt az összes anyagot $15\text{—}20^\circ\text{C}$ -ra melegítették. A zsalut is öntözték meleg vízzel, hogy betonozás előtt felengedjen. Az elkészített betont rögtön kétsoros, jól záró zsákkal takarták le. A lemezt $15\text{—}20$ cm vastag szalmaréteggel fedték be, amire ponyvát helyeztek. A léghőmérséklet építés közben gyakran volt -10°C .

A beton szilárdságát helyszínen készített és tárolt, 12×15 cm keresztmetszetű próbagerendákkal ellenőrizték.



3.4. ábra. Hőmérséklet-emelkedés 2 m élhosszú kockában [Makay I. (1927) adataiból]

A felüljárót 1924 októberében próbaterhelték. A felüljáró 1926-ban jó állapotban volt. 28 napos szilárdsága 56,2 a 90 napos 63,1 MPa, a 10 cm élhosszú kockáké 28 napos korban 64,1 MPa volt.

A kötésző okozta felmelegedés ellenőrzésére -1°C hőmérsékleten 20, 30, 40 és 50 cm élhosszú kockákat készítettek.

A kockák közepének a hőmérséklete 6 órás korban 43, 36, 29,5 és 18, 24 órás korban 25, 17, 7,5 és $0,75^{\circ}\text{C}$ volt.

Este volt a legnagyobb a különbség a kocka belsejének hőmérséklete és a léghőmérséklet között, 20–45 $^{\circ}\text{C}$. Azt a következtetést vonták le, hogy valószínűen lehet alkalmazni az aluminátcementet 20 cm vastag betonban -15°C léghőmérséklet esetén is.

A betonútépítésben is próbálkoztak bauxitcementtel [Hász S. (1934)]. A betonfelületen levegő hatására meginduló hámlás és egyenlőtlen kopás miatt nem terjedt el.

Az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szövetségének 1931. évi zürichi kongresszusán a bauxitcement mellett érveket (nagy kezdőszilárdság, kémiai hatások)

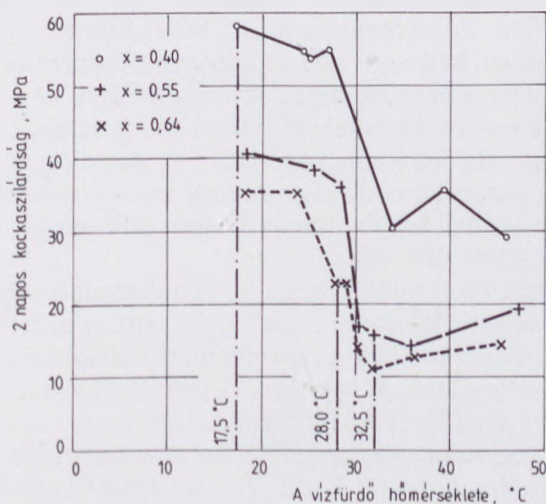
kal szembeni ellenállás), de aggályokat is felhoztak [Marso L. (1933)]. Bates (Washington) a meglévő problémák miatt különösen az alábbi kérdések tisztázását javasolta:

- A laboratóriumban és az építőhelyen elért eredmények összehasonlítása.
- A kötéskor keletkező meleg okának és lefolyásának a kutatása.
- A legmegfelelőbb beton készítéséhez szükséges legkedvezőbb víz—cement tényező meghatározása.
- A hőkiterjedési tényező megállapítása.
- A sósvizekkel szembeni ellenállóképesség további tanulmányozása.
- A különböző összetételű betonok rugalmassági modulusának a meghatározása.

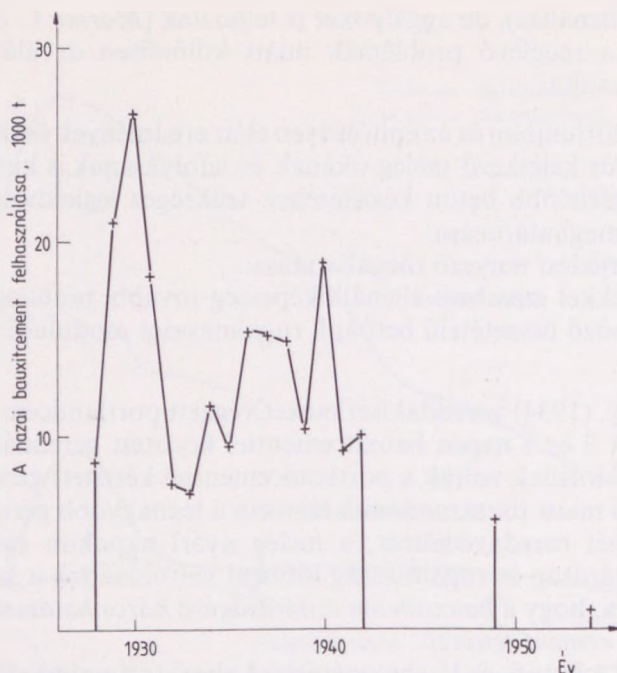
Mihailich Gy. (1934) gerendakísérleteket végzett portlandcementtel és bauxitcementtel. A 3 és 7 napos bauxitcementtel készített gerendák rendszerint nagyobb teherbírásiak voltak a portlandcementtel készített gerendáknál. De a nagy kötэшő miatt tisztázandónak tartotta a legnagyobb gerendavastagságot, az acélbetét rozsdavédelmét, a meleg nyári napokon való betonozás kérdését, a szilárdság és rugalmasság időbeni változásának a kérdését.

Rájöttek arra, hogy a bauxitbeton szilárdságára káros hatással van a meleg, és a nagy víz—cement tényező.

Ezek hatását a Beton- és Vasbetonépítési Laboratóriumban Mihailich Győző vezetésével 1938-ban tanulmányozták [Mihailich Gy. (1942)]. A kísérlet során 300 kg/m^3 bauxitcementtel vassablonban 20 cm élhosszú kockákat készítettek, azokat vízzáróan lezárták, majd elkészítés után 24 órán át állandó ($20\text{—}26 \text{ }^\circ\text{C}$) hőmérsékletű vízfürdőben, a második 24 órában $15\text{—}20 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű szobában, kizsárolt állapotban tárolták. A 48 órás kockaszilárdságot határozták meg. A 3.5. ábrából jól látható, hogy a $15\text{—}20 \text{ }^\circ\text{C}$



3.5. ábra. Különbözö hőmérsékletű vízfürdőben szilárduló bauxitcementbetonok kockaszilárdsága [Palotás L.—Balázs Gy. (1980)]



3.6. ábra. Bauxitcement-felhasználás (Talabér József)

hőmérsékleten tárolt betonéhoz viszonyítva a 30 °C hőmérsékleten tárolt beton 2 napos szilárdsága a víz—cement tényezőtől függően kb. 40% volt 0,55—0,64 víz—cement tényező és kb. 50% volt 0,4 víz—cement tényező esetén. Megfigyelték, hogy a csökkent szilárdságú beton vörösesbarna, míg a nagyobb szilárdságú beton szürkésbarna vagy csokoládébarna volt.

Mihailich kísérletei során megvizsgálta a beton felmelegedését is. A 20 cm élhosszú vassablonban készített, nedves ruhával letakart beton hőmérséklete jó közelítéssel a légtér hőmérsékletével egyezett meg. A 30 × 30 × 90 cm méretű, jól záró fasablonban készített betonban a hőmérséklet 4,5 óra múlva kezdett emelkedni, majd az emelkedés kb. 11 óras korra befejeződött. A kétféle méretű próbatest hőmérséklete közötti legnagyobb különbség 19,3 °C volt. A 30 cm élhosszú két hasáb átlagos 2 napos szilárdsága 9,4 MPa, a 20 cm élhosszú kockáké 24,4 MPa volt.

Azt a körülményt, hogy ellentétben a portlandcementtel készített betonokkal a szilárdság idővel csökken, akkor még sem a gyártók, sem a hazai szakkörök nem ismerték. Erre a körülményre *Mihailich* Győző kísérletei hívták fel először a figyelmet. A romlásra *Gedeon T.* (1938) és *Kazinczy Gábor* [*Bereczky E.—Reichard E.* (1960)] is rámutatott.

1949—50-ben működött egy akadémiai bizottság (elnök: *Varga József*, tagjai: *Bereczky Endre*, *Grofcsik János*, *Talabér József*), amelynek a munkájára támaszkodva *Talabér József*, a gyár akkori főmérnöke a bauxitcement gyártását 1949-ben leállította. A felhasználás 1954-ig tartott (3.6. ábra).

3.7. Mi lesz a bauxitbeton épületek sorsa?

1966 májusában az MTA Építéstudományi Bizottságának Beton- és Vasbetonépítési Szakértőcsoportja vitaülést tartott a bauxitbeton problémáról. Az ülésen *Bölcskei Elemér* (1967) egyetemi tanár a megvizsgált bauxitbeton épületek állapotáról, *Talabér József* egyetemi tanár a bauxitcementről számolt be. A vitaülés alapján a bizottság javaslatot tett az ÉVM-nek a bauxitbeton-építmények felülvizsgálatára. Ennek, valamint a szerencsés kimenetelű épületkároknak a hatására adta ki az ÉVM 6/1967. sz. rendeletét, amelyben kötelezte az építmények tulajdonosait annak vizsgálatára, hogy az építkezés során használtak-e bauxitcementet, és ha használtak, akkor nem csökkent-e a beton szilárdsága a megengedett érték alá.

További rendeletek:

7/1968 ÉVM sz. közlemény a bauxitcementtel készült építmények állékony-ságának felülvizsgálatához alkalmazandó segédletről.

19/1969 (VII.17.) ÉVM rendelet a bauxitcementtel készült épületek helyre-állításáról.

23/1970 (XII.20.) ÉVM rendelet a bauxitcementtel készült építmények bejelentéséről, vizsgálatáról és megerősítéséről.

Talabér József már 1955-ben megvédte „Az aluminátcementek kötésénél és szilárdulásánál lejátszódó fiziko-kémiai folyamatok” c. kandidátusi értekezését. Ez szinte figyelemfelhívás volt.

Az 56-os forradalmi időszakban több bauxitbeton épületet károsodás ért, megkezdődött ezek vizsgálata. Döbbenet tapasztaltuk, hogy annak a bauxitbetonnak, amelynek az építése idején legalább 20 MPa kockszilárdsága volt, az a vizsgálat időpontjáig 4–10 MPa-ra csökkent. Pánikhangulat kezdődött, mert az esetek nagy részében nem lehetett tudni, hogy hol használtak fel bauxitcementet. Ezt nem kellett feljegyezni. A vizsgálati eredményekről *Bölcskei E.* és *Szalai K.* (1958) számoltak be.

Nevezetesebb bauxitbeton épületek: OTI-torony, Kútvölgyi Kórház, Margitszigeti Nagyszálló. A Nagyszálló egyik vasbeton oszlopa éppen a helyreállítási munkák során rogyott meg. Sérülés nem történt, mert ebédelni voltak a dolgozók (1968).

1990-ben megalakult a Bauxitbeton Vizsgálók Szövetsége, amely 1991-ben az Építés Fejlődéséért Alapítvány támogatásával összefoglaló tanulmányt készített „A bauxitcementek és bauxitbetonok” címmel. (*Bándy János*, ÉTI, *Varga László*, Vasbetonszerkezetek Tanszéke.) E tanulmány szerint hazánkban 1990-ben 2034 épületben volt bauxitbeton szerkezet, ebből 1717 a fővárosban található.

A bauxitbeton épületek állapotát szemrevételezéssel, a beton szilárdságát roncsolásos (magminta-vétel) és roncsolásmentes vizsgálattal (Schmidt-kalapács: ez a gyakoribb és az ultrahang terjedési sebességének a mérésén alapuló vizsgálattal, ún. betonoszkóppal) jellemzik. Az acélbetétek korróziós állapotát az acélbetét kibontása útján szokás meghatározni, de ma már műszeres

vizsgálattal az egész szerkezetre kiterjedően megvizsgálható. A betonszilárd-ság alapján a szerkezetet 3 kategóriába sorolják:

A kategória: a szilárdság megfelelő, beavatkozásra nincs szükség, a kritikus határfeszültség 4,5 MPa.

B kategória: gyenge betonszilárdság, nincs tennivaló, de fokozott figyelmet érdemel.

C kategória: nem megfelelő a szilárdság, beavatkozás is szükséges lehet.

A kategóriába sorolás alapján a roncsolásmentes vizsgálatot *A* kategória esetén 8 év, *B* kategória esetén 5 év, *C* kategória esetén 3 év múlva meg kell ismételni.

Örvedetes az a tapasztalat, hogy a beton szilárdsága 50 éves kor után már elhanyagolhatóan csökken, ha a környezet nem változik.

Az épületek karbantartása, állagának megóvása, időszakos felülvizsgálata a tulajdonos feladata [Országos Építésügyi Szabályzat (OÉSZ) 174 §, 23/1970 (XII.23.) ÉVM rendelet].

A 16/1970 sz. ÉVM utasítás szerint a bauxitbeton épületeket az ÉMI Budapesti Állomása tartja nyilván. Bauxitbeton szerkezetek bármilyen át-alakításakor vonatkozó engedélyezési kérelmet szakhatósági véleményezésre ide kell benyújtani.

Valószínűen ma sincs minden bauxitbeton nyilvántartásba véve. Gyanú az 1928—45-ben épített, ill. átalakított szerkezetek esetén merülhet fel. Gyanú esetén (ha a beton vörösbarna színű) szakértőhöz vagy szakértő intézethez kell fordulni.

Ha a bauxitbeton szerkezetet megerősítették, kicserélték vagy lebontották, azt jelteni kell az illetékes önkormányzat műszaki osztályának és az ÉMI Budapesti Állomásának, hogy az épületet a bauxitbeton épületekre kötelező nyilvántartásból töröljék.

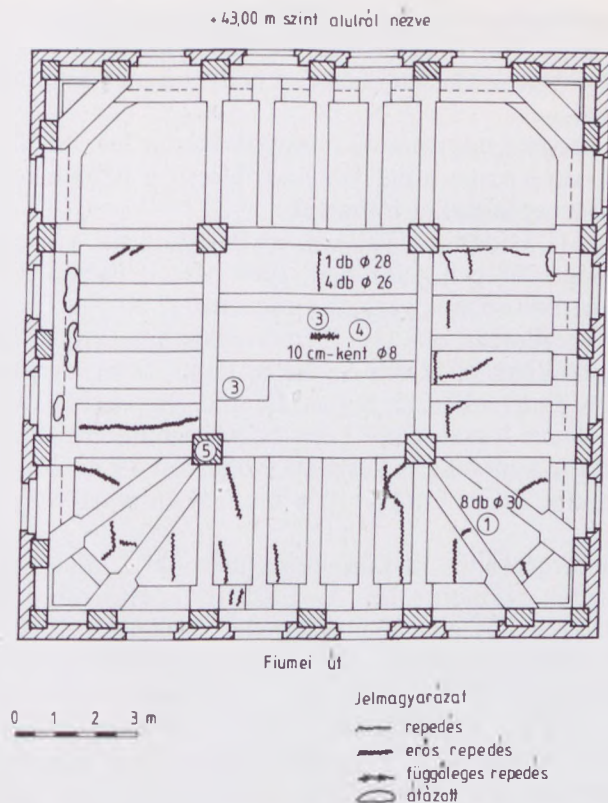
3.8. Esettanulmányok

3.8.1. Az OTI-torony

[Tassi G.—Ódor P. (1992)]

Esettanulmányként elsőnek az OTI-tornyot mutatom be.

A Budapesti és Pest Megyei Társadalombiztosítási Igazgatóság székházának toronyépülete, közismert nevén OTI-torony, építész terveit Komor Marcell és Jakab Dezső (Komor János és Sós Aladár közreműködésével), statikus terveit Székely Hugó készítette. A torony 1929—31-ben bauxitbetonból épült, kivitelezői Bogdánffy Géza és Cséri Miklós voltak. A 18 × 18 m alapterületű, 17 emeletes, különleges esztétikai igénnyel megépített épület *Budapest első toronyháza volt*. Az épület a terepszint alatti 12 m-es szinten keszon alapokon nyugszik. Az épület fenéklemezének teljes vastagsága soványbeton kitöltéssel és szigeteléssel együtt 4,36 m volt. Az alapozást — a bauxitbeton építése



3.7. ábra. Az OTI-torony alaprajza [Tassi G.—Odor P. (1992)]

szempontjából kedvező évszakban — 1929 decemberétől 1930 márciusáig építették.

A bauxitbeton szilárdságát az építés egész tartamán kockapróbákkal ellenőrizték. Székely H. (1932) cikkéből tudjuk, hogy a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten, helyszínen készített beton 4 napos kockaszilárdsága 41,8, 7 napos kockaszilárdsága 49,6 MPa volt.

A körítőfalak mentén 22, az épület belsejében 4 pillér hordja a terheket. A födémek változó elrendezésű mester-, ill. fiókgerendás elrendezésűek (3.7. ábra).

A károsodásra az egyik földszinti oszlopot ért lövedék hívta fel a figyelmet, amelynek a hatására a nagyméretű oszlopban az acélbetétek kigörcbültek, az oszlop megroggyant.

A károsodást követő vizsgálat, amelyet a BME II. Hídépítési Tanszék 1957-ben végzett (a szakértést Bölcseki Elemér irányításával Tassi Géza, Szalai Kálmán és Orosz Árpád készítette) megállapította, hogy a vastag oszlopok viszonylag szilárd külső kérge alatt kis szilárdságú, helyenként kézzel morzsolható beton van. Általános volt az oszlopokon a vasalás mentén

a hosszanti repedések sokasága, helyenként keresztirányú repedésekkel. Szembetűnően nagy volt a szilárdságraomlás a kazánház környékén, a nagyobb melegnek kitett szerkezetekben és a nedvességnek kitett (vizesblokkok, beázások) helyén.

Megfigyelték, hogy a nagyméretű oszlopok belseje felé haladva a csökkenő szilárdsággal a beton színe mind világosabb lett, a felületi repedések pedig acélkorróziós elszíneződéseket mutattak.

Ezt követően a II. Hídépítési Tanszék egyik jogutódja, a Vasbetonszerkezetek Tanszéke még 1967-ben, 1968-ban, 1969-ben, 1970-ben, 1974-ben, 1980-ban, 1982-ben és 1990-ben is végzett vizsgálatot.

A témafelelős kezdetben *Bölcskei* Elemér, majd halála után *Tassi* Géza volt. A szakértő munkákban részt vett *Szalai* Kálmán, *Orosz* Árpád, *Edöcs* Ottó, *Windisch* Andor, *Erdélyi* László, *Sziklai* Ferenc, *Szemesy* István, *Kovács* Béla, *Baksa* István, *Almási* József, *Ódor* Péter és *Németh* Ferenc. Ezenkívül a BME Ábrázoló Mértani Tanszéke is készített szakértést 1978-ban és 1987-ben. A témafelelős mindig *Edöcs* Ottó volt, a munkában részt vett *Máté* Lajos és *Tassi* Géza.

Ilyen épület megerősítése a különleges mérnöki feladatok közé tartozik. Erről igen röviden számolok be. Az ÉKME II. Hídépítési Tanszékének a javaslatára a VIII—XII emelet megengedett terhelését 1000 kg/m^2 -ről 600 kg/m^2 -re, az I—XII emeletekét pedig 400 kg/m^2 -ről 300 kg/m^2 -re csökkentették. Továbbá az IPARTERV tervei szerint a $-2,60$ — $+1,60$ m között a külső oszlopokat, a $-7,64$ — $+20,3$ m szint között a közbenső oszlopokat megerősítették a következők szerint: A közbenső oszlopokat (a kazánház mellettieket a kazánház átmeneti működése miatt csak három oldalról) körülköpenyezték. A kazánház környékén a földemeletet kicserélték. A két sérült külső oszlopot ideiglenesen kiváltották, és új oszloppal helyettesítették. A többi, külső oszlopot köpenyezéssel nem lehetett megerősíteni, mert az megváltoztatta volna az épület külső megjelenését, ezért azokat vasbeton keretszerkezetek beépítésével erősítették meg. Az építés tartamán nyúlásmérésekkel ellenőrizték a szerkezet erőjátékát.

A BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke 1967. évi vizsgálata a beton szilárdságának 10%-os csökkenését és újabb repedések megjelenését állapította meg. *Csonka* Pál szerint a szerkezet főként ott repedt meg, ahol a betonfedés kisebb volt a megengedettnél. Újabb intézkedés vált szükségessé. Két terv készült. A KÖZTI 22 emelet magas, raszterszerű toronyépületet tervezett az eredeti helyére, a meglévőtől eltérő emeletmagasságokkal. A BME Épületkivitelezési Tanszéke a 43 m magas szintig óhajtotta megtartani az épületet a párkánnyal együtt. A javaslatokat *Csonka* Pál és *Weichinger* Károly egyetemi tanárral véleményeztették. *Csonka* Pál elsősorban statikai vizsgálatot végzett. Rámutatott arra, hogy az oszlopok a túlterhelést nem tudják elviselni, a gerendák és lemezek betona azonban bizonyos határig, a megfelelő mennyiségű acélbetét révén eleget tesz a teherviselés követelményeinek. Különbség az is, hogy az oszlop tönkremenetele totális összeomlást eredményezhet, a gerendáké és a lemezeké csak helyi tönkremenetelt jelent, amit a megjelenő és növekvő

repedések előre jeleznek. *Csonka Pál* a többtámaszú gerendákban a plasztikus csukló kialakulásával, az egyirányban teherviselőnek számított lemezek kétirányú teherviselésével magyarázta a kedvezőbb helyzetet. Arra is tekintettel volt, hogy a kisebb vastagságú lemezek és gerendák betonjának a szilárdsága nem csökkent olyan mértékben, mint a vastag oszlopoké. Mindezek alapján az Épületkivitelezési Tanszék erősítési tervét támogatta. Nevezetesen a felső emeletek eltávolítását, a pincéből a kazánház kitelepítését. *Weichinger Károly* a javaslatokat elsősorban városképi, utcaképi és esztétikai szempontból vizsgálta. Az építés ideje az építészeti formakeresés időszaka. Az OTI-torony reneszánsz hangulatot éreztető pártázatos végződésű motívumait, főleg annak a főpárkány fölé magasított toronyrészét túlméretezettnek, részletképzésében eltúlzottnak ítélte. Mivel ez az irányzat nem lett iskolateremtő hatású, ezért annak sem eredeti formában való fenntartását, sem a felső emeletek lebontását esztétikai okok miatt nem támogatta.

Végül is az Építéskivitelezési Tanszék javaslatát fogadták el. Tervezők: *Zeitler Vilmos*, *Nagy Pál*, *Liptai Vilmos*. A terhelés ily módon való csökkentése lehetővé tette, hogy az alaptesteket sem kellett megerősíteni. E második megerősítés alapján bízni lehet abban, hogy a „lefejezett” OTI-torony még további 50 évig — újabb erősítés nélkül — funkcionál.

A Vasbetonszerkezetek Tanszéke 1990. évi összefoglaló szakvéleménye szerint (készítették: *Tassi Géza* témavezető, *Ódor Péter* és *Edöcs Ottó*) a gerendákban, lemezekben és a meg nem erősített, viszonylag kis keresztmetszetű oszlopokban a beton nyomási határfeszültsége 6 MPa-ra vehető fel, ami várhatóan nem csökken.

3.8.2. A Központi Állami Kórház

A másik példa a *Központi Állami Kórház*. A Kórházat 1941-ben építették. Építésztervezője *Csánk Elemér*, statikus tervezője *Sávoly Pál* volt.

A II—V. emelet készült bauxitbetonból. Az 1975. évi felújításkor az Egészségügyi Minisztérium a bontás mellett döntött. 1975-ben a SZIKKTI, az ÉTI, az ÉMI és a BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke vett részt a vizsgálatokban. Az összefoglaló statikai véleményt az ÁÉTV dolgozta ki. Erre újabb szakvélemények alapján a bontás elmaradt és csak az oszlopokat erősítették meg. Ezt a megoldást támogatta *Szabó János* államtitkár is. Építési vezető tervezője *Pázmándi M.* (1980) volt, építész munkatársai *Dittler Ferenc*, *Dóka Sándor*, *Solti Miklós* voltak, a statikus terveket *Korda János* készítette. Kivitelezte a Középletépítő V. (*Burai Sándor* és *Dudás János* főép.vez., *Góczán Ferenc* és *Molnár István* ép.vez.), bonyolította az Egészségügyi Beruházó V. [*Pázmándi M.*—*Korda J.* (1980)].

A felújítás 1979-ben ÉVM nivódijat kapott.

3.9. Napjaink aluminátcementjei

3.9.1. Tűzálló aluminátcementek

A bauxitcementet tűzálló betonhoz már a 30-as években alkalmazták [Ge-deon T. (1937)].

Hazai gyártására először az 50-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 M. (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 M. és Dolezsai K. (1989) dolgozott ki.

3.6. táblázat. A tűzálló aluminátcementek fő jellemzői
[Dolezsai K.—Révay M. (1966)]

Jellemző	Aluminátcement jele			
	550 alc I.	450 alc I.	350 alc II.	250 alc III.
Al_2O_3 m%			60	70
Fe_2O_3 max m%			2	1
SO_3 max m%			2	2
MgO max m%			1,5	1
SiO_2 max m%			5	1,5
Fajlagos felület Blaine szerint legalább, m^2/kg			250	250
Nyomószilárdság, MPa				
1 napos	40	30	—	—
3 napos	55	45	35	25
Tűzállóság, °C	1580	1580	1670	

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

A cementek kémiai összetételét és szilárdságát a 3.6. táblázatban foglaltuk össze.

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

3.9.2. Duzzadó cement

Dolezsai Károly (SZIKKTI Cementosztály) kísérletezte ki a hazai bauxitcement alapú duzzadó cementet.

A cement alkotói: bauxitcement, gipszkő, mészhidrát. A gipszkő a duzzadást előidéző ettringit keletkezéséhez kell. A mészhidrát a szükséges gyors kötést (2—15 perc) hozza létre. A cement szilárdsága 1 napos korban legalább 20 MPa, duzzadása max. 0,2—0,8 mm/m.

Dolezsai K. és Kelemen J. (1959) szerint a legmegfelelőbb összetételű cement: 73 m% bauxitcement, 25 m% gipszkőörlemény, 2 m% mészhidrát. Duzzadás vízben tárolva: 1, 3, 7, ill. 28 napos korban 0,27%, 0,38%, 0,30%, 0,26%.

Nyomószilárdságuk 1, ill. 12 órás korban 0,6, ill. 12,4 MPa, 1, 3, ill. 28 napos korban 30,0, 50,0, ill. 80,5 MPa. 24 órás korban 1 MPa víznyomásra vízálló.

Felhasználási területei:

— előregyártott vasbeton alagút- és aknaelemek, tübbingek illesztési hézagainak vízzáró tömítése,

— talajba süllyesztett beton- és vasbeton szerkezetek (tartályok, medencék) repedések okozta vízszivárgásainak megszüntetése,

— gépek alapsavarjainak a rögzítése.

Elsősorban a Földalatti Vasút építése során használták fel.

Az elvárt duzzadás $4 \times 4 \times 16$ cm méretű hasábon, az elkészítés után 1 órával mért hosszhoz viszonyítva 24 órás korban, ha a hasábokat a mérés után vízbe helyezték, 0,2—1,0%.

Ezt a cementet a CEMKUT Kft. a kísérleti üzemében megrendelésre előállítja.

4. Betonismeret

4.1. A kezdeti betonismeret

[Balázs Gy. (1985)]

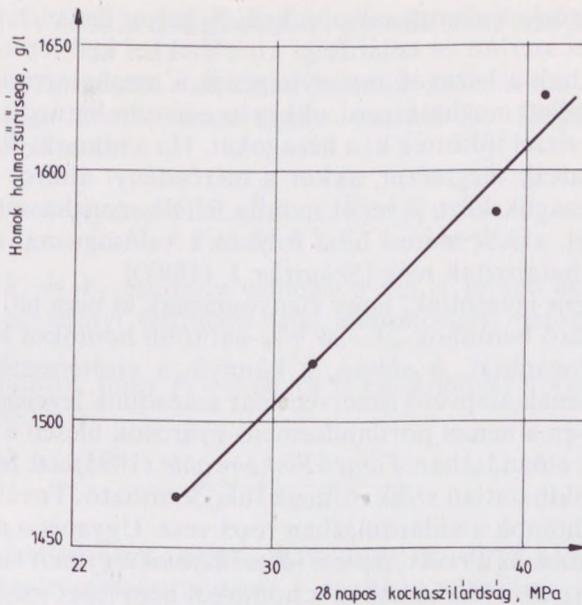
A legkorábbi hazai betonismeretet *Mihálik János* (1860) a *Ferenc József* hajózó csatorna és zsilip építési felügyelője írta meg.

A könyvből kitűnik, hogy abban az időben a betont hidraulikus mésszel, puzzolán cementtel, esetleg a románcementtel (ezt a megnevezést még nem használta) készítették. A beton elsősorban a mélyépítésben terjedt el. A betonismeret kezdetleges volt, de a század végére már bővült.

Magyar szakkörökben is az 5 mm-nél kisebb adalékszemeket (körlyukú rostán vizsgálva) *homoknak*, az 5 mm-nél nagyobb szemcséket *kavicsnak* nevezték. Már a századforduló tájékán arra irányultak a kutatások, hogy tisztázzák a betonban a homoknak és a kavicsnak, az iszaptartalomnak és az adalékanyag hézagtartalmának a szerepét [*Lampl H.—Sajó E.* (1914)].

Schustler [*Schustler J.* (1899)] és *Zielinski Sz.* kimutatták, hogy a beton szilárdságát a benne foglalt gyengébb elem szabja meg. Azonos keverőarányok esetén nincs figyelemre méltó különbség a sima és a tört felületű kavics-csal készített beton szilárdsága között. Ezért zúzott kavicsot csak ott szabad felhasználni, ahol olcsóbb, mint a természetes adalékanyag (folyami vagy bányakavics).

Egyébként *azonos viszonyok között a habarcs annál szilárdabb, minél keményebb kőzetből származik a homok és minél érdekesebb annak a felülete.* A legjobb habarcsképző a tiszta, érdes, vegyesszemű folyami homok. A bányahomokokban sokkal több a szerves és más eredetű szennyeződés, nagyobb a lisztfinomságú szemek mennyisége, melyek több vizet igényelnek, és hézagtartalmuk 45 V%-ra is fel szokott menni, szemben a folyami homokok 25—35 V%-os hézagtartalmával. A homok halmazsűrűsége és a belőle készített habarcs 28 napos nyomószilárdsága között közel lineáris összefüggést állapítottak meg (4.1. ábra). *Schustler J.* (1895, 1899) kísérletekkel igazolta, hogy a habarcs szilárdsága akkor a legkedvezőbb, ha a homok folytonos szemmegoszlású, továbbá ha durva felszínű gömbölyű szemek alkotják. Végül a homok minősége a húzószilárdságra sokkal kisebb hatású, mint a nyomószilárdságra. *Lampl H.* és *Sajó E.* (1914) szerint *a homokot ugyanúgy kísérlettel kellene minősíteni, mint a cementet.* Az adalékanyag vizsgálata a homok és kavics mennyiségi arányának, a hézagtartalomnak és az iszaptartalomnak a meghatározásából állt. *Lampl* és *Sajó* részletes kísérletet végzett a térfogat és



4.1. ábra. Összefüggés a homok halmazsűrűsége és a beton 28 napos nyomószilárdsága között [LampI H.—Sajó E. (1914)]

a tömeg szerinti iszaptartalom és a nyomószilárdság közötti összefüggés kimutatására, és grafikonban ábrázolták, hogy a költségek szempontjából mikor érdemes a homokot mosással iszaptalanítani. A homok szerepére Szívós Gy. (1913) is felhívta a figyelmet.

Megállapították, hogy az iszap 6 V%-ig nem veszélyes, és hogy a rosszul alkalmazott mosás többet árthat, mint amennyit használ. Ezek az ismeretek ma is érvényesek.

A beton ára szempontjából döntő tényezőnek tartották az adalékanyag hézagtartalmát, mert ezt cementpéppel kellett kitölteni.

Jewett (1912) kísérletei szerint, ha a cement tömegére vonatkoztatott 30—50%-ig különböző kövekből nagyon finomra őrölt homokot, ill. kőport adagoltak, az így előállított keverék szilárdsága alig különbözött a tiszta portlandcementtel készített beton szilárdságától. Ezt azzal magyarázták, hogy a homok hézagait nem cementpéppel, hanem részben homokliszttel, töltötték ki, tehát mesterségesen csökkentették az adalékanyag hézagtartalmát.

A legkorábbi betontervezés alapja a hézagelmélet volt, mely szerint a cementnek a homok, a homoknak pedig a kavics hézagait kell kitölteni. Ugyanis így jön létre teljesen tömör beton. A beton keverési arányát hézagméréssel állapították meg. Nendtvich G. (1889) is megemlíti azonban, hogy nem elég csak a tömörséget mérni, hanem egyidejűen a tervbe vett szilárdságot is el kell érni, ami miatt lehetséges, hogy a hézagméréssel meghatározott cementtartal-

mat szilárdsági igények szerint növelni kell. A beton összetételét — szerinte — a hézagelmélet szerinti és szilárdsági kísérletekkel kell tervezni.

Módszert is adtak a hézagok mennyiségének a meghatározására. Ha csak kavics hézagait kellett meghatározni, akkor az edénybe berázott adalékanyagra felülről öntve vízzel töltötték ki a hézagokat. Ha a homok, ill. homokoskavics hézagait akarták megmérni, akkor a mérőedényt alulról töltötték meg vízzel, hogy a hézagok közti levegőt mindig felfelé szoríthassák. Ugyanis ha nem így jártak el, akkor mérési hiba folytán a valóságosnál mindig kisebb hézagtérfogatot határoztak meg [Schustler J. (1897)].

Ökölszabályként javasolták, hogy víznyomásnak ki nem tett betonhoz kb. 10 V%-kal, vízzáró betonhoz 20—30 V%-kal több homokot kell adagolni a kavics hézagtérfogatánál. A súlyos, a könnyű, a vízáteresztő és a vízzáró betonok készítésének alapvető ismérveit már századunk legelején felismerték.

1895. febr. 27-én a német portlandcement-gyárosok ülésén a cement szilárdulásáról tartott előadásában *Tomei-Finkenwalde* (1895) azt fejtette ki, hogy a szilárdulás az oldhatatlan szilikátoknak tulajdonítható. Továbbá azt állította, hogy a kvarchomok a szilárdulásban részt vesz. Ugyanis *a portlandcement a homokkal nemcsak keveredik, hanem idővel kémiai vegyületet alkot*. Ez abból is látszik, hogy az eltört habarcsban a homokot nem lehet megkülönböztetni [Schustler J. (1895)].

A keverőarány szokásos megválasztását *Gaál A.* (1897) foglalta össze.

Schustler J. (1899) azt is kimutatta, hogy föld alatti építkezéseknél a fele-fele arányban román-, ill. portlandcementtel készített beton előnyösebb a tiszta portlandcementtel készített betonnál.

Az építési gyakorlat szerint a beton keverési arányát térfogat szerint adták meg. *Nendtvich G.* (1889) rámutatott arra, hogy ha nem akarjuk magunkat becsapni, akkor a *keverési arányt* nem térfogat, hanem *tömeg szerint kell megadni*.

4.2. A betonszilárdság előrebecslése

A beton nyomószilárdságának a becslésére — alapelveit tekintve — két módszer alakult ki. Az egyik a beton szilárdsághordozó vázának, a cementkőnek, ill. a cementgélnek a váz rendelkezésére álló térhez viszonyított arányát tekinti mérvadónak (geometriai modell [R. *Feret* (1892), T. C. *Powers* (1958)]), a másik módszer azt állapította meg, hogy a nyomószilárdság a cementpép hígításától, a víz és a cement tömegarányától függ (reológiai modell, [Zielinski Sz.—Zhuk J. (1906), D. A. *Abrams* (1918), J. *Bolomey* (1934)]). *Újhelyi J.* (1989) kimutatta, hogy ha a betömörített friss beton levegőtartalma $V_1=0$, akkor valamennyi szilárdságbecslő függvény kifejezhető a víz—cement tényezővel.

4.2.1. Szilárdságbecslés geometriai alapelvvel

R. Feret (1892) volt az első, aki a habarcs, ill. a beton összetétele és R_c nyomószilárdsága között összefüggést vezetett le. Megállapította, hogy egyenlő feltételek mellett:

$$R_c = A \cdot \left(\frac{V_c}{V_c + V_v + V_l} \right)^2 = A \left(\frac{V_c}{1 - V_a} \right)^2,$$

ahol V_c , V_v , V_l és V_a rendre a cement, a víz, a levegő és az adalékanyag térfogatrésze egységnyi térfogatú friss, betömörített betonban, A kísérleti állandó.

Újhelyi kimutatta, hogy $V_l = 0$ esetén a Feret-képlet x víz—cement tényezővel kifejezhető:

$$R_c = A \left(\frac{1/\varrho_c}{1/\varrho_c + x} \right)^2,$$

ahol ϱ_c a cementsűrűség, g/cm^3 . Kimutatta továbbá [Újhelyi J. (1989)], hogy a Feret-képlet csak korlátozott — és ritkán teljesülő — feltételek mellett ad a vizsgálati eredményekre illeszkedő függvényt (ennek oka az állandó — négyzetes — kitevő), mégpedig akkor, ha fennáll:

$$R_1 = R_2 \left[\left(\frac{1/\varrho_c}{1/\varrho_c + x_1} \right)^2 : \left(\frac{1/\varrho_c}{1/\varrho_c + x_2} \right)^2 \right],$$

ahol x_1 és R_1 a víz—cement tényező és a nyomószilárdság referencia-értékpárja kis víz—cement tényező (pl. $x = 0,35$) mellett, x_2 és R_2 a víz—cement tényező és a nyomószilárdság referencia-értékpárja nagy víz—cement tényező (pl. $x = 1,0$) mellett.

T. C. Powers (1958) kísérletei szerint a nyomószilárdságot a cementgél térfogatának és a gél által kitölthető térnek az aránya határozza meg. A gél térfogata: $2,06 \cdot (c : \varrho_c) \cdot \alpha$, ahol c a cementtartalom, kg/m^3 , α a hidratált cement aránya. A gél által kitölthető tér teljes térfogata: $(c : \varrho_c) \cdot \alpha + v + V_l$, ahol v a víztartalom, kg/m^3 , V_l a betömörített friss beton légtartalma, lit/m^3 , tehát a gél—tér arány (ha $\varrho_c = 3,1 \text{ g/cm}^3$):

$$x_g = \frac{0,6445 \cdot \alpha}{0,3226 \cdot \alpha + \frac{v + V_l}{c}}, \quad \text{és} \quad R_c = A \cdot x_g^B.$$

Ha $V_l = 0$, és 28 napos korra $\alpha \cong 0,76$, akkor a nyomószilárdság, mivel $x = v : c = a$ víz—cement tényező:

$$R_c = A \cdot \left(\frac{0,504}{0,2233 + x} \right)^B,$$

ahol A és B kísérleti állandók.

4.2.2. Szilárdságbecslés reológiai alapelvvel

Az Anyagvizsgálók Magyar Egyesülete már a század elején nagyszabású kísérleteket végeztetett [Zielinski Sz. és Zhuk J. (1901, 1906) és Zielinski Sz. (1909)], amelyek rámutattak a víz és a cement arányának a jelentőségére (4.2. ábra). Mégis annak lett óriási jelentősége a betonismeret fejlődésében, hogy Abrams 1918-ban igen nagyszámú próbatesttel végzett többéves vizsgálatai alapján hatványfüggvénybe foglalta a nyomószilárdság összefüggését a víz—cement tényezővel, amelyet azóta a „víz—cement tényező törvénynek” tekintünk:

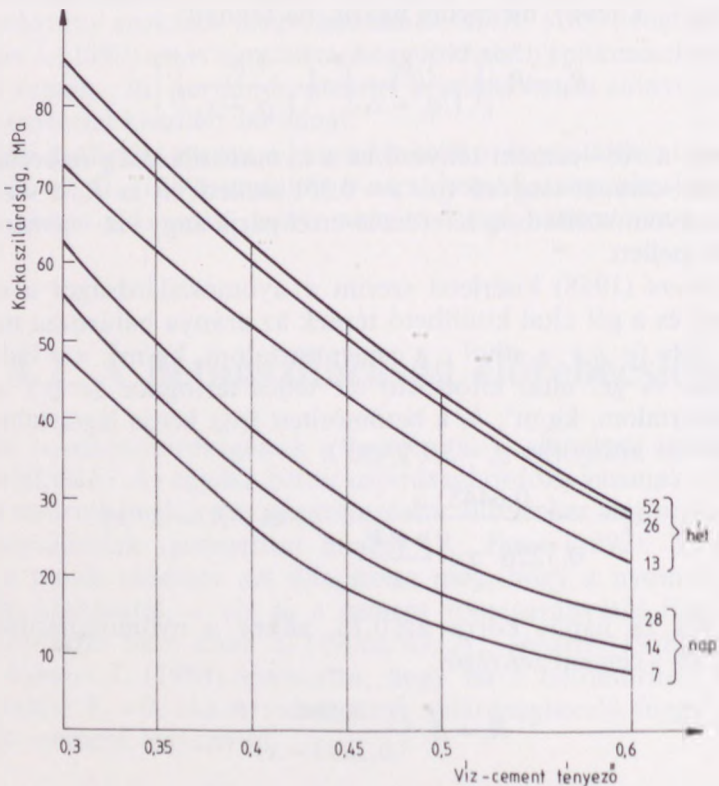
$$R_c = A \cdot B^x \quad \text{vagy} \quad \lg R_c = A - B \cdot x, \quad \text{vagy} \quad R_c = A \cdot e^{Bx},$$

ahol A és B kísérleti állandók.

A fenti hatványfüggvény mutatja, hogy a szilárdság a víz—cement tényezővel fordítva arányos. Az egyenes arányt J. Bolomey (1926) az $y = 1 : x$ cement—víz tényező bevezetésével érte el, és vizsgálatai szerint $R = f(y)$ hiperbolikus függvényalakban ad megfelelő korrelációt:

$$R_c = A \cdot (y - B),$$

ahol A és B kísérleti állandók.



4.2. ábra. A cement tömegére vonatkoztatott víztartalom és a kor hatása [Zielinski Sz. (1909)]

4.2.3. A szilárdságbecslő függvények összehasonlítása

A 4.2.1.—4.2.2. fejezetekben ismertetett összefüggéseket használják világszerte a szilárdság becslésére (Európában R. Feret, D. A. Abrams vagy J. Bolomey, a tengerentúl D. A. Abrams vagy T. C. Powers képleteit), és a kísérleti állandókat adott cementfajttal készített nagyszámú, különböző víz—cement tényezőjű keverékek vizsgálati eredményeinek a felhasználásával határozzák meg (pl. a legkisebb négyzetek módszerével). Újhelyi J. (1989) mutatta ki, hogy ha adott cementfajttal két, jelentős mértékben eltérő víz—cement tényezőjű betonkeveréket készítünk ($x_1 \ll x_2$) és ezek jelentős mértékben eltérő nyomószilárdságait ($R_1 \gg R_2$) szabatos módszerekkel megvizsgáljuk, úgy, hogy a két keverék referenciakeréknek legyen tekinthető, akkor a kísérleti állandók az alábbi függvényekből kiszámíthatók ($\rho_c = 3,1 \text{ g/cm}^3$ mellett):

Feret-képlethez:

$$A_1 = R_1 : \left(\frac{0,3226}{0,3226 + x_1} \right)^2 \quad \text{és} \quad A_2 = R_2 : \left(\frac{0,3226}{0,3226 + x_2} \right)^2.$$

Általában két állandó (két függvény) számítható és $A_1 \neq A_2$.

Powers-képlethez:

$$\lg A = \frac{\lg \frac{0,504}{0,2233 + x_1} \lg R_2 - \lg \frac{0,504}{0,2233 + x_2} \lg R_1}{\lg \frac{0,504}{0,2233 + x_1} - \lg \frac{0,504}{0,2233 + x_2}},$$

és

$$B = \frac{\lg R_1 - \lg A_1}{\lg \frac{0,504}{0,2233 + x_1}} = \frac{\lg R_2 - \lg A}{\lg \frac{0,504}{0,2233 + x_2}}.$$

Abrams-képlethez (exponenciális alak):

$$A = e^{(x_2 \cdot \ln R_1 - x_1 \cdot \ln R_2) / (x_2 - x_1)}$$

és

$$\ln B = \frac{\ln (R_1 : A)}{x_1} = \frac{\ln (R_2 : A)}{x_2}.$$

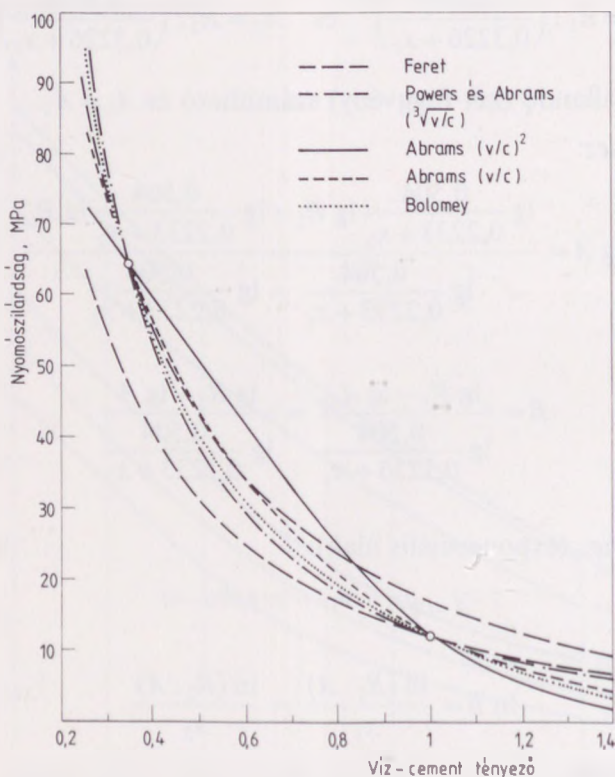
Bolomey-képlethez:

$$B = \frac{R_1 \cdot y_2 - R_2 \cdot y_1}{R_1 - R_2}, \quad \text{és} \quad A = R_1 : (y_1 - B) = R_2 : (y_2 - B).$$

Ha pl. $x_1 = 0,35$, és $R_1 = 65$ MPa, valamint $x_2 = 1,0$, és $R_2 = 12$ MPa referencia-értékpárokra kiszámítjuk a függvények állandóit, akkor a következő eredményekhez jutunk:

Feret-képlet:	$A_1 = 287,3$ és $A_2 = 206,7$
Powers-képlet:	$A = 96,5$ és $B = 2,278$
Abrams-képlet:	
x^2 figyelembevételével	$A = 82,3$ és $B = -1,925$
x figyelembevételével	$A = 161,6$ és $B = -2,6$
$\sqrt[3]{x}$ figyelembevételével	$A = 3665,5$ és $B = -5,722$
Bolomey-képlet:	$A = 28,54$ és $B = 0,5795$

Az ezekkel az állandókkal kiszámított teljes függvénygörbék a 4.3. ábrán láthatók. Eltekintve a különböző A_1 és A_2 miatt keletkezett két Feret-görbétől (az egyik az $x_1 - R_1$ és a másik az $x_2 - R_2$ értékpárra illeszkedik), valamint az x^2 változóval szerkesztett Abrams-görbétől, a többi görbe egy-



4.3. ábra. A víz-cement tényező és a nyomószilárdság összefüggése azonos víz-cement tényező és nyomószilárdság értékpárokra kiszámított különböző becslő képletekkel [Újhelyi J. (1989)]

máshoz közel halad, s így tulajdonképpen mindegy, melyik szilárdságbecslő függvényt alkalmazzuk, ha egyébként az adott vizsgálati eredményekre a kísérleti állandókat szabatosan határozzuk meg.

4.3. Az adalékanyag jellemzése

4.3.1. A szemmegoszlás jellemzése

D. A. *Abrams* nevéhez fűződik a **finomsági modulus** bevezetése, amelyet 1918-ban közölt először és átdolgozott kiadásban 1925-ben közölt újra. D. A. *Abrams* a szemmegoszlási görbét a dekadikus Tyler-szitasorral jellemezte, és a finomsági modulus e szitasoron fennmaradt tömegszázalékok összege osztva 100-zal (4.4/a ábra). A lyukbőséget a nálunk ma is használt félogaritmusos léptékben tüntette fel, amelyben az egymást követő sziták azonos távolságra vannak. Nevéhez fűződik az a felismerés, hogy *azok a szemmegoszlások, amelyeknek a finomsági modulusa azonos, betontechnológiailag egyenértékűek*. Ez a betontechnológia első törvénye.

Az *Abrams*-modulus jelentőségét itthon (1933) és Németországban (1933) *Palotás L.* (korábban *Prokopecz*) ismertette.

Az *Abrams* által felismert törvényt *Popovics S.* (1955) finomította. Nevezetesen *azok a szemmegoszlások, amelyeknek a finomsági modulusa és a fajlagos felülete azonos, betontechnológiailag egyenértékűek*. Ezzel *Popovics* a finomszemek cementigényét hangsúlyozta. *Popovics S.* (1952) a szemszerkezet vizsgálatára szolgáló módszereket elemezte.

Betontervezéseink során lényegében az *Abrams*-féle finomsági modulus — ill. ennek az MSZ 4713 szerint számított értékét — használjuk napjainkban is és nem is követünk el hibát, ha a 0,1 mm-nél kisebb homokrész elhanyagolható mennyiségű, ami hazánkban igen gyakori eset.

Az adalékanyag szemmegoszlásának a jellemzésére a későbbiekben további kutatók vezettek be mérőszámokat: A. *Hummel* terület (1930), M. *Spindel* finomsági modulus (1931), O. *Stern* szemcsehatvány (1932), H. *Schäffer* finomsági modulus (1956), G. *Rothfuchs* mérőszám (1958), H. *Dahl* finomsági mérőszám (1960).

A hézaglélemből kiindulva vezették be a szemmegoszlás jellemzésére az **ideális szemmegoszlási görbéket**. R. *Fuller* és S. *Thompson* 1907-ben abból kiindulva, hogy a legkedvezőbb nyomószilárdságot a legtömörebb beton eredményezi, adta meg az alábbi egyenletet, ha a cementet is beszámítják:

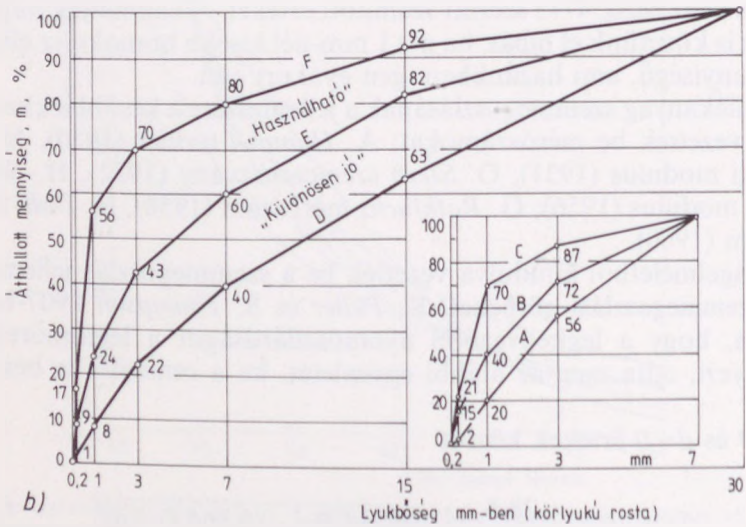
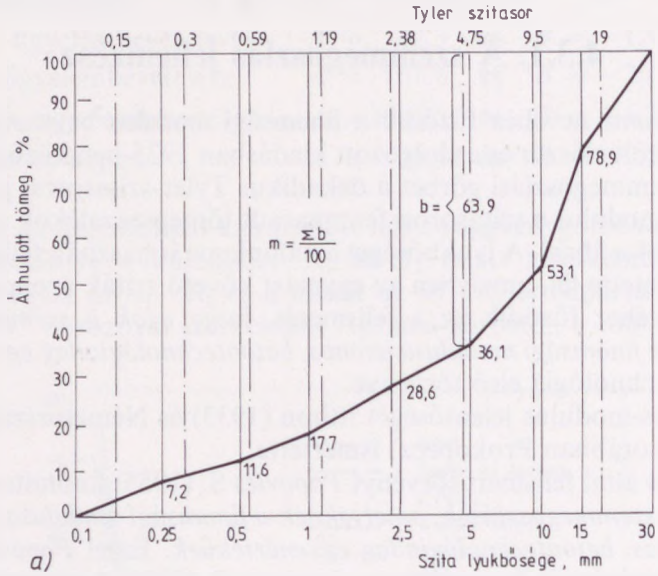
$d=0,1 D$ és $d=0$ értékek között

$$a = 7 + \frac{28,6}{0,164 D} \sqrt{(0,164 D)^2 - (0,164 D - d)^2},$$

illetve

$d = 0,1 D - D$ tartományban

$$a = 26 + 74 \frac{d}{D},$$



4.4. ábra. A finomsági modulus értelmezése Abrams szerint (a), szemmegoszlási határgörbék (b)

a Fuller-görbe cement nélkül:

$$a = 100 \sqrt{\frac{d}{D}},$$

ahol a a d lyukbőségű szitán áthullt m%, D a legnagyobb névleges szemnagyság.

Hasonlóan ideális szemmegoszlási görbéket állított fel többek között *Herrmann*, *Graf*, *Otzen* és *Bolomey* is. Hazánkban az útbetonépítésben szívesen használták a Fuller-görbét, egyéb esetekben a Bolomey-görbét, amely cementtel

$$a = e + (100 - e) \sqrt{\frac{d}{D}},$$

cement nélkül

$$a = 50 \left(\frac{d}{D} + \sqrt{\frac{d}{D}} \right).$$

A svájci betonszabályzat e értékére az alábbi értékeket ajánlotta:

konzisztencia	e értéke	
	folyami adalékanyag	zúzott használata esetén
földnedves	4— 8	6—10
képlékeny	8—10	10—12
öntött	10—12	12—14

Palotás, *Abrams* kísérletei és a hazai kísérletek alapján a **legkedvezőbb finomsági modulus** fogalmát vezette be:

$$m_0 = 2,661gD + 0,84 + 0,0028c,$$

ahol c a cementtartalom kg/m^3 -ben. Ez természetes adalékanyagra vonatkozik, amelyet zúzott adalékanyag, ill. kézi bedolgozás esetén 4—6%-kal csökkenteni kell. A javaslatot átvette a Közúti Hídszabályzat. *Palotás* szerint a valóságos finomsági modulus az optimálisat

$$0,89m_0 < m \leq 1,07m_0$$

tartományig közelítse meg.

O. Graf 1932-ben javaslatot tett a **szemmegoszlási határgörbék** bevezetésére, amelyet a külföldi és hazai előírások napjainkban is használnak (4.4/b ábra).

Foglalkoztak a **lépcsős szemmegoszlási görbékkel**, melyeknek jelentőségét először *A. Hummel* (1932, 1936) ismerte fel, amikor a szemmegoszlási határgörbék felhasználhatóságát vizsgálta.

Hazánkban *Mihailich Gy.* mutatta ki, hogy a lépcsős szemmegoszlású adalékanyagok gyakran ugyanolyan jók, mint a folytonos szemmegoszlásúak. Vannak azonban, akik vitatják a lépcsős szemmegoszlású adalékanyagok betontechnológiai alkalmasságát.

A szemmegoszlás alakjára — egyetlen számértékként — a talajmechanikából ismert *U egyenlőtlenségi együttható* ad felvilágosítást. A betonadalékanyagokra a 70 m% és a 10 m% áthulláshoz tartozó szemnagyságok hányadosát lehet egyenlőtlenségi együtthatóként alapul venni. Szabályos egyszemcsés adalékanyagokra (0,063—0,125 . . . 1—2 . . . 63—125 mm) $U = 1,5$, míg lépcsős adalékanyagokra $U = 40—100$, folytonos szemeloszlás mellett pedig $U = 10—30$.

Az adalékanyag szemnagysága hatással van a beton tulajdonságaira [*Weiss Gy.* (1965)].

4.3.2. A szemmegoszlás javítása

A szemmegoszlás javítására *A. Hummel* dolgozott ki elsőként megoldást. *A. Badian* 1933-ban két, 1938-ban kettőnél több — de mindig csak a finomsági modulusával jellemzett — részadalékanyagok esetére mutatott eljárást.

A szemmegoszlás javításáról — a magyarok közül — először *Palotás L.* (1936) írt.

A szemmegoszlás javítását *Popovics S.* (1955, 1956) háromszögű koordináta-rendszerben végezte el, az adalékanyagot finomsági modulusával és fajlagos felületével jellemezve.

Kausay T. (1968, 1976) e két módszert felhasználva fejlesztette tovább a szemmegoszlás javítását.

Külföldön és hazánkban használatos még — elsősorban aszfaltburkolatokra — *R. Rothfuchs* eljárása.

4.3.3. Szemalak

A szemmegoszlás mellett másik fontos jellemző a szemalak. Ennek nagy jelentőséget tulajdonított *O. Graf* és *A. Hummel* is. *Somogyi László* 1963-ban egy átlagos betonkeverékre kimutatta, hogy a zömök szemalak a nyomószilárdság, a lemezes szemalak a húzószilárdság szempontjából kedvező. A szemalak és a szilárdság összefüggésével később *Kausay T.* (1966, 1967) foglalkozott.

Lázár Jenő, *Bálint Tibor* és *Vajda László* kísérletekkel igazolták, hogy a szemalak befolyásolható a kötőrési technológiával. Hazánkban ennek alapján megteremtették a zömök szemalakú zúzottkő termékek előállításának ipari lehetőségeit, és ez lehetővé tette, hogy a szemalakot szabványos követelménynek tekintsük.

A szemalak jellemzésére általában a hosszúság : szélesség és a vastagság : szélesség szolgál. Az ábrázolásban a *F. Quervain* (1950) módszere terjedt el. Egyszerű mérési módszert dolgozott ki *K. Schulze* és *Reznák L.* (1967).

Hazánkban a szemalak jellemzésével elsősorban *Kausay T.* (1966, 1967, 1971) és *Reznák L.* (1967) foglalkozott.

A szemalak laposságát a legújabb Európai Szabvány (prEN 933-6:1992 Tests for geometrical properties of aggregates — Part 6: Determination of particle shape — Flakiness index) a D mm lyukbőségű négyzetlyukú szitán, ill. a $D/2$ nyílásszélességű rostélyszitán a d/D egyszemcsés szemcsecsoportból (ahol $D = 1,25 d$) áthullott anyagszázalék hányadosával jellemzi.

4.3.4. Adalékalmazok szilárdsága

Az adalékalmazokból olyan méretű próbatesteket nem lehet kivágni, amelyeken a szilárdsági vizsgálatot el lehet végezni. Ezért módszereket dolgoztak ki a halmazok szilárdságának a jellemzésére.

Az adalékanyagok szilárdságának a jellemzésére vezették be a *Deval-értéket* és a *Los Angeles aprózódási veszteséget* (1932). 1970 óta ezek nálunk is a zúzalékok közetfizikai csoportba sorolásának mértékéül szolgálnak.

A Deval-vizsgálatot 1972-ben az USA-ban visszavonták. Az USA-ban sokat vitatkoztak azon, hogy az aprózódási veszteség, az adalék felülete, a szögletessége összefügg-e a beton szilárdságával. Az a nézet alakult ki, hogy elsősorban a bedolgozhatóságra hatnak, a szilárdság szempontjából jelentőségük nem meghatározó. Például a karbonátos kőzetek, a pernyekavics alig sorolhatók az aprózódási veszteség alapján közetfizikai csoportba, holott ezekkel is el lehet érni a nagyszilárdságú betont.

Kausay T. (1971) matematikai összefüggést állított fel a zúzottkő és kavics-termékek szemalakja és a Los Angeles vizsgálat szerinti aprózódási veszteségek között.

A hazai szabályzatok a századforduló óta azt írják elő, hogy az adalékanyag kőzetének a nyomószilárdsága legalább kétszerese legyen az elérni kívánt betonszilárdságnak. Ez az előírás a könnyűadalékos betonokra nem érvényes, de a normálbetonokra célszerű ezt a követelményt kielégíteni, elsősorban az alakváltozások korlátozása (és nem a nyomószilárdság elérése) érdekében.

4.3.5. Az adalékanyag vízigénye

Az adalékanyag betontechnológiai szempontból fontos jellemzője az adott konzisztencia eléréséhez szükséges vízigénye (kg/m^3 -ben vagy $\text{m}\%$ -ban kifejezve). Becslésére — alapelveit tekintve — kétféle eljárás alakult ki [*Újhelyi J.* (1989.2)].

Az egyik *Feret*-re vezethető vissza (1892), aki szerint a vízigényt a szemcsecsoportokra külön-külön kell megvizsgálni és az adalékanyag-halmaz vízigényét a szemcsecsoportok vízigényének az összegeként lehet számítani. Hasonló módszereket dolgozott ki *J. Suenson* (1929), *J. Bolomey* (1930), *Horváth B. E.* (1963) vagy *I. Leviant* (1966). Ezek a módszerek a cement vízigényét mint

külön szemcsecsoporttét veszik számításba (0,2—0,26) c tömegrész értékekkel. E módszerek egyik jellegzetes példája *Horváth Bors Ernő* (1963) képlete:

$$v = \sum_{i=1}^n a_i \cdot 4,65 \cdot e^{-3,9 \cdot d_i^{1,1}} \quad \text{kg/m}^3,$$

ahol $d_i = a d_i / D_i$ szemcsecsoport ($D_i = 1,25 \cdot d_i$) átlagos szemcsemérete, mm, $a_i = a d_i / D_i$ szemcsecsoport tömege, kg/m^3 .

A cementet *Horváth B. E.* $d_i = 0,06$ mm értékkel vette figyelembe. A számítás eredményeként kapott víztartalom jó földnedves konzisztenciának megfelelő.

A másik eljárás az adalékanyag-halmazt egységként értékeli és a vizigényt általában az adalékanyag finomsági modulusával (vagy ehhez hasonló más jellemző számértékkel) összefüggésben fejezi ki. E módszerre többek között jellemző *D. A. Abrams* (1925), *Palotás L.* (1952), *W. Scholz* (1969), *Kausay T.* (1976), *Popovics S.* (1955) eljárása, képletekkel vagy nomogramokkal megadva. Jellegzetes példája *Palotás L.* (1951) vizigénybecslő képlete:

$$v = 0,1 \cdot c + 23 \cdot (10 - m_A) \quad \text{kg/m}^3,$$

ahol $c = a$ cementtartalom, kg/m^3 , $m_A =$ az *Abrams-féle* finomsági modulus.

A második eljárás csoportra jellemző, hogy a cement vizigényét lényegesen kisebb súllyal veszi figyelembe (pl. *Palotás* 0,1 tömegrészsel), mint az első.

A különböző vizigénybecslő eljárásokat *Újhelyi J.* (1989.2) hasonlította össze és megállapította, hogy az eljárásokkal kiszámítható vízadagolások — változatlan konzisztencia mellett is — egymástól szélsőségesen különböznek ($\pm 50 \text{ kg/m}^3$ -rel is). Ennek egyik oka az, hogy az *azonos* konzisztencia beállítása rendkívül nehéz különböző cementtartalmakkal és a tiszta — kötőanyag nélküli — adalékanyag-halmaz „konzisztenciája” csak a víztartóképeség ellenőrzésével mérhető (a vizes halmaz ama k_s secundum vibrálási időtartama 50 Hz-es vibrálóasztalon, amely mellett még nem kezdődik el a vízleadás). A k_s értékétől függően a különböző konzisztenciájú adalékanyag-halmazok vizigénye (tömegrész) (AFN 40s, FN 25s, KK 10s, K 2s, F 0,5s víztartóképeség) *Újhelyi* szerint:

$$v_a = A \cdot e^{-B \cdot m},$$

ahol $A = 0,3 \cdot e^{-0,22(0,1 k_s)^{0,35}}$

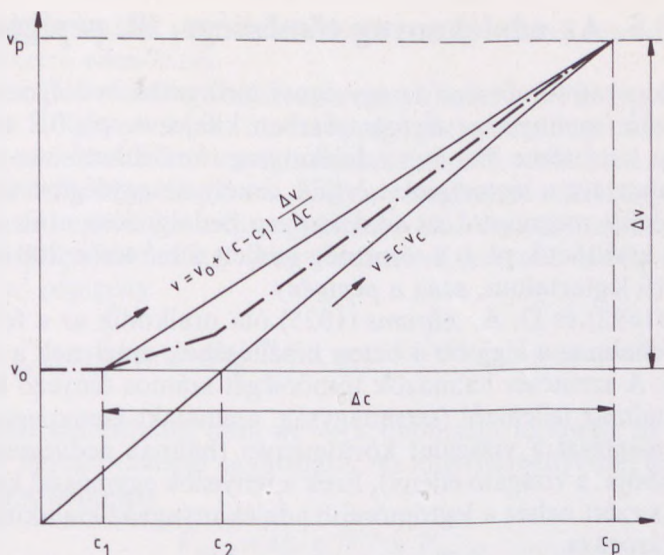
$$B = 0,17 \cdot e^{0,13(0,1 k_s)^{0,32}}$$

$m =$ az MSZ 4713 szerinti finomsági modulus.

A betonkeverékek vizigénye — *Újhelyi* szerint — a 4.5. ábra szerint változik. Az ábráról — amelyen a szükséges víztartalom változását az eredményvonal mutatja — az alábbiak olvashatók le:

a) a víztartalom alapértéke $v_0 \text{ kg/m}^3$, amely $v_0 = a_0 \cdot v_a$ összefüggésből számítható, ahol $a_0 \text{ kg/m}^3$ az adalékanyag bedolgozható legnagyobb tömege az adott szemmegoszlás és konzisztencia mellett (lásd még 4.3.6. fejezet);

b) a víztartalom végértéke a tiszta cementpép $v_p \text{ kg/m}^3$ víztartalma. A



4.5. ábra. A betonkeverékek vízigényváltozásának jelleggörbéje Ujhelyi J. (1988.2) szerint

cementpép vízigénye v_c tömegrész, amely az S m²/kg fajlagos felülettől és a k_s konzisztencia mérőszámtól függően:

$$v_c = 0,3 + 0,00028 (S - 100) \cdot e^{-0,35(0,1 k_s)^{0,25}}$$

a tiszta cementpép cementtartalma ($\rho_c = 3,1$ g/cm³ cementsűrűség mellett):

$$c_p = 1000 : (0,3226 + v_c)$$

a tiszta cementpép víztartalma, kg/m³:

$$v_p = m_p \cdot v_c;$$

c) az ábrán két jellegzetes cementtartalom látható: az egyik c_2 , amelytől kezdve a vízadagolás növekedése rohamossá válik (a keverék cementpép jellegűnek tűnik és nem beton jellegűnek):

$$c_2 = v_0 / v_c,$$

a másik c_1 , amely érték alatt (ha $c \leq c_1$) elegendő a v_0 vízadagolás:

$$c_1 = c_2 / 3;$$

d) az eredményvonallal feltüntetett v kg/m³ vízadagolás számítása az ábrán vékony vonallal feltüntetett lineáris összefüggéseknek megfelelően, ha a beton cementtartalma c kg/m³:

$$\text{ha } c \leq c_1: \quad v = v_0$$

$$\text{ha } c_1 < c \leq c_2: \quad v = v_0 + [(c - c_1) \cdot (v : c)] : 2$$

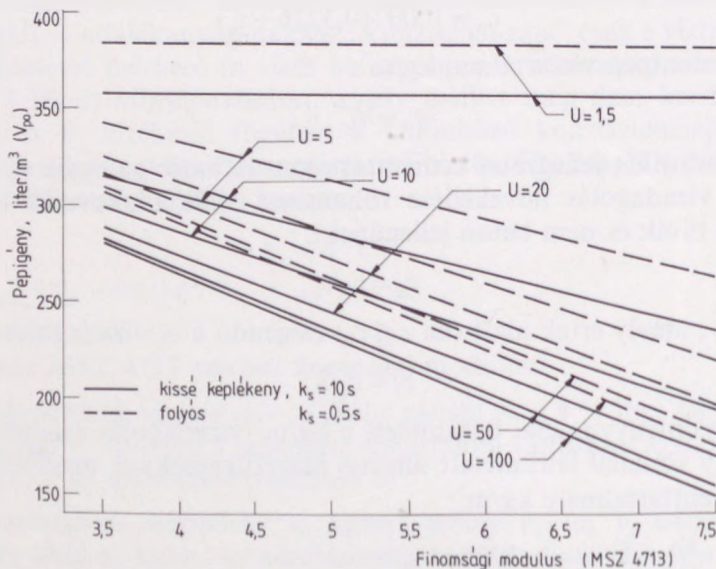
$$\text{ha } c > c_2: \quad v = v_0 + [(c \cdot v_c - v_0) + (c - c_1) \cdot (v : c)] : 2.$$

4.3.6. Az adalékanyag tömörsége, ill. pépigénye

Az adalékanyag tömörsége az egységnyi térfogatba bedolgozható adalékanyag abszolút mennyisége térfogatrészben kifejezve, pl. 0,8 tömörség azt jelenti, hogy 1 m^3 térbe 800 liter adalékanyag tömöríthető. Az adalékanyag pépigénye alatt azt a légtartalmat értjük, amely az egységnyi térfogatban a szemcsék között megmarad az adalékanyag bedolgozása után és amely cementpéppel kitölthető, pl. 0,8 tömörség mellett 1 m^3 térbe 200 lit/m^3 a péppel kitölthető légtartalom, azaz a *pépigény*.

R. Feret (1892) és D. A. Abrams (1925) óta uralkodik az a felfogás, hogy az a szemcsehalmaz a legjobb a beton készítéséhez, amelynek a tömörsége a legnagyobb. A szemcsés halmazok tömörségét számos tényező befolyásolja: egyrészt a halmaz jellemzői (szem nagyság, szemalak, szemmegoszlás, szemcsefelület), másrészt a vizsgálat körülményei (halmaz nedvességtartalma, a tömörítés módja, a vizsgáló edény). Ezek a tényezők egymással kölcsönhatásban állnak, s ezért nehéz a legtömörebb adalékanyagvázz kialakítási feltételeinek meghatározása.

Az adalékanyagvázz tömörségének a vizsgálatával legtöbbet a franciák foglalkoztak [R. Feret (1892), A. Caquot (1937), A. Joisel (1952), J. Faury (1958), R. Valette (1963)], a magyar vizsgálatok is részben ezeken az alapokon indultak el [Palotás L. (1937), Popovics (1952), Újhelyi (1963)], elsősorban a száraz adalékanyagok tömörségének az ellenőrzésével. Az adalékanyag azonban a betonban sohasem száraz, hanem nedves felületű, ezért az adalékanyag-



4.6. ábra. A homokoskavicsok pépigénye a finomsági modulustól, az egyenlőtlenégi együtthatótól és a konzisztenciától függően [Újhelyi J. (1988.3)]

váz tömörségét is nedves szemcsfelülettel (esetleg vékony cementpépfilmmel bevonva) célszerű ellenőrizni.

Mintegy másfél évtizedes vizsgálatai során Újhelyi J. (1989) egyrészt vizsgálati módszert dolgozott ki a tömörség-pépigény megállapítására, másrészt különböző konzisztenciák (víz megtartó képességek) mellett ellenőrizte a változásokat (1989.3). Megállapította, hogy a pépigény az adalékanyag finomsági modulusától, egyenlőtlenégi együtthatójától és a k_s mérőszámmal jellemzett konzisztenciától függ. Alig földnedves keverék esetén ($k_s = 40$ s) a $V_{po, 40}$ dm^3/m^3 pépigény

$$V_{po, 40} = \left(340 + 50 \lg \frac{m}{4} \right) - 38 e^{-\frac{2}{U-0,5} \cdot m} - 1,54 \cdot e^{\frac{1}{U-0,5}}$$

összefüggésből számítható, ahol m = a finomsági modulus az MSZ 4713 szerint, U = egyenlőtlenégi együttható. Az alig földnedvesnél lágyabb konzisztenciákra a pépigény

$$V_{po, s} = 45 \cdot e^{-0,1 k_s} + V_{po, 40}$$

képlettel fejezhető ki. A pépigény változását a fenti összefüggések alapján $k_s = 10$ és $k_s = 0,5 \cdot s$ konzisztencia mérőszámokkal (kissé képlékeny és folyós konzisztenciák) a 4.6. ábra mutatja. Tájékoztatásul: az MI-04.19 irányelv szerint a $D = 4$ mm „C” szemeloszlású homok esetén $m = 3,76$, és $D = 32$ mm „A” szemeloszlásra $m = 7,54$.

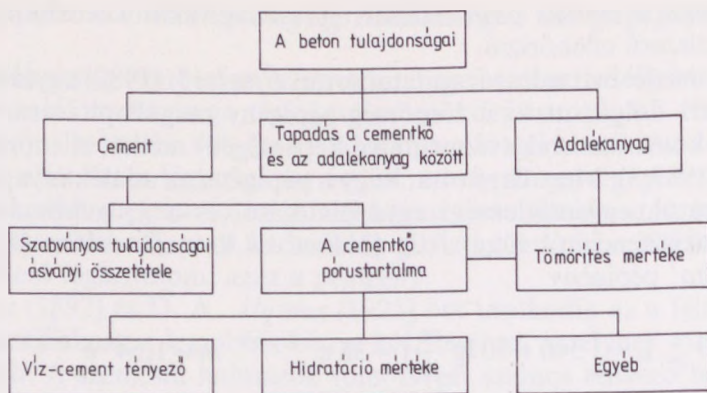
4.4. Struktúra szemléletű betonismeret

[Balázs Gy. (1982, 1988)]

4.4.1. A betonstruktúra fogalma

Az 1950-es évekig a monolitikus betonépítés volt az általánosan elterjedt. A betonnal szemben támasztott követelmények többnyire nem voltak szigorúak, amit a betonkészítés akkori eszközeivel ki lehetett elégíteni. Az empirián alapuló betontervezés jól megfelelt az igényeknek a képlékeny és a gyengén képlékeny, péptelített betonok tartományában. Az elmúlt 40 évben a monolitikus beton helyét növekvő mértékben elfoglalta az előregyártott beton, új technológiák terjedtek el, új igények keletkeztek (nagy nyomószilárdság, nagy kezdőszilárdság, nagy húzószilárdság, kis repedésérzékenység, tartósság, esztétikus megjelenés stb.) és általános igényként lépett fel a minőségegyenletesség.

Míg egyrészt szükségesek olyan kísérletek, amelyek mindennapi gyakorlati igényeket elégítenek ki, másrészt felmerült a kérdés, hogy meddig érdemes gyarapítani a betontechnológia folyton növekvő kísérleti adatainak rendezetlen tömegét. Az utóbbi öt évtized irodalmában egyre inkább felmerül a törekvés, hogy a betonismeretet a betonstruktúra elemzésén alapuló új ered-



4.7. ábra. A beton tulajdonságait befolyásoló tényezők [Balázs Gy. (1984)]

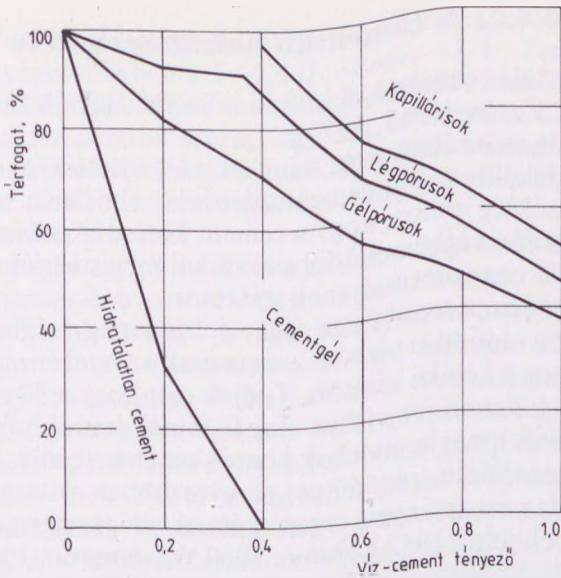
ményekkel tegyék tudományosan egyre megalapozottabbá és megadják a betontechnológia fejlesztésének az irányait.

Ez az a terület, amelyet a betonismeret jelenének, de még inkább jövőjének tekinthetünk.

Az eddigi kutatási eredmények összefoglalása előtt a 4.7. ábrán vázoltam a beton tulajdonságait befolyásoló tényezőket [Balázs Gy. (1984)]. A beton a valóságban többfázisú anyag, amely szilárd alkotókból (homok, durva adalékanyag, hidratált és hidratálatlan cement), pórusokból (gépórus, kapilláris pórus, légpórus) és azokat részben vagy egészben kitöltő vízből áll. Ennek ellenére kétfázisú anyagnak tekinthető, amelyben a méretben és térfogatarányban egyenlőtlen eloszlású durva adalékanyag a sokkal homogénebb cementpépbe van beágyazva. Ezt figyelembe véve általában kétféle struktúrát különböztetünk meg: a *mikrostruktúrát*, vagyis a cementkő szerkezetét és a *makrostruktúrát*, vagyis a habarcs és beton szerkezetét.

A beton minden tulajdonságára döntő hatása van a cementkőnek, amelynek a tulajdonságait a cement szabványos tulajdonságai és ásványi összetétele, a betonban a cementkő mennyisége, a hidrátok szerkezete, valamint a cementkő porozitása és pórus szerkezete határozza meg. A porozitás viszont (ha nemcsak a cementkő, hanem a beton porozitását is beleértjük, kivéve az adalékanyag pórustartalmát) elsősorban a víz—cement tényezőtől és a tömörítés mértékétől, továbbá telítetlen beton esetében a telítettség mértékétől függ. Függ a cementszilárdulás előrehaladásától is, mivel a keletkezett hidrátok csökkentik a porozitást és javítják a pórus szerkezetet. A csökkenés mértéke a kor, a nedves tartás és a hőmérséklet függvénye. A kutatások kimutatták [K. H. Wesche (1974)], hogy ha a víz—cement tényező 0,4-nél nem nagyobb, akkor a porozitás a szilárdulás végén meg is szűnhet (4.8. ábra). Persze egészen sohasem, mert vannak nagy légpórusok is.

Az *adalékanyag szilárdsága* általában nagyobb, mint a cementkéé. Ebben az esetben a nyomott beton erőjátékát a 4.9. ábra szemlélteti. Könnyű adalék-

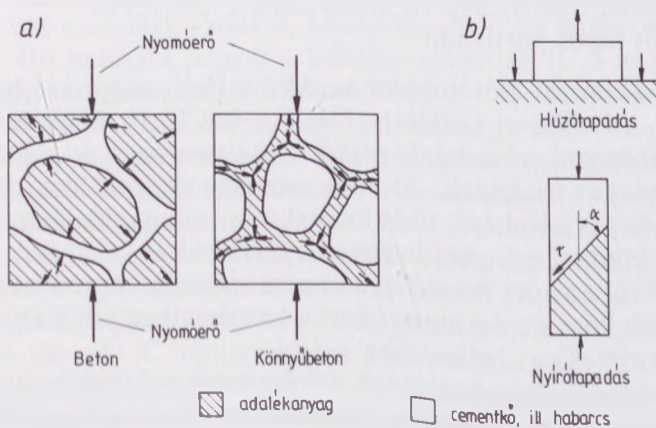


4.8. ábra. A péptelített beton végorozitása a víz—cement tényező függvényében K. H. Wesche szerint

anyag esetében fordított a helyzet, az adalékanyag a beton gyengébb eleme, a terhet elsősorban a cementkő viseli.

A cementkő és az adalékanyag a **tapadás** révén dolgozik együtt (4.9/b ábra).

Mindezek előrebocsátása után összefoglalom a cementkő hidrátszerkezetére, porozítására és szilárdságára, a cementkő és az adalékanyag tapadására és a beton törési mechanizmusára vonatkozó legfontosabb ismereteket, rámutatva, hogy milyen a hatása a tényezőknek a betontechnológiára.



4.9. ábra. Nyomásra igénybevett beton crőjátéka (a); a tapadás két esete (b) [Balázs Gy. (1984)]

4.4.2. A cementkő hidrát szerkezete

A cementszilárdulás elméletével kitűnő könyvek foglalkoznak [pl. H. Kühl (1956), H. F. W. Taylor (1963, 1972)].

Jóllehet a múlt században sok mindent megsejtettek a cement ásványi összetételéről és felállították a cementszilárdulás elméletét, a mérés technika fejlődésére volt szükség ahhoz, hogy a cement kötése és szilárdulása, együttesen hidratációja során végbemenő folyamatokat megismerjék és a követelményeknek megfelelő cementet tudjanak gyártani.

A cement hidratációja *topokémiai reakció* útján megy végbe. Ez azt jelenti, hogy a cement nem oldódik a vízben, hanem csak a vízzel érintkező szemcsefelületeken indul meg a kémiai reakció. Tudjuk azt, hogy a 30 μm -nél nagyobb szemcsék belseje sohasem jut vízhez. Tehát minél durvább őrlésű a cement, annál több az a belső magja, amelyik homokként viselkedik. Ebből is következik, hogy a finomőrlésű (pl. 550 pc) pc gyorsabban szilárdul.

A cement kutatás eredményeit cementkémiai világkongresszusokon (1918 Oxford, 1938 Stockholm, 1952 London, 1960 Washington, 1968 Tokyo, 1974 Moszkva, 1978 Párizs, 1986 Rio de Janeiro, 1992 Delft, Tamás Ferenc szerint van, aki az 1903-ban Budapesten tartott nagy sikerű nemzetközi építőanyag konferenciát is ide sorolja) vitatták meg és megszámlálhatatlan sok más konferencia, előadás foglalkozott vele. Jóllehet a kutatók kb. húsz klinkerásványt említenek, abban mégis egyetértenek, hogy a cement tulajdonságait a múlt században feltételezett négy fő klinkerásvány (C_3S , $\beta\text{C}_2\text{S}$, C_3A és C_4AF) határozza meg.

A keletkezett hidráttermékek öt fő csoportba sorolhatók:

- hatszögletű, hasáb alakú, ettringithez hasonló vagy AF-fázisok (pl. $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{Cs}_3 \cdot \text{H}_{32}$),
- pseudohexagonális lapocska alakú monofázisok, vagy AF-monofázisok (pl. $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{Cs}_3 \cdot \text{H}_{19}$),
- kubikus hidrogránátok (pl. C_3AH_6),
- túlnyomórészt rostos CHS II, amelyben a $\text{C/S} > 1,5$ és
- hexagonális lapos portlandit.

A kalcium-aluminát-hidrátokban az Al^{3+} -t Fe^{3+} vagy más három vegyértékű ionok, a CaSO_4 -ot $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , CaCl_2 stb. helyettesíthetik.

A tulajdonképpeni *szilárdsághordozók a kalcium-szilikát-hidrátok (CSH)*. Ezek nagy fajlagos felületűek, 20–30-ezerszeres nagyításban, elektronmikroszkópban réteges felépítésű, tű és lécszerű kristályoknak látszanak. Mindkét szilikátos klinkerásványból ugyanaz a CSH-hidrát keletkezik és stabil. A CSH-hidrátokról mondta Brunauer, a cementkémia híres professzora, Amerikában élő hazánkfi: a tobermorit (mert a természetben található tobermorit ásványhoz hasonló) a „beton szíve”.

A C_3S (alit)-pépek hidratációjának a folyamatát sokféle módon vizsgálják: kalorimetriás módszer, folyadékfázis-összetétel analízise, fajlagos felület mérése, elektronmikroszkópia, termolumineszcenciás, spektroszkópiás stb. módszerek.

A hidratáció során keletkezett CSH-hidrátokban a C/S arány kezdetben 0,8—1,0, míg a végtermékben 1,5—2,0 [J. Skalny—J. F. Young (1980)]. Ez is magyarázata annak, hogy eltérő reakcióegyenleteket írtak fel.

A morfológiai vizsgálatok szerint egy óra elteltével a C_3S felületén hidráthártya keletkezik, amely 3 óra múlva rostos CSH-vá alakul. 8 óra és 3 nap között a rostok tovább növekednek úgy, hogy a rostok a C_3S szemcsék körül hálószerkezetet alkotnak.

A hidratáció során a C_3S és βC_2S klinkerásványokból nagy mennyiségű (15—20 m%) *kalcium-hidroxid* (jele CH, összetétele az oltott mészzel egyezik meg) keletkezik. Ez 12—14 pH-jú lúgos környezetet hoz létre és *biztosítja a vasbeton szerkezetben a behetonozott acélbetét korrózió elleni védelmét*. A beton külső kérgében azonban — hasonlóan a mészvakolathoz — a levegő szén-dioxidja (CO_2) hatására kalcium-karbonáttá alakul át, amelynek a pH-ja közelít a semleges felé, és az ilyen beton nem nyújt többé korrózió ellen védelmet az acélbetétnek. *Olyan vastag betonréteget kell készíteni az acélbetét felett* (ezt betonfedésnek nevezzük), *hogy a szerkezet tervezett élettartama során sohase érje el a karbonátosodott réteg az acélbetétet*.

A harmadik fontos hidráttermék az *ettringit*, amelyik a C_3A klinkerásványból keletkezik. Az ettringit hatszögletű, hasáb alakú, mikroszkópban is jól látható, a cement és a víz összekeverése után duzzadás közben keletkezik. De ez nem okoz bajt, mert a beton még nem szilárd. Ha a beton szulfátos talajvízbe kerül, a talajvízben lévő szulfátok hatására is keletkezik ettringit, amelyik a betont szétroncsolja. Ezt az ettringitet „cementbacillusnak” nevezzük. A cementbacillus keletkezését *S 54 jelű, C_3A -mentes cementtel lehet megelőzni*.

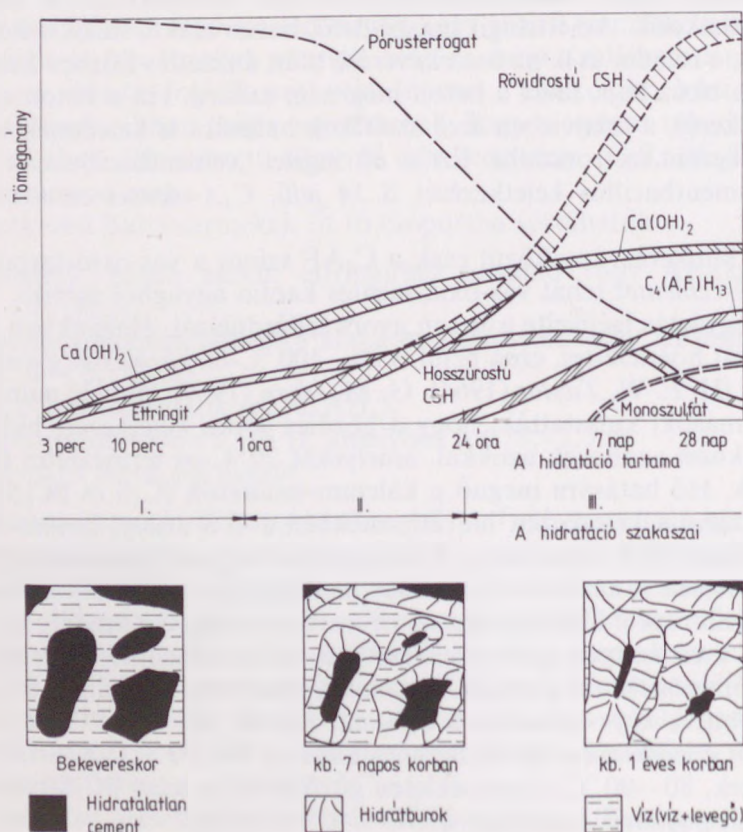
A négy klinkerásvány közül csak a C_4AF színes a vas-oxid-tartalom miatt. A *fehércementet* tehát vas-oxid-mentes kaolin agyagból égetik.

Az előregyártás igényelte a beton gyors szilárdulását. Hazánkban a beton szilárdulását hőerleléssel, ezen belül is 60—100 °C-os *gőzöléssel* gyorsították. A kutatók [H. F. W. Taylor (1964), G. M. Idorn (1969), Butt és munkatársai (1969) és mások] kimutatták, hogy a gőzölés során keletkezett hidratációs termékek közel azonosak azokkal, amelyeket 20 °C-os természetes érleléssel nyerhetnek. Hő hatására megnő a kalcium-szilikátok (C_3S és βC_2S) oldhatósága. Megnő a keletkezett hidráttermékben a C/S arány, kevesebb lesz a hidratált alumínátok mennyisége, a szokásosnál nagyobb gipszadagolás gyorsító hatást fejt ki. A kezdetben képződött ettringit gyorsan átalakul monoszulfáttá. Megváltozik a hidrátszerkezet, nevezetesen megnő a kristályok mérete, eltérő lesz a cementpép mikroszerkezete, és nő a cementkő heterogenitása.

Jól gőzölhetőnek azt a cementet tartják, amelyben a $C_3S/\beta C_2S$ arány 3-nál nagyobb, a C_3A -tartalom 8 m%-nál kisebb [R. Kondo—M. Daimon (1974)]. *Jól gőzölhetőek* a 80 °C hőmérsékleten a kb. 70% C_3S -tartalmú, ún. alitcementek, 80—90 °C hőmérsékleten gőzölhetőek a nagy βC_2S -tartalmú és a heterogén portland cementek, és 70 °C körüli hőmérsékletnél nem szabad nagyobb hőmérsékleten gőzölni a nagy (10—15 m%) C_3A -tartalmú cementeket [M. Venuat (1974)].

Ezeket a kutatási eredményeket a hazai kutatások is igazolták [Kilián J. —Székely I. (1965)].

A cement hidratációja befolyásolható *kötésszabályozó* adalékszerekkel. F. Vavřin (1974) szerint a *kötésgyorsító adalékszerek* savak vagy erős lúgok sói, vagy gyenge savak alkalikus sói, mint pl.: Na, K és Ca kloridjai, szulfátjai, és nitrátjai, karbonátok, alumínátok, K és Na szilikátjai. A leghatásosabb gyorsító a CaCl_2 , melynek szilárdulásgyorsító hatása összegeződik a 60°C -os gőzöléssel. A gyorsítás okáról még nincs egységes vélemény. H. G. Kurczyk és H. E. Schwiete (1960) természetes szilárdulás esetére, Balázs Gy. és Tamás F. (1964) gőzölés esetére kimutatta, hogy a CaCl_2 katalizátorként meggyorsítja a C_3S és $\beta\text{C}_2\text{S}$ hidratációját anélkül, hogy a végtermék összetétele megváltozna. Mások szerint a CaCl_2 a C_3S felületén adszorbeálódik és csökken a folyadékfázis alkalikussága, aminek hatására meggyorsul a C_3S hidrolízise. Másrészt azt is megállapították, hogy a kötésgyorsítók hatására megváltozik a CSH-ban a C/S aránya [F. Vavřin (1974)].



4.10. ábra. A hidratáció termékek időbeli alakulásának vázlatos ábrázolása Locher és Richartz szerint

A kötészéleltető adalékszerek közé sorolják a lignin-szulfonátokat, a cukrot, a metil-cellulózt, a boraxot, a borkősavat, a nátrium-foszfátot, a sziliko-fluoridokat, a glukonsavat, a citromsavat és nagy koncentrációban egyes kötészéleltetőket. A hazánkban szabadalmaztatott citromsav kötészéleltető (márkanéve Retardol) már 0,1%-os adagolása a cement tömegére vonatkoztatva a betontechnológiában általában megkívánt 6 órás késleltetést eredményezi.

A kötészabályozó adalékszerek hatásmechanizmusát összefoglalóan *Tamás F.* (1966) fejtette ki.

Megemlítem még *F. W. Locher* és *W. Richartz* (1974) [*W. Richartz* (1969), *W. Richartz—F. W. Locher* (1965)] kísérleti eredményeit. Bár kb. azonos összetételű CSH hidrátok keletkeznek a különböző érlelési körülmények között, de nem lesz azonos a hidrátok hossza. Kimutatták, hogy *mindazok a módszerek, amelyek meggyorsítják a cement kezdeti szilárdulását* (gőzölés, gyorsító adalékszerek), *a rövid rostú CSH-ok keletkezését segítik elő, a cementkő végszilárdságát csökkentik.* Ezzel szemben azok a módszerek, amelyek a cement kezdeti szilárdulását késleltetik (hideg, kötészéleltető adalékszerek) a hosszú rostú CSH-kristályok keletkezésének kedveznek, tehát a végszilárdságot növelik a szobahőmérsékleten, adalékszer nélkül szilárduló cementkővéhez képest. Ez az egyik oka annak, hogy a gőzölt beton 28 napos és későbbi szilárdsága kisebb a gőzöletlen betonénál.

Szobahőmérsékleten a hidrátok keletkezésének időbeli alakulását a 4.10. ábra szerint tételezték fel.

A cementpép tulajdonságainak általános vizsgálatáról először *T. C. Powers—T. L. Brownyard* (1947) számolt be.

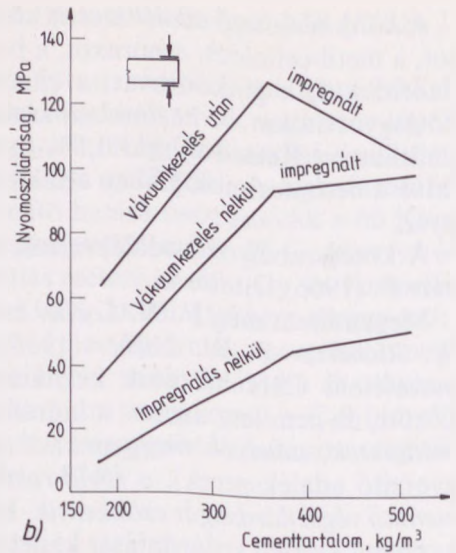
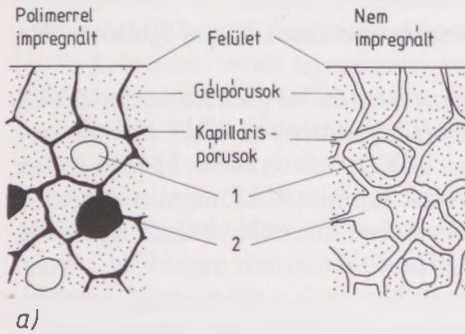
4.4.3. A beton pórusszerkezete

A víz—levegő—cement tényező törvénye általánosabb a víz—cement tényező törvényénél. Ez a különbség a betonban lévő *levegő szerepét* juttatja kifejezésre. Az utóbbi 20 évben hallatlanul megnőtt azoknak a kutatásoknak a szerepe, amelyek a pórusszerkezet vizsgálatával, a betontulajdonságokra gyakorolt hatásával, befolyásolásának lehetőségével foglalkozik.

A további tárgyalás szempontjából elég, ha kapilláris és légpórusokat különböztetünk meg.

A cement szilárdulásához a cement tömegére vonatkoztatott 15—20 m% vízre van szükség. Tehát a szükséges víz—cement tényező 0,15—0,2. Ezt a betont azonban jelenleg még nem tudjuk bedolgozni, ezért nagyobb vagy lényegesen nagyobb víz—cement tényezővel (0,3—1,0) dolgozunk. A szilárduláshoz nem szükséges víz elpárolog a betonból és *kapilláris pórusokat* hagy hátra (4.11/a ábra).

A kapilláris pórusok közel henger alakúak és 20 nm—10 μ m átmérőjű csövecskék. Mennyiségük fokozatos vízbemerítéssel határozható meg és *látzólagos porozitásnak* nevezzük.



4.11. ábra. Az impregnálás hatása a beton szilárdságára: b) az impregnálás hatása a nyomószilárdságra; a) és a pórusrendszerre. 1 — kapilláris pórusrendszerrel összeköttetésben nem lévő légpórusok, 2 — a kapilláris pórusrendszerrel összeköttetésben lévő légpórusok

A kapilláris pórusok a beton nélkülözhetetlen részei, bár idővel megszűnhetnek.

Elsősorban a víz—cement tényezőtől függenek. Először is a kapilláris pórusok nem változatlanok. Legtöbb keletkezik, ha a betont hagyjuk az elkészítés után kiszáradni. Ekkor a víz elpárolog, a cement nem szilárdul zavartalanul, mert nincs elég víz a szilárduláshoz. Ezt a hibát később nem lehet jóvátenni. Ha azonban a betont legalább 7 napig nedvesen tartjuk vagy párazáró filmmel megakadályozzuk a keverővíz eltávozását, akkor a zavartalan szilárdulás következtében a hidrátok belenőnek a kapilláris pórusokba, azokat állandóan csökkentik. Ez a folyamat évekig is eltart, bár 28 napos kor után erősen lelassul.

A nedves utókezelés tehát nélkülözhetetlen. De a kapilláris porozitást csökkenteni lehet képlékenyítő és folyósító adalékszerekkel is, mert azokat elsősorban a víz—cement tényező csökkenése érdekében adagoljuk.

Utólag is lehet csökkenteni a kapilláris porozitást impregnálással. Ez esetben a szilárd betont kiszárítjuk, a kapilláris pórusokat műgyanta-monomerrel töltjük ki és a monomert térhálósítjuk [Palotás L.—Balázs Gy. (1980)]. Impregnálásra legalkalmasabb a metil-metakrilát monomer, amelyből térhálósítás után a poli(metil-metakrilát), ismert nevén plexi lesz. Használják még a ként is. Balázs Gy.—Kovács K. (1979) kísérletei is mutatják (4.11/b ábra), hogy a kapilláris pórusok kitöltésével a beton szilárdsága is többszörösére nő, és a legnagyobb lesz a szilárdságnövekedés a péptelített beton esetén. Az impregnált beton csaknem korrózióálló, mert az agresszív folyadék nem tud a betonba hatolni a kapilláris pórusokon át.

A víz—cement tényezőtől, s ezáltal a kapilláris pórusoktól lényegesen függ a beton zsugorodása, lassú alakváltozása. Emiatt is érdekes a víz—cement tényezőt csökkenteni.

A kapilláris pórusoknak nagy a hatása a beton fagy- és sózásállóságára. A betonkorrózióval foglalkozó irodalom nagy jelentőséget tulajdonít a pórusméretnek és a pórusméreteloszlásnak. Ugyanis a 10 nm-nél kisebb kapilláris pórusokban a víz már csak -43°C hőmérsékleten fagy meg. Ebből az is következik, hogy a betonban nem egyszerre fagy meg a víz, mivel benne különböző átmérőjű kapillárisok vannak. Továbbá a beton károsodása szempontjából az ismétlődő fagyok kevésbé károsak a hosszantartó nagy hidegeknél.

Légpórusoknak a betonban lévő zárt pórusokat nevezzük. Ezeknek a légtérrel nincs közvetlen kapcsolatuk.

Légpórusok keletkezhetnek a betonban a péptelítetlenség [Bleier S. (1955)], a hiányos tömörítés, a betonba kevert légpórusképző adalékszerek vagy egyéb tényezők által.

A jó tömörítés szükségességét már a század elején felismerték, de ma már ehhez meg vannak a korszerű eszközök is (5.4.3. fejezet). Azonban a jó tömörítés sem elég a péphiányos beton bedolgozásához. Ha a betonban a pép nem tölti ki a tömörített adalékanyagváz hézagait, telítetlen betonról beszélünk. Ha a cementpép éppen kitölti az adalékanyagváz hézagait és körbeveszi az adalékanyag-szemcséket, akkor telített betonnak nevezzük. Az ehhez szükséges pépmennyiség a pépigény. Ha a péptartalmat tovább növeljük, akkor az adalékanyag-szemcsék már nem támaszkodnak egymásnak, a beton túltelített lesz.

Homokoskavicsok pépigényét — igen széles körű kísérlettel — Újhelyi J. (1973) határozta meg (vö. 4.6. ábra). Zúzott adalékanyagokra Újhelyi módszerével Zsigovics I. kísérletezte ki [Gy. Balázs—I. Zsigovics (1989)].

Számítással és kísérlettel egyaránt igazolható, hogy a péptelített betonnak a legkisebb a péptartalma, legkisebb a pórustartalma.

Vasbeton szerkezeteink betonja — az acélbetét korróziós veszélye miatt — akkor jó, ha legalább péptelített. Tudatosan készített péptelítetlen beton a „no fines” beton (Bogdán Gy.), amelybe csak annyi pépet keverünk, hogy a 12—16 mm nagyságú adalékanyag-szemcséket összeragassza. Így a betonban kb. 35 V% levegő marad, amely növeli a betonfal hőszigetelő képességét.

A beton fagy- és sózásállósága növelésére légpórusképző adalékszer keverünk a betonba, amely gömb alakú légpórusokat hoz létre. Ezek a légpórusok azáltal hatnak, hogy megszakítják a kapilláris pórusokat, megakadályozzák a beton vízzel telítődését. Megfagyáskor lehetővé teszik, hogy a táguló jég vagy nyomás alatt túlhűtött víz a kapillárisokból az üres légpórusokba hatolva lényegesen csökkentse a beton fagy okozta károsodását. A hatásos légpórusok 20—300 μm átmérőjűek.

Pórusok keletkezésének egyéb okai:

1. A beton „vérsése” (a bedolgozott beton később feladja a vizet), amely miatt az adalékanyag vagy acélbetétek alatt a beton megülekszik. Megszüntethető utóvibrálással.

2. Repedésképződés a beton egyenlőtlen felmelegedése és lehülése, képlékeny zsugorodás, száradási zsugorodás stb. miatt. A repedések ugyan nem sorolhatók egyik póruscsoportba sem, annál rosszabbak. Általában megelőzhetők beton- és építéstechnológiai intézkedésekkel.
3. A gőzölt betonban — a gyors felfűtés miatt — a betonban lévő víz és elsősorban levegő helyén, képlékeny állapotban nagy légpórusok keletkezhetnek, amelyek rontják a beton tulajdonságait. Megelőzhetők szakszerű gőzöléssel.

Balázs Gy. (1985, 1988) a péptelítettséget általános struktúrajellemzőnek tekintette.

4.4.4. A pórusszerkezet és a hidrátszerkezet vizsgálata

A **pórusszerkezet** fő jellemzői: összporozitás, pórusméret, pórusméret-eloszlás, fajlagos felület, távolsági tényező, pórusok összekapcsoltsága.

Meghatározásukra közvetlen és közvetett módszereket használnak.

Közvetlen vizsgálatok: betonminták foszforeszkáló gyantával kezelt vékony metszeteinek a vizsgálata optikai mikroszkóppal, a beton síkmetszetének a vizsgálata optikai mikroszkóppal, elektronmikroszkóppal. Az Építőanyagok Tanszéke 1971-ben készített mesterségesen bevitt légpórusok vizsgálatára alkalmas póruselemző (kézi mozgatású) mikroszkópot. Az ÉTI Betonosztályának 1990 óta van mikroszkópi felvételek kvantitatív elemzésére alkalmas számítógépes képelemző készüléke.

Közvetett vizsgálatok: A beton víz-, lég-, CO₂-áteresztő képességének a vizsgálata. Vízfelvétel vizsgálata fokozatos vízbemerítéssel és 15 MPa nyomással. A kapilláris pórusok pórusméreteloszlása meghatározható a higanyos poroziméterrel 3 nm és 1 mm közötti tartományban. A nitrogénabszorpciós és kapilláris kondenzációs modellek méréstartománya kb. 4—50 nm. A víz fagyáspontja — a pórusméret függvényében — meghatározható fagydilatométerrel.

A pórusszerkezet vizsgálati módszerei kritikáját hazánkban Újhelyi J. (1991, 1992) és Popovics S. (1992) foglalta össze, elsősorban irodalmi adatok alapján.

A **hidrátszerkezet** fő vizsgálati eszközei: röntgendiffraktométerrel, infravörös spektrográffal a keletkezett hidrátok fajtája, derivatográffal a mennyisége, BET-készülékkel (vízgőzadszorpciós módszer) fajlagos felülete [S. Brunauer—P. H. Emmett—E. Teller (1938)], elektronmikroszkóppal alakja, mérete, térbeli elrendeződése határozható meg.

4.4.5. A pórusszerkezet és a betontulajdonságok összefüggése

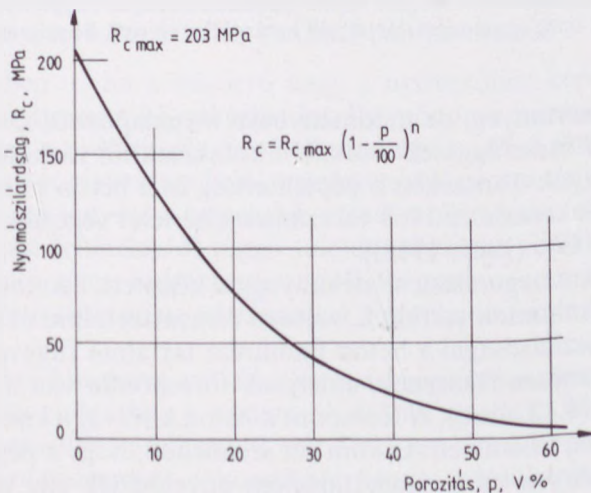
A struktúra szemléletű betonvizsgálatot T. C. Powers—T. L. Brownyard (1946) alapvető munkájától számítjuk. Már ebből a munkából nyilvánvaló, hogy a cementkő áteresztőképesége függvénye a kapilláris porozitásnak.

T. C. Powers volt az első, aki kísérlettel kimutatta, hogy a cementkő szilárdsága a pórusmentesnek feltételezett cementkő szilárdságától ($R_{c\max}$) és a cementkő porozitásától (p) (kapilláris és légpórusok összessége) alábbiak szerint függ:

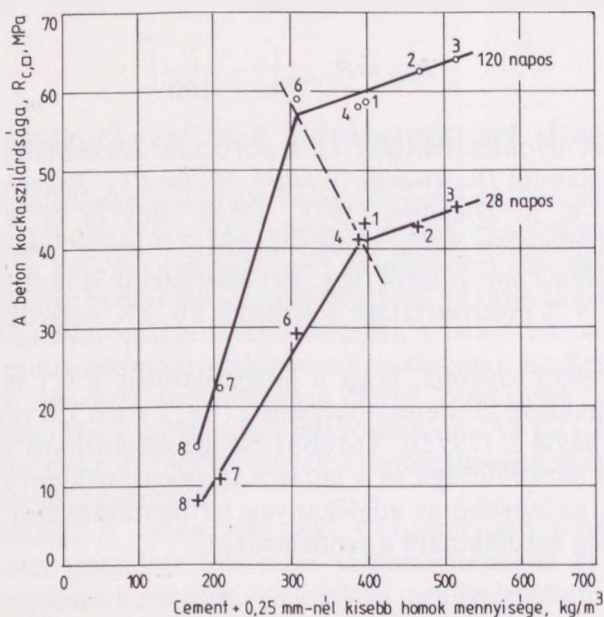
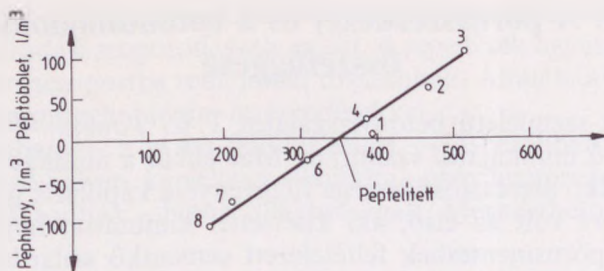
$$R_{c\Box} = R_{c\max} \left(1 - \frac{p}{100}\right)^n$$

(4.12. ábra). A nyomószilárdság és a porozitás kapcsolatára még Balshin, Ryskewitch, valamint Duckworth, Schiller, Willard, G. Fagerlund (1973), V. S. Danyusevsky—K. A. Djabarov (1973), D. M. Roy és G. R. Gouda (1974) állítottak fel képleteket. Azóta valószínűsíthető, hogy a cementkő, ill. a beton nyomószilárdsága a porozitástól függ. Ezt kísérleteink is igazolták [Balázs Gy. (1983)]. Kb. 1 V% pórustartalom növekedés kb. 5% szilárdságcsökkenésnek felel meg.

Valószínűsíthető továbbá, hogy a húzószilárdság a 0,1 mm-nél nagyobb pórusok térfogatától, az áteresztőképeség (víz, lég stb.), a pórusméret-eloszlástól függ [Újhelyi J. (1992)]. Továbbá eléggé megbízható az összefüggés a beton fagy- és sózásállósága és a hatásos légpórustartalom között. A beton kopásállósága elsősorban az adalékanyag térfogatarányától és kopásállóságától függ. Még sorolhatnám a tendenciákat.



4.12. ábra. Cementkő nyomószilárdsága a porozitás függvényében Powers szerint



4.13. ábra. A beton kockaszilárdsága a beton finomrésztartalma függvényében [Balázs Gy. (1983)]; $D = 12$ mm; szemmegoszlás A jelű határgörbe szerint; konzisztencia jele KK

Gyűlik az ismertanyag, de tudományosan megalapozott, szórással jellemzett megbízható összefüggések a további kutatásokból várhatók.

Az Építőanyagok Tanszékén a péptelítettség és a beton tulajdonságai közötti összefüggés keresésére 1968-tól számos kísérletet végeztek. A főbb eredmények [Balázs Gy. (1985, 1988)]:

a) Azonos szemmegoszlású adalékanyaggal készített, azonos konzisztenciájú, azonos finomhomok-tartalmú, változó cementtartalmú és korú betonok nyomó- és húzószilárdságai a beton finomrész tartalma függvényében ábrázolva olyan egyenesen fekszenek, amelynek töréspontja van a péptelítettség tartományában (4.13. ábra). A töréspont a beton korával a kisebb finomrésztartalom irányába tolódik el. Az ábra azt szemlélteti, hogy a péptelítettséghez szükséges pépigényen túl a cementtartalom növelésének alig van gyakorlati haszna.

b) A húzó- és nyomószilárdság viszonya annál nagyobb, minél péptelítetlenebb a beton. A túltelítettség tartományában azonban alig van változás.

c) A péptelítettség tartományában legkedvezőbb a beton impregnálhatósága (4.11/b ábra).

4.4.6. A cementkő és az adalékanyag közötti tapadás

Ismert, hogy a beton tulajdonságai (könnyűbetonokat kivéve) rosszabbak mind az adalékanyag-közet, mind a cementkő tulajdonságainál. Míg az adalékanyag nyomószilárdsága általában 50—300 MPa, a cementkéé 70—100 MPa, addig a betoné 5—60 MPa. Ez a különbség a két anyag eltérő tulajdonságaira, elsősorban eltérő alakváltozási tulajdonságaira és alakváltozó képességére, valamint a cementkő és az adalékanyag közötti tapadásra vezethető vissza.

Amidőn a beton szilárdságát a törőerőből kiszámítjuk, akkor feltételezzük, hogy a betonban a feszültség konstans. De ez nem így van, a nagy szilárdságú adalékanyagban — azonos összenyomódás esetén — mindig nagyobb a feszültség, mint a cementhabarcsban. A két anyag a tapadás révén dolgozik együtt. A beton tönkremenetele is a tapadás megbomlásával kezdődik.

Az adalékanyag határfelületén tapadási repedéseket okozhatnak a húzó- és nyíróerők egyaránt. Eszerint a tapadás két alapesetét különböztetjük meg (4.9/b ábra):

a) *Húzási típusú tapadási repedés* akkor jön létre, ha az adalékfelületen a húzófeszültség eléri a húzó-tapadási szilárdságot. Ez az adalékanyag és a habarcs részleges elválását eredményezi.

b) *Nyírási típusú tapadási repedések* akkor keletkeznek, ha az adalékanyag felületén a nyírófeszültség eléri a nyíró-tapadási szilárdságot. Ez a jelenség az adalékanyag és a habarcs közötti elcsúszásban jelentkezik.

Utóbbi esetben — ha a húzóerő nagy a nyíróerőhöz képest — a húzási tapadásba való átmenet következhet be. Ily módon a húzási tapadás úgy is felfogható, mint a nyírási igénybevételi mód egyik szélső értéke.

A tapadást a két alapeseten belül természetesen számos tényező befolyásolja. Egyik alapvető tényező a cementkő, annak a hidratáció folyamán a szilárdulási és tárolási feltételektől függő tulajdonságai, az adalékanyag határfelületén kialakuló réteg hidrátszerkezete és összenövése az adalékanyaggal. A másik alapvető tényező az adalékanyag alaptulajdonságai és felületi érdessége.

Eppen ezekből kiindulva szokás *kémiai és mechanikai tapadást* megkülönböztetni. Előbbi elsősorban a cementtől, utóbbi az adalékfelülettől függ.

Tomei-Finkenwalde kutatásaiból már 1895-ben azt a következtetést vonta le, hogy a portlandcement a homokkal kémiai vegyületeket is alkot (4.1. fejezet).

Ezek a kvarchomokra vonatkozó korai hipotézisek. Mindenesetre úgy tűnik, hogy a betonismeret kezdeti időszakában is voltak, akik fontosnak tartották a cementkő és az adalékanyag közötti kapcsolatot. A későbbiekben ez feledésbe merült és a beton tulajdonságait a cementkő és az adalékanyag tulajdonságaival magyarázták.

A korszerű kutatási eszközök — elektronmikroszkóp, röntgendiffraktómeter, optikai mikroszkóp, elektron mikroszonda, derivatográf stb. — tették lehetővé a határfelületi reakciók tényleges kutatását.

A határfelületi jelenségekkel foglalkozó kutatók egyetértenek abban, hogy a nem porózus adalékanyagokat néhány mikrométer vastag vízfilm veszi körül, és a hidratáció a *Le Chatelier* által feltételezett mechanizmus szerint megy végbe. Az adalékanyag körül egy *átmeneti zóna* alakul ki, amely a cementkőnél porózusabb, kisebb a kohéziója és ez a réteg a *beton leggyengébb része*. Abban is egyetértenek a kutatók, hogy az átmeneti zóna minősége függ az adalékanyag ásványi felépítésétől.

Az átmeneti zónát vizsgáló kutatók [J. Farran (1956), J. Grandet—J. P. Ollivier (1980), G. Rehm—R. Zimbelmann (1976), J. C. Maso (1980) stb.] eredményei alapján a következő hipotézis tételezhető fel.

A bedolgozott betonban az adalékszemcséket vízfilm veszi körül. Ebbe a vízfilmbe a portlandcementből először a legmozgékonyabb ionok diffundálnak. A diffúzió sorrendje: nátrium- és káliumionok, szulfátionok, alumíniumionok, azután következnek a kalciumionok. A szilíciumionokat először a cement vízmentes szemcséi kötik meg, majd a későbbiekben szabadulnak ki az adalékanyagot körülvevő vízfilmbe. Tehát kezdetben ettringit és portlandit (CH) keletkeznek. A kristályok fejlődése kevésbé van gátolva, mint a cementkőben, ezért nagy kristályok keletkeznek, lazább lesz a térhálós szerkezet, amelynek a pórusai csak fokozatosan telítődnek kevésbé mozgékony szilícium- és alumíniumionokkal, elsősorban CSH-t alkotva.

Az adalékanyagok részleges oldódása megnöveli a felületek érdességét, továbbá a határfelület növeli a fizikai kötőerők hatását és kémiai kötést eredményezhet az adalékanyag és a cementkő között. Azokat a közeteket, amelyeknél a kémiai kötést is feltételezzük, *aktív közeteknek* nevezték el. T. T. C. Hsu és F. O. Slate (1963) az indianai mészkövet, J. Farran (1956) a metamorf mészkövet és dolomitot, Ju. Butt és munkatársai (1969) a kvarcot és a mészkövet, G. Rehm és R. Zimbelmann (1976) a kvarcot és a mészkövet, Balázs Gy. (1983) a mészkövet, a kvarcot és a dolomitot aktív közeteknek tekintette.

Autoklávolt betonban a kvarcsemek (kvarcliszt) [F. Massazza és M. Pezzuoli (1980)] felületén erősebb kötés jön létre, mint a cementkőben és ennek az a következménye, hogy a kvarcliszttartalmú autoklávolt betonok majdnem a törésig rugalmasan viselkednek, szemben a nagyszilárdságú bazaltbetonokkal.

Az átmeneti zóna vizsgálatából az a következtetés is levonható, hogy a *tapadás fokozható az adalékanyag felületének megtisztítása* [Ju. Butt és munkatársai (1969)] és az *átmeneti zóna tömörségének a növelése által* [R. Zimbel-

mann (1978)]. Butt és társai megemlítik, hogy ha kvarchomokot felhasználás előtt mészdalattal kezelték, akkor ezzel a kvarchomokkal készített beton szilárdsága 20%-kal nagyobb volt a kezeletlenénél. Továbbá fokozható a tapadás szilikaporról is, mert csökkenti az adalékanyag-szemcsék körül kialakuló $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lapkristályokat.

Eltérően alakul az átmeneti zóna a vízfelszívó porózus adalékanyagok körül. Egyes kutatók szerint ez esetben nincs átmeneti zóna, ill. az nem különbözik a cementkőtől. Eltérően alakul az átmeneti zóna aszerint is, hogy az adalékanyag a felvett vizet a cementkőnek leadja-e vagy nem.

A húzó-tapadási szilárdságra az adalékanyag egyenetlenségeinek nincs jelentős hatása. Ugyanakkor a nyírási tapadást jelentősen befolyásolja, hiszen a bemélyedések helyén mindig a cementkőnek kell elnyíródnia és nem az átmeneti zónának.

A nyíró-tapadási szilárdság a sűrűdéstől és a kohéziótól függ [Balázs Gy. (1983)].

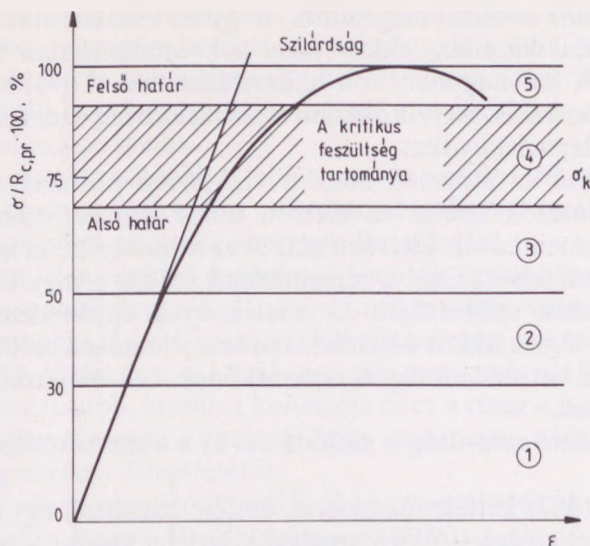
Balázs Gy. (1983) kétféle mészkővel, kétféle bazalittal, egy riolittufával és hatféle andezittel elvégzett nyírótapadási kísérletei szerint a sűrűdési szöget sem a kőzetfajta, sem a kőzet felületének az érdessége (a vizsgált érdességgel), sem a habarcs minősége, sem kora, sem a próbatest nedvességi állapota nem befolyásolta lényegesen, $25\text{—}30^\circ$ közötti értéket kapott. A kohézió azonban lényegesen függött a habarcs minőségétől, korától, a kőzet fajtájától. Nagy hatása volt a próbatest nedvességi állapotának. A végig vízben tárolt próbatest kohéziójához képest a 7 napig vízben, 2 hétig szobalevegőn tárolt, majd 1 hétig szárított próbatestek kohéziója felére—harmadára csökkent. Ha adalékkőzet helyett műgyantahabarcsot használt, a kohézió zérus lett, de nem változott meg lényegesen a sűrűdési szög.

4.4.7. A beton törési mechanizmusa

Centrikus nyomás hatására a beton próbatestben, amely különböző tulajdonságú anyagi részekből és pórusokból álló heterogén rendszer, kezdetben a terhelő feszültséggel közel arányos tengelyirányú összenyomódás (ϵ_x) és a tengelyirányra merőleges nyúlás (ϵ_y) lép fel. Ez az arányosság azonban egyáltalán nem áll fenn a törés közvetlen közelében. Törőszilárdságnak (kockaszilárdság, hengersizilárdság, hasábszilárdság) azt a legnagyobb feszültséget tekintjük, amelyet a törőerő és a kezdeti keresztmetszeti terület hányadosaként kapunk. Ez azonban egy végső állapot, amelyet a tönkremeneteli folyamat előz meg.

A centrikus nyomásra igénybevett, terheletlen állapotban repedésmentes beton $\sigma - \epsilon$ (feszültség-összenyomódási) diagramja — a törési mechanizmus szempontjából — a következő részekre bontható (4.14. ábra):

1. A törőfeszültség kb. 30%-áig számuk és nagyságuk szempontjából jelentéktelen tapadási repedések keletkeznek az adalékanyag és az alapanyag



4.14. ábra. A beton törési mechanizmusának szakaszai központos nyomásra

(cementhabarcs) határfelületén. A $\sigma - \varepsilon_x$ és a $\sigma - \varepsilon_y$ függvénynek ez a szakasza egyenes.

2. A törőfeszültség kb. 30—50%-a közötti feszültségekre ezek a tapadási repedések lassan tágulnak. Abból ismerhető fel, hogy a $\sigma - \varepsilon$ függvények már eltérnek az egyenestől.

3. A törőfeszültség kb. 50—70%-a között ezek a repedések tovább nőnek, és a tartomány felső határán, zajok kíséretében, kezd megrepedni a cementhabarcs.

4. A következő tartományban megindul a beton szövetszerkezetének rohamosabb tönkremenetele. Olyan instabilis állapot jön létre, amelyben a repedések a terhelőerő növelése nélkül tovább terjedhetnek. Ezt a tartományt kritikus tartománynak nevezzük, és alsó határa a kritikus feszültségnek (σ_k) felel meg.

5. Az utolsó szakaszra a makrorepedések jellemzők, amelyek a beton teljes tönkremenetelét eredményezik.

A kritikus feszültség (σ_k) meghatározására empirikus, indirekt és elméleti módszereket dolgoztak ki.

Empirikus eljárásnak tekinthető H. Rüsck (1959) módszere. Ő feltételezte, hogy a beton tartós szilárdsága, amely a statikus szilárdság 70—80%-át teszi ki, összefügg a beton σ_k feszültségével. Azonban — még ha feltételezhető is az összefüggés — a vizsgálat rendkívül hosszadalmas volta miatt gyakorlati kutatásra nem alkalmas.

Ezzel szemben az *indirekt módszerekkel* viszonylag hamar lehet eredményt elérni.

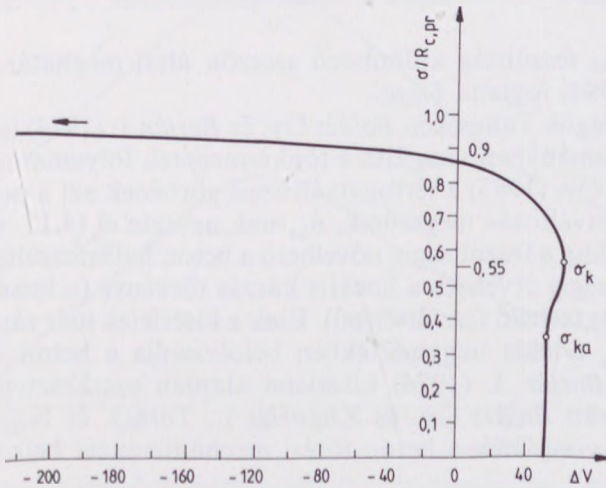
Az akusztikai módszerek közül az ultrahang terjedési sebességének mérésén alapuló módszer esetében σ_k -n azt a feszültséget értik, amelynél a hang terjedési sebessége a kiindulási érték alá kezd csökkenni. A zajszintmérés során az alapanyagban bekövetkező repedésekhez kiugró zajszint tartozik és ehhez tartozik a σ_k feszültség. Bizonytalanabb, mint az ultrahang terjedésén alapuló módszer.

Leginkább ismert a térfogatváltozási függvény meghatározásának a módszere. A gyakorlatban a próbatest felületén erőirányú (ϵ_x) és arra merőleges (ϵ_y) nyúlásokat mérnek és abból számítják a térfogatváltozást. Az eredmény akkor megbízható, ha a keresztirányú nyúlást a törési keresztmetszetben mérték. σ_k az a feszültség, amelynél a térfogatváltozás

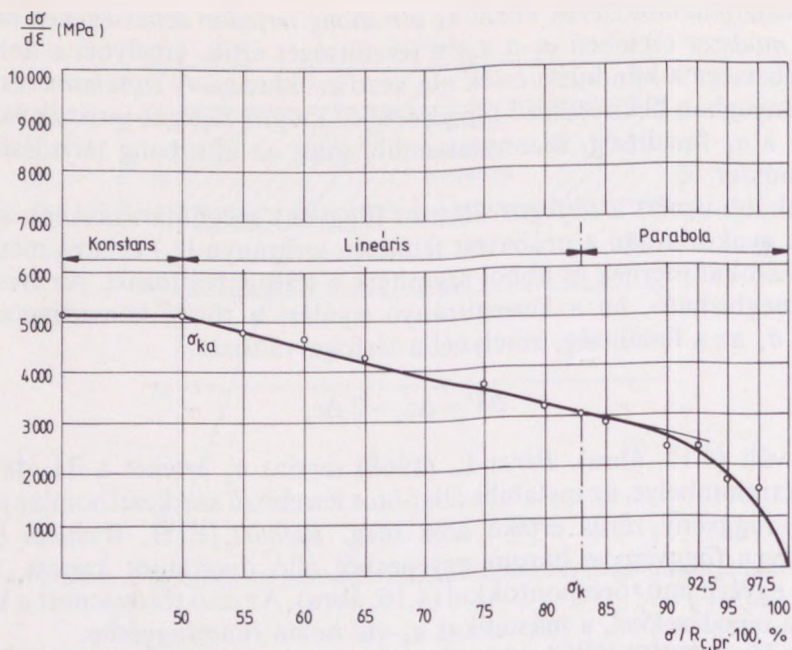
$$\Delta V = \Delta \epsilon_x - 2 \Delta \epsilon_y$$

előjelet vált (4.15. ábra). Béres L. (1968) szerint σ_k értékét a $d\epsilon_V/d\sigma$ függvény maximumhelye, az instabilis állapotot létrehozó szerkezetbomlás szintjét pedig e függvény zérus értéke adja meg. Richart [E. H. Wahdan (1974)] $\log \sigma - \log \epsilon$ függvényre három egyenesből álló diagramot kapott, többekévé egyértelmű töréspontokkal (4.16. ábra). Az első töréspontot a kezdeti tapadási repedésekkel, a másodikat σ_k -val hozta összefüggésbe.

H. R. Sasse (1969) kétféle méretű, különböző gömb alakú adalékanyaggal (acél, üveg, polisztirolhab) és különböző szilárdságú és alakváltozási képességű habarccsal, továbbá hiányos szemmegoszlással készített betonokat és σ_k -t $\log \sigma - \log \epsilon$, valamint $d\sigma/d\epsilon$ eljárással határozta meg a térfogatváltozási függvényt. A σ_k értékek (a nyomószilárdsághoz viszonyítva) az első eljárással számítva 0,74—0,91, a másodikkal 0,71—0,91 közöttiek voltak. Mivel mindkét eljárás grafikus közelítő eljárás, ezért ajánlatos a szerkesztést e két



4.15. ábra. A térfogat-változási ábra [Balázs Gy. (1988)]



4.16. ábra. A törési mechanizmus Richart és Desai szerinti ábrázolásban [E. H. Wahdan (1974)]

eljárással elvégezni. E kísérletek szerint σ_k nő, ha nő a habarcs hajlító-húzószilárdsága és rugalmassági modulusa (E_h), ha nő az adalékanyag rugalmassági modulusa (E_a), és ha nő az adalékanyag és az alapanyag közötti tapadás. σ_k csökken, ha nő az adalékanyag átmérője (de csak üveg és acél esetén) és nő az E_a/E_h viszonzyszám.

H. R. Sasse és E. H. Wahdan a beton szilárdságára σ_k -ra modellegyenleteket írt fel.

A σ_k kritikus feszültség különböző szerzők által meghatározott értékeit Zsigovics I. (1984) foglalta össze.

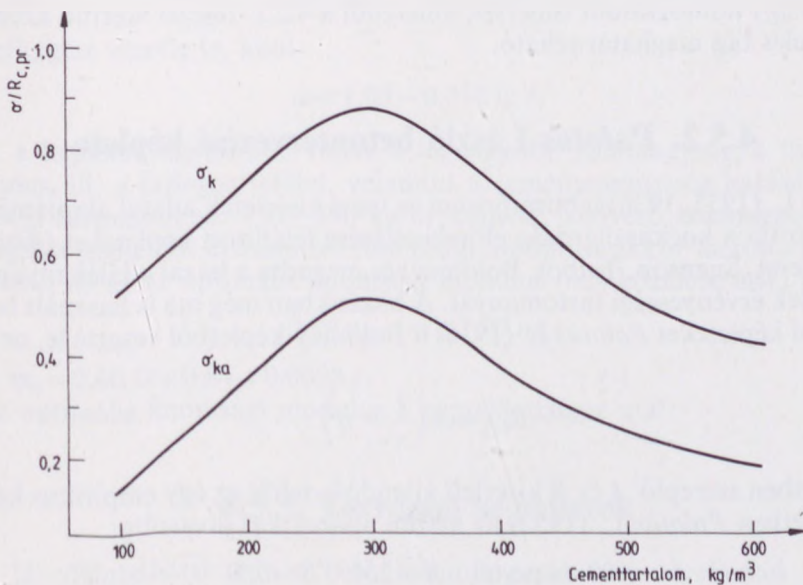
Az Építőanyagok Tanszéken Balázs Gy. és Borján J. (1974) igen tág beton-összetételi tartományban vizsgálta a tönkremeneteli folyamatot. E kísérletek alapján Balázs Gy. (1983) a térfogatváltozási görbének azt a pontját, ahol az állandó térfogatváltozás megszűnik, σ_{ka} -nak nevezte el (4.15. ábra) és feltételezte, hogy eddig a feszültségig növelhető a beton határfeszültsége, valamint eddig a feszültségig érvényes a lineáris kúszás törvénye (a lassú alakváltozás arányos a tartós terhelő feszültséggel). Ezek a kísérletek már rámutattak arra, hogy σ_k és σ_{ka} értékét nagymértékben befolyásolja a beton péptelítettsége [Balázs Gy.—Borján J. (1974) kísérletei alapján szerkesztett 4.17. ábra]. Továbbiak során Balázs Gy. és Zsigovics I., Tóth J. és N. H. Thanh sok kutatás során vizsgálták a beton törési mechanizmusát befolyásoló tényezőket.

Az elméleti módszerek is többfélék. A. A. Griffith (1920) a rugalmas repedésmodellből indult ki. E modell feltételezi, hogy a rugalmas, rideg anyag tönkremenetelét okozó törés a számos hibahely egyikéből (légpórus) indul ki. A repedéseknél feszültségcsúcsok lépnek fel. Griffith — ellipszis alakú repedést feltételezve — meghatározta azt az átlagfeszültséget, amelynél a feszültségcsúcsok a rideg anyagok törését okozzák.

A rugalmasan tárolt energia és az új repedések kialakítására fordított energia energiámérlegéből adódik az energiáfelszabadulási ráta kifejezés (G). Az instabilis repedésszélességi állapot elérésekor σ_k -hoz hasonlóan G -nek is van kritikus értéke (G_k), amit fajlagos törési energiának neveznek.

A törési mechanizmusra kísérletekkel, ill. elméleti úton úgy is következtettek, hogy az alapanyagtárcsa közepére [Balázs Gy. (1983)] egy hengert vagy szabályosan elrendezett hengereket helyeztek, vagy a betonba véletlenszerű elrendezésben adalékanyag-golyókat képzeltek [P. Stroeven (1973)]. Az elméleti vizsgálatok során a véges elemek módszerét használták. Ezekkel a modellekkel a repedések képződésének és terjedésének mechanizmusát figyelték meg, ill. számították ki.

A mikroszerkezetben terjedő repedések sajátosságait, a szemcsék és a kötőanyag közötti mikroanyagmodellek hatását vizsgálta Bojtár I. és Bagi K. (1989) kétdimenziós és véletlenszerűen elhelyezkedő korongokból összeállított halmazon végzett kísérletekkel. Az elemzések során a repedések növekedése és a belső erőláncok közötti szoros függvénykapcsolat volt megfigyelhető.



4.17. ábra. σ_{ka} és σ_k kritikus feszültségek a péptelítettség függvényében [Balázs Gy. (1988)]

4.5. Betontervezés

[Újhelyi J. (1983, 1889)]

A betonösszetétel tervezése a 4.2. fejezet szerinti valamelyik szilárdságbecslő képletre épül, figyelembe véve a képletben megjelenő, a beton szilárdságát befolyásoló valamely paramétert. Kezdetben csak a paraméter (a víz—cement tényező) alakulásával törődtek, később egyre több befolyásoló tényező (adalékanyagok jellemzői, kötőanyagok kémiai és fizikai jellemzői, ásványi összetétele, a betonkeverék konzisztenciája, összetartóképesége, bedolgozhatósága, a környezeti körülmények stb.) hatása is helyet kapott a tervezési módszerekben.

4.5.1. A Feret-képlet használata a 30-as években

A 4.1. fejezetben ismertetett Feret-képletet a 30-as években tovább vizsgálták.

Marssó L. (1934) számításai szerint a Feret-képlet állandójára jó középértéknek tekinthetők az alábbiak:

7 napos földnedves betonra	$k = 2500$
28 napos földnedves betonra	$k = 3100$
7 napos plasztikus betonra	$k = 1800$
28 napos plasztikus betonra	$k = 3000$.

Marssó egy nomogramot ismertet, amelyből a 4.2.1. fejezet szerinti képletből a zárójeles tag meghatározható.

4.5.2. Palotás László betontervezési képlete

Palotás L. (1935, 1936) laboratóriumi és ipari kísérletek adatai alapján összehasonlította a kockaszilárdság előrebecslésére felállított képleteket (Abrams, Graf, Feret, Suenson, Talbot, Bolomey) és megadta a hazai adalékanyagokra a képletek érvényességi tartományát. A hazánkban még ma is használt betontervezési képleteket Palotás L. (1936) a Bolomey-képletből vezette le, nevezetesen:

$$R_{c\Box} = A \left(\frac{1}{x} - B \right).$$

A képletben szereplő A és B kísérleti állandók, tehát ez egy empirikus képlet. Kezdetben Palotás L. (1952) az alábbi állandókat javasolta:

600-as pc-tel	$A = 250$	$B = 0,5$
500-as pc-tel	$A = 190$	$B = 0,6$
400-as pc-tel	$A = 120$	$B = 0,65$,

1980-ban a „Mérnöki szerkezetek anyagtana” c. könyvben A megfelelő értékei: 225, 175 és 125, B értéke 0,3 lett, ami valószínűen arra utal, hogy a cement tényleges szilárdsága jobb volt a névlegesnél.

A beton vízigényének a becslésére többen állítottak fel képletet. *Palotás* a kis felszívású hazai homokoskavicsokra — az Abrams-képletből kiindulva — a víz—cement tényezőt egy x_0 alap víz—cement tényező, a cementek vízigénye (h_0), a konzisztenciától függő hígítási tényező (h) és később az adalékanyag relatív vízigénye (h_1) szorzataként állította elő. Nevezetesen:

$$x = x_0 \cdot h_0 \cdot h \cdot h_1 .$$

A képletben szereplő h_0 -ra, h -ra és h_1 -re számértékeket adott meg, amelyek kis vízfelvételű adalékanyagra érvényesek. A földnedves konzisztenciához — kísérletekből —

$$x_0 = 0,1 + \frac{23}{c} (10 - m)$$

összefüggést vezetett le, ahol c a cementtartalom, m az adalékanyag finomsági modulusa. Azt is kimutatta, hogy a Bolomey- és Suenson-féle vízigénybecslő képleteket a hazai kísérletek nem igazolták.

Továbbá kimutatta, hogy az adalékanyag és a száraz keverék fiktív felületével (f) a vízszükséglet nem változik arányosan. Hazai természetes adalékanyagokkal végzett kísérletek értékelése alapján alap víz—cement tényezőre

$$x_0 = 0,1 + \frac{20}{c} (5 + f^a)$$

összefüggést vezetett le, ahol

$$a = 1,05 - 0,332 \lg f .$$

Ezek a képletek figyelembe veszik a legnagyobb szemnagyság, a finomsági modulus, ill. a fajlagos felület, valamint a cementmennyiség hatását. Érvényességi tartományuk: 150—500 kg/m³ cement, kedvező szemmegoszlások.

Végül a képletből kiszámított finomsági modulusot akkor tartotta elfogadhatónak, ha az az optimális finomsági modulus (m_0) közelébe esik, azaz

$$0,89 m_0 < m \leq 1,07 m_0 ,$$

ahol $m_0 = 2,66 D + 0,84 + 0,0028 c$.

Az optimális finomsági modulus a péptelítettségre utal.

4.5.3. Tervezési segédletek

A II. világháború után a betontechnológusok arra törekedtek, hogy a megelőző korszakban megismert *betontervezési* képletek [*Weiss Gy.* (1963)] helyett betontervezési segédleteket dolgozzanak ki.

Hazánkban betontervezésre a nomogramok és táblázatok terjedtek el. Az első táblázatot *Gáspár Géza* szerkesztette 1951-ben. Az első nomogramot *Weiss Gy.* 1951-ben, későbbiekben *Újhelyi J.* publikált betontervezési nomogramokat 1967-ben és 1973-ban, *Kausay* 1965-ben és 1976-ban. A műszaki előírásba táblázatos betontervezés került be. Az 1976-ban megjelent, *Újhelyi J.* által készített előírás szintén táblázatos, de itt lényeges előrelépést jelentett az előzőkkel szemben a péptelítettségre és a minőségegyenletességre való törekvés. A legújabb nomogramot *Kausay T.* (1965) dolgozta ki kandidátusi értekezésében.

Külföldön részben szintén betontervezési nomogramokat, részben számítóléceket használnak.

4.5.4. *Újhelyi János* betontervezési módszere

Újhelyi J. hosszabb időn át (1967—1989) dolgozta ki betonösszetétel-tervezési módszerét, amely a 4.18. ábra szerinti vizsgálatok eredményein alapul. Az ábra szerint a beton nyomószilárdságának az összefüggése a víz—cement tényezővel nem egy görbével jellemezhető, hanem görbesereggel és változatlan víz—cement tényező mellett mindig a telített beton nyomószilárdsága a legnagyobb. Ha a beton telítetlen, akkor adott víz—cement tényező mellett a péphiány miatti levegőtartalom rontja a szilárdságot az optimumhoz képest, míg a túltelített betonban a megszilárdult beton levegőtartalma nő a telített-höz képest. Ezért a víz—cement tényező és a nyomószilárdság összefüggésre egyik szilárdságbecslő függvény esetén sem elég egy állandót kiszámítani, hanem minden konzisztenciára külön-külön kell ezeket meghatározni. Adott víz—cement tényező mellett mindig a merevebb konzisztenciájú beton a nagyobb szilárdságú, ha friss állapotban pórusmentessé lehetett tömöríteni, és a lágyabb konzisztenciájú a kisebb szilárdságú.

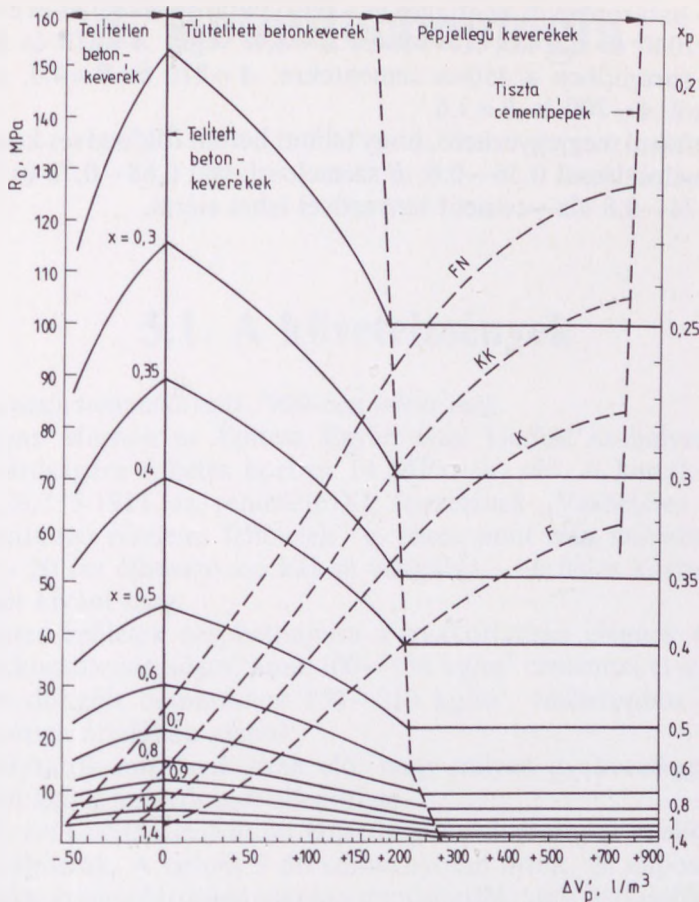
Jó közelítést ad az ún. *módosított víz—cement tényező*, amely lehetővé teszi egyetlen függvénnyel jellemezni a szilárdság változását. A módosított víz—cement tényező:

$$x' = x \cdot \frac{V_{ao}}{V_a},$$

ahol V_{ao} a telítetlen vagy telített betonba bedolgozható legnagyobb adalékanyag-térfogat, dm^3/m^3 ($V_{ao} = 1000 - V_{po}$, ahol V_{po} a pépigény a 4.3.6. fejezet szerint), V_a a beton adalékanyag-tartalma, dm^3/m^3 .

A betonösszetétel-tervezés lépései a következők:

a) meg kell vizsgálni a rendelkezésre álló adalékanyag szemmegoszlását vagy azt meg kell tervezni az előírt betontulajdonságok figyelembevételével, majd ki kell számítani a vizigényét (v_a) a 4.3.5. szerinti képletekkel, ill. vizsgálattal megállapítani [*Újhelyi J.* (1989.2)]. Ugyanígy kell eljárni a cementre is (v_c);



4.18. ábra. A beton nyomószilárdságának az összefüggése a pépkülönbséggel, a víz—cement tényezővel, a konzisztenciával és a keverék jellegével [Újhelyi J. (1989)]

b) meg kell vizsgálni az adalékanyag V_{po} pépigényét [Újhelyi J. (1989.3)], vagy ki kell számítani a 4.3.6. szerinti képletekkel. Ezekből az adatokból a beton legnagyobb adalékanyag-tartalma: $V_{ao} = 1000 - V_{po} \text{ dm}^3/\text{m}^3$, ill. $a_o = V_{ao} \cdot \rho_a$, ahol ρ_a = az adalékanyag sűrűsége (homokos kavicsra jó közelítéssel: $2,64 \text{ g/cm}^3$), a beton alapvíztartalma: $v_o = a_o \cdot v_a$;

c) fel kell venni 100—600 kg/m^3 között 50 kg/m^3 -enként növekvő c cementtartalmakat és ki kell számítani a betonkeverékek összetételét. A víztartalom számítására a 4.3.5. fejezet ad felvilágosítást;

d) ki kell számítani a fenti módon módosított x' víz—cement tényezőt. A beton várható 28 napos nyomószilárdsága

$$R_c = A \cdot e^{-B \cdot \sqrt{x'}}$$

ahol az alsó határon lévő, az átlagos és a felső határon lévő 350-es cementekre rendre $A=1040$ és $B=4,6$, $A=960$ és $B=4,4$, végül $A=810$ és $B=4$; míg ugyanilyen sorrendben a 450-es cementekre: $A=810$ és $B=4,0$, $A=800$ és $B=3,9$, végül $A=700$ és $B=3,6$.

Tájékoztatásul megjegyezhető, hogy telített betont földnedves konzisztenciával A szemeloszlással $0,56—0,6$; B szemeloszlással $0,68—0,78$ és C szemeloszlással $0,74—0,8$ víz—cement tényezővel lehet elérni.

5. Betontechnológia

5.1. A követelmények

Az első vasbetonszabályzat 1909-ben jelent meg.

A Magyar Mérnök és Építész Egylet által kiadott szabályzat a beton nyomószilárdságára 6 hetes korban 14 MPa-t írt elő. A kereskedelemügyi miniszter 28.735/1911. sz. rendelete XI. fejezetének „Vasbetétes betonmunkákra vonatkozó részletes feltételek” c. része, amit más minisztériumok is átvettek — 20 cm élhosszú kockákon vizsgálva — 6 hetes korban 16 MPa szilárdságot kívánt meg.

Földszintes épületek alapbetonjaira a gyakorlatban elégnék tartották a 4—6 MPa kockaszilárdságot, amit 100—138 kg/m³ cementtel el lehetett érni. Kényesebb döngölt betonokhoz 150—250 kg/m³, vasbetonhoz 300 kg/m³ cementet vettek általában alapul.

A szabályzatok még nem írták elő, hogy milyen gyakorisággal és hány próbatesttel kell a szilárdságot ellenőrizni.

Az 1931. évi vasbetonszabályzat szilárdsági követelményei az előzőkhöz képest nem változtak. A betont 3 db szabványosan tárolt, 28 napos, 20 cm élhosszú kocka átlagszilárdsága alapján minősítették, de a legkisebb szilárdság sem lehetett kisebb az átlagszilárdság 85%-ánál. A betont akkor tekintették megfelelőnek, ha közönséges portlandcement használata esetén az így meghatározott átlagszilárdság legalább 10 MPa, nagy szilárdságú portlandcement használata esetén legalább 14 MPa, vasúti vasbeton hidak betonjáié legalább 16 MPa volt. A minősítéshez 200 m³ betonból kellett egy kockapróbát venni.

Hídszerkezetekben az előírt legkisebb cementtartalom 300 kg/m³, más szerkezetekben 270 kg/m³ volt. A cementet már tömeg szerint, az adalékanyagot térfogat szerint kellett adagolni. Csak a vasúti vasbeton hidakhoz használt természetes homokoskavicsot kellett homokra és kavicsra osztályozni és a beton készítésekor a homok és kavics külön adagolásával összekeverni. Képlékeny vagy önthető konzisztenciájú betont kellett készíteni, hogy az acélbetéteket a habarcs jól körülvegye. A legnagyobb víz—cement tényező 0,9 lehetett.

Az acélbetétek anyaga legalább 360 MPa szakítószilárdságú és 220 MPa folyási határú folyasztott vas, ill. 480 MPa szakítószilárdságú és 280 MPa folyási határú acél lehetett. Acélt csak lemezek és négyszög keresztmetszetű gerendák acélbetéteiként és csavar alakú kengyelek céljaira használhattak.

A II. világháború után külön szabályzatot készítettek a közúti hidakra, a vasúti hidakra és a magasépítési vasbeton szerkezetekre. Mivel ezekben sok a hasonlóság, helyhiány miatt csak a közúti hidakra vonatkozó szabályzat előírásait foglalom össze.

Az 1950. évi *Ideiglenes Közúti Hídszabályzat* előírásai szerint a terveken fel kellett tüntetni a beton szilárdsági jelét B 100 (vasalatlan betonra), B 140, B 220 (vasbeton szerkezetek betonjára) kg/cm² egységben. Az adalékanyag tervezéséhez és minősítéséhez határgörbékét adtak meg. A 28 napos korú beton kockaszilárdsága (MPa) és a víz—cement tényező közötti összefüggésre

$$R_{c\ 28} = 25 \cdot \left(\frac{1}{x} - 0,5 \right),$$

a kockaszilárdság és a víz—levegő—cement tényező közötti kapcsolatra

$$R_{c\ 28} = 23 \cdot \left(\frac{1}{r} - 0,35 \right)$$

képletet adták meg.

A felhasználható betonacélok jele: A 36.24.12, A 49.29.12, A 50.35.12 hengerelt hídszerkezeti acél lehetett (Pl. 36 kg/mm² = 360 MPa a szakítószilárdság, 24 kg/mm² = 240 MPa a folyási határ jele, 12 a szabványra utaló szám). Még mindig csak a nagyszilárdságú portlandcement használatát engedték meg. A cementtartalmat *D* és az adalékanyag finomsági modulusa függvényében adták meg.

Előírták, hogy a vasbeton szerkezeteket a képlékenységtan elvei szerint kell méretezni.

Az 1956. évi *Közúti Hídszabályzat* előírása szerint teherhordó betonszerkezetekhez B 50, B 70, B 140, ill. B 200, helyszínen készített vasbeton szerkezetekhez B 200, ill. B 280, helyszínen előregyártott vasbeton elemekhez B 280, gyárilag előállítottakhoz B 400, előfeszített vasbeton szerkezetekhez min. B 280 betont kellett előírni.

Megjelentek a két szabályzat hatályba lépése közötti időben a heterogén portlandcementek. A C 400 jelű cementeket csak betonhoz volt szabad használni, vasbeton, feszített beton felszerkezetekhez csak C 600 jelű cement használatát engedték meg, egyéb vasbeton szerkezetekhez a C 500 jelű cement is.

Vasbeton szerkezetek betonja minőség-ellenőrzéséhez a tételt (az egy próbavétellel minősíthető betonmennyiséget) 50 m³-ben, feszített szerkezetekéhez 30 m³-ben szabták meg. Egy minősítéshez 3 próbakockát kellett készíteni.

Megengedték a lépcsős szemmegoszlási görbéjű adalékanyag használatát a betonteknológiában.

Az acélbetétek anyaga A 36.24.12, ill. A 50.35.12, 36.24.S, 45.30.S, 50.35.S minőségű hídépítési acél lehetett. Ajánlották a nagy szilárdságú acélok periodikus profilú kialakítását. Megengedték a betonacélok hegesztéses toldását és a csavart betonacél használatát.

Feszített betonszerkezetekhez feszítőhuzalként 2,5—6,0 mm átmérőjű, húzott és patentozott betonacélt írtak elő.

Az 1968. évi Közüti Hídszabályzat teherhordó betonszerkezetekhez B 100, B 140, ill. B 200 jelű, előregyártott beton elemekhez legalább B 140 jelű, helyszínen előregyártott vasbeton elemekhez legalább B 200, üzemben előregyártotthoz legalább B 280, felszerkezet helyszínen előregyártott vasbeton elemeihez legalább B 280, üzemben előregyártott betonéra legalább B 400, előrefeszített betonszerkezetekhez B 400, utófeszített szerkezetekhez B 280 vagy B 400 jelű betont kellett előírni. Először említik a B 560 jelű betont.

A szabályzat az acélbetéteket szilárdsági jellemzőik alapján I. (szakítószilárdság 360—450 MPa) és II. (szakítószilárdság 520—620 MPa) minőségi csoportba sorolta (a legkisebb folyási határt és legkisebb nyúlást is megadták). Feszített betonszerkezetek feszítőelemeiként 5 és 7 mm átmérőjű, hidegen húzott, hőkezelt feszítőhuzalok használatát írták elő. Először említi a szabályzat a feszítőrudakat.

A többi előírás lényegében változatlan maradt.

1988. jan. 1-jén a Közüti Hídszabályzat helyett az MSZ-07-3709-87 „Beton, vasbeton és feszített vasbeton közüti hidak tervezése” c. szabvány lépett hatályba.

Megváltozott a betonok jelölése. A beton jelében az átlagszilárdság helyett az 5% alulmaradási valószínűségű küszöbérték szerepel, és ez már nem kockaszilárdságot, hanem 15 cm átmérőjű, 30 cm magas hengeren meghatározott nyomószilárdságot jelent. A szabvány megadja az egyes szerkezeti elemekhez előírandó betonminőséget. Betonszerkezetekhez C 4, C 6, C 10, C 16, vasalt betonszerkezetekhez C 10, C 16, vasbeton szerkezetekhez C 10, C 16, C 25, utófeszített betonszerkezetekhez C 16 (C 20), előregyártott előfeszített hídtartókhoz C 25 (C 30) az előírható beton jele.

A cement jelölése is megváltozott. A C 600 jelű cement helyét a 450 pc, a C 500 jelű cement helyét a 350 jelű cement foglalta el. Alárendelt helyen (pl. szerelőbeton) megengedték a 250 kspc 60 cement használatát.

Betonacélként a B 38.24, B 38.24.B, B 50.36, B 60.50 jelű acélokat, hegesztett hálózathoz a C 15H jelű acélt írtak elő.

Az 5 és 7 mm átmérőjű feszítőhuzalok mellett megjelentek a 12,5—12,9 mm átmérőjű 93—100 mm³ névleges keresztmetszetű 7 eres feszítőpásmák.

Közutak téli sózása indokoltta tette a *korrózió elleni védelem szabályozását*. Az MI 17215/4-86 szabvány általában foglalkozik a vasbeton szerkezetet érő korróziós igénybevételekkel. A betonnal önmagával is lehet védekezni a korrózió ellen (primer korrózióvédelem). Az ilyen betonnak három követelményt kell kielégítenie: a beton vízzáróságára, porozítására és nyomószilárdságára vonatkozó követelményt. Az irányelvek mindegyikre követelményértékeket tartalmaznak. Eszerint fagy- és sózásállósági követelmény alapján még akkor is min. C 25 jelű betont kell előírni, ha a teherbírás követelmény alapján erre nem volna szükség.

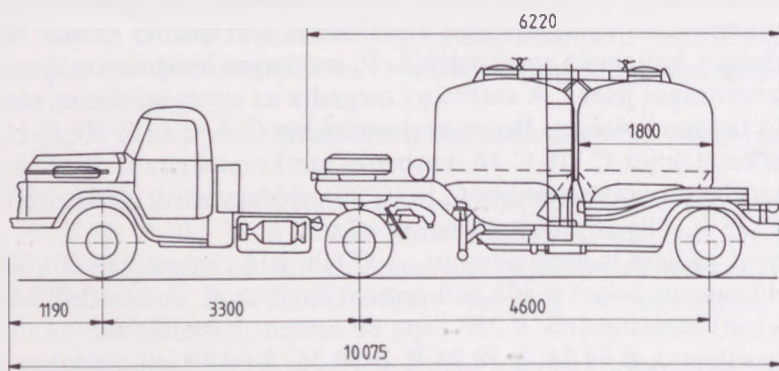
5.2. A beton alkotói

5.2.1. A cement kezelése, szállítása

A cementet a 1889. évi cementszabványok szerint 180 kg bruttó tömegű hordókba vagy 60 kg bruttó tömegű zsákokba kellett csomagolni és (2.4. fejezet) az építés helyére szállítani. A *cementzsák* csak a század eleje óta 50 kg-os.

A cementraktárat úgy kellett megépíteni, hogy abban az 1—2 hónapra szükséges cement elférjen, mindegyik rakomány hozzáférhető legyen és alulról se érhesse nedvesség.

A zsákolat cementet a magánérs építkezéseken még ma is általánosan használják. A II. világháború után a kisebb állami építkezéseken megjelent a 0,5 t-ás *gumikonténerben* szállított cement. A keverőtelepeken és betongyárakban pedig a nyerges cementszállító járművel szállított ömlesztett cement használata.



5.1. ábra. Csepel D 450-N-5-1 típusú cementszállító gépkocsi [Nagy P. (1990)]

Az 5.1. ábra a Csepel 450-N-5-1 típusú *cementszállító gépkocsit* ábrázolja, amely 10—15 t cement szállítására alkalmas. A cementszállító járműből a cementet sűrített levegővel juttatják a cementsilóba. A silóban a cement átboltozódhat, ezért ürítéskor a cementet sűrített levegővel vagy a siló aljára szerelt zsaluvibrátorral lazítják meg.

A cementet a silóból a betonkeverőgépbe szállítócsigával, légáramos, ill. fluidizációs szállítással juttatják el. A cement mérésére fenékürítésű és szektorzárral ellátott mérlegeket használnak. Ezenkívül használják az adalékanyagok mérésére bevált mérlegeket is.

5.2.2. Az adalékanyag

A század elején az a szokás alakult ki, hogy egy vasútvonal építésénél, folyószakasz csatornázásánál a generálvállalkozó maga szállította a betonhoz szükséges anyagokat. Ez ma is így van. Abban az időben rendszerint a vállalkozás időpontjában még nem tudták, hogy honnan veszik meg az anyagot, emiatt egységáraikat magasra szabták. Külföldön több államban az a gyakorlat alakult ki, hogy az állam mint építtető maga bocsátotta rendelkezésre az anyagokat.

Más példát is ismerek. Az óbudai gázgyárat kb. 1910-ben építették. Az építési terveket a kivitelező készítette, és mindent nagymértékben túlméretezett, ez volt az anyagi érdeke. Pl. a széntároló betonlemeze 60 cm vastag volt.

Ajánlották, hogy az adalékanyag-depónia helyét alaposan tisztítsák meg. Megfigyelték, hogy ha a kavicsot, különösen a zúzott kavicsot hosszabb ideig szabadon tárolták, akkor az eső a felsőbb rétegekről a port, agyag-iszapot az alsóbb rétegekbe mosta. Ilyenkor merült fel az adalékanyag mosásának szükségessége.

A homokok előzetes elbírálására a homok halmazsűrűségét (litersúlyát), hézagtartalmát és sűrűségét kellett meghatározni. Különböző kísérletek alapján arra az eredményre jutottak, hogy 4—5 V% agyag-iszaptartalom alatt rendszerint még nem érdemes a homokot mosással tisztítani, mert a rosszul alkalmazott mosás nem használ, hanem inkább árt.

A homok mosására kis mennyiségek esetén lassú vízfolyás mellett a nyílt vályúban való lapátolást ajánlották, nagyobb mennyiségek esetén a mosógépeket. Erre a célra többféle berendezést gyártottak már a század elején.

A betonnal szemben támasztott követelményekből következik, hogy a század elején — rendszerint mosás és osztályozás nélkül — megfeleltek a helyi adalékanyagok. A II. világháborút követő iparosítással, lakásépítéssel, közlekedés- és vízépítéssel egyre nőttek az igények (5.1. fejezet), előírt minőségű adalékanyagok iparosított kitermelésére, osztályozására volt szükség.

Adalékanyag-termelő szervezetek [Hajnal L. (1992)].

A természetes aprózódású homokoskavicsot — az elmúlt 40 évben — lényegében

- az ipari kavicstermelő vállalatok (zömében kavicsbánya vállalatok = KBV),
- a folyamszabályozó és kavicskotró szervezetek (zömében FOKA) és a
- szövetkezeti termelő szervezetek (zömében MGTSZ) termelték ki. A homokoskavics termelésének mennyisége e szervezetek között az 5.1. táblázat szerint oszlott meg. A kitermelt homokoskavics 1990. évi minőségi megoszlását az 5.2. táblázat tartalmazza.

Az 5.2. táblázatban szereplő betűjelek jelentése:

N mosás és osztályozás nélküli nyerstermék,

5.1. táblázat. Országos homokoskavics-termelés
[Hajnal L.]

Termelő szervezet	1950		1960	
	m ³	%	m ³	%
Ipari vállalatok	826	39,2	2651	42,5
Folyami kotrás	1280	60,8	1575	25,3
Szövetkezetek	—	—	2000*	32,2
ÖSSZESEN:	2106	100	6226	100

* Becsült adatok

- T természetes szemmegoszlású, előírt felső szemnagyságú, mosott adalékanyag,
 O a nyerstermékből mosással és osztályozással vagy egyéb művelettel, pl. aprítással előállított, meghatározott alsó és felső határszemnagyságú termék,
 Z kavicsból zúzással és osztályozással előállított termék.

A Kavicsbánya Vállalat termelésére vonatkozó részletesebb adatokat az 5.3. táblázat tartalmaz. A termelt anyag jelében a *HK* homokoskavicsot, a *H* homokot, a *K* kavicsot jelent.

A termelőszövetkezetek és a FOKA döntően *N* jelű terméket állított elő. Ezt az adalékanyagot — szükség szerint — a felhasználók osztályozták.

A központi irányítás megléte és a piacgazdaság hiánya, továbbá a minőségi betonkészítés semmibevétele legjobban az adalékanyag-termelésben látható: a FOKA majd 40 éven át csak folyamszabályozó vállalatnak tekintette saját magát, nem adalékanyag-termelőnek, és ezért semmilyen beruházást nem

5.2. táblázat. Homokoskavics minőségi megoszlása 1990-ben (ezer m³)
[Hajnal L. (1992)]

Termelő szervezet	Termelés összesen		N termék		T termék		O és Z termék	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%
Ipari vállalatok	3712	100	652	17,5	1814	49,0	1246	33,5
Folyami kotrás	2276	100	2209	97,0	67	3,0	—	—
Szövetkezetek	4500*	100	3700	82,2	400	8,9	400	8,9
Termelők összesen	10488	100	6561	62,6	2281	21,7	1646	15,7
Betonipar	—	—	— 1500	— 14,3	—	—	1500*	14,3
ORSZÁGOS ÖSSZESEN	10488	100	5061	48,3	2281	21,7	3146	30,0

* Becsült adatok

1950—1990. években (ezer m³)
(1992)]

1970		1980		1990	
m ³	%	m ³	%	m ³	%
5363	36,4	7113	34,2	3712	35,5
3846	26,2	4729	22,7	2276	21,7
5517	37,4	8977	43,1	4500*	42,8
14726	100	20819	100	10488	100

vállalt a minőség javítására. A TSZ-bányák pedig szinte kivétel nélkül rabló-gazdálkodást folytattak, amikor csak a réteg felső részét termelték ki és nem voltak felszerelve a mélyművelésre — erre nem is voltak hajlandók pénzt áldozni —, a bennmaradó értékes és hatalmas mennyiségű kavicsvagyont tönkretették (eliszapolódott és további kitermelésre alkalmatlanná vált).

Ezenkívül a kőbánya vállalatok (5.4. táblázat) is állítottak elő zúzott és osztályozott adalékanyagot. A táblázatban esetenként az építőkö és a kőliszt is benne van. Egyes termelőegységeket időnként szüneteltettek.

Az 5.2. ábrán a termelőegységeket hazánk térképén is feltüntettük. Az ábráról jól látható, hogy Délkelet-Magyarországon nincs jelentős adalékanyag-lelőhely.

Hazánkban a felsorolt termelőszervezetek ásványtani szempontból kiváló minőségű adalékanyagot állítottak elő. A hibás árrendszer is hozzájárult ahhoz, hogy a gyengébb minőségű helyi adalékanyagokat elhanyagoltuk. Ez bizonyos mérvű pazarlást jelent, mert egyes első osztályú adalékanyag-lelőhelyek már kimerülőben vannak.

5.3. táblázat. A Kavicsbánya Vállalat termelőegységei és a termelt anyag fő jellemzői 1991-ben
(Hajnal Lajos)

A vállalat üzemei	A termelt anyag jele	Éves kapacitás em ³ /1 műszak
Adony	NHK	100
Alsózsolca	OH-OK	100
Ócsa		szünetelt a termelés
Szombathely	THK 0/32	100
Nyékkládháza	OK	450
Gyékényes	THK	350
Hegyeshalom	OK	300
Délegyháza	OK	300
Kiskunlacháza	THK	480
Hatvan	OH-OK	250
Ártánd	THK	250
	OK	130

5.4. táblázat. Kőbánya Vállalatok főbb adatai 1992. januárban
(Hajnal Lajos)

Vállalat neve	Telephelye	Kőzetfajta	Kapacitása	
			műszak	t
Pannolit Kőbányászati Vállalat Kömlo (átalakulás alatt)	Kömlo	andezit	2	600
	Bükkösd	tömött mészkő	2	120
	Nagyharsány	tömött mészkő	2	750
Középdunántúli Kőbánya V. Uzsa (a német Basalt AG-vel közös V.)	Uzsa	bazalt	2	750
	Vindornya	bazalt	2	500
	Zalahaláp	bazalt	1	250
	Diszel	bazalt	1	70
	Sümeg	bazalt	1	100
	Balatonrendes	homokkő	1	50
Pestkörnyéki Kőbányák Kft. Nógrádkövesd (az osztrák Hamberger GmbH-val közös V.)	Nógrádkövesd	andezit	2	500
	Szob	andezit, dácit	2	500
	Sóskút	durva mészkő	2	250
	Leányvár	tömött mészkő	2	50
COLAS-ÉSZAKKŐ Bányászati Kft. Tarcál (a francia COLAS céggel közös V.)	Tállya	andezit	3	1400
	Tarcál	andezit, dácit	2	380
	Recsk	andezit	2	420
	Cserkő	andezit	2	220
	Bodrogkeresztúr	riolittufa	2	256
	Eger	diabáz	1	15
„Mészkő” Bányászati V. Polgárdi		tömött mészkő (kohókő)		
„Dolomit” Kőbányászati V. Gánt		dolomit (kohókő)		

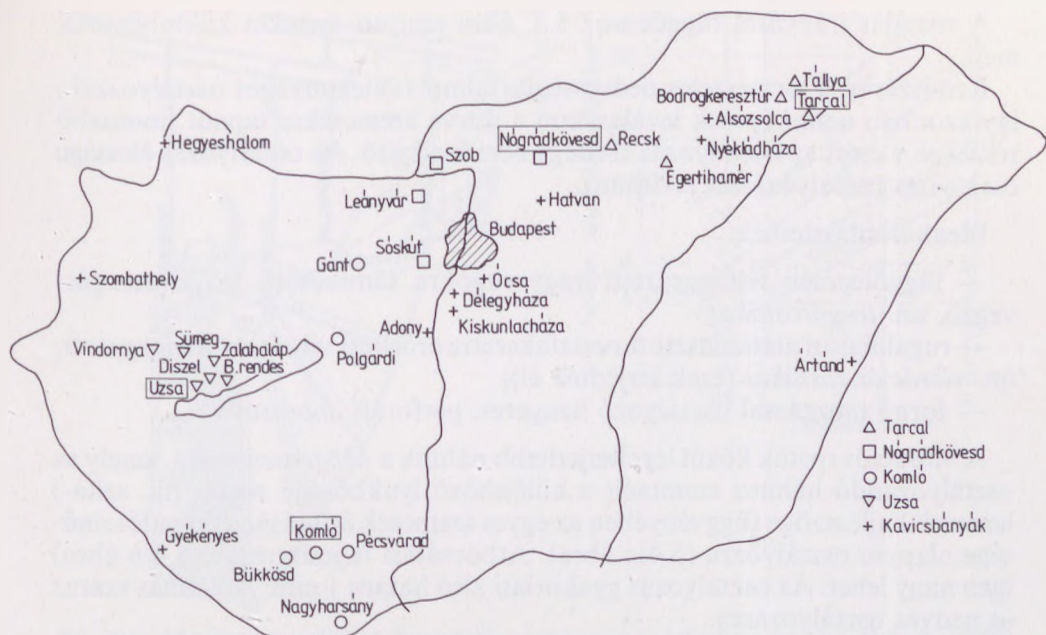
Az adalékanyag aprítása. A követ, valamint a homokoskavics méreten felüli részét aprítással alakítják megfelelő szemcseméretűre.

Az aprítógépek típusai: pofás, kúpos, hengeres, kalapácsos, ill. röpítőtorók.

Az agyag-iszap szennyeződés eltávolítása [Hajnal L. 1992]]. Az adalékanyagok minőségét a fejlett ipari országokban a termék tisztaságának a javítása, az adalékanyag osztályozása, az előírt szemmegoszlás biztosítása és a szemmegoszlás ingadozásának (szórásának) a csökkentése által javítják meg.

A hazai homokoskavicsok minősége mosás és osztályozás nélkül az 5.1. fejezet szerinti nagyobb követelményeknek nem felel meg. A mosást indokolja, hogy a nyersanyag nagyon gyakran szennyezett agyag-iszappal, ill. a hasznos rétegek közé települt agyagrétegekkel vagy agyaglencsékkel.

Az adalékanyagban az agyag-iszap szennyeződés három formában jelenik meg, és ennek megfelelően háromféleképpen távolítható el:



5.2. ábra. Kavicsbánya V. és Kőbánya Vállalatok telephelyei 1992. januárban (Hajnal Lajos)

a) Az agyag-iszap a szemcsék között *diszpergált formában oszlik el*. Ez a szennyeződés a beton szilárdságát a legkevésbé rontja vagy nem is rontja. Mivel szabályzataink a beton szilárdsági jelétől függően 3, ill. 6 V%-ban kötik meg az agyag-iszap tartalom mennyiségét, ezért a többletet el kell távolítani. Erre alkalmasak a hidraulikus vagy hidromechanikus osztályozó berendezések.

b) A *szemcsék felületére tapadt agyag-iszap* és por feltétlenül káros, mert gátolja a cement tapadását az adalékanyaghoz. Általában mosó-osztályozó szitákkal eltávolítható. Az erősen kötött szennyeződések esetén akritáló-mosó eljárást kell alkalmazni.

c) Az *agyagrögök* folytonossági hiányt hoznak létre a betonban, ezért rendkívül károsak. A rögöket előbb agyagapritó-mosó berendezéssel diszpergált állapotba kell hozni, majd az a) alatti módszerrel eltávolítani.

Hajnal L. (1992) a SZIKKTI-ben végzett [Hajnal L.—Udvardy J. (1968—71)] laboratóriumi és félüzemi kísérletekkel kimutatta az agyagrögök és az adalékanyagra tapadó szennyeződések aprításának, ill. lemosásának a törvényszerűségeit hidromechanikus úton, vibrációs sziták segítségével és a meglévő ismereteket újjal gazdagította.

A természetes szemmegoszlás javítása osztályozással. A *mechanikus osztályozás* során az anyagáram útjába meghatározott lyukbőségű lemezt (rostát) vagy húrozott rendszert helyeznek, amely a lyukbőségénél (húrnyílásnál) nagyobb szemcséket nem engedi át.

A rostálás irányától függően az 5.3. ábra szerinti eseteket különböztetik meg.

Rendszerint a természetes nedvességtartalmú adalékanyagot osztályozzák, így azonban nem képesek leválasztani a durva szemcsékre tapadt finomabb részeket, s ezért az osztályozás élessége nem kielégítő. Az osztályozás élessége csak vizes osztályozással javítható.

Megkülönböztetnek:

— függőlegesen felfüggesztett vagy rugókra támasztott, lengő mozgást végző, ún. *lengőrostákat*;

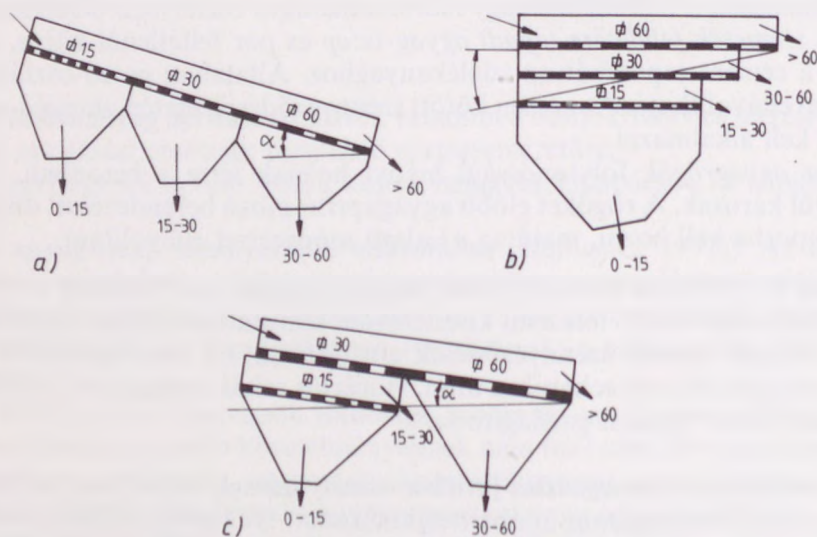
— rugalmasan alátámasztott rostafakeretre erősített vibrátorral mozgatott, ún. *vibrációs rostákat* (ezek terjedtek el);

— forgó mozgással osztályozó hengeres, perforált *dobrostákat*.

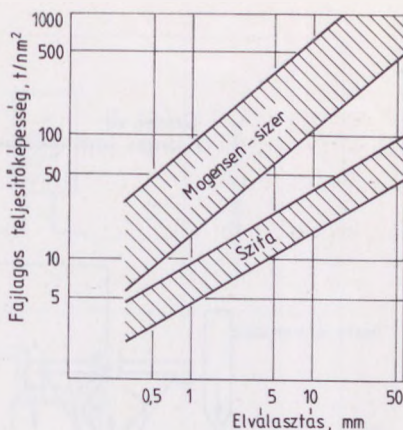
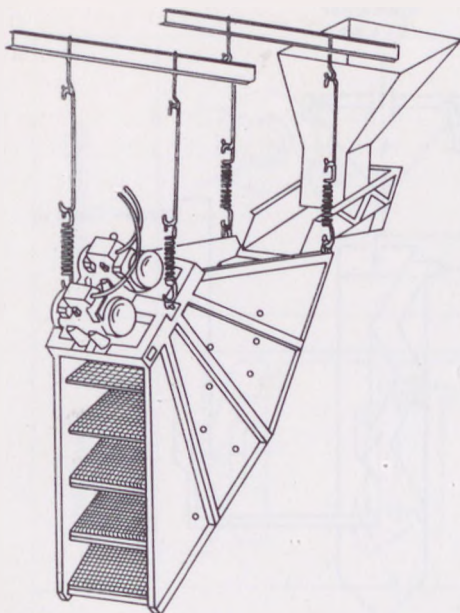
A vibrációs rosták közül legelterjedtebb nálunk a *Mogensen-rosta*, amely az osztályozandó halmaz szemcséit a különböző lyukbőségű rosta- (ill. szita-) lemezek hajlásszöge függvényében az egyes szemcsék átjutásának a valószínűsége alapján osztályozza (5.4/a ábra). Atbocsátási teljesítménye (5.4/b ábra) igen nagy lehet. Az osztályozás gyakorlati alsó határa 1 mm. Alkalmos száraz és nedves osztályozásra.

A *hidraulikus osztályozással* az agyag-iszaprészt is leválasztják az anyagról.

Vízszintes áramlású az ún. *kamrás osztályozó*, amelynek sok típusa ismert. Az osztályozás elve az, hogy a vízszintes áramlással bevezetett homok—víz keverék az átmérő függvényében különböző parabolapályát tesz meg, és ennek alapján elkülöníthető. Ilyen osztályozó hazánkban nincs.



5.3. ábra. Mechanikus osztályozó rendszerek elve: a) rostálás a finomtól a durva felé; b) a durvától a finom felé; c) kombinált rostálás [Nagy P. (1990)]



5.4. ábra. Mogensen osztályozó berendezés vázlatja (a) és teljesítménye (b) [Nagy P. (1990), Hajnal L. (1992)]

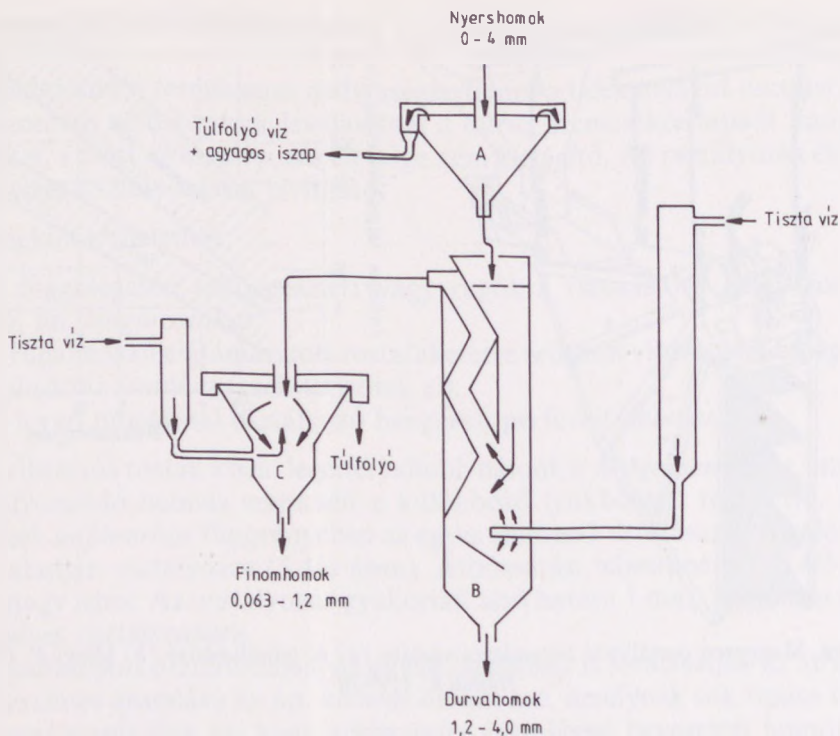
A függőleges ellenáramú hidraulikus osztályozók azon az elven működnek, hogy a víz felfelé mozog, míg az osztályozandó anyag az áramlással szemben lefelé. Azok a szemcsék süllyednek le, amelyeknek a süllyedési végsebessége nagyobb, mint az áramló vízé. Ezekkel a berendezésekkel 6—7 mm legnagyobb szemnagyságú homokból 0,2—1,5 mm homoktartományban bármilyen szemnagyság leválasztható.

Függőleges áramú vízzel osztályozó berendezés, pl. a hidrosyster, a hidrofors és a hidrociklon (Rheax). Rheax típusú osztályozó berendezés hazánkban 3 van: Kavicsbánya V. Hatvan (1964-től), Mélyépítő V. Budapest (1968-tól) és a BVM Szentendrei Gyára (1968-tól).

A Rheax osztályozó működési elve (5.5. ábra): az osztályozandó homokot az A jelű felső kádba vezetik. Itt az agyag-iszap szennyeződések egy része azonnal eltávozik. Az elősűrített zagy az A-ból a B tartályba kerül, ahonnan az osztályozási határnál nagyobb szemcsék alul távoznak. Az osztályozási határ alatti szemcséket a C jelű kádba vezetik. Ebből alul távozik a finomhomok, míg a túlfolyón a 60—100 µm-nél kisebb szemcsék.

A homok víztelenítése. A finom osztályozású homokot vízteleníteni kell. A homokvíztelenítő berendezések fő csoportjai:

a) *Gravitációs ülepedésű mechanikai víztelenítők* lejtős fenekű tartályok, amelyekből a vízben leülepedő szemcséket a lejtőn felfelé mozgó szerkezet választja ki. Lehetnek gereblyés, kaparószalagos és csigás szerkezetűek. Ezek



5.5. ábra. Rheax berendezés működésének az elve [Hajnal L. (1992)]

közül — egyszerű szerkezete miatt — ma már csak a csigás szerkezetűek maradtak meg, pl. a merítőkanalas dehidrátor.

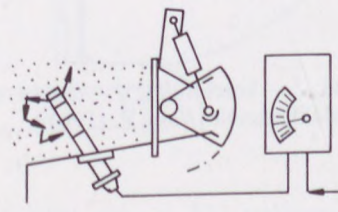
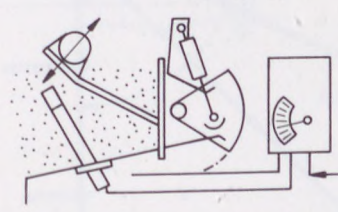
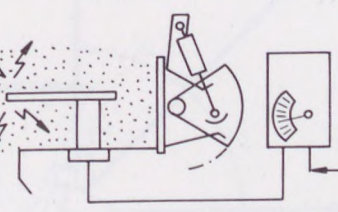
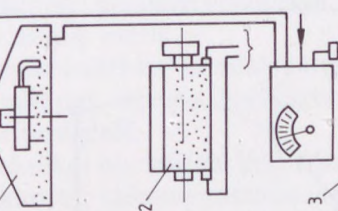
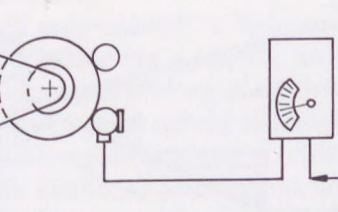
b) *Gravitációs ülepedésű hidraulikus víztelenítőkben* a szemcséket nem álló teknőben, hanem a homokot az osztályozóból kihordó, teknő alakú szállítószalagon ülepítik. Ilyen a Dekolt-szalag.

c) *Centrifugális hidraulikus víztelenítők.*

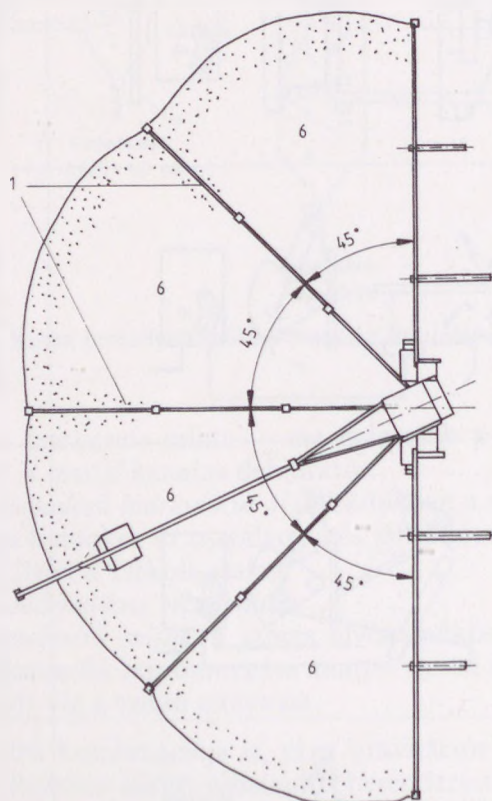
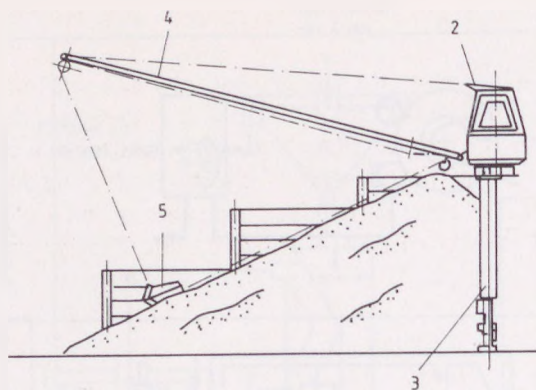
d) *Vibrációs víztelenítő sziták* a szűrés elvén működnek. A szitán lévő szemcsékből — a szemcsék rezgőmozgása miatt — mind a kapilláris víz, mind a szemcsékre tapadt víz a szitán eltávozik.

Megtalálható ezek kombinációja is, pl. a gravitációs ülepedésű vibrációs víztelenítő. Egy vibrációs sűrítő-víztelenítő berendezést a SZIKKTI-ben is kidolgoztak.

Az adalékanyag, ill. a beton nedvességtartalmának a mérése. A betontulajdonságok szórási jellemzőit nagymértékben befolyásolja a víz—cement tényező ingadozása, amit elsősorban az adalékanyag nedvességtartalmának az ingadozása okoz. Hagyományos módszer a nedvességtartalom gyors meghatározása naponta többszöri, mintavételt igénylő eljárással: szárítás vaslemezen szabadban, mikrohullámú berendezésben, CM készülékben (a víz és a

<p>0 - 3 mm homokfrakció</p> 	<p>0 - 3 mm homokfrakció</p> 	<p>0 - 3 mm homokfrakció</p> 	<p>Betonkeverék</p> 	<p>Betonkeverőgép</p> 	<p>Kijelzés m %-ban Nukleáris mérés</p>	<p>Kijelzés m %-ban Ellenállás mérés</p>	<p>Kijelzés m %-ban Permittivitás mérés</p>	<p>Ellenállás mérés</p>	<p>Teljesítmény mérés</p>
--	---	--	---	---	---	--	---	-------------------------	---------------------------

5.6. ábra. Vízirtalom-mérési módszerek [Nagy P. (1990)]



5.7. ábra. Csillagdeponia: 1 — támfal; 2 — kezelőfülke; 3 — oszlop; 4 — gém; 5 — vonóláda; 6 — adalékfrakciók [Nagy P. (1990)]

karbid reakciójaként keletkező acetiléngáz nyomása manométeren leolvasható és függ a víztartalomtól).

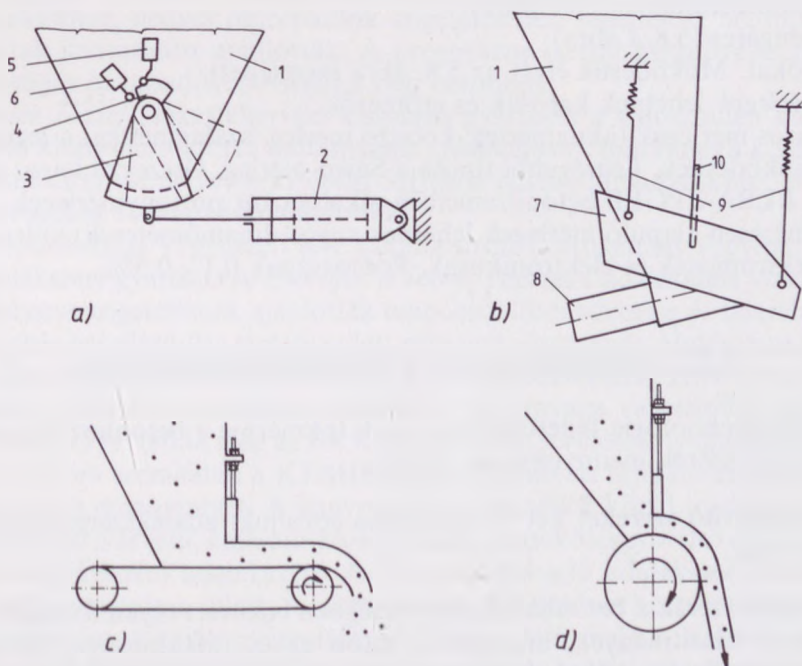
A keverőtelepek és még inkább a betongyarak *mintavételt nem igénylő eljárásokat* kívántak. Elsősorban a homok nedvességtartalma mérését kellett megoldani. A víztartalom mérhető az adalékbunkerben, a gyűjtőkonténerben a mérlegen és a keverőgépben. A mérési eljárások elvét az 5.6. ábra szemlélteti.

Leggyakrabban alkalmazott módszer az elektromos *ellenállás mérése*. Elve az, hogy két elektróda között az áramkör az adalékanyagon vagy a betonkeveréken keresztül záródik, és az ellenállás a víztartalom függvényében változik. A *nukleáris mérés* elve, hogy a neutronforrásból kilépő neutronok az adalékanyaggal, ill. a vízzel ütközve veszítenek energiájukból. A veszteség víz esetén a legnagyobb, és ezt mérik.

Az *elektromágneses készülékkel* az adalékanyagon keresztül elektromágneses hullámokat bocsátanak át. Az energiaveszteség függ az adalékanyag víztartalmától és tömörségétől.

Ezeket a mérőeszközöket hitelesíteni kell. Csak addig működnek megbízhatóan, amíg az adalékanyag szemmegoszlása nem ingadozik.

A legkorszerűbb keverőgépeken a mért érték bekerül a keverőgép vezérlő rendszerébe, amelyik az adagolandó vízmennyiséget csökkenti az adalék-



5.8. ábra. Adagolók működési elve. a) ÉTI szektorzárás adagoló; b) vibrációs adagoló; c) adagoló szállítószalag; d) hengeres adagoló. 1 — bunker; 2 — pneumatikus henger; 3 — szektorzár; 4 — állásjelző pálya; 5—6 — állásjelző; 7 — vályú; 8 — vibrátor; 9 — felfüggesztés; 10 — kiömlést szabályozó lap [Nagy P. (1990)]

anyag víztartalmával. A betonkeverék víztartalmának a közvetlen mérése volna a legcélravezetőbb, ha az elektródára a beton rá nem tapadna, ami a mérést bizonytalanná teszi.

Utóbbi időben a *betonkeverőgép elektromotorjának teljesítményéből* következtetnek a beton konzisztenciájára és eszerint adagolják a vizet. Ez a módszer — legalábbis elvileg — az egyetlen, amely igazán jól használható, ugyanis az összes többi nedvességtartalom-mérő eljárás nem a keverőgépben lévő adalékanyag nedvességtartalmát méri, hanem valójában az anyagáramban mozgó halmazrészét, amelyről nem lehet tudni, hogy mikor kerül be a keverőgépbe, és így a vízkorrekció bizonytalanná válik.

Az osztályozott adalékanyag tárolható függőlegesen bunkerben, silókban vagy vízszintesen. A vízszintes tárolás leggyakoribb módja a *csillagdepónia* (5.7. ábra). A vonóvederrel behúzott adalékanyagot az adalékanyag-gyűjtőben a mérésig előtárolják.

Az adalékanyag adagolása és mérése. Az adalékanyag-frakciókat a mérlegbe adagolják. Az *adagolástól* lényegesen függ a mérés pontossága. Megkülönböztetünk

- szektorzárás (5.8/a ábra),
- vibrólapos (5.8/b ábra),
- szállítószalagos (5.8/c ábra),
- hengeres (5.8/d ábra)

adagolókat. Működésük elvét az 5.8. ábra szemlélteti.

A *mérlegek* lehetnek karosak és erőmérők.

A karos mérlegek (aknamérleg, kocsizó mérleg, szalagmérleg) a legegyszerűbb működésűek. Legrégábbi típusa a Sawo-mérleg. Összegző karos mérlegek az ELBA-ÉPGÉP betonüzemeiben alkalmazott puttonymérlegek.

Erőmérésen alapuló mérlegek lehetnek rugós dinamóméterek, hidraulikusak, elektromosak és elektronikusak. Pontosságuk 0,1—0,5%.

5.2.3. Adalékszerek a betontechnológiában

A betontechnológia fejlettségének egyik fokmérője a betonhoz felhasznált betonjavító szerek mennyisége és fajtája.

A **betonjavító szereket** két fő csoportba soroljuk: adalékszerek és felületi kezelőszerek.

Az **adalékszerek** a betonba kis mennyiségben bekevert olyan folyadék vagy por alakú készítmények, amelyek a beton egyes tulajdonságait (főhatás) kedvezően befolyásolják, míg más tulajdonságaira kedvezőtlenek (járulékos hatás), ill. az adott feltételektől függően kedvezők vagy kedvezőtlenek (melékhatás, pl. a képlékenyítő késleltető hatása nyáron kedvező, télen kedvezőtlen). A kettős hatású adalékszerrel két főhatás érhető el.

A **felületi kezelőszerek** olyan folyadékok vagy pépszerű vegyi anyagok, amelyekkel a bedolgozott frissbeton (párazárás), ill. megszilárdult beton (tapadásjavítás, víztaszítás, felületi színezés stb.) felületi tulajdonságait javítják.

„A magyar korona országainak gyáripára az 1898-as évben” c. kiadvány adatai szerint 78 olyan vegyészeti gyár működött Magyarország területén, amely építő vegyi anyagokat is gyártott. A vegyiparban ekkor 14 178 fő dolgozott, a magyar iparban dolgozók 5,8%-a.

A 20-as években 7 építő vegyi anyagokat előállító cég működött. A 20-as évek végén kezdtek gyártani a „Granitol” márkanévű habarcs- és betontömítő anyagot, amely hatását tekintve a Tricosal N-nek felel meg. Ezt az adalékszer Helvey Tivadar Vegyészeti Gyára, a KEMIKÁL Építőanyagipari Vállalat jogelődje is gyártotta az 1932. és 1940. évi statisztikai adatok szerint.

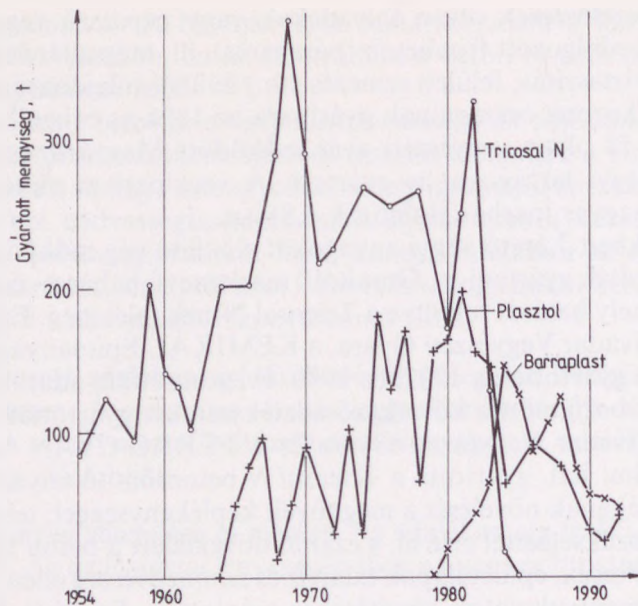
A II. világháború előtt a következő adalékszereket gyártották:

A Helvey Tivadar Vegyészeti Gyára és a FERRO-CYAN Vegyszer- és Fémkereskedelmi Kft. gyártotta a *Tricosal N* betontömítő anyagot, amely a beton vízzáróságának növelését a megnövelt képlékenységgel, tehát csökkentett keverővíz-szükséglettel érte el, s ezáltal növekedett a beton tömörsége és szilárdsága is. Pincék, épületalapok talajvíz és talajnedvesség elleni szigeteléséhez vízzáró cementvakolatok készítéséhez ajánlották. Ez tehát *képlékenyítő adalékszer* volt. A *Tricosal SIII* kalcium-korid tartalma miatt elősegítette a cement gyors kötését. Vízbetörések megszüntetéséhez, víznyomás alatti betonmunkákhoz, nedves pincepadlók szigeteléséhez, repedések, betonpadlók, betonutak javításához ajánlották. A prospektus szerint megnövelte a beton vízzáróságát és tapadóképességét a régi betonhoz.

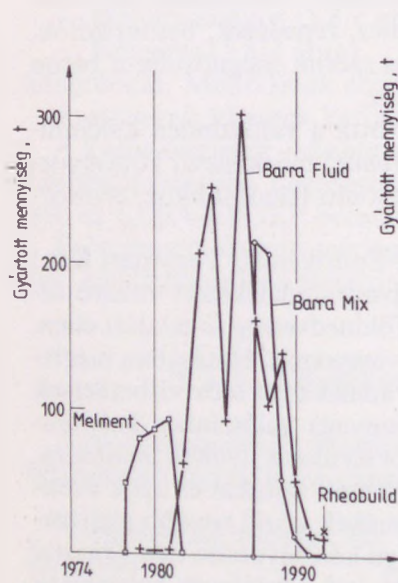
Geszler József székesfehérvári kisiparos gyártotta a valószínűen kalcium-klorid és alumínium-klorid hatóanyagú „*fémbetonet*” márkanévű kötésgyorsító adalékszerrel, amelyet a *Tricosal SIII*-hoz hasonló feladatokhoz, elsősorban habarcsok formájában ajánlották.

Az Építőkémiai Vegyészeti Kft. (államosított Építőkémiai Vegyipari Kft.) két adalékszerrel gyártott. A *Hidrofix N* fehér, pépszerű adalékszerrel vízzáró cementhabarcs szigetelésnek ajánlották csapóeső, földnedvesség és talajvíz ellen, ha az építés és szilárdulás tartama alatt nem volt víznyomás. Hatásában megfelelt a *Tricosal N*-nek. A *Hidrofix R* gyorskötő adalékszerrel erős vízbetörések elzárására ajánlották vasalatlan betonban (hatóanyaga valószínűen kalcium-klorid volt). Gyártották még az ÉKKIT-habarcsot sérülések, lyukak javítására.

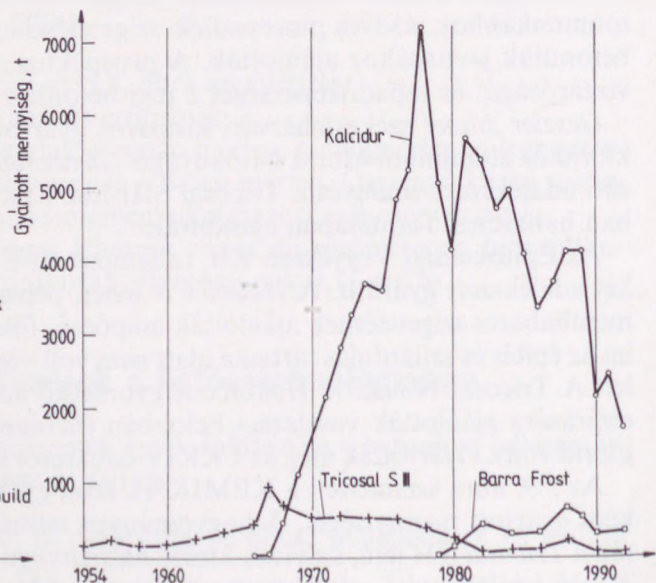
Az 5.9. ábra szemlélteti a KEMIKÁL által gyártott fajtákat és azok évenként gyártott mennyiségét. A hagyományos termékek közül tovább gyártották a *Tricosal SM* jelű, kalcium-klorid hatóanyagú kötésgyorsító és a *Tricosal N* jelű képlékenyítő adalékszerrel. A *Tricosal SM* jelű adalékszer használata — kloridion-tartalma miatt — vasbeton szerkezetekben veszélyes volt, ezért hazai találmány alapján gyártották a *Kalcidur NV*, majd a *Kalcidur 85* jelű adalékszerrel. Utóbbi a kalcium-klorid korróziós hatásának ellensúlyozására nátrium-nitrit inhibitorral is tartalmazott. Ezenkívül gyártottak képlékenyítő [Plasztol BF (1982-ig Plasztol NK-3); Barra Plast C (1982-ig), majd Barra Plast 75L; Barra Fluid; Barra Mix], folyósító (Melment L 10; Viscoment V;



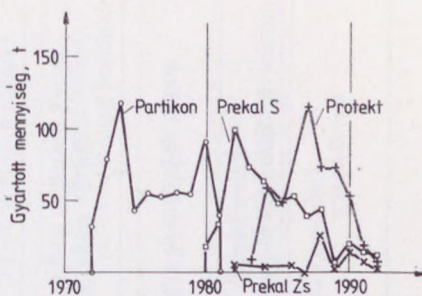
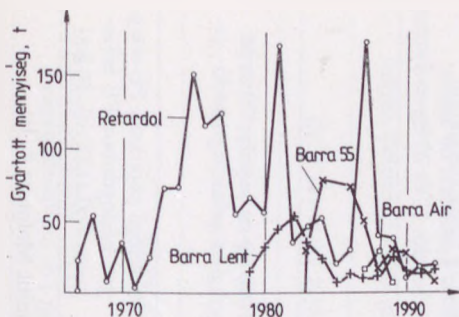
a)



b)



c)



d)

e)

5.9. ábra. A KEMIKÁL által gyártott betonjavító szerek időbeli alakulása: a) képlékenyítők; b) folyósítók; c) kötőgyorsítók; d) kötészkeletetők és légpórusképzők; e) zsalu kezelőszerek és párazárók

Rheobuild 2000 BA(; kötészkeletető (Retardol F, majd 1986 után Retardol 85; Barra Lent); kötőgyorsító (Barra Frost) és légpórusképző (Barra 55, Barra Air) adalékszereket.

A felületi *kezelőszerek* közül a Practicon, a Precal S és a Precal Zs márkanevű formaleválasztó, valamint a Protect márkanevű párazáró szert gyártották.

Az adalékszerekre jellemző adatokat az 5.5. táblázat ismerteti.

A vállalat KEMIKÁL Építőanyagipari Rt.-gá alakult. Vezérgazgatója Nádor Ottó, műsz. ig. Gittinger Pál maradt.

Az elmúlt 40 évben a KEMIKÁL vállalat volt az adalékszerek gyártóbázisa. Bár az általa gyártottnál valamivel több adalékszerrel használtak fel, adalékszer-felhasználásunk — a fejlett ipari országokhoz viszonyítva — kicsi volt.

Utóbbi időben más cégek is bekapcsolódtak az adalékszerek gyártásába, ill. forgalmazásába.

Az ÉPKÉM (Építő Kémia) Kft.-t 1989-ben alapították a következő cégek és néhány magánszemély: SKW Trostberg AG. (német), BWK KRIEGLACH GmbH (osztrák), MINERALKONTOR Wien (osztrák), ERDŐKÉMIA, Erdőgazdasági Vegyi és Ipari Vállalat, Bp. A cég elsősorban nyugati szabadalmak és know-how-k alapján különböző célú adalékszerek hazai gyártására jött létre.

Az ÉPKÉM folyósító (Melment L 10 folyékony és Melment F 10 por alakú), transzportbeton folyósító (Melcret TB), folyékony fagyásgátló és kötőgyorsító (ÉK-FROST), folyékony légpórusképző (MEL-AIR) és folyékony kötészkeletető ÉK-TARD szereket gyártja (5.5. táblázat).

A Sika cég 80 éve működik a világ összes földrészén. A 30-as évektől hazánkban is használták a Sika termékeit. A II. világháború után ez a folyamat megtört, csak ritkán hoztak be Sika adalékszereket.

1993-ban a Sika AB alapította meg az osztrák Sika Plastiment GmbH közreműködésével a Sika Hungária Kft.-t és létrehozta hazánk öt városában működő kereskedelmi képviselőit. Igazgatója Hamvas József.

5.5. táblázat. A beton adalékszerei (1992. évi adatok) (Nádor Ottó és Bakos József adatai)

Tipusa	Megnevezése	Hatóanyaga	Gyártó, ill. forgalmazó	Adagolása a cementre vonatkoztatva m/%	Csomagolása
Képlékenyítő	Plasztol BF	Alkáli-lignin-szulfonát		0,4—0,6	200 l-es acélhordó, 10 l-es műanyag kanna
	Barra Fluid	Ligninszulfonát + műgyantaszármazék, kloridszármazék		0,5	60 l-es műanyag ballon
	Barra Plast 75 L	Módosított szulfitszennylug + szintetikus légpórusképző	KEMIKÁL	0,3—0,5	60 kg-os egység, 6 kg-os műanyag kanna
	Barra Mix	Anionos tenzideket tartalmazó, kloridmentes adalékszer		0,2—1	60 kg-os műanyag ballon, 1 m ³ -es műanyag konténer
	ÉK Plast	Szulfitszennylug és Melment keveréke	ÉPKEM	0,5—1,0	1 t-s konténer, 60 kg-os hordó, 10 és 20 kg-os kanna
Folyósítók	Rheobuild 2000 BA	Kloridmentes	KEMIKÁL (Meynadier termék)	1—3 (5%)	
	Melment L 10	Kloridmentes, melamin-formaldehid gyanta		2—4	1000 kg-os tartály, 70 és 60 kg-os műanyag hordó
	Melcret TB	Melamin alapú		0,8—1,5	
	Melment F-10	Modifikált melamin alapú porgyanta	ÉPKEM	0,2—0,9	többretegű papírszák PE-réteggel, bádorgdoboz PE bélés-zacsakkal (125, ill. 30 kg)
	ÉK-Mix és ÉK-Mix 86	Kloridmentes naftalin-szulfonát és melamin-formaldehid		0,5—2,5	mint Melment L 10

Száradulás-gyorsító	Kalcidur 85	Kalcium-klorid + nátrium-nitrit	KEMIKÁL	2—6 (gőzölve 2—4)	60 l-es műanyag ballon, 10 l-es műanyag kanna
	Tricosal S III	Kalcium-klorid		betonhoz < 12 vasbetonhoz < 6	12 kg-os
Fagyás- és száradulás-gátlók	Barra Frost	(Kloridmentes)	KEMIKÁL	1—3	60 l-es műanyag ballon, 7 és 12 kg-os műanyag kanna
	ÉK Frost	Modifikált kalcium-nitrát	ÉPKEM	1—2	mint Melment L 10
Kötéskésleltetők	Retardol 85	Citromsav (kloridmentes)	KEMIKÁL	0,5—2,5	60 kg-os műanyag ballon
	Barra-Lent	(Kloridmentes)		1—3	60 l-es műanyag ballon
	ÉK-Tard	(Kloridmentes) foszforvegyület	ÉPKEM	0,1—0,3	1000 kg-os tartály, 60 és 20 kg-os műanyag kanna
	Barra air	Vízben oldott anionaktív és nem ionos tenzidek (kloridmentes)	KEMIKÁL	0,05	60 kg-os műanyag ballon, 1 m ³ -es műanyag konténer
Barra 55	Vízben oldott anionos tenzid (kloridmentes)	0,03—0,05		60 kg-os ballon	
Légpórus-képzők	MEL-AIR 80	Természetes gyanta alapú	ÉPKEM	0,1—0,3	200 kg-os fémhordó, v. 25 kg-os műanyag kanna
	Mikroszil T	Szilikapor	KEMIKÁL	3—6	20 kg-os zsák

Az ajánlott adalékszerek választéka gazdag: Sikament FF 86 és Friodur kötésgyorsító, Sika-Retarder és Sika Tard kötéskeleltető, Plastiment család képlékenyítő, Sikament család folyósító, Sika Aer, Trioplast, Sikanol légpórusképző, Plastocrete NS légpórusképző-folyósító, Triolite, Sika-Frostschütz fagyásgátló, Plastocrete N, Sikalite, Sika-Fluat, Sikacem, Sikacrete PPI tömítő adalékszerek, Sica Schalöl, Separol zsaluleválasztó szerek és Antisol párazáró utókezelő szer.

Továbbá az *OMNILUX* Bt. Balatonalmádi hirdet Betolux nevű kötészátlót esztétikus felület készítéséhez és Betolux nevű párazáró szert.

Végül 1990. február 27-én alakult a *Chem-Beton Kft.* Elnöke: Jónás Sándor.

Tevékenysége: beton adalékszerek, kényszerkeverő gépek, cement- és polimer diszperzió bázisú betonjavító anyagok, kenhető és szórható vízszigetelő anyagok, nagy teherbírású, kémiai hatásoknak ellenálló, szikramentes ipari padló anyagok forgalmazása, valamint betonjavítások, szigetelések, ipari padlók kivitelezése.

Fő profilja az osztrák Porr AG leányvállalata, a Chemco, valamint a BCD GmbH, a Chemie Linz és a német Beton Chemie International betonadalékszereinek hazai forgalmazása, utóbbi cégnek hazai képviselője.

A termékeket Chem 611 egységes jelzéssel és egy termékjellel forgalmazzák.

A Chem 611 BV nem ionos tenzidek és amin típusú komponensek vizes oldata betoncsövek, járólapok tömörségének, vízzáróságának a fokozására. A Chem 611 CP betonfolyósító, melyet a színes betonok kivirágzásának a megakadályozására ajánlanak. A Chem 611 BP vízben oldódó lignin-szulfonát és aminos tenzid hatóanyagú folyósító. A Chem 611 L folyósító naftalin-nátrium-formaldehid hatóanyagú oligomer vizes oldata a korai és a végszilárdság növelésére.

Termékeik folyékony komponensét importálják, porkomponensül (cement, kvarchomok) hazai anyagokat használnak fel.

Az adalékszerek hatásmechanizmusával Palotás L.—Kilián J. és Balázs Gy. (1968), Balázs Gy. (1963), betonra kifejtett hatásukkal, fajtaikkal, vizsgálatukkal Buday T. és Horovitz J. (1980), Erdélyi A. (1983), Újhelyi J. és Armuth A. (1967), Újhelyi J. (1973), Buday T. (1978), a KEMIKÁL adalékszerével Sturz A. (1991), a párazáró szerek alkalmazásával Erdélyi A. és Kovács K. (1978), a légpórusos betonokkal Erdélyi A. és Valtinyi D. (1976), a kötés- és szilárdulásgyorsítókkal, képlékenyítőkkal és folyósítókkal Balázs Gy. (1987), betonfolyósítóval Horovitz J. (1977) foglalkozott.

5.3. Keverési arányok

A beton keverési arányán kezdetben a száraz betonalkotók térfogat szerinti viszonyát értették. Pl. 1 : 2 : 4 1 Vréz cementet, 2 Vréz homokot és 4 Vréz kavicsot jelentett.

Példaképpen egyik legnagyobb századvégi betonépitmény, az *Országház alapozását* mutatom be.

Az Országházat *Steindl* Imre (1839—1902) műegyetemi tanár tervei szerint építették 1885—1902 között. A betonlemez vastagsága átlag 2,0 m, a kupola alatt 4,69 m, a kevésbé terhelt részeken 0,75 m.

Az alaplemez feladata a teherelosztás volt, amit napjainkig jól ellátott.

A bedolgozott beton 58 000 m³. A felhasznált cement 10 000 t. Átlagosan 1000 ember dolgozott az építésén. A beton összetétele a következő volt: 1 Vrész lábatlani románcement, 3 Vrész dunai homokoskavics, 4 Vrész buda-újlaki zúzottkő.

Az országházi építkezés ellenőre *Nendtvich* Gusztáv kir. mérnök volt, aki kitűnő cikkében az építés ellenőrzéséről is részletesen beszámolt (1889).

Az Országháznál a föld-, a kőműves- és az elhelyező munkákat a *Holtzspach* és fiai és *Hauszmann* Sándor cég végezte. A kivitelezőnek az általa felhasznált anyagok tekintetében szabad keze volt, de egyúttal teljes felelősséggel tartozott azért, hogy csak megfelelő minőségű anyagokat használjanak fel.

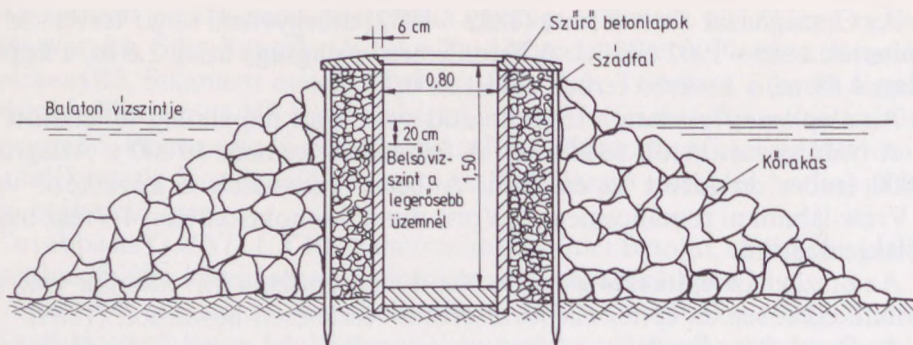
Nendtvich G. nagy jelentőséget tulajdonított a betontervezésnek. A keverési arányt 1 m³-es, bádoggal bélelt, kellően merev faladákban határozták meg. Ma úgy mondjuk, hogy péptelített betont terveztek. *Nendtvich* hangsúlyozta, hogy annyi cement kell, amennyi kitölti az adalékanyag hézagait és bevonja a szemcséket. Először a zúzalék, azután a homokoskavics hézagterfogatát határozták meg. Az így meghatározott térfogat szerinti keverési arány (tömörítetlen térfogatra) 1 (cement) : 3(homokoskavics) : 4(zúzottkő) volt. A készített beton testsűrűsége 2331 kg/m³ lett. A homokot kevésnek találták, ezért a keverési arányt 1 : 3,5 : 3,5-re változtatták. Így 1 keveréshez (1/8 m³ beton) 24 kg cement kellett volna. A cementet keverésenként 27 kg-ra növelték, mert így egy keveréshez a 81 kg-os zsákban lévő cementet 3 részre lehetett osztani. *Nendtvich* mellett tört lándzsát, hogy a *cementet tömeg szerint szabad csak adagolni*.

A cement tömeg szerinti adagolása akkor vált lehetővé, amikor áttértek az 50 kg-os cementzsákokra. Valamennyi alkotó tömeg szerinti adagolása csak a keverőtelepeken és a betongyárakban valósulhatott meg.

A századfordulón már a különböző követelményeket kielégítő betonok készítésének is kialakultak a szabályai [*Lampl* H.—*Sajó* E. (1914), *Erdős* F. (1898)].

A *súlyos betonokat* 2400—2600 kg/m³ testsűrűségű nehéz adalékanyagok, a *könnyű betonokat* könnyű adalékanyagok (téglazúzalék, salak stb.) adagolásával vélték elérni. A súlyos betonokat partfalak, támfalak készítésére ajánlották, és a nehezebb betont a folyami kavicsnál nehezebb zúzott adalékanyaggal és a szemcseméret növelésével érték el. Felhívták a figyelmet a salakok kéntartalmának korróziós veszélyére.

A *szűrőbetonokban* a homok és kavics aránya 0,35 : 1 (vagy ennél kisebb) volt. Pl. a balatonföldvári szűrőbeton (1913) adalékanyaga (5.10. ábra) 2—20 mm szemagyságú bazaltzúzalék, a cement : adalékanyag térfogataránya 1 : 4 volt. A szűrőbeton lapokba acélbetéteket is helyeztek, a beton földnedves konzisztenciájú volt. Hasonlóan 15 cm vastag szűrőlapokat készítettek a síófoki szennyvíztisztító telephez is (1913).



5.10. ábra. A balatonföldvári szűrőrendszer keresztmetszete [Lampl H.—Sajó E. (1914)]

A traszhabarcsok és -betonok célszerű keverőarányai (térfogatarányban)
trasz—mészhidrát:

trasz : mészhidrát : homok = 1 : 1,5 : 2 vagy 1,5 : 1,5 : 2;

trasz—portlandcement:

trasz : portlandcement = 1 : 0,6 (1 – 1,0);

trasz—portlandcement—mész—homok:

a keverőarányok hazánkban 1 : 1 : 0,66 : 4.

5.4. A betonkészítés technológiája

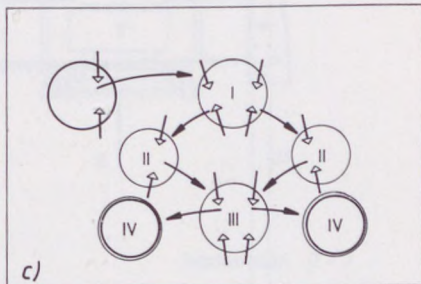
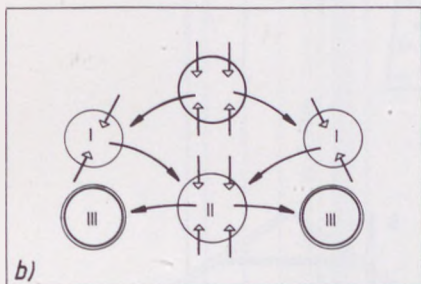
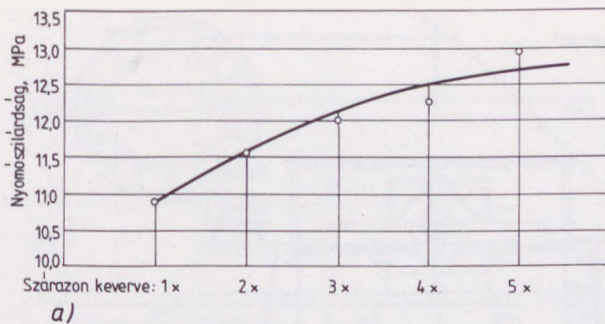
A betonkészítés technológiájáról kitűnő könyvek jelentek meg [Lampl H.—Sajó E. (1914), Palotás L. (1959, 1961), Újhelyi J. (1964, 1973), Újhelyi J.—Armuth A. (1967), Weiss Gy. (1952)].

5.4.1. A beton keverése

Kézi keverés. Kezdetben az alig földnedves betont kézi erővel keverték meg. Kísérlettel igazolták [Lampl H.—Sajó E. (1914)], hogy a száraz és nedves keverésből a száraz keverés a fontosabb, és a négyszeri száraz keverés a leggazdaságosabb (5.11/a ábra). A keverések vázlatát az 5.11/b ábra szemlélteti. A betonkeveréshez 4 ember kellett, ezeket jelzik a halmazokba benyúló, sematikus rajzolt lapátok.

Kezdeti betonkeverők. Kezdetől fogva arra törekedtek, hogy a kézi keverést a gépi keverés váltsa fel.

Mihalik J. (1860) 1854-ben a Ferenc-csatornához csatlakozó Ferenc József hajószilip építéskor már használt egy kezdetleges betonkeverőt. A keverés két szakaszból állt. Először a habarcsot keverték meg, majd második lépésben a betont. Az 5.12/a ábrán III-mal jelölt szinten volt 4 habarcskeverő. A keverést egy kör alakú vályúban, a forgó tengelyre erősített keverőkerekek

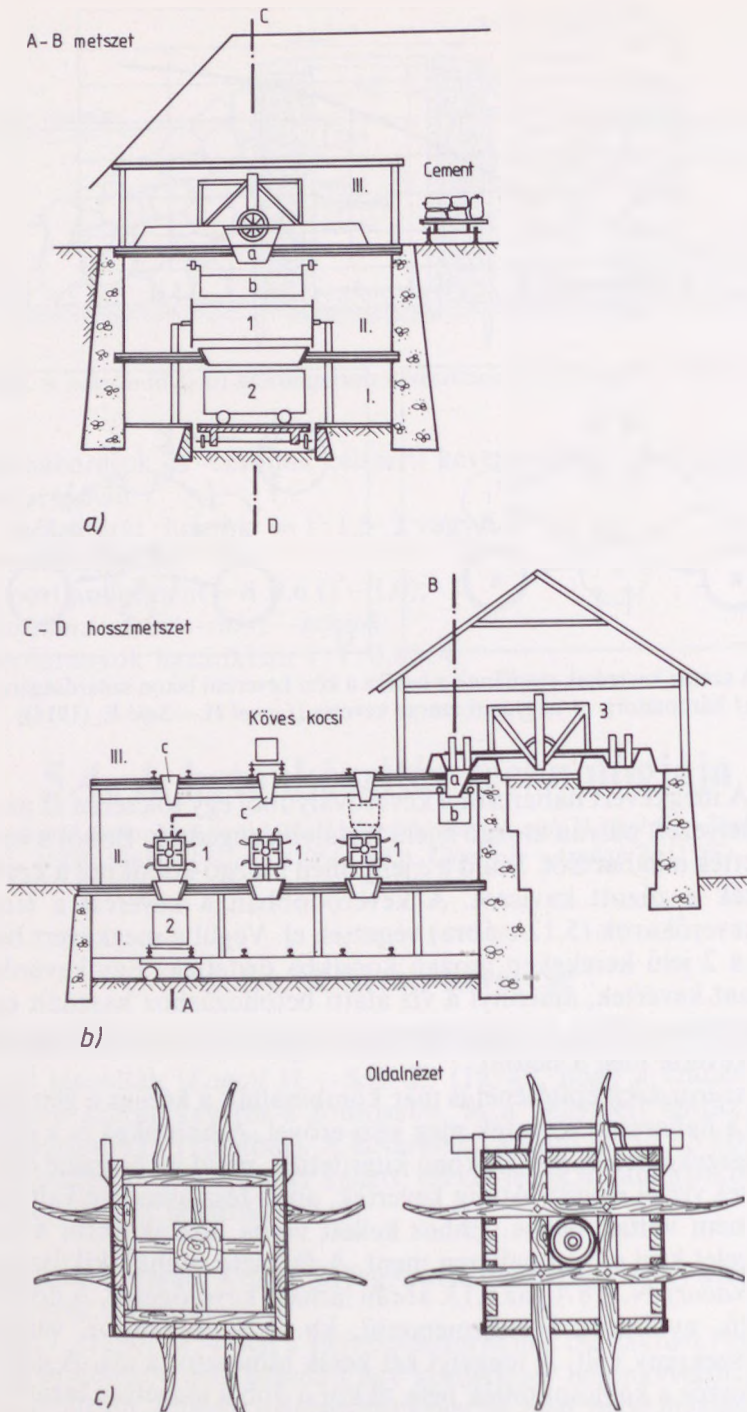


5.11. ábra. A száraz keverések számának a hatása a kézi keverésű beton szilárdságára (a ábra); b) háromszori; c) négyszeri száraz keverés [Lampl H.—Sajó E. (1914)]

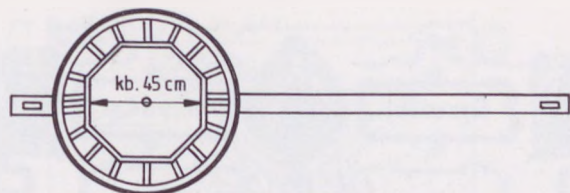
végezték. A megkevert habarcsot a keverővályúból egy tölcserén át az a II jelű szinten elhelyezett pályán mozgó b jelű tartályba engedték. Ebből a keverődobokba ejtették a habarcsot. Majd a c jelű sínen mozgó kocsikból a keverődobba engedték a zúzott kavicsot. A keverődobban a keverést a tengelyhez rögzített keverőkarok (5.12/c ábra) végezték el. Végül a megkevert betont az I. szinten a 2 jelű kereken mozgó kocsikba ürítették. Egy keverődobban annyi betont kevertek, amennyi a víz alatti betonozáshoz használt egy súlylyesztő tartályban elért. A habarcskeverő pedig a három keverődob számára egyszerre keverte meg a betont.

A polai szárazdókk építésénél is már kombinálták a kézi és a gépi keverést.

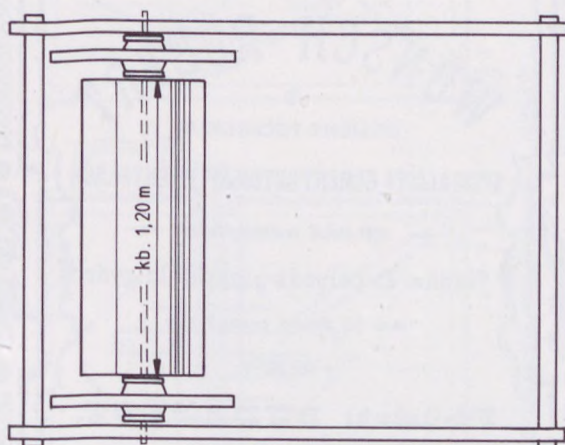
Először a habarcsot kevertek meg kézi erővel. A homokot és a szantorint szárazon összekevertek, kör alakban kiterítették, majd a közepébe öntötték a meszet kevés vízzel együtt. Addig kevertek, amíg téasztaszerűvé vált mészcso-mók már nem voltak benne. Ehhez kellett volna hozzákeverni a kavicsot, amely művelet kézi erővel nehezen ment. A fárasztó munka kiküszöbölésére készítette Nádory N. (1870) az 5.13. ábrán látható keverőgépet. A dob kb. 0,45 m átmérőjű, nyolcszög keresztmetszetű, kb. 1,20 m hosszú, vastengelyre erősített faszekrény volt. A tengelyt két kerék támasztotta alá. A dob fedelét kinyitva először a kavicsot tették bele, ekkor a dob a tengelyen lazán függött, csak a kerekek forogtak. Ráöntötték a habarcsot, amelynek terv szerinti szintje a dob belsejében jelölve volt. Lezárták a fedelet, a dobot az egyik



5.12. ábra. Mihálik János (1860) betonkeverő telepe (a és b ábra) és a keverőkarok (c ábra).
 1 — keverődob; 2 — betonszállító kocsi; 3 — habarcskeverő



a)



b)

5.13. ábra. Nádory N. (1870) keverődobja. a) Oldalnézet, b) felülnézet

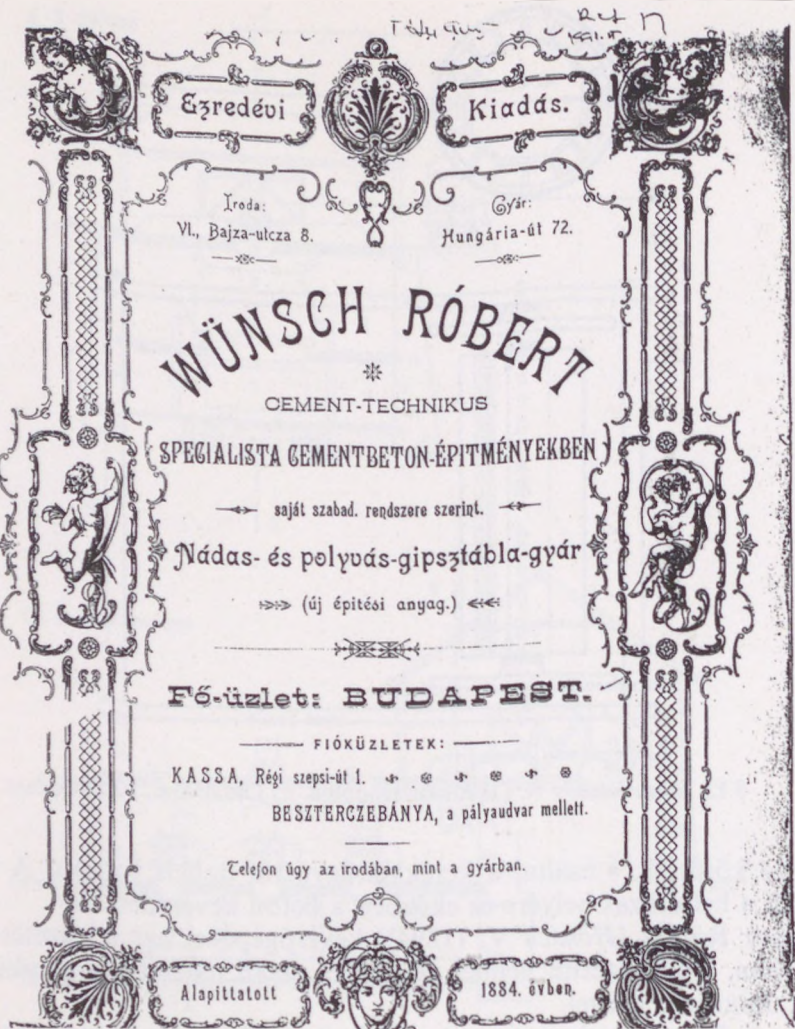
kerékhez kötötték, s ezáltal a kerékkel együtt a dob is forgott. A keverőt elhúzták a betonozás helyére és eközben a beton keveredett.

Wünsch Róbert [Hönsch V. (1894)] keverőgépevel azt a nézetet akarta megcáfolni, amely szerint géppel nem lehet olyan tökéletesen megkeverni a betont, mint kézi erővel.

Wünsch Róbert budapesti cementtechnikus (5.14. ábra) szabadalmazott gépét az 5.15. ábra szemlélteti.

A gép 6 kis vaskeréken nyugodott (*E*). A szögvasakból készített állványon, egy magasságban, két egymástól független tengelyre szerelt két hatszögletes (*A—B*) keverődobot a motor (lokomobil) mindkét irányban (váltakozva is) forgatni tudta. A dobokat 2 mm vastag vaslemezről készítették, térfogatuk $1,5 \text{ m}^3$ volt, a dobok két oldalán töltő-, ill. ürítőnyílással (*C*). A dobok belsejében több sorban $20 \times 20 \text{ mm}$ keresztmetszetű vaskarokat (*D*) helyeztek el, melyek majdnem a dobok kerületéig értek.

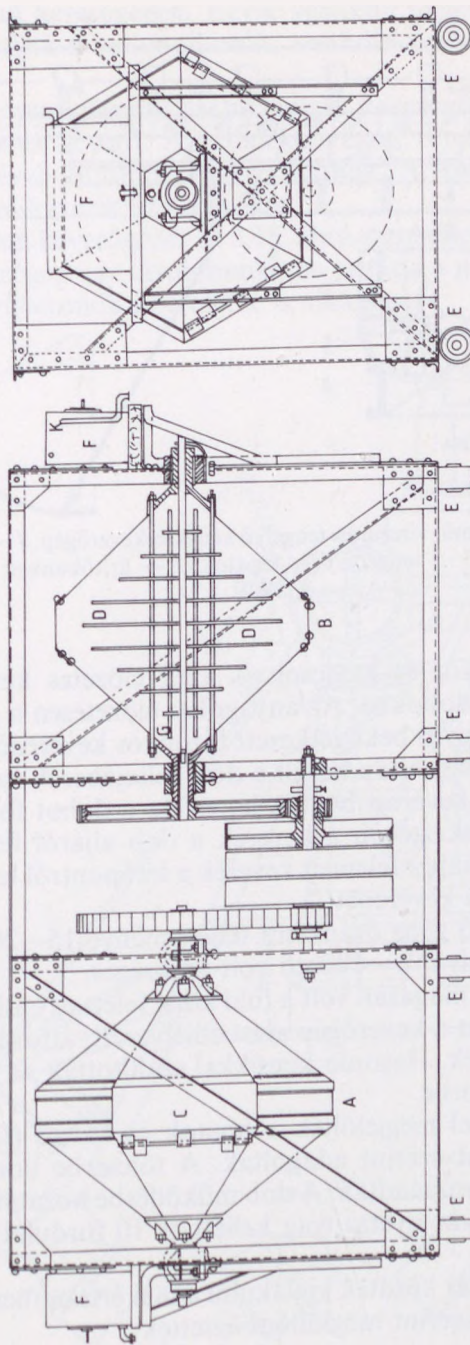
A vizet a dobok tengelye felett vasból készített víztartóból (*F*) adagolták, amelyet egy magasabban elhelyezett tartályból úszó szabályozó segítségével kiürülés után önműködően megtöltöttek. A víztartók alján levő alsó csap megnyitása után a víz a dobok belsejében elhelyezett 4 cm átmérőjű csöbe került, e cső furatán át spriccelődött a dobok belsejébe.



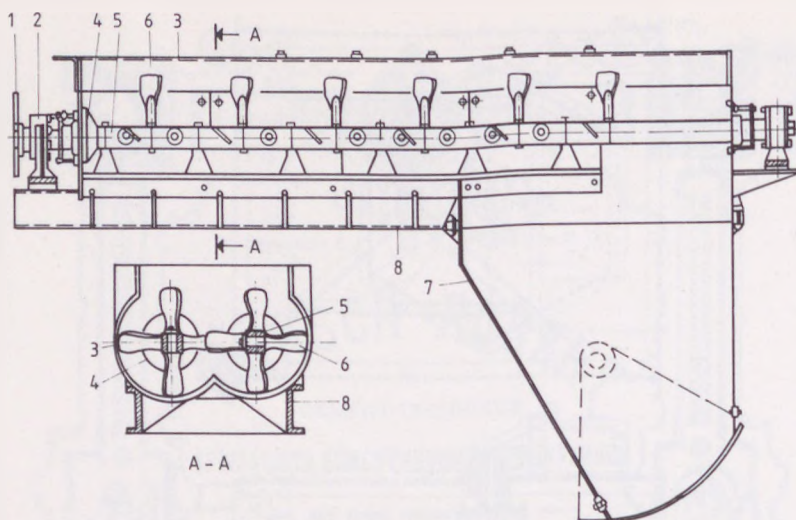
5.14. ábra. Wünsch Róbert prospektusa (Tóth Ernőtől kaptam)

A vízadagolást *Wünsch* úgy oldotta meg, hogy a víztartó feneke felett könyökcsovet alkalmazott (*H*), amely vízszintes helyzetéből 90° -kal elfordítható volt. Úgy működött, hogy rajta csak a könyökcső szája feletti vízmennyiség folyhatott át. Az elfordítás szöge beállítással szabályozható volt az adagolandó vízmennyiség.

A dobok nem egyszerre, hanem egymástól függetlenül forogtak. A keverés szakaszos volt, tetszőleges ideig folytathatták. Ez a gép fő előnye. Másik előnye volt, hogy az üzem fennakadása nélkül egyszerre kétféle keverék volt előállítható.



5.15. ábra. Wümsch Róbert betonkeverő gépe [Hönsch V. (1894)]



5.16. ábra. Folyamatos üzemű, vízszintes tengelyű kényszerkeverőgép. 1—2 — villamos mixer; 3 — dob; 4 — terelőkúp; 5 — tengely; 6 — lapátok; 7 — ürítőbunker; 8 — alváz [Nagy P. (1990)]

A cementet, homokot és kavicsot — ezek előzetes keverése nélkül — egyszerre adagolták a dobokba. Az anyagokat előzetesen a gép feletti lemez-tölcsérbe töltötték. Már itt bekövetkezett bizonyos keveredés. Majd a tölcser alján lévő nyílás kinyitása után került a dob belsejébe. A vaskarok (*D*) már esés közben bizonyos keverést hoztak létre. Ha a dobot forgatták, akkor a centrifugális erő következtében a keverék a dob aljáról felfelé mozgott. A dobok lassú forgása miatt a felemelt keverék a tetőpontról leesett, a vaskarok szétszórták és eközben keveredett.

Wünsch betonkeverő gépe óránkénti teljesítménye 15—20 m³ volt. Ehhez a segéd munkásokon kívül 3—4 lóerő volt szükséges.

A keverőgép 1,60 m magasan volt a föld színe felett egy állványon elhelyezve. A megkevert betont a keverőgép alatt elhelyezett, átfordítható szekrényű kocsikba (csille) ejtették. Hasonló kocsikkal szállították az alapanyagokat a keverőgép feletti tölcserbe.

A kocsikon festékekkel megjelölték a homok és kavics (folyami) betöltési szintjét. Tehát térfogat szerint adagolták. A tölcserbe borítás után még a szükséges cementet is hozzáadták. A dob működésbe hozatalát csengő jelezte. A dobtöltésekhez 0,8 m³ nyersanyag kellett és 10 fordulattal keverték össze.

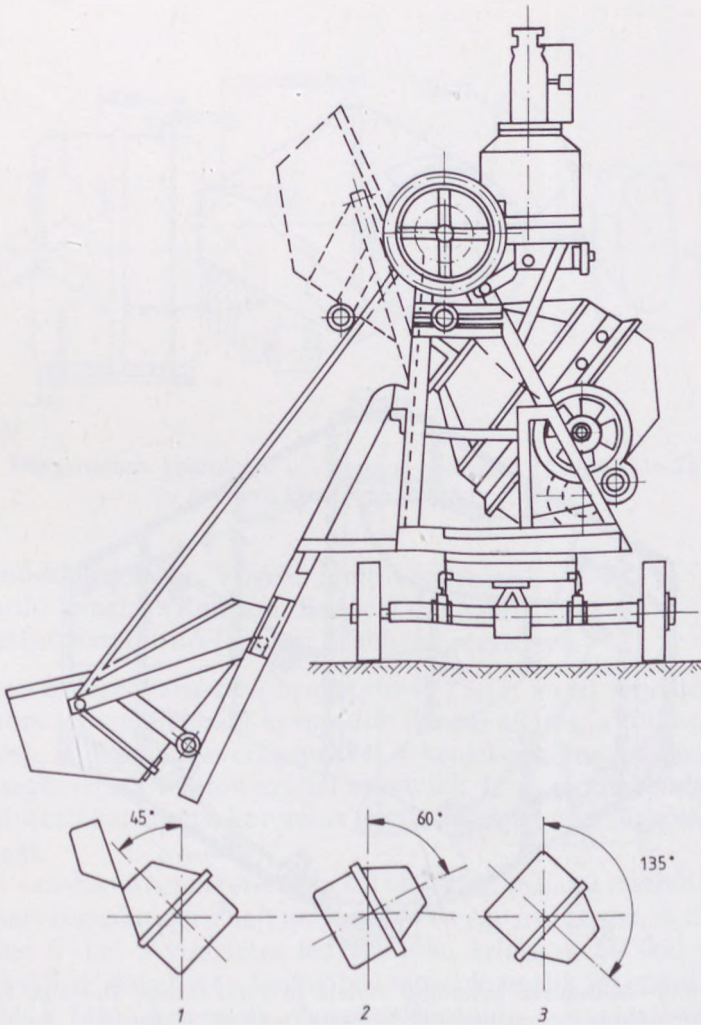
A századfordulón már kezdtek kialakulni a mai értelemben vett betonkeverőgépek. Rendszerük szerint megkülönböztettek:

- folytonos üzemű keverőgépeket;
- szakaszos üzemű vagy gravitációs és szabadonejtő kényszerkeverőgépeket.

Folytonos üzemű keverőgépek. Egyik végükön meghatározott ütemben és sorrendben adagolják a beton alkotóit, a másik végükön folytonosan ömlik ki a beton.

A modern folytonos üzemű szabadonejtő keverőgép az ürítés irányában 5% lejtésű hengeres keverő. Az adalékanyagot, cementet szállítócsigák és elevátor segítségével juttatják a keverődobba. A keverőlapátok az ürítés irányába terelik és keverik az alkotókat.

Folytonos üzemű keverőgépet az 5.16. ábra szemléltet. A kététeknős vízszintes tengelyű keverőgép egy tárolóbunkerbe juttatja a megkevert betont. Ez a keverőgép könnyűbetonok keverésére is alkalmas.

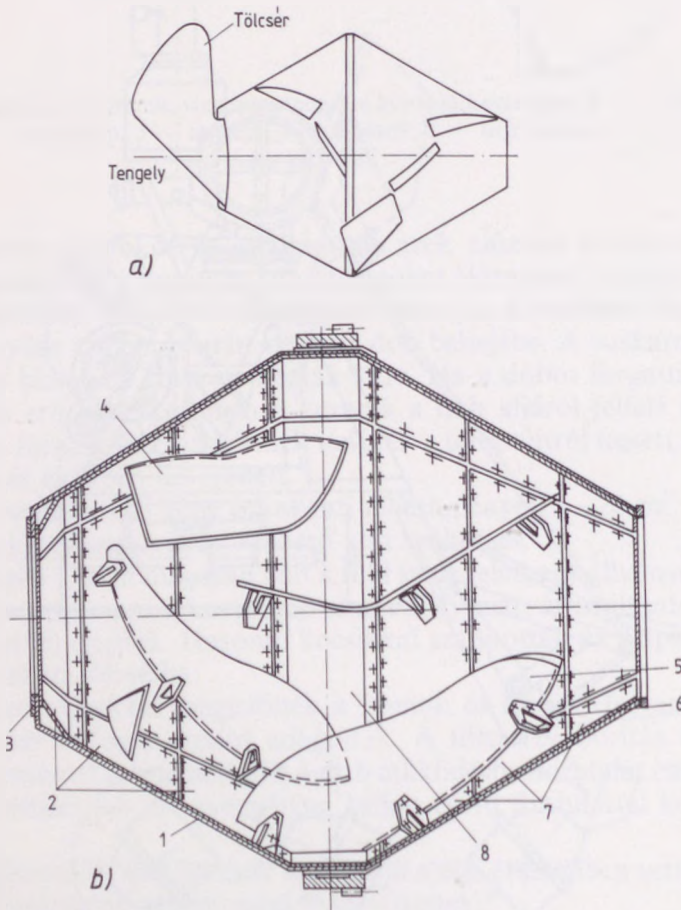


5.17. ábra. Jäger-rendszerű betonkeverőgép. 1 — töltés; 2 — keverés; 3 — ürítés [Nagy P. (1990)]

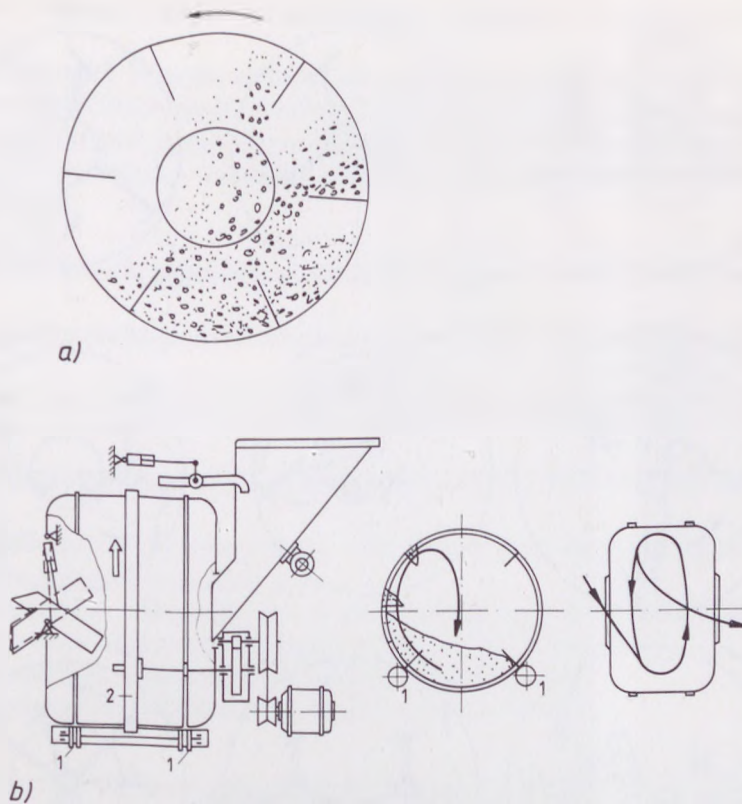
A folytonos üzemű keverőgépek csak akkor tudnak egyenletes minőségű betont előállítani, ha az alkotók adagolása pontos és folyamatos. Emiatt az építőiparban nem használják.

Viszont a bányászatban, pl. nagy mélységben aknafalak készítéséhez folyamatos üzemű keverőgépekre van szükség. Folytonos üzemű keverőgépet használtak a recski bánya kb. 1000 m mély aknafala betonozásához. A csőben a légellenállás fékezte a betont, ezért volt szükség folytonos üzemre. A beton így is viszonylag nagy sebességgel ért le és minden beavatkozás nélkül tömörödött.

Szabadon ejtő keverőgépek. Szabadon ejtő keverőgépek három típusa terjedt el:



5.18. ábra. Smith—Millvaukce keverőgép vázlatja (a ábra) [Lampl H.—Sajó E. (1914)] és modern Smith-rendszerű betonkeverőgép metszete (b ábra). Jelölés: 1 — dob; 2—7—8 — pánccellemez szegmensek; 3 — fenéklemez; 4—5 — lapátok; 6 — szögacél rögzítő [Nagy P. (1990)]

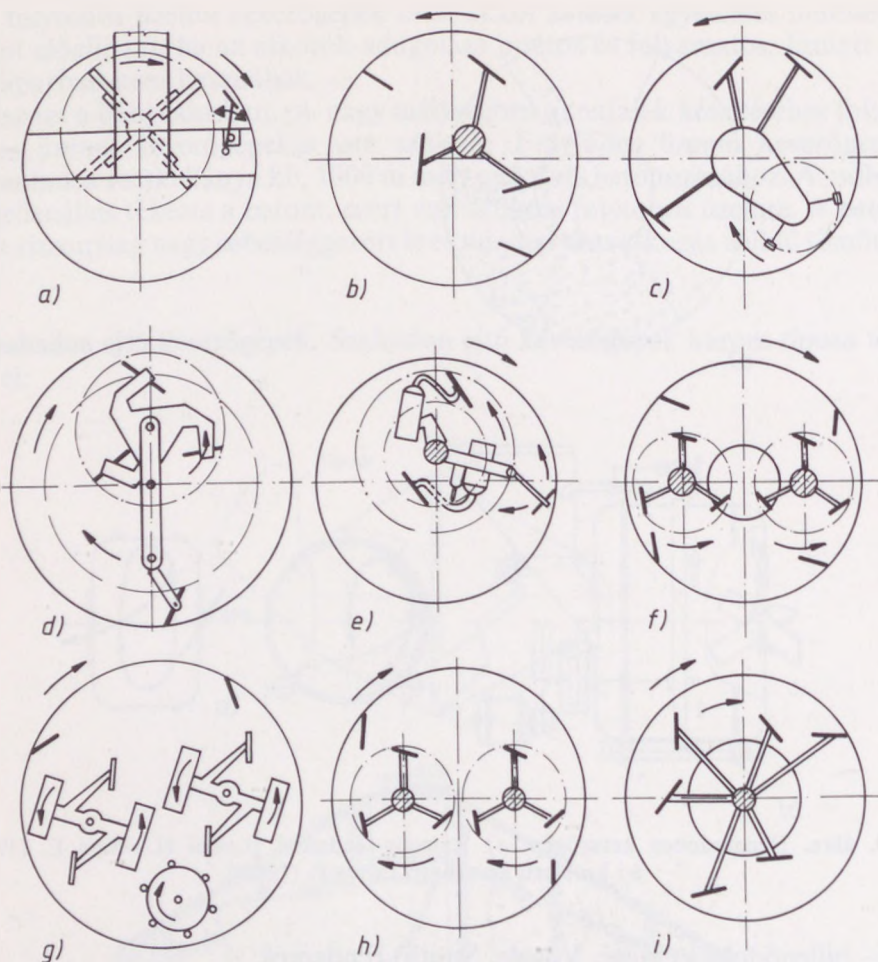


5.19. ábra. Hengerdobos keverőgép. a) Ramson-rendszerű [Lampl H.—Sajó E. (1914)];
b) korszerű keverőgép [Nagy P. (1990)]

- billenődobos (Jäger, Vögele, Smith) rendszerű,
- kihordó kanalas (Ramson, Baader) rendszerű, és
- visszaforgással ürítő (Kaiser, Liebherr) rendszerű.

A világon a *Jäger-rendszerű betonkeverők* (5.17. ábra) terjedtek el legjobban. Az ábra jól szemlélteti a keverődob három állását, a töltést, a keverést és az ürítést. Ezekkel a keverőgépekkel a képlékeny konzisztenciájú betont lehet jól megkeverni. A betont azáltal keveredik, hogy a dob belsejében átellenesen elhelyezett két lapát a keveréket felemeli, majd közel függőleges helyzetbe érve leejti.

A *Smith-rendszerű betonkeverőgép* két csonkakúp alakú részből áll, amelyet az illesztésnél fogaskoszorú hajt meg. A dobban egy nyílás van. A dob tengelye töltőállásnál 6° -kal a vízszintes helyzet fölé, ürítéskor 60° -kal a vízszintes helyzet alá dől el. A betont a keverőben lapátok emelik fel, majd gravitációs úton leejtve a betont keveredik. A századfordulón már meglévő keverőgép metszetét az 5.18/a ábra, a modern keverőgépét az 5.18/b ábra szemlélteti. Smith-rendszerű keverőgép működik a *mixerkocsikban*.



5.20. ábra. Független tengelyű kényszerkeverőgépek működésének vázlatja [Nagy P. (1990)]

A *Vögele-rendszerű* keverőgépeket hazánkban a betonútépítéshez használták.

A *kihordókanalas* vagy más néven *hengerdobos keverők* fix vízszintes tengelyűek. A hengerdobot egyik végén töltik, másik végén ürítik. Ez esetben is keverőlapátok emelik fel a betont keverés közben és ürítéskor a dob belsejébe benyúló ürítősurrantó kihordókanalára hordják rá. Század eleji Ramson-keverőgépet az 5.19/a ábra, korszerűt az 5.19/b ábra szemléltet.

A század eleji Ramson-rendszerű keverőgépeknek 60—1200 l töltés esetén 20—300 m³/10 h volt a teljesítményük, 2500 l töltés esetén 1000 m³/10 h. A henger alakú dob rövid volt. A betont egy-egy körülfordulás közben a keverőlapátok kétszer emelték és ejtették le. A dobot láncáttétellel hajtották meg.

A *visszaforgatással ürítő keverőgépek* közül legrégebbi a Kaiser-típusú. A gép keverőlapátjai a keveréket folyamatosan a dob közepe felé terelik.

A keverés végén a dobot leállítják, majd ellenkező irányban járattva ürítik ki.

A szabadonejtő betonkeverőkbe *adagoló puttony* (5.17. ábra) segítségével juttatják az adalékanyagot, amelyet korábban térfogat szerint adagoltak a bedolgozási tényező figyelembevételével. Célszerű azonban a tömeg szerinti bemérés. A puttonyba adagolás célszerű sorrendje: kavicsfrakció-cement-homokfrakció.

A **kényszerkeverő gépekben** az edénybe benyúló karok keverik meg a betont.

A keverőgép tengelye szerint lehetnek függőleges, vízszintes és ferde tengelyűek.

A *függőleges tengelyű* kényszerkeverőgépek keverési elvét az 5.20. ábra szemlélteti.

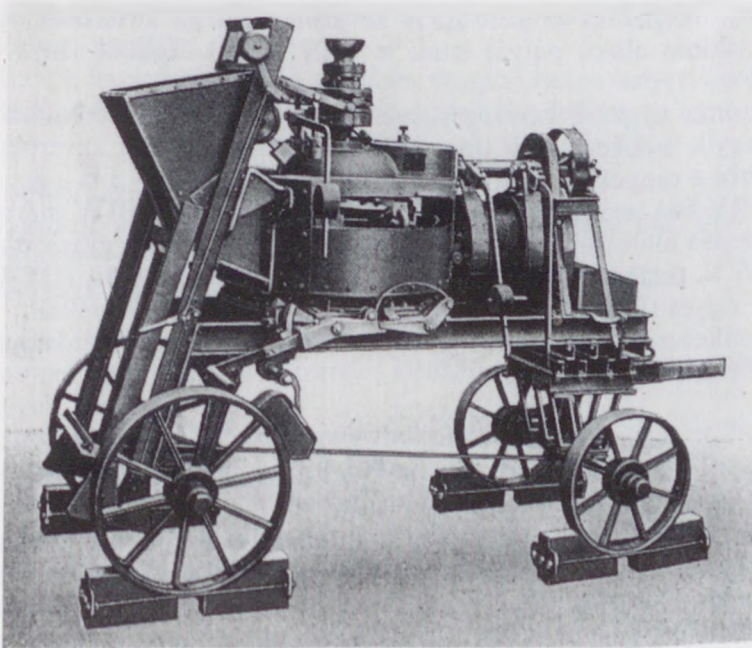
a) Egyenáramú. A keverőkar és a tányér egy irányban forog, billentéssel ürít.

b) Forgóedényes. Az edény forog, a keverőkar csak az anyag belső súrlódása hatására forog, billentéssel ürít.

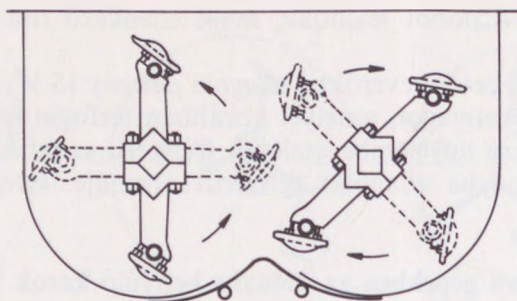
c) Állóedényes. Az edény áll, a keverőkarok egy része központi tengely körül, más része excentrikus tengely körül forog, fenékürítésű.

d) Állóedényes, ellenáramú, fenékürítésű keverőgép.

e) Forgóedényes, ellenáramú, fenékürítésű keverőgép.



5.21. ábra. Eirich-rendszerű keverőgép [Lampl H.—Sajó E. (1914)]



5.22. ábra. Sonthofen-típusú kényszerkeverőgép működésének elve [Lampf H.—Sajó E. (1914)]

- f) Forgóedényes, kétkeverőkaros, ellenáramú, fenékürítésű keverőgép.
- g) Görgőjáratos, ellenáramú, fenékürítésű keverőgép.
- h) Bolygórendszerű, fenékürítésű keverőgép. Az excentrikusan elhelyezett keverőkarok egy központi tengely körül bolygómozgást végeznek.
- i) Állóedényes, rotoros, fenékürítésű keverőgép.

A g) csoportba tartozók tipikus példája a *kollerjárat*. A betont a henger alakú, függőleges tengelyű tálban körben futó nehéz hengerek vagy kerekek keverték és terelőszervezetek terelték a hengerek elé. Egyeseknél a tál forgott és a keverő szerkezet állt, másoknál fordítva. Ezek elsősorban habarcsok keverésére voltak alkalmasak, mert pl. a kavicsot összetörték.

Bolygórendszerű volt az *Eirich-keverőgép*, amely alkalmas volt a nagyszemű adalékanyagok keverésére is. A keverőlapátok és keverékek egymásba fonódó, cikloid alakú pályát írtak le (5.21. ábra). Teljesítménye 10—400 m³/10 h.

A *vízszintes tengelyű keverőgépek* lehetnek egy- vagy kétteknősek. Legrégibb és egyik legsikerültebb típusa a Sonthofen-rendszerű keverőgép (5.22. ábra). Ebbe a csoportba tartozik az UVAMIX keverőgép. Ezt a géptípust az UVATERV-ben tervezték [Burkus F. (1969)]. Az elsőt a BUV martonvásári keverőtelepén állították fel 1967-ben. Még 9 hasonló típust gyártott a Közüti Gépellátó V. Szabadalmazók: *Burkus Ferenc* és *Tasi István* (UVATERV), *Rajnay Frigyes* (UTTRÖSZT). Szabadalom száma: 156.549/1968.

A betonkeverési eljárásokat (1982) és azok fejlesztési lehetőségeit (1982) *Burkus Ferenc* foglalta össze.

5.4.2. Munkahelyi betonszállítás

A beton szállítására kezdettől fogva használták az egyszerű *kubikus talicskát* és a *csillét*. A 30-as években kezdték alkalmazni a vasráfos, kétkerekű, golyóscsapágyas *japánereket*, amelyeket később gumikerekekkel láttak el. Ez az eszköz mind a mai napig megmaradt, mert célszerűen lehet kapcsolni függőlegesen szállító eszközökhöz (lift, daru, toronydaru). Természetesen a

beton kezdetétől készítettek különböző méretű és szerkezetű *szállító tartályokat* mint a betonozás segédeszközeit.

A századfordulón a földnedves beton és a kézi döngölés terjedt el. Döngölni azonban csak földnedves betont lehet, ha vizesebb, akkor „gyűrűzik”.

A vasbetont ilyen száraz betonból nem lehetett elkészíteni, mert nem volt meg a korrózió elleni védelemhez szükséges tömörség. Nem csoda, ha századunk 20-as éveiben — amerikai példaktól ösztönözve — az építési gyakorlatban a másik véglet, az **öntöttbeton** hódított teret. A betont öntőtorony segítségével, gravitációs úton szállították és dolgozták be. Végül is sikerült olyan összetételt kikísérletezni, amelynél nem következett be sem szétosztályozódás, sem dugulás.

Az öntöttbetonra példaként az 1926—28-ban épített *vámmentes kikötő gabonatarháza* építését ismertetem [*Freytag F. (1931)*], amely építése idején egyike volt Európa legnagyobb építményeinek: 21 000 m³ öntöttbeton, 1900 t acél, 6500 t cement.

Tervét az 5.23. ábra szemlélteti. Az építmény 1 m vastag alaplemezen 3 fő részből áll:

a) A padozatos rész az alaplemez felett gombafödémmel alátámasztott, befogadóképessége 23 000 t gabona.

b) A siló 18 db nyolc- és 10 db négyszögletes cellából áll, befogadóképessége 10 000 t gabona.

c) A kettő között volt a gépház.

A gabonatarházat *Mihailich Győző* tervezte, az építkezést a kormánybizottság tervező osztálya ellenőrizte.

A tárházat a hazánkban addig szokásos döngölt beton helyett *öntöttbetonból* építették, melynek a döngölt betonnal szemben felhozott

előnyei:

— Az emberi erőnél olcsóbb a gépi erő.

— Folytonosabb volt a betonozás, rövidült az építési idő, sűrű vasalás között könnyebb volt a beton bedolgozása.

— A felületek utánjavítása olcsóbb volt.

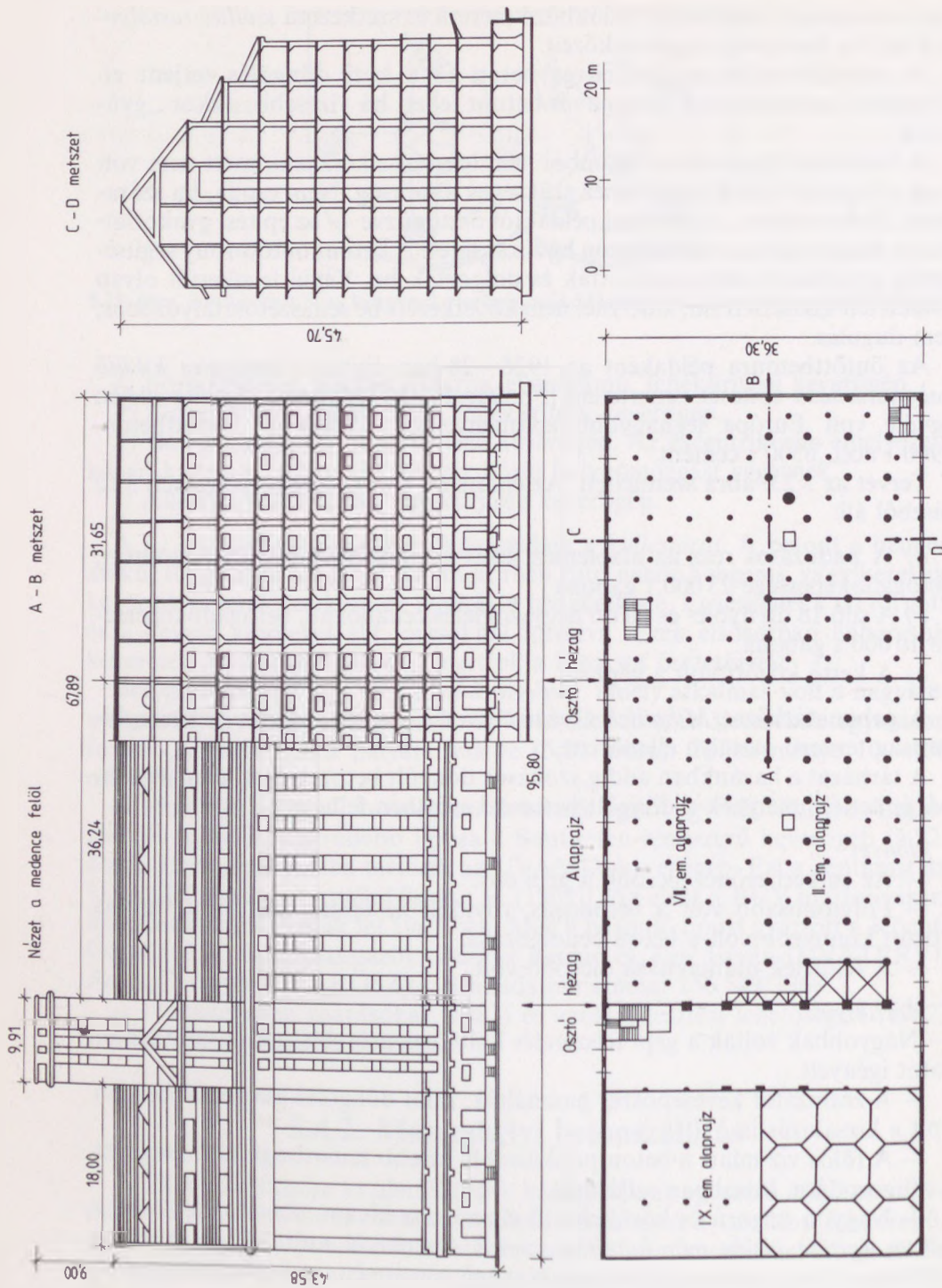
Hátrányai:

— Nagyobbak voltak a gépi felszerelés költségei, erősebb, gondosabb zsaluzatot igényelt.

— A zsaluzatot kevesebbszer használták, mint döngölés esetén. Nehezebb volt a kizsaluzás is.

— A fölös víz miatt a beton porózusabb, kisebb szilárdságú lett, megnőtt a zsugorodása, lassabban szilárdult.

— Nagyon szigorú és körültekintő ellenőrzést kívánt. *Emiatt külföldön a raktár építése idején már háttérbe szorult.* Ezenkívül azóta, hogy Abrams 1918-ban felismerte a víz—cement tényező törvényét, az öntöttbetont már nem tartották megfelelőnek (4.2.2. fejezet).



5.23. ábra. A csepeli szabadkikötő gabonatarháza [Freytag F. (1931)]

A gabonatárházat az 1923. évi porosz vasbetonszabályzat szerint kellett építeni. MÁK portlandcementet és ózdi rúdacélt használtak. A természetes homokoskavicsot rostált kavicsal javították, úgy, hogy a homok kb. 50 m% és az adalékanyag hézagtartalma minél kisebb legyen. $D = 32$ mm volt.

Az egyik silóban a természetes homokoskavicsot, a másikban a rostáltkavicsot tárolták. A kavicsziló alatt adagolóveder volt.

Ez alatt helyezték el a vízszintes tengely körül forgó, szétnyitható dobbal, fix lapátokkal ellátott 10 lóerős, Smith-rendszerű keverőgépet, amelyet egy ember kezel. A vízszintes tengely körül forgó dobos, szétnyitható keverőgépek hátránya volt, hogy nem voltak víztartók, percenként csak 12 fordulattal dolgoztak, nagyobb fordulatszám esetén a beton a gépben magasról esett, megtelt légbuborékokkal, ami bedolgozáskor is megfigyelhető volt.

A beton szállításának fő eszköze a 84 m magas, vasszerkezetű oszlopon nyugvó *öntőtorony* volt.

A torony épület felőli oldalán helyezték el a függőlegesen mozgatható bunkert, amely alkalmas volt 2-3 megkevert betonadag befogadására. Ehhez csatlakozott a csuklósan felfüggesztett és 160° -ig forgatható *öntőcsatorna*, amely több, egymással csuklósan összeszerelt részből állt. Félkör keresztmetszetű, 1:2 hajlású volt, amelyen a beton 1—1,2 m/s sebességgel haladt. A csatorna hajlása nem lehetett kicsi, mert akkor több víz volt szükséges a szállításhoz. Ha viszont nagy volt, akkor a beton szétosztályozódott.

A betonösszetételt úgy kellett megállapítani, hogy a csúzdán a keverék együtt haladjon, egyenletes elkeveredésű és színű legyen és a bedolgozás helyére érkező beton konzisztenciája olyan legyen, hogy az acélbetétek között zárványmentesen magától tömörödjék. Ehhez a következők voltak szükségesek:

a) *A szilárdság szempontjából legkedvezőbb szemszerkezet betonöntéshez is a legjobb volt.*

b) *A betont szállító vízmennyiség helyes megválasztása volt a legnehezebb feladat.* Sok vízzel a beton szétosztályozódott, kevés vízzel a csúzda eldugult. A tárház építése közben a víz mennyisége 160—210 l/m³ érték között változott.

c) *A keverőgéppel szemben más követelményeket kellett támasztani, mint földnedves vagy képlékeny beton esetén.* A keverőgépnek ez esetben vízzárónak kellett lennie. A Sonthofen-típusú gépek ezeknek az elvárásoknak megfeleltek.

d) *A keverési idő kérdésével a betontechnika 1926 óta foglalkozott.* Az öntöttbeton alkalmazásának a kezdetén 3-4 perc volt. Az 1926-27. évi németországi kísérletek alapján a 1,5 perces keverési időt csak modern géppel, tapasztalt kezelőszeméllyel tartották elegendőnek.

e) *Az öntőcsatorna hajlását a betonozás megkezdése előtt kísérlettel kellett meghatározni.* Függött az adalékanyag fajtájától, a keverési aránytól.

Az öntöttbetont a zsaluzatra ható *oldalnyomás* számításakor folyadékként vették számításba.

A beton *bedolgozása* a zsaluzat kopogtatásából, a vasaláson fennmaradt kavicsok eltávolításából, a kavicsfészkek keletkezésének megakadályozásából és a betonfelület simításából állt.

A tárház gépháztornya legfelső emeletét és a silók feletti földemet $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hidegben betonozták. Betonozás előtt a zsaluzást és vasalást a jégtől $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű vízzel megtisztították és vigyáztak arra, hogy a gépbe fagyott anyag ne kerüljön. A keverővizet szintén $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra melegítették. A felület lesimítása után a betont papírral és deszkákkal letakarták. Arra különösen ügyeltek, hogy a bedolgozott beton hőmérséklete minimum $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ legyen.

A szilárdulási folyamat ellenőrzésére a 20 cm élhosszú kockát, a szabványos $7 \times 10 \times 220$ cm méretű gerendát (húzószilárdság) és a $7 \times 10 \times 220$ cm méretű túlvasalt Emperger-gerendát (nyomószilárdság) használtak. A próbatesteket az építés helyén készítették és az épülettel azonos módon tárolták.

300 kg/m^3 cementtartalmú beton 28 napos kockaszilárdsága áprilistól szeptemberig 25 MPa, októbertől márciusig 20 MPa volt. Erre a betonra az 5,5 MPa feszültség lett volna megengedhető (7.8. fejezet) az előírt 4,5 MPa helyett. Természetesen csak az építésnél használt jó szemszerkezet miatt.

A jól bedolgozott *földnedves beton* szilárdsága nagyobb volt, mint az öntöttbetoné, de a rétegek nem forrtak össze. Az öntöttbeton kisebb szilárdságú volt, de homogénebb. Ahol a munkaerő drága és megbízhatatlan volt (a döngölési minőséget nem tudták ellenőrizni), ahol sűrű volt a vasalás és szűk volt a sablon, és így a beton nehezen ellenőrizhető volt, ahol nemcsak nyomásnak, hanem hajlításnak és nyírásnak is ki volt téve a szerkezet, ott mindaddig, amíg a víz—cement tényező törvényét meg nem ismerték, az öntöttbetont tartották előnyösebbnek.

Az öntési eljárással szembeni kétkedés vezetett a *szalagszállítás* kifejlődésére, amely lehetővé tette a földnedves és gyengén képlékeny betonok ferde szállítását.

Már *Lampl H.—Sajó L.* (1914) is megemlítette, hogy az USA-ban (1914 előtt) gumihevedereket használtak a beton szállítására. A kezdeti időszakban azonban csak a más területen alkalmazott *szállítószalagokat* használták. 1950-től kezdték alkalmazni a kimondottan betonszállításra tervezett rövid szalagokat. Ezek teljesen öntartó, könnyen mozgatható egységek voltak, amelyek rövid távolságok és magasságok áthidalására voltak alkalmasak. A későbbiekben a szállítószalagokat sorbakapcsolták, terelőlemezek kialakításával megoldották a beton terítését is. A szétosztályozódás elkerülésére a szalag a betont ormánycsőbe adagolta.

Szintén az öntési eljárás hátrányainak a csökkentésére vezették be az USA-ban 1932-ben a *betonszivattyút*. Néhány év múlva nagy, nehéz és drága gépek jelentek meg azokon a helyeken, amelyeken nagy mennyiségű betont kellett bedolgozni. Az első szivattyúk teljesítménye $15\text{—}30\text{ m}^3/\text{h}$ volt, a szivattyúkkal 80 mm roskadású, 60 mm legnagyobb szemnagyságú anyagot szállítottak. A vezetékek átmérője $150\text{—}200\text{ mm}$ volt, hossza elérte a 150 m-t, az emelési magasság a 25 m-t. 1965-re a szivattyúzási távolságot 460 m-re, a függőleges szállítási magasságot 50 m-re növelték. A szivattyús szállítást

elsősorban gátak, dokkok, alagutak stb. készítése során használták, ahol kevés hely állt a szállítás rendelkezésére. Használtak pneumatikus rendszerű szivattyúkat is, de a dugattyús szivattyúkat találták előnyösebbeknek.

Fejlődést jelentett — a szállítószalagos szállításhoz képest — 1955-től kezdve a habarcsszivattyúból a kis szállítási távolságra használható beton-szivattyúk kifejlesztése. A kis távú szivattyúkhöz használható beton megkívánt roskadási mérőszáma 50—130 mm közötti, a legnagyobb szemmagyság 20—25 mm, kivételesen 40 mm volt.

A szivattyúzhatósághoz napjainkban *előírják a cement és a 0,25 mm-nél kisebb homok együttes mennyiségének a minimumát a max. szemmagyság függvényében, amely*

$D = 8$ mm esetén	525 kg/m ³ ,
$D = 16$ mm esetén	450 kg/m ³ ,
$D = 32$ mm esetén	380 kg/m ³ ,
$D = 63$ mm esetén	320 kg/m ³

legyen minimálisan. Előírják a határgörbékét (a B jelű görbét és az AB görbék felezővonala által határolt terület), amelyet szigorúan be kell tartani.

A fejlődés során számos dugattyús szivattyú, néhány hidraulikus, néhány mechanikusan működő szivattyú alakult ki. Közös jellemzőjük, hogy a betont fogadó garatba adagolják, amely azt a szivattyú bemenő nyílásába engedi, továbbá a megfelelő szivattyúban olyan erő keletkezik, amely a betont a csővezetéken át továbbjuttatja.

Már *Lampl* és *Sajó* is hozott fel példát a *drótkötélpályára* mint betonszállító eszközre. Ez esetben a betont konténerekben szállították. Hasonlóan konténert használtak *darus betonszállítás* esetén is. Építkezéseink leggyakrabban használt szállítóeszköze a *toronydaru* volt.

Az 1961-ig építőiparunk rendelkezésére álló torony- és autódarukat *Munkácsy N.* (1961) ismertette.

5.4.3. A beton bedolgozása

A szállítószalag, az öntőtorony, a kábeldaru, a betonszivattyú a bedolgozás helyére juttatta a betont, egyéb esetekben szükség volt mobil *leeresztő tölcésrekre*.

A beton bedolgozásának század eleji módja a kézi **döngölés** volt 15—30 cm rétegvastagsággal. Minél kisebb volt a rétegvastagság, annál jobb volt a döngölőhatás. Döngölni csak földnedves betont lehet. A nedvesebb beton hosszú döngölése ugyanannyira káros, mint a száraz beton túl rövid döngölése. A 8—10 kg-os öntöttvas döngölőket tartották a legjobbnak. 1914-ben a **pneumatikus döngölés** is ismert volt és megbízhatóbbnak tartották a kézi erejű tömörítésnél.

Döngölés esetén a beton víztartalmát úgy kellett megállapítani, hogy a beton döngölhető legyen. Ha a szükségesnél több volt a víz, akkor a döngölés hatására a beton hullámosan mozgott, de nem tömörödött.

Bár a víz—cement tényezőt 1910-ben még nem ismerték, *Lampl H.* és *Sajó E. Zielinski Sz.* (1909) kísérleti eredményei alapján (4.2. ábra) azt a következtetést vont le, hogy földnedves és képlékeny beton szilárdsága között a valóságban kisebb a különbség, mint a laboratóriumi kísérletek során. Ugyanis a földnedves beton szilárdsága kisebb lehetett, mint a plasztikus betoné, mert porózus maradt. *Lampl H.* és *Sajó E.* (1914) azt a következtetést vont le, hogy az öntöttbetoné lesz a jövő, de jóslatuk nem vált be.

1913-ban *R. C. Stubbs* (1913) már beszámolt egy kezdeti *vibrációs eljárásról* útbeton építése során. 1917-ben *Freyssinet* ismerte fel a vibrációs eljárás jelentőségét, és a későbbi években (1936) kifejlesztette és javította a módszert.

Ahhoz, hogy a nem folyós konzisztenciájú betonokat vasbeton szerkezetekbe is jól be tudják dolgozni, szükség volt az új tömörítési eljárás, a **vibrálás** bevezetésére. A víz—cement tényező és a kockaszilárdság közötti törvényszerűség felismerése óta (1918) ennek volt a legnagyobb jelentősége a minőségi beton-előállítás szempontjából. Ezzel egyidejűen utat tört magának az a felismerés, hogy a *beton összes alkotórészét* — beleértve a vizet is — *tömeg szerint kell adagolni. Ez jelenti a minőségi beton-előállítás irányában tett kezdeti lépések közül az utolsót.*

A vibrátor az iparban a 30-as években terjedt el. Az első nagyobb építmények, amelyeknél a vibrációt alkalmazták: *Freyssinet* által 1930-ban felépített 3 × 172 m nyílású *Plougastet-ívhíd* és a *San Francisco—Oakland Bay híd*.

A 30-as évek intenzív kutatásaira jellemző, hogy a *Journal of the American Concrete Institute* 1933-ban kilenc cikket közölt a beton vibrálásáról. A széles körű kutatások arra irányultak, hogy meghatározzák az optimális frekvenciákat, amplitúdókat. Kialakultak a belső vibrátorok mellett a zsalu- és felületi vibrátorok. Tanulmányozták az újravibrálást. Megállapították, hogy a vibrátorral tömörített beton jobb, mint a döngölt, de felismerték a szétosztályozó hatását is, ha helytelenül vibráltak. Az USA-ban az 1940. évi Egyesített Bizottsági Beszámoló [*Recommended . . . (1940)*] a gyakorlati tapasztalatok szükségességét hangsúlyozta, továbbá megállapította: „A vibráció nem kölcsönöz új tulajdonságokat a betonnak. Alkalmazása azonban gazdaságosságot és javulást tesz lehetővé a beton minőségében, szárazabb keverékek készítése esetén a szokásos módon bedolgozott betonhoz képest. A beton konzisztenciáját a bedolgozás és a használt felszerelés feltételeihez kell igazítani. A beton nem lehet olyan száraz, hogy a bedolgozást megnehezítse, nem lehet olyan nedves, hogy folyékony réteget alkosson a felületen. Általában nem szabad vibrálni, ha a beton roskadása meghaladja a 7,5 cm-t, kivéve, ha nehéz körülmények közt a bedolgozás segítésére használjuk.”

Az *ACI 609. sz. munkabizottsága [Recommendations . . . (1936)]* „Ajánlott gyakorlat beton bedolgozásához vibrációval” címen szintén beszámolót adott közre. A munkabizottság 1960-ban új beszámolót készített, mivel a bekövetkező fejlődés ezt szükségessé tette [*Consolidation . . . (1960)*].

Miben állt ez a fejlődés?

A merülő vibrátorok frekvenciája a korábbi 3000 ford./perc-ről 10 000—20 000 ford./perc-re nőtt. A zsaluvibrátorok szinkronban működő, elektro-






mos meghajtású, kis fordulatszámú vibrátorok maradtak. Kifejlesztették a pneumatikus vibrátorokat, amelyeknél a fordulatszám a levegő nyomásától és mennyiségétől függően változtatható volt, valamint a benzinmotor meghajtású vibrátorokat flexibilis csatlakozással. Végül is az építés rendelkezésére álltak a vibrátorok különböző méretben és típusban.

Napjainkig az 5.24. ábrán vázolt vibrátortípusok terjedtek el [Csutor J. (1967), Weiss Gy. (1954), Csuha P. (1973)]. Kidolgozták a változtatható frekvenciájú vibrátorokat is.

Hazánkban a vibrátorokat a Vibrátorgyár, majd annak jogutódja, az Építőgépgyártó V. készítette. A Z típuscsaládhoz tartozó zsaluvibrátorokat a 40—70-es években, az LC-2 típusú lapvibrátort az 50—60-as években, az RZ-4 típusú rázóasztalt kb. 1950—1971 között (5.25. ábra), a rúd vibrátort (5.26/a ábra) a 40-es évektől kb. 1985-ig, az FM40 (\varnothing mm), 60, 80, 95 jelű, 9000 percnkénti fordulatszámú belsemotoros rúd vibrátort (5.26/b ábra) a 60—70-es években, a 3 és 2 m-es pallóvibrátort (5.26/c ábra) térburkolatok bedolgozásához a 60-as évek közepétől gyártották.

A bedolgozott frissbeton újbóli vibrálását a kötés kezdete előtti időben *utóvibrálás*nak nevezzük. Az utóvibrálás kényes technológia, de jól alkalmazva növeli a beton tömörségét, tehát szilárdságát, vízzáróságát és sózásállóságát, gyorsítja szilárdulását. Kötéskésleltető adalékszer adagolásával szabályozni lehet az utóvibrálás időpontját.

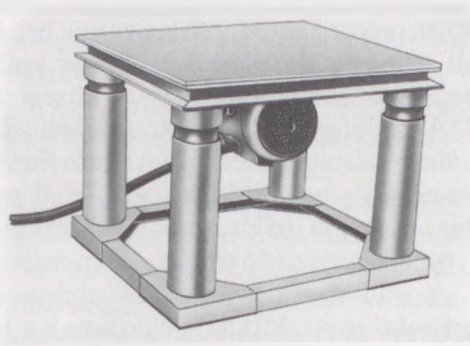
A különleges bedolgozási eljárások között megemlítem a *kolkrét- és a preaktbetont*. Mindkét eljárásnak a lényege, hogy a zsaluzatba bedolgozzák

Üzem mód		Fő alkalmazási terület
Vibróasztal, szabadon felfekvő sablon		Üzemi előregyártás
Vibróasztal, mereven rögzített sablon		Üzemi előregyártás
Rúd vibrátor		Monolitikus építés
Zsaluvibrátor		Helyszíni előregyártás
Lapvibrátor		Útbeton, betonburkolat

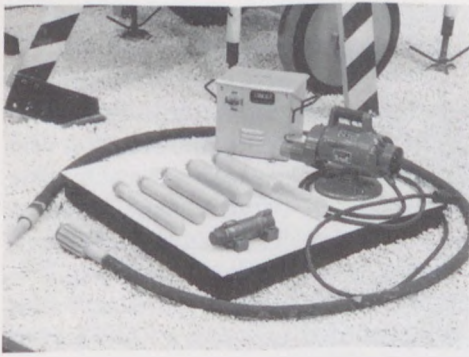
5.24. ábra. A vibrációs tömörítés üzem módja és felhasználási területe [Csutor J. (1967)]

az 50—75 (lehet nagyobb is) mm szemnagyságú kavicsot, zúzottkövet, amelynek 25—35% a hézagtartalma. Ezt a hézagot töltik ki utólag habarccsal. A két eljárás között különbség van a habarcs összetételében és bedolgozási módjában.

A *kolkréthabarcsot* speciális kettős dobú keverőben állítják elő cement, víz (esetleg pernye, trasz), valamint rendszerint 0/3 mm-es homok keverékből és felülről nyomják az adalékváz hézagaiba. Hazánkban a 22. ÁÉV vásárolt kis kolkréthabarcs keverőt *Papp Aladár* kezdeményezésére. Az Építőanyagok Tanszéke végezte a kísérleteket. A vízépítők még technológiai irányelveket is kidolgoztak. Nem terjedhetett el, mert nincs fölös durva adalékanyagunk.



5.25. ábra. Hazai vibrátorok. a) Zsaluvibrátor — Z típusesalád; b) RZ-4 típusú rázóasztal — 3000 ford/perc; c) L2-C típusú lapvibrátor (*Baczyński Gábor*)



5.26. ábra. Hazai vibrátorok. a) Külső meghajtású rúdvibrátor; b) FM típusú, belsőmotoros rúdvibrátor; c) pallóvibrátor (Varga János FÉNYSZÓV)

A jól besajtolható *prepekt* habarcs összetétele: 50 m% 0—1 mm-es homok, 16,5 m% őrlött kovaföld, 0,5 m% stabilizált Na-bentonit és 33 m% portland-cement. A habarcsot alulról fölfelé juttatják az adalékváz közé. Bár *Palotás László* a *könyveiben*, *Bakonyi Iván* és *Jurcsek Viktor* a Magyar Építőipar 1956. évi 7. számában, valamint *Vajda Béla* (1956) igyekeztek elterjeszteni, hasonló okok miatt nem lehetett sikere, mint a kolkrétbetonnak.

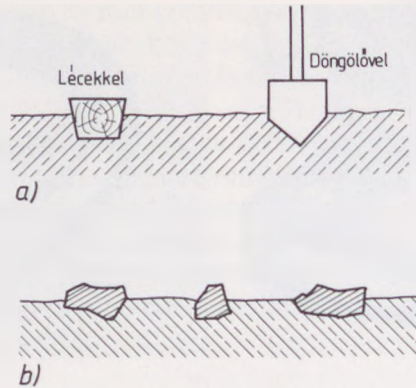
5.4.4. A munkahézag

A munkahézag a betonozás megszakítása úgy, hogy a szerkezet építését a bebetonozott rész betonja megszilárdulása után folytatják.

A munkahézag lehet előre megtervezett (pl. többemeletes vázas épületnél emeletenként feltétlenül munkahézag hagyandó) és lehet váratlan ok miatti (géphiba, eső, rossz szervezés).

Amióta beton- és vasbeton szerkezet van, azóta van munkahézag is.

Már a századforduló idején tudták, hogy munkahézagot csak ott szabad kialakítani, ahol a betonozás megszakítása a végleges szerkezet egységes működését nem veszélyezteti.



5.27. ábra. Munkahézag kialakítása. a) Barázdák készítése; b) kövek beágyazása [Lampl H. —Sajó E. (1914)]

Lampl H.—Sajó E. (1914) kísérletei szerint, ha a félbehagyott felület 8—10 napnál nem idősebb, és nem szennyezett, akkor drótkefével tisztára mosandó, de érdesíteni nem kell. Érdesíteni csak akkor kell, ha a szennyezést másként nem lehet eltávolítani. Tudták, hogy a régi és az új réteg együttdolgozását növeli a régi betonra felvitt 1 : 2 arányú cementhabarcs.

A régi és az új réteg között a nyíróerők átadása fokozható volt azáltal, hogy a régi betont nem döngölték simára, hanem kis barázdákkal, fogakkal képezték ki. Másik módszer volt, hogy a régi betonba nagy kődarabokat ágyaztak be úgy, hogy félig kiálljanak, vagy láncokkal hornyot képeztek, ha a szerkezet mérete lehetővé tette (5.27. ábra).

A munkahézag kialakításának elvei a századforduló óta keveset változtak. Lényeges változás a hagyományos munkahézag megelőzhetősége azáltal, hogy a betonozási szünet előtti betonkeveréket *kötéskésleltető adalékszerrel* készítik. Így — a léghőmérséklettől függően — áthidalható akár 24 órás betonozási szünet is, ha a beton nem vézékeny.

5.4.5. Utókezelés

Utókezelésen elsősorban azt értjük, hogy a beton szilárdulásához szükséges víztartalmat biztosítjuk. Ennek szükségességét már a múlt században felismerték. A következő módszereket alkalmazták:

— Sík lemezek elárasztása vízzel a lemezek szélére helyezett homokgátak között.

— A betonfelület betakarása nádpallóval, szalmával, homokkal stb. és annak a nedvesen tartása. Napjainkban használatos a műanyag fóliás takarás, amely locsolás nélkül is meggátolja a beton kiszáradását.

— a bezsaluzott felület locsolása és a kiszaluzás késleltetése.

A nedvesen tartást 14 napig tartották szükségesnek, ami az akkori durvábbra őrölt cementekkel indokolt is volt. Jelenleg a 7 napig tartó nedvesen tartást elégségesnek tartják.

Az építésiparosítás egyszerűsítést kívánt. Bár napjainkban is legjobb módszer a betonfelület nedvesen tartása, sok esetben a mattnedves betonfelületre szórt *párazáró filmmel* helyettesítik, amely megnehezíti a betonból a víz elpárolgását, majd később lekopik a betonfelületről. Persze a legjobb párazáró filmréteg is csak megközelítheti a nedvesen tartás hatását.

Tágabb értelemben utókezelésen értjük a fiatal beton védelmét is pl. a rázkódtatástól, fagytól, erős napsütéstől, áramló víztől. Pl. trópusi körülmények között a délutáni betonozást ajánlják (ACI ajánlás, 1977), útbetonokat nálunk is sátortetővel védték a napsütéstől.

Ma már azt is tudjuk, hogy ha a *betonfelület korán kiszárad*, akkor a beton gyengébb minőségű lesz, amit *utólagos nedvesen tartással nem lehet megjavítani*.

5.5. Iparosított betonkészítés

5.5.1. A fejlődés külföldön

A mennyiségi és a minőségi igény növekedése minőségi fejlődést kívánt meg, a *készre kevert betont*. Ennek gazdasági okai is voltak. Bár a kezdeti lépések századunk elején megtalálhatók, az iparilag fejlett országokban a 30-as évek elején kezdett ez a törekvés tért hódítani. A fejlődés kétirányú volt. Egyrészt szállító-keverő berendezések, másrészt keverőtelepek fejlődtek ki. A szállító-keverő berendezések kezdetben gépkocsira szerelt mozgatható keverőgépekből álltak. Ennek az irányzatnak lendületet adott, hogy az USA-ban 1930-ban bevezették a 0,76 és 1,5 m³-es keverő gépkocsikat. 1937-ben megjelentek a 3,8 m³-es, 1970-ben a 9 m³-es keverődobok. 1970-ben a szállítás közbeni keverés az összes készre kevert beton 75m%-át tette ki. Az USA-ban 1925-ben 25, 1930-ban 100, 1940-ben 700, 1970-ben kb. 3000 keverőtelep működött és az összes portlandcement 60 m%-át használta fel.

A II. világháború utáni keverőtelepek azonban már minőségi változást jelentenek a 30-as évekével szemben, és helyesebb ezeket *betongyáraknak* nevezni. A korszerű keverőtelepek rendszerint osztályozott adalékanyagot használnak fel, sok esetben a helyszínen van az osztályozó rendszer. A homok tetszés szerinti osztályozását is megoldották. 1934-ben regisztráló készülékeket kezdtek használni a nagy gátépítéseknel alkalmazott ellenőrző rendszerekben, s egyidejűen a készre kevert betont előállító üzemekben. 1950 táján megkezdődött az automatikus nedvességmérés, amely kezdetben egy műszerfalon jelezte a homok nedvességtartalmát. Ennek a figyelembevételével végezte el az automatikus adagoló a keverővíz adagolását. 1955-ben az USA-ban megjelent az első teljesen automatikus elektronikus ellenőrző rendszer.

5.5.2. A betongyárok kialakulása hazánkban

A II. világháború után, az 1948—49. évi államosításkor alakult ki az a vállalati rendszer, amely kb. 40 éven át működött. Az állami vállalatokat túlnyomórészt magánvállalatokból szervezték, részben területileg (megyei építőipari vállalatok), részben célra orientáltan (pl. Hidépítő Vállalat, Betonútépítő Vállalat, Középületépítő Vállalat, Mélyépítő Vállalat).

A probléma népgazdasági fontosságára tekintettel párt- és kormányhatározatok foglalkoztak a kérdéssel és célul tűzték ki, hogy a III. ötéves terv végére (1965) a nehéz testi munkával járó és nagy munkaigényű építőipari tevékenységeket gépesíteni kell. Ez vonatkozott a házgyárok, a beton- és habarcsgyárok, a belső anyagmozgatás gépeire és szállítóeszközeire. Célul tűzték ki, hogy a tervidőszak végére automatikus beton- és habarcsgyárat kell létesíteni.

A 60-as évek elején a vállalatok egy részét trösztökbe vonták össze (Beton- és Vasbetonipari Művek, Vízépítő Tröszt). Abban az időben a gazdaság beruházásigénye meghaladta a vállalati kapacitásokat, és egyre több betonra volt szükség. Minden vállalat igyekezett magát betonnal ellátni. Kezdték keverőtelepeket felállítani, rendszerint a koncentráltan építendő műtárgy (lakótelep, vízi létesítmény, betonút) mellé.

Ezeknek a keverőtelepeknek a teljesítménye 10—20 m³ volt óránként, és ahol nagyobb volt az igény, ott több egységet szereltek fel. A keverőtelepek igényelték az ömlesztett cementet.

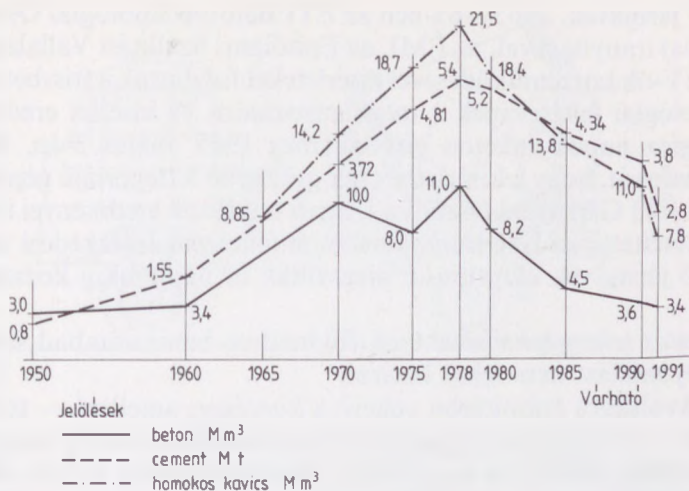
Kezdetben ezeket a keverőtelepeket a vállalatok maguk tervezték meg és szerelték össze. A 60-as évek vége felé már vásároltak komplett betongyárat külföldről, majd az Építőgépgyártó Vállalat megkezdte a gépek hazai gyártását.

A Kavicsbánya Vállalatnál az adalékanyag osztályozása (ill. javítása) 1962-ben kezdődött meg. 1962-ben 73 et, 1964-ben 198 et, 1965-ben 386 et, 1966-ban 900 et, 1970-ben 1450 et, 1975-ben 3450 et, 1980-ban 5200 et, 1985-ben 4500 et volt az osztályozott rész az 5.1. táblázatban feltüntetett mennyiségből. A termelőszövetkezeteknél az osztályozás 1966-ban kezdődött 100 et-val. 1970-ben 150 et-t, 1975-ben 300 et-t, 1985-ben kb. 800 et-t (becsült adatok) osztályoztak. A FOKA az osztályozást 1982-ben kezdte 40 et-val. Az előregyártó ipar maga is osztályozott. 1966-ban kb. 700 et-t, 1975-ben kb. 1500 et-t, 1987-ben kb. 2000 et-t (*Hajnal* Lajos adatai).

Az osztályozás azonban általában csak a méreten felüli szemek eltávolítását jelentette.

Nőtt a betonjavító adalékszerek köre.

Mindezek eredményeként a 70-es évek elejére az építőipari vállalatok többségének volt egy vagy több betonüzeme, ahol a betont megkeverték és onnan az építés helyére szállították. Ezt *transzportbetonnak* nevezzük. A keverőtelepek, betongyárok egyre automatizáltabbak lettek. Fokozatosan előtérbe jutott az a törekvés is, hogy a betont olyan árunak tekintsék, amelyet bárki megrendelhetett és azt a betongyár a megjelölt helyre szállította. Itt jegyezzük



5.28. ábra. A betonkészítés időbeni alakulása hazánkban [Karikás Gy. (1992)]

meg, hogy napjainkban transzportbetonnak nevezzük a mérőadagoló állomáson mérőkocsiba adagolt alapanyagokból szállítóeszközben kevert betont is (ez esetben nincs üzemi keverés) [Burkus F. (1967, 1969, 1982)].

A vállalatokat felügyelő és irányító ÉVM érzékelve a betonellátás terén fennálló nehézségeket, megbízta a kutatóintézeteket Budapest szervezettebb betonellátására vonatkozó elemző tanulmány készítésével. Az ÉGSZI (Havas Judit) és az ÉTI (Tevan Zsófia) által készített tanulmány alapján 1980-ban megalapították 13 budapesti vállalat részvételével a Budapesti Transzportbeton Társaságot.

A hazánkban előállított beton mennyiségének időbeli alakulását az 5.28. ábra szemlélteti.

5.5.3. Transzportbeton

[Zoltánka V. (1966), Nagy P. (1974)]

A transzportbeton olyan betonkeverék, amelyet a bedolgozó munkahelytől független műszaki egység állít elő, és azt megfelelő szállító járművekkel szétosztályozódás és minőségváltozás nélkül kell a bedolgozás helyére szállítani.

Ahhoz, hogy a transzportbeton hazánkban elterjedhessen, három feltételnek kellett egyidejűen teljesülnie. Ezek:

- megfelelő szállítóeszközök;
- központi keverőtelepek, ill. automatikus betongyarak; és
- műszaki szabályozás.

A transzportbetont hazánkban először 1960-ban alkalmazták, amikor az Árpád-híd pesti hídfőjénél felállított betonüzem működni kezdett.

A szállító járművek. 1963—65-ben az ÉTI Betontechnológiai Osztálya (Ar-muth András) irányításával, az ÉMI, az Építőipari Szállítási Vállalat, a 22., 23. és 41. sz. ÁÉV-ok közreműködésével kísérleteket folytattak a frissbeton szállítás betontechnológiai feltételeinek a meghatározására. A kísérlet eredményeit az ÉTE-ben egész napos ankéton vitatták meg 1965. május 3-án. Rontotta a kísérlet határfokát, hogy a kísérletbe csak gyengébb kategóriájú gépeket tudtak bevonni. Az ÉTI Gépesítési Osztálya — fenti kísérletek eredményei felhasználásával — elkészítette az ÉM transzportbeton-fejlesztési intézkedési tervét.

A szállító járművek alaptípusai megvoltak és napjainkig korszerűsítették azokat.

Billenőplátós tehergépkocsival csak földnedves betont szabad szállítani, de a szétosztályozódást nem lehet kizárni.

Kisebb távolságra számításba vehető a *konténer*, amellyel — toronydaruk segítségével — a munkahelyi függőleges betonszállítást is meg lehet oldani. A 60—200 és 400—450 kNm teherbírású toronydarukhoz a 150—400 és 750 l-es, kör keresztmetszetű, alsó szektorzárás konténereket tartották indokolt-nak, mert ezzel az ürités tetszés szerinti helyen, szakaszosan megoldható, a beton karolás nélkül bedolgozható volt. A konténerben már kissé képlékeny betonokat is lehet szállítani, ha elegendő a víztartó képességük (finomrésztar-talmuk). A szállítási távolság növelésével nő a betömörödés veszélye.

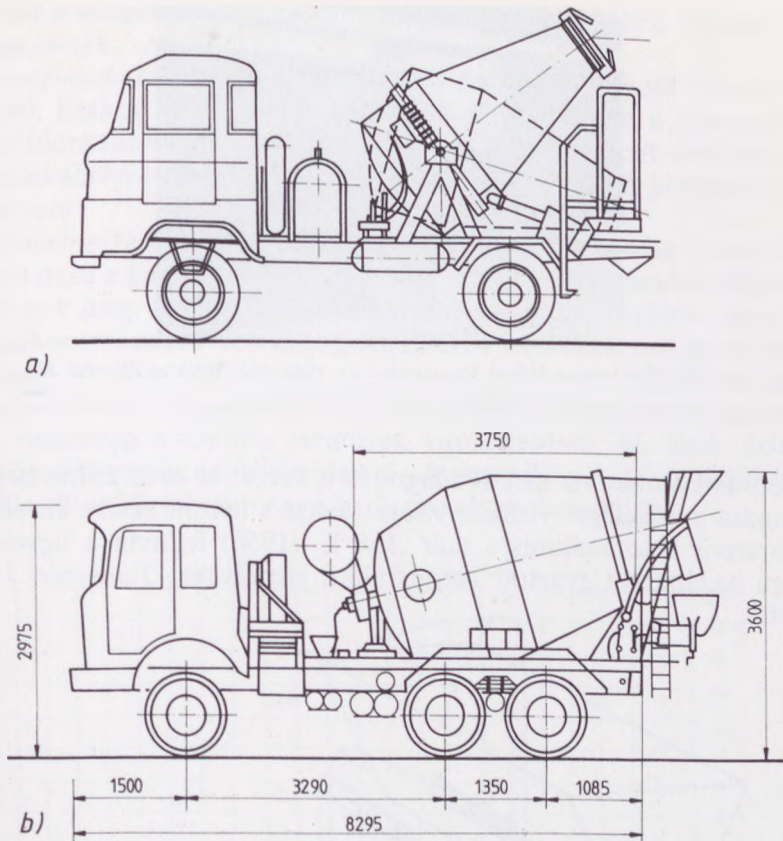
A billenőteknős gépkocsik közül a ZIL 555 típusú és a SKODA 706 típusú gépkocsikat használták leginkább.

A *különleges billenőteknős tehergépkocsi*, ha zárt rendszerű, akkor egyenér-tékű a konténerrel. Különböző típusokat fejlesztettek ki. Ezeket már kizáró-lag betonszállításra készítették. *Zoltánka* Viktor szerint az ÉM Szállítási Vállalat által készített 3 m³ hasznos ürtartalmú kocsikat, jóllehet felül egy csapóajtóval zárni lehetett, az 1 m²-es nyíláson át nehezen lehetett tölteni, a felső zárószervezet hamar eltömődött betonnal. A belső élek mentén is nagy volt a betapadás. Végül az ürités is nehézkesen ment az 50 cm átmérőjű, pneumatikusan zárható üritőnyíláson át.

A különböző betonszállító kocsik közül azokkal lehet kissé képlékeny betonokat szállítani, amelyek kavaróművel felszereltek. Az *agitátor vagy kavaró gépkocsi* (5.29/a ábra) tehergépkocsira szerelt billenő konténer, amely-be szerelt kavaró berendezés a betongyárban készre kevert betont szállítás közben is kavarja, hogy a szétosztályozódás be ne következzen. Nagyobb távolságra szállítás esetén legfeljebb percenként 6 fordulattal a betont folya-matosan kavarja, így kerül el a szétosztályozódást. A gépkocsi a betont ürités közben minden esetben átkeveri. Alkalmas képlékeny konzisztenciájú beto-nok szállítására is.

Hazánkban elsősorban a lengyel Starbet-2 és az ugyancsak lengyel Hydrobet PBH-2 típusú gépkocsi terjedt el.

A *mixer- vagy keverőgépkocsival* (5.29/b ábra) száraz keverék is szállítható, ha az adalékanyag víztartalma 1 m%-nál kisebb, ezáltal szállítási távolsága tetszőleges. A vizet az építés helyére érkezés előtt adagolhatják a betonba. A dob ürtartalma 4—10 m³, de a tengelynyomások korlátozása miatt napjaink-



5.29. ábra. Betonszállító gépjárművek. a) Agitátor gépkocsi; b) ELBA-ÉPGÉP mixerkocsi [Nagy P. (1990)]

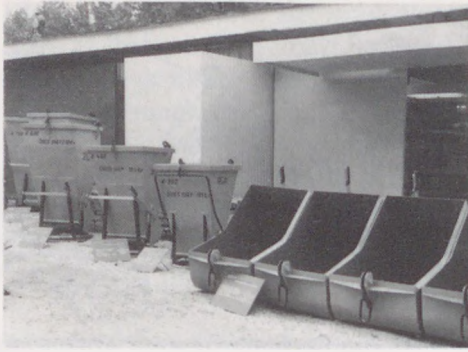
ban legfeljebb 6 m^3 -es dob használható. A dob kavará és keverő forgást végez. A kavaráforgás percnként 2—4 (ez az üritési fordulatszám is), a keverőforgás percnként 10—14.

A mixerkocsik szabadon ejtő keverőgépek elvén működnek, üritéskor a forgatás iránya ellentétes.

Az egyik rendszernél a betont a dob felső részén adagolják be, és ez a töltőnyílás jól zárható. A másik rendszernél a dob végén tölcseren át töltik be a betont. Az üritőcsúszda magassága állítható és oldalirányban is elfordítható.

Mixerkocsis szállítás esetén a következő esetek lehetségesek:

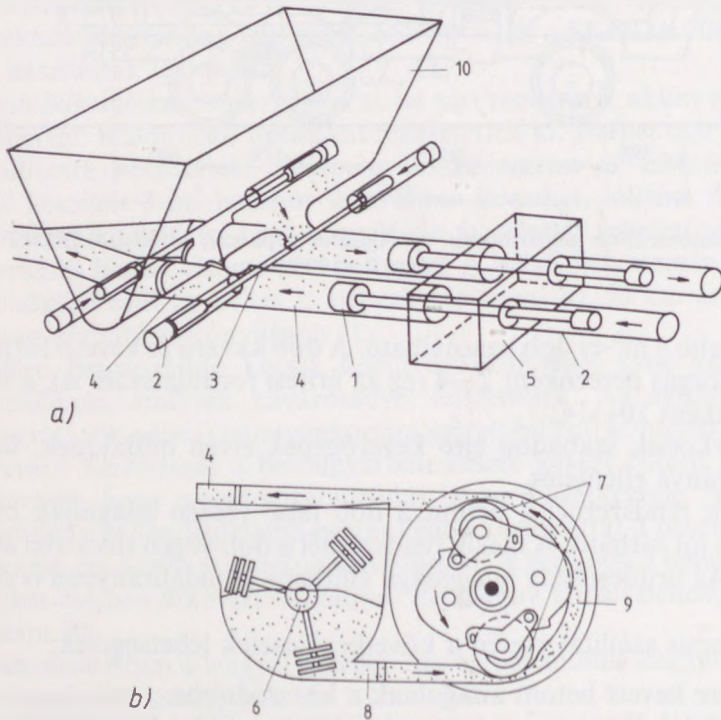
- Készre kevert betont adagolnak a keverődobba.
- Az adalékanyagot, cementet, vizet beadagolják a keverődobba és menet közben keveri meg.
- A betonalkotók és a víz egy részét adagolják a keverődobba és csak a munkahelyre érkezés után adagolják a hiányzó vizet és a betont készre keverik.



5.30. ábra. Az ÉPGÉP betonszállító konténerai az 1968. évi BNV-n (Varga János, FÉNY-SZÖV, Andrassy út 38.)

— A betonalkotókat víz nélkül adagolják a keverőbe és az építés helyszínén adják hozzá a szükséges vízmennyiséget, majd a betont készre keverik.

A korszerű betonszállításra már *Agh E.* (1956) felhívta a figyelmet, az 1974-ben hazánkban gyártott betonszállító járműveket *Temesvári J.* (1974) ismertette.



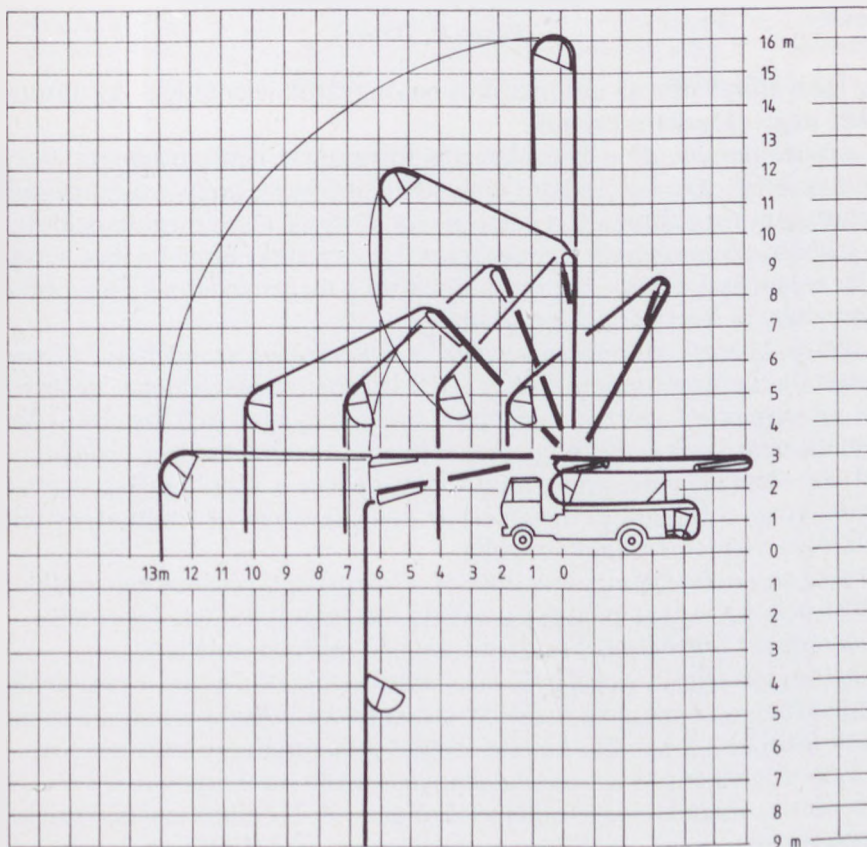
5.31. ábra. Betonszivattyúk. *a)* Schwing (dugattyús hidraulikus) szivattyú működési elve: 1 — dugattyú, 2 — hidraulikus nyitó-záró henger, 3 — etetőgarat, 4 — szállító csővezeték, 5 — vízzár; *b)* WIBAU (rotációs) betonszivattyú működési elve: 6 — keverőszerkezet, 7 — gumihengerek, 8 — szívóvezeték [Nagy P. (1974, 1990)]

A betont a munkahelyen a folyamatos szállítás érdekében fogadni kell. A lehetséges esetek:

— *Betonfogadó tartály.* Kapacitásuk 10—15%-kal nagyobb a szállító gépkocsikénál. Ezekbe lehet a legrövidebb idő alatt kiüríteni a gépkocsikat. A tartályok hidraulikával vagy pneumatikával billenthetők. A tartályból a betont a munkahelyi betonszállítás eszközeivel (5.4.2. fejezet) juttatják a bedolgozás helyére.

— A konténer térfogata — a daruk teherbírásához igazodva — 0,4—1,2 m³ volt. Ha a daru a konténert szállította, akkor egy szállítmányból több konténert tölthettek meg. Ha a konténerből kisebb szállítóeszközökbe adagolták a betont, akkor erre nem volt szükség. Az ÉPGÉP konténercsaládot az 1968. évi BNV-n az 5.30. ábra szemlélteti.

— Legkorszerűbb fogadóeszköz a *betonszivattyú*. Teljesítményének megválasztása összefügg a szállító járművek kapacitásával, ill. azok üritésével. Helyes fogadás esetén az ürités ideje 6—8 perc. Pl. a 4 m³-es szállítóeszköz esetén 30—40 m³/h teljesítményű betonszivattyút használnak.



5.32. ábra. Autóra szerelt Schwing-szivattyú hatáskörzete [Nagy P. (1974)]

Hazánkban legjobban a *Schwing gyártmányú szivattyúk* terjedtek el. Működési elvét az 5.31. ábra szemlélteti. A hengerek dugattyúi váltakozva szívó-nyomó hatást fejtenek ki a garatból a hengertérbe kerülő betonra. A garat hengertér felőli betorkoló nyílásait és a hengereket ide-oda mozgó reteszek nyitják-zárják, miközben a garaton át bejutó betont a vezérelt mechanizmus a szállítócsőbe nyomja. Teljesítményük — általában — 16—100 m³/h, szállítási távolság max. 400 m, szállítási magasság max. 80 m.

Az ÉPGÉP a 16 m³/h teljesítményű Schwing BP-16-HDE típusú szivattyút gyártotta először (5.31/a ábra), majd a 40—60 m³/h teljesítményű, 23—29 m gémkinyúlású gépeket készítették.

Nagy teljesítményű (45 m³/h) a WIBAU cég rotációs szivattyúja, amelynek működési elvét az 5.31/b ábra mutatja be.

Jól beváltak a *gépkocsira szerelt betonszivattyúk*. Ezeknél a csővezeték egymáshoz csuklósan csatlakozik. Az 5.32. ábra ennek a manőverezési lehetőségeit szemlélteti.

5.5.4. Automatikus betongyárok

[Kovács K. (1966)]

Az igazi előrelépést az automatikus betongyárok jelentették. Az automatákat két nagy csoportra osztjuk.

A *vezérlő automaták* a betonkeverés folyamatát beprogramozott sorrend szerint vezérlik. Arról a rendszer nem ad visszajelzést, hogy a szemmegoszlás, a víztartalom megváltozott, a rendszer valamelyik része meghibásodott.

A *szabályozó automaták* a programot úgy teljesítik, hogy közben visszajelzik, ha valamelyik érték a beprogramozottól a megengedettnél nagyobb mértékben eltér, és korrigálja a programot.

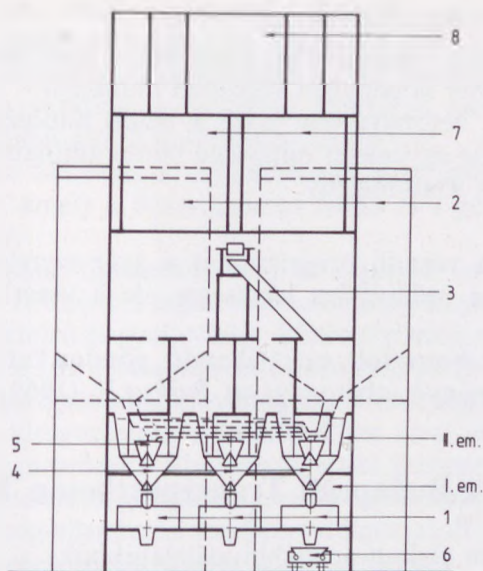
A kettő közötti különbség egyben a fejlődést is szemlélteti. A vezérlő automatába beprogramozzák pl. a C 20 jelű beton összetételét, nevezetesen hány kg cementet, vizet, adalékszert, adalékanyagot kell lemérni. Azt az automata nem veszi észre, hogy megváltozott az adalékanyag víztartalma és adott víz—cement tényezőhöz módosítani kellene a vízadagolást. A vezérlő-és szabályozó automata pl. megméri az adalékanyag víztartalmát, és mindig a szükséges vízmennyiséget adagolja.

Az *első automata betongyárat a BVM Alsózsolcai Gyárában helyezték üzembe 1964-ben*. Ez a gyár még csak vezérlő automatákkal lett felszerelve.

A *betongyár felépítésének* vázlatát az 5.33. ábra szemlélteti.

A betongyár tetején van a gyár vízellátását szolgáló 700 m³-es víztartály. A betongyárban az ömlesztve szállított cementet két henger alakú, 35 m magas silóban tárolják. A két siló kétféle cement felhasználását teszi lehetővé.

A 8 db, egyenként 45 m³-es adalékanyag-tároló bunkerben 0/3, 3/7, 7/15 és 15/25 mm-es adalékanyag-frakciót tárolnak. A II. emeleten helyezték el a cement, a víz- és az adalékanyag-mérlegeket (RAPIDO-mérlegek). Az I. emeleten van a három MG-1000 típusú betonkeverő és a betongyár vezérlő-



5.33. ábra. Automata betongyár felépítésének vázlata. 1 — betonkeverő, 2 — cementsiló, 3 — adalékanyag-csúszda, 4 — adalékanyag-mérleg, 5 — cementmérleg, 6 — betonszállító kocsi, 7 — víztartály, 8 — klórozó [Kovács K. (1966)]

terme. A földszinten lévő betonszállító kocsik szállítják el a kész betont. Az adalékanyag-bunkerek lánckerékkel mozgatható tolóajtókkal zárhatók és nyithatók. A víz elektromágnessel mozgatott mágnesszeleppel adagolható.

Egyidejűen két keverőgép működik, a harmadik tartalék. Mindegyik gépen négy különböző program van beállítva. A gép kezelője megnyomja a kért programnak (betonminőségnek) megfelelő gombot és a többit már az automata végzi. Az automata az egyes alkotókat teljesen függetlenül mérlegeli. A víztartalom változásának a figyelembevételéhez a programot emberi beavatkozással át kell állítani. A beton keverését az automata programszerűen végzi.

Az üzembiztonság fokozása érdekében mindegyik keverőgép háromféle: automatikus, kézi vezérlésű és javítási üzemmódban üzemeltethető. Egy keverőgép kapacitása automatikus üzemmódban kb. $20 \text{ m}^3/\text{h}$, kézi vezérléssel $8\text{--}10 \text{ m}^3/\text{h}$.

Az automata három egységből áll. Az első az erőátviteli kapcsolószekrény. A második a relészekrény, amely a három keverőpályának megfelelően három mezőből áll. Minden relének meghatározott feladata van, mindegyik valamit működtet. Összesen 216 relé van a relészekrényben. A segédrelék alkotják az automata „memóriáját”. A harmadik egység a kezelőpult és a világításéma. Utóbbin a kezelő személy láthatja a keverés egyes mozzanatait (piros szín). Ezen jelenik meg a kért program számjele is. A kezelőpultról a betongyár bármelyik vezérelt egysége ki- és bekapcsolható.

A betongyár megbízhatósága annál nagyobb, minél jobban teljesítik az egyes eszközök azt, amire tervezték, ill. amire a mérőműszereket hitelesítették.

Az automata betongyárok *előnyei*:

— A fizikai munka gyakorlatilag megszűnt, a gyár kezelője a pormentes kezelőteremben, fehér köpenyben végezheti munkáját.

— Az automata betongyárban javul a beton minősége és a szabályozó automatákban pedig egyenletes minőségű beton állítható elő. Nő a termelékenység, csökken a létszámigény.

Hátrányai:

— A számításba veendő programokat a gyár szerelésekor ismerni kell. Később a program módosítása lehetséges, de a vezérlőrendszer átállítása időigényes.

— A berendezés bonyolult, ezért állandó, gondos karbantartást igényel. 60 m³/h teljesítményű útbetongyárat *Burkus F.* (1969) ismertetett.

5.5.5. A Budapesti Transzportbeton Társaság

1980. szept. 1-jén alakult az alábbi vállalatokból:

21. sz. Állami Építőipari Vállalat

22. sz. Állami Építőipari Vállalat

23. sz. Állami Építőipari Vállalat

31. sz. Állami Építőipari Vállalat

43. sz. Állami Építőipari Vállalat

Beton- és Vasbetonipari Művek

Budapesti Lakásépítő Vállalat

Folyamszabályozó és Kavicskotró Vállalat

Földmunkát Gépesítő Vállalat

Középmagyarországi Közmű és Mélyépítő Vállalat

Középületépítő Vállalat

Közmű- és Mélyépítő Vállalat

Mélyépítő Vállalat (gesztor vállalat)

Út- és Vasútépítő Vállalat.

Az évek folyamán a tagszervezetek száma 26-ra növekedett, majd a nyolcvanas évek közepétől kilépés és felszámolás miatt csökkent.

A társaság *célja* volt a budapesti térség szervezett, gazdaságos, egységesen jó színvonalú transzportbeton ellátásának megteremtése, az előzőekben felsorolt célok megvalósításához szükséges fejlesztések összehangolása.

A társaság *feladata* a célok elérésére:

- a felhasználói igények és a gyártási kapacitások egyeztetése,
- a szállítási távolságok optimalizálására javaslatok kidolgozása,
- korszerű betonreceptúrák, minőség-ellenőrzési és tanúsítási rendszer készítése,
- összehangolt fejlesztési javaslatok megvalósítása,
- építőipari szövetkezetek, társaságon kívüli betonfelhasználók és magán-építkezők transzportbeton ellátásának szervezése.

A társaság nem volt önálló jogi személy. Irányító szerve a tagszervezetek igazgatóiból vagy megbízottjaiból álló *Igazgatótanács* volt, amely szükség szerint, de évente legalább kétszer ülésezett. Az Igazgatótanács titkára a Koordinációs Iroda vezetője, a Társaság feladatait szervező, lebonyolító szervezet a három főből álló Koordinációs Iroda volt.

Az Igazgatótanács két évre, a tagszervezetek megbízottaiból *felügyelőbizottságot* választott, amely a Koordinációs Iroda és a gesztor vállalat tevékenységét ellenőrizte.

A *Koordinációs Iroda*, figyelembe véve az alapítók érdekeit, kialakította működési feltételeit. Felmérte a tagok betonelőállítási kapacitását, kidolgozta a munkavállalás feltételeit és gyakorlatát, közös rendelési nyomtatványt szerkesztett és vezetett be. Az Iroda javaslatot készített közös műszaki kutatási témákra, melyet az Igazgatótanács jóváhagyása után, megfelelő kutatószervezetek bevonásával kidolgoztatott, a kísérletekben részt vett. Ennek keretén belül új betonszállító járműveket kísérleteztetett ki, korszerű betonreceptúrák alkalmazásának feltételeit teremtette meg, mely cementmegtakarítást eredményezett, közös minőség-ellenőrzési rendszert dolgoztatott ki. Az eredményeket a tagvállalatok lehetőségeik szerint hasznosították.

A Koordinációs Iroda a betonelőállító és szállító eszközök kihasználását szervezte, a szabad kapacitásokat nyilvántartotta. Kiterjedt reklámtevékenységet folytatott.

A Budapesti Transzportbeton Társaság így a tagszervezetek meglévő eszközeinek szervezésével minden betonozási munkát el tudott végezni.

A Társaság működésének kezdetén a magánépítkezők betonellátása, de főleg a betonszivattyús munkavégzés nem volt megoldott. A vállalatok általában nem adtak el magánszemélyeknek betont és betonszivattyús munkát sem végeztek az esetleges visszaélések elkerülése érdekében, valamint azért sem, mert megrendelésekkel bőven ellátva saját munkájuk elvégzése is gondot okozott. A házilag, magánkivitelezésben épülő lakások számának rohamos emelkedése miatt szükséges volt, hogy a Transzportbeton Társaság ezek betonellátását, betonszivattyúzási munkáit is elvégezze, amit a Koordinációs Iroda szervezett, intézett. Ez megtörtént, és így a Koordinációs Iroda évente 25—30 000 köbméter beton rendelését közvetítette ki. Becslések szerint az utánrendelt beton mennyisége ennek két-háromszorosa volt.

A Koordinációs Iroda, mint a betonüzemek közötti egyetlen egyformán érdekelt és minden tagszervezet érdekeit egyaránt képviselő szervezet, a gyártó és a megrendelő érdekeit a legjobban érvényesítette. Minden rendelés esetén megkereste a leggazdaságosabb megoldást és a legolcsóbb, legközelebbi helyről szállította a betont.

A Magyar Transzportbeton Egyesülés önálló jogi személyként, az egész országra kiterjedő tevékenységi körrel 1992. áprilisban alakult — annak megszűntével — a Budapesti Transzportbeton Társaságból.

Míg a Budapesti Transzportbeton Társaság feladata elsősorban a betonigények optimális kielégítésének a megszervezése volt, a Magyar Transzportbe-

ton Egyesülés legfontosabb feladata a szabványos minőségű beton előállítás, ellenőrzési és tanúsítási rendszereinek a megvalósítása.

Az Egyesülés az egész országra kiterjedő szervező munkát végez. A „Transzportbeton” szabvánnyal, amely 1993. jan. 1-jén ágazati szabványként országos hatályú lett, olyan feltételeket akar teremteni, hogy a magyar beton-előállítás megfeleljen a közös piaci előírásoknak, amit az egyre nagyobb számú külföldi megbízó is ismer.

Az Egyesülés érdekvédelmi szervezetként kíván működni, de foglalkozik a környezetvédelemmel, megfelelő betonelőírások elkészítésével is. Kidolgozta a felelős betonüzemvezetők, laboratóriumvezetők, betonszállító járművezetők tananyagait, ezekből tanfolyamokat, konzultációt szervez, vizsgáztat, bizonyítványt ad. Kapcsolata van az Európai Transzportbeton Egyesülettel, de abba csak a jövőben lépnek be, ha az európai követelményeknek megfelelnek.

A Magyar Transzportbeton Egyesülés igazgatója *Adamkovics Sándor*, akitől az információt kaptam. 1993-ban *Pál Balázs* lett az igazgató.

5.5.6. A Mélyépítő Vállalat Északpesti betongyára

1967-ben az ÉVM-mel történt megállapodás alapján a Mélyépítő Vállalat megkapta az Építőanyagipari Anyagellátó és Készletező Vállalat XIII. Cserhalom utca és az Újpesti-öböl közötti kavicstelepét az alábbi műtárgyakkal: kikötő és fix elevátor, feladóállomás és nyerskavics tárolótér, nyerskavics kiadó épület. A Mélyépítő Vállalat azzal kapta meg ezt a területet, hogy ide nagykapacitású betongyárat hozzon létre. A vállalat vezérigazgatója *Prieszol József* volt.

A betongyárat, amely *házánknak még ma is a legkorszerűbb betongyára*, 1968. január 1-jén avatták fel. Már 1969-ben 24 800 m³ betont adott. 1970-ben már 123 000 m³ beton volt a termelés. Ez a termelési szint kb. 1988-ig meg is maradt, majd kb. évi 80 000 m³-re esett vissza.

A kikötőbe érkező 300—500 t-ás uszályokat állandó telepítésű vedersoros elevátor rakja ki. Az előválasztón már leválasztják a 100 mm-nél nagyobb adalékfrakciót, míg a feladóállomásba épített rostán a 40 mm-nél nagyobb kavicsot választják le. Ez az anyag a törőbe, majd törés után az osztályozóba kerül.

Az 1—4, 4—8, 8—16, 16—32 mm-es osztályozást Binder-rostákkal végzik el, míg a 0—1, valamint 1—4 mm-es frakciókat ellenáramú Rheax-osztályozókkal állítják elő. A betongyárban lehetséges a *legkorszerűbb osztályozás*. A szárazon osztályozott anyagot három kihordószalagon, a vizesen osztályozottat pedig csővezetéken hidrociklonokkal továbbítják a hatrekeszes osztályozott adalékanyag tárolótérre, amely alatt vibróadagolókkal felszerelt szalagalagút van. Az adalékanyag az Újpesti Erőműből származó gőzzel melegíthető.

A cementsilókat kompresszorok segítségével töltik fel, ehhez kompresszor üzemeltetést létesítettek.

A betongyár teljesen automatikus. A recepteket szemszerkezeti görbék szerint programozzák be. Több száz recept és egyéb adat tárolása, képi megjelenítése, folyamatos regisztrálása, bizonylatolása lehetséges.

Az automatikus számítógéppel vezérelt berendezésen nukleáris érzékelőkkel (neutronmoderációs szondákkal) és műszerekkel folyamatosan mérik a homokfrakciók víztartalmát és ennek figyelembevételével automatikusan korrigálják a vízadagolást.

A betongyárat felszerelték adalékszereket adagoló berendezéssel is. A négyféle adalékszerből egyszerre kétfélét adagolhatnak. A szokásos cementfajtákon kívül lehetséges por alakú kiegészítő anyagok (pl. pernye, mészköliszt) tárolása és adagolása is. A betongyár főépítésvezetője kb. 20 éven át *Karcos Elemér*, építésvezetője *Monti Gábor*, laborvezetője *Máhr Géza* volt.

1988-ban a Középületépítő Vállalattal közösen kb. 90 000 m³/év kapacitásbővítést végeztek a Középületépítő Vállalat bezárt transzportbeton gyáranak a pótlására.

1990. január 1-től a Mélyépítő Vállalat és a Középületépítő Vállalat létrehozta a Transbeton Kft.-t, amely önálló vállalat lett. Ugyanabban az évben a svájci HOLDERBANK is tulajdonos lett. 1993-ban a Kft. 93%-a a HOLDERBANKé és 7%-a a Középületépítő Vállalaté.

A Kft. ügyvezető igazgatója *Dancs László*, laborvezetője *Deményi Ernőné*.

A Középületépítő Vállalat társulásakor megépítették a második gyáregységet (betonkeverő és kavicskiadó), és a régi gyárban is kicserélték a 2 × 1,5 m³-es szinkron keverőt 1 db 3 m³-es TEKA típusú keverőgépre. 1993. január 1-jétől mindkét keverőtoronyban kicserélték a mérlegrendszer Pfister ASS Plus típusú, számítógép vezérlésű rendszerre. A napi kapacitás 1993-ban 1200 m³/nap volt. *Az ország legnagyobb transzportbeton gyára.* 1992-ben 93e m³, 1993-ban 134e m³ betont készítettek 143 recept felhasználásával.

A Transbeton Kft. része a Csepelen működő, 1 m³-es keverőgéppel működő keverőtelep is.

A Transbeton Kft. adta 1993-ban Budapest betonigényének kb. 20%-át.

A belső minőség-ellenőrzést a jól felszerelt laboratóriuma, a külsőt pedig a Közlekedéstudományi Intézet rendszeres minőség-ellenőrzése biztosítja.

5.5.7. A Magyar Építőanyagipari Szövetség

A Magyar Építőanyagipari Szövetség önkéntes egyesülésként 1991 elején alakult az iparág önálló érdekközvetítő-, egyeztető-, képviselői- és kereskedelemfejlesztési feladatot ellátó szakmai társadalmi szerveként. Elnöke *Szabó Miklós*, főtitkára *Tamás László* lett.

1993-ban megalakították *Polgár* László elnökletével a Beton Tagozatot, amelynek tagjai: BVM Épelem Kft. Budapest, BVM Szobeton Kft. Szolnok, BVM Mérnöki Kft. Budapest, Alsószolcai Vasbetonipari V., FERROBETON Beton- és Vasbetonelemgyártó V. Dunaújváros, Lábatlani Vasbetonipari Rt., TRIGON Kft. Budapest, Beledi Betonárugyár Kft., Magyar Cementipari

Szövetség, ASA Építőipari Kft., Mezőpanel Épületelemgyártó Kft. Nyékládháza, PLAN 31 Mérnök Kft. Budapest, Taszter Beton- és Vasbetongyártó Kft., METALLOPLASZTIK Feldolgozó, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft., VIACOLOR Kft. Budapest, Fővárosi Vízművek ROCLA-csőüzeme, R-DUO Vasbeton Rt. Komló, SZIKKTI Betonosztály, ÉTI Betontagozat, Magyar Transzportbeton Egyesülés.

5.6. Betonszilárdítás

Betonszilárdításon azokat a módszereket értjük, amelyekkel a természetesen (kb. 20 °C hőmérsékleten) szilárduló beton szilárdulását bizonyos határon belül gyorsítani tudjuk. E módszerek nélkülözhetetlenek az előregyártásban és egyes monolitikus építési technológiáknál (szabadkonzolos hídépítés, alagútzsalus építés stb.). A számításba vehető módszereket az 5.6. táblázatban foglaltam össze.

5.6. táblázat. A betonszilárdítás esetei

Sorszám	A betonszilárdítás módja	Megjegyzés
1	Nagy kezdőszilárdságú cement	a) A cement C_3S -tartalma növelésével b) Az őrlésfinomság fokozásával száraz vagy nedves őrlés által
2	A tömörség fokozása	a) A víz—cement tényező csökkentésével b) Képlékenyítő és folyósító adalékszerek adagolásával c) Intenzív tömörítéssel d) A víz—cement tényező csökkentése vákuumozással e) Tömítőanyagokkal
3	A hidratációhő felhasználása	
4	Vegyiszilárdítás	a) Szilárdulásgyorsító adalékszerekkel b) Karbonátosodás fokozásával c) Autoklavolással
5	Hőkezelés	a) Gőzöléssel b) Sugárzó hővel c) Elektromos hőkezeléssel d) Melegítés forró vízzel e) Meleg betonnal
6	Kombinált módszerek	

5.6.1. Nagy kezdőszilárdságú cement

Hazánkban 1950—52-ben gyártottak nagy C_3S -tartalmú, ún. *alitecmentet*. Később nem gyártották, mert az előregyártó ipar a gőzöléses beton-szilárdítás mellett döntött. Majd a mosoni Duna-híd építéséhez próbáltunk ki hasonló svéd cementet, de felhasználásra nem került [Balázs Gy.—Borján J.—Gulyás K.—Józsa Zs.—Kászonyi G.—Szombathy Z.—Tariczky Zs. (1980)].

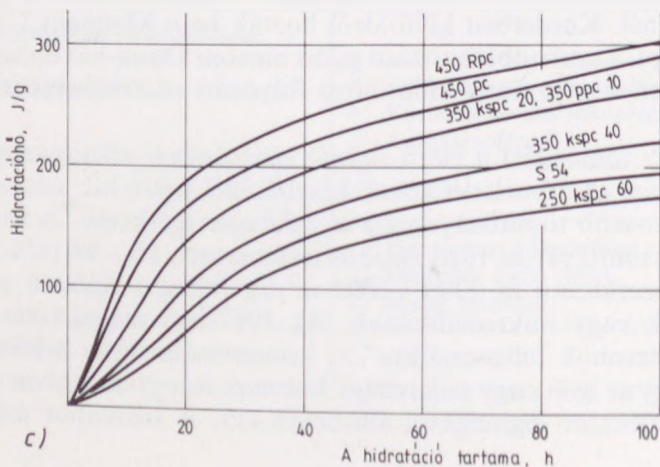
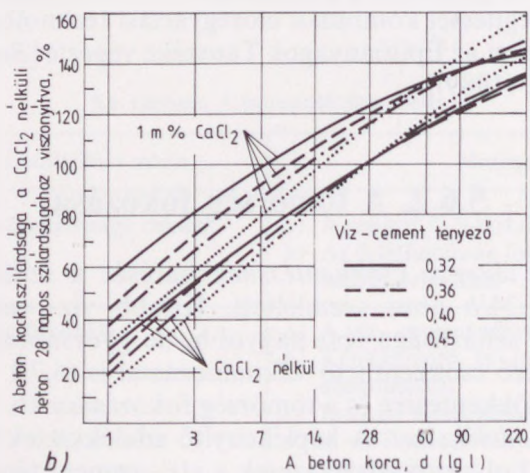
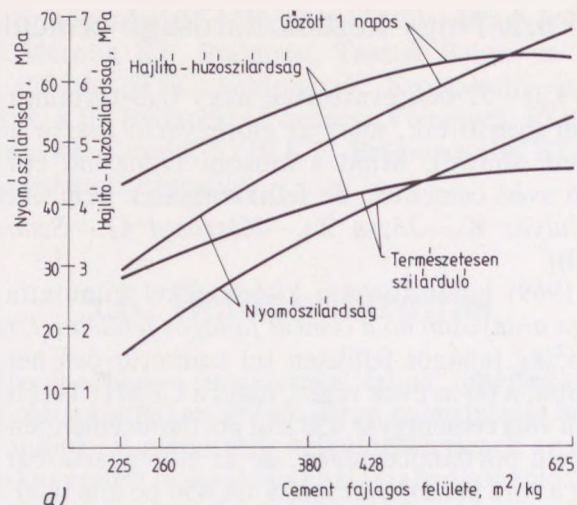
Balázs Gy. (1969) laboratóriumi kísérletekkel kimutatta, hogy a *beton nyomószilárdsága arányosan nő a cement fajlagos felületével*, míg húzószilárdságát kb. $350 \text{ m}^2/\text{kg}$ fajlagos felületen túl számottevően nem növeli (5.34/a ábra). A cementipar a 60-as évek végén, majd a CEMŰ Tatabányai Gyárában a 80-as években a váci cementgyár 450 jelű portlandcementjének utánörlesztésével állított elő 550 jelű portlandcementet, de az előregyártásban általában nem honosodott meg a torz árszerkezet miatt. (A 450 pc ára 1400 Ft/t, az 550 pc-é pedig 2200 Ft/t volt.) Egyedül a Békésmegyei ÁÉV-nél vezettek be kb. 40°C hőmérsékletű melegítéssel kombinált előregyártási technológiát. E technológiákhoz a kísérleteket az Építőanyagok Tanszéke végezte [Balázs Gy.—Kolostori J.—Székely I. (1989)].

5.6.2. A tömörség fokozása

A *víz—cement tényező csökkentésének* hatását a szilárdulásra [Balázs Gy. 1987)] az 5.34/b ábra szemlélteti. Kiseb vízcement tényezővel nemcsak a beton szilárdsága lesz nagyobb, de gyorsabban is szilárdul. A vízcement tényező csökkenthető vákuumozással is (5.7.1. fejezet). A vízcement tényező csökkentésére és a tömörség fokozására kb. 1930-tól gyártották a Tricosal N *adalékszer*t. A képlékenyítő adalékszerek használata azóta csak fokozódott. Folyósító adalékszerek a vízcement tényező csökkentése és a kezdőszilárdság növelése szempontjából hatásosabbak a képlékenyítő adalékszereknél. Kezdetben külföldről hozták be a Melment L 10 folyósító adalékszer-t, pl. a szabadbetonozású győri mosoni Duna-híd építéséhez, jelenleg hazánkban is gyártanak különböző folyósító adalékszereket (5.2.3. fejezet).

Az intenzív tömörítést a *vibro-sajtoló eljárásoknál* alkalmazzák. A legnagyobb nyomást az útburkoló kövek készítésénél fejtik ki.

A leghatásosabb tömítőanyag a *szilikapor* ígérkezik. A ferroszilícium és a fémszilícium-gyártás füstgázaiból leválasztott, 85—98 m% SiO_2 -tartalmú, amorf szerkezetű és $1200\text{—}2000 \text{ m}^2/\text{kg}$ fajlagos felületű port nevezik szilikapornak vagy mikroszilikának. Az 1987-ben megtartott „Igen nagy szilárdságú betonok felhasználása” c. konferencián arra a következtetésre jutottak, hogy az igen nagy szilárdságú betonok legegyszerűbben szilikapor és folyósító adalékszer segítségével állíthatók elő. A szilikapor azáltal fejt ki



← **5.34. ábra.** Betonszilárdítási példák: *a*) a cement őrlésfinomságának a hatása a beton nyomó- és hajlító-húzó szilárdságára; *b*) a víz—cement tényező csökkentésének és a kalcium-kloridnak a hatása a szilárdulásra; Cement: 450 kg/m³ tatabányai 600 pc; Tárolási hőmérséklet: kb. 18 °C; *c*) a hidratációhő időbeli alakulása a cementfajtától függően [Balázs Gy. (1987)]

hatását, hogy reakcióba lép a cement szilárdulása során felszabaduló kalcium-hidroxiddal és CSH-tá alakulva eltömi a beton pórusait. Ezáltal növeli tömörségét, szilárdságát, vízzáróságát [Balázs Gy.—Tóth J. (1989)].

5.6.3. A hidratációhő felhasználása

Szabványos cementjeink hidratációhőjének időbeli alakulását az 5.34/c ábra szemlélteti. A hidratációhő a betont felmelegíti. Jól hőszigetelt zsaluzatban ez a hő növeli a beton kezdeti szilárdságát. A várható szilárdság számítását Balázs Gy. (1987) ismertette. Az ÉTI az ún. „termoszmódszert” (a hidratációhő felhasználása hőszigetelt zsaluzatban) 1982-ben Budapesten (BULAV Tavasz utcai építkezés, Ujhelyi János—Ravasz Józsefné), valamint Szolnokon (Szolnoki Építőipari Szövetkezet, Ujhelyi János—Pál Károly) alagútzsaluzatos épületek kivitelezésénél ipari kísérletekkel eredményesen ellenőrizte. Továbbá a Szolnok megyei ÁÉV előre gyártó poligonüzemében próbálkoztak a technológiával. Valójában téli építkezéseknél sokfelé élnek ezzel a lehetőséggel azáltal, hogy az elkészített alaptestet, esetleg műtárgyat hőszigetelő anyaggal (szalma, nád, műanyaghab) betakarják.

5.6.4. Vegyi szilárdítás

Az *adalékszeres szilárdulásgyorsítással* kapcsolatban a legtöbb kutatást Balázs Gy. (1963, 1964, 1965) végezte. A kalcium-klorid hatóanyagú Tricosal S III jelű adalékszer kb. 1930, a Fémbetontet jelű kb. 1940, a Kalcidur jelű, acélkorrózió elleni inhibitorot is tartalmazó szert 1967 óta gyártja a magyar ipar, és ezeket elsősorban téli építkezéseken használják fel. Utóbbi időben a kloridmentes szerek kerültek előtérbe. A cement tömegére vonatkoztatott 1 m% kalcium-klorid — 20 °C hőmérsékleten — a beton 24 órás szilárdságát kb. kétszeresére növeli (5.34/b ábra).

A *karbonátosodás fokozásával* elérhető hatást hazánkban Székely Á. (1961) ismertette kandidátusi értekezésében. Ezt a szilárdítási eljárást akkor nem alkalmazták. A szén-dioxid kívülről érintkezett a betonelemekkel. A 80-as években a Szombathelyi Fagazdasági Kombinát kidolgozta a cementkötésű faforgácslapok szén-dioxiddal belsőleg kezelt módszerét, amelyből világszabadalom lett. Az eljárást a cementkötésű faforgácslapoknál ismertetem.

Az *autoklávólast* több gyárban alkalmazták a II. világháború előtt a mészhomoktégla szilárdítására. A mészhomoktégla szilárdításának napjainkban is ez az elfogadott módszere. Autoklávólaston a beton 180—220 °C-os gőzölését

értjük. A Földalatti Vasút építése kezdetén az ÉTI-ben *Széchy Károly*, *Palotás László* és *Vajda Béla* irányításával az *Illésy József* vezette kutatócsoport kidolgozta az autoklávolt tübbinggyártás módszerét [*Gnädig B.* (1955)], de nem került beépítésre. Ezt követően *Kilián J.* (1963) kandidátusi értekezésében ismertette az autoklávolt beton optimális előállításának módszerét és tulajdonságait, de jó tulajdonságai ellenére nem került ipari bevezetésre.

5.6.5. Hőkezelés

Az előregyártás területén a *gőzölés* terjedt el. Gőzölésen a beton mesterséges érlelését értjük 100 °C-nál kisebb hőmérsékletű, páradús térben.

1950-től nagyon sok kísérlet foglalkozott a gőzölés szabályainak a kidolgozásával. Az ÉTI-ben *Kunszt Gy.* (1961, 1962, 1963) a gőzölt beton tartósságával foglalkozott és 1964-ben megírta a világ valószínűen első és abban az időben legkorszerűbb gőzölési szabályzatát. *Pál K.* (1982) az energiatakarékosággal kapcsolatos kutatásai során különválasztotta a beton gőzölésére fordított hőenergiát a járulékos hőenergiától. Bevezette a cementhatékonysági tényezőt.

A SZIKKTI-ben *Révay M.* (1967) módszert dolgozott ki a *cementek gőzölhetőségének* a vizsgálatára. *Dombi J.* (1980, 1982) *Kaló J.*-vel kidolgozta a gőzölés betonkárosodást megelőző és energiatakarékos módszerét. A *Dombi* által kidolgozott módszer alapján szabályozott gőzölést valósítottak meg.

A II. sz. Hídépítési Tanszéken (1951—52) *Lipták János* végzett kísérleteket. Később az Építőanyagok Tanszéken *Kilián J.*—*Székely I.* (1965, 1967) vizsgálta a Dunai Cement Művek portland- és kohósalak pc-jeinek a gőzölhetőségét és a betonstruktúra változását gőzölés hatására. *Balázs Gy.*—*Erdélyi A.*—*Szűcs F.* (1966) az alsószolcai betonaljgyártás kapcsán tárgyalták a gőzölés egyes kérdéseit. *Balázs Gy.*—*Arany P.*—*Ostermann L.* (1981) a heterogén cementek gőzölhetőségét, *Balázs Gy.* (1964) a gőzölt betonok utószilárdulását, (1987) a gőzölt betonok viselkedését fagy hatására tanulmányozta. *Balázs Gy.*—*Kunszt Gy.* (1965) a moszkvai RILEM konferencia alapján a gőzölt beton romlásának okait (1965) és a betonszilárdítás terén elért legújabb eredményeket foglalta össze. *Balázs Gy.*—*Zimonyi Gy.*—*Zobel L.* (1967) a lehülés közbeni repedésveszélyre hívta fel a figyelmet és *Balázs Gy.*—*Berényi M.* és *Szentiványi B.* (1972) módszert dolgozott ki a feszültségek számítására. *Kilián J.* és *Székely I.* (1967) a gőzölésnek a cementkő szerkezetére gyakorolt hatását tanulmányozta. A heterogén cementek hidegérzékenységevel *Balázs Gy.*—*Zsigovics I.*—*Ostermann L.* (1981) foglalkozott.

A 60-as évek közepére a gőzölésről minden lényeges dolgot tudtunk. A gőzölés hatásfokát a *gőzölés órafokszámával* jellemezték, amelyen a gőzölési diagram alatti területet értették. Ennek az elvnek a felhasználásával dolgozta ki *Ozvári György*, *Kovács Kálmán*, *Gácsai István*, *Szirbik Sándor* és *Jáborszki Géza* a BVM Alsószolcai Gyárában 1979—80-ban az ETS-8 típusú automatikus vezérlésű gőzölési rendszert [*Balázs Gy.* (1987)], amely 1989-ben 189.492

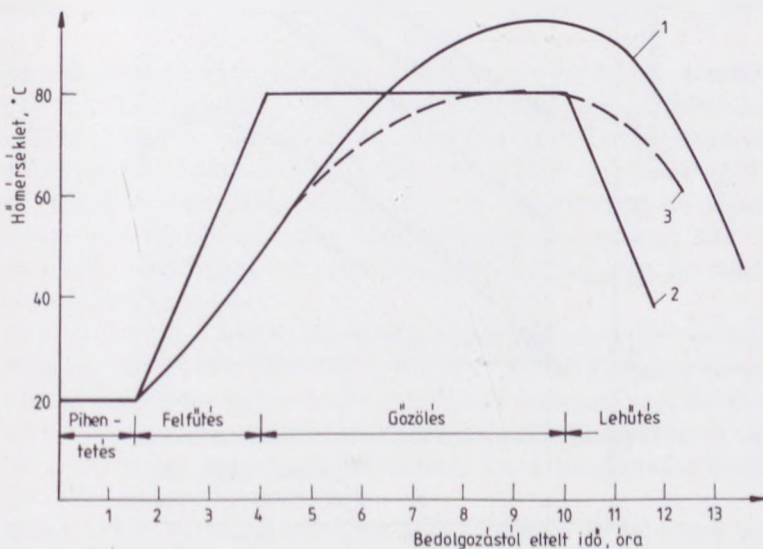
számon szabadalmi védettséget kapott. A BVM Alsózsolcai, Miskolci, Budapesti, Dunaújvárosi, Látatlan Gyárában összesen 25 db 8 csatornás szabályozót építettek be és ezzel kb. 10% gőzmegtakarítást értek el. A gőzölés-automatizálási szint növelésével foglalkozott Horváth J. (1982) is. Szikszai G. (1982), Lőrinc B. (1985) és Balázs Gy. (1987) az energiatakarékos betonérelés lehetőségét vizsgálta.

Ismert volt az is, hogy a gőzölt beton 28 napos szilárdsága kisebb, mint a természetesen szilárdulóé. Ennek mind kémiai, mind fizikai okai lehetnek, de a fizikait tartják döntőnek. A kémiai oka az, hogy a hidratációs folyamat hirtelen gyorsítása következtében a hidratálatlan cementszemcsén hidrátburok jön létre, amely fékezi a további hidratációt és rövid rostú CSH-ok keletkeznek.

A fizikai ok az, hogy nagy a különbség a beton alkotóelemeinek (adalékanyag, cementpép, víz, levegő) hőtágulási együtthatója között és a gyors felfűtés következtében a beton „feltáskásodhat”, megnő a porozitása, mikrorepedések keletkeznek.

Ez a fizikai struktúraromlás megelőzhető az alábbi eljárásokkal: a beton pihentetése a gőzölés kezdete előtt, a beton felhevítése a sablonba helyezést megelőzően, tömör beton készítése minimális vízzel és levegővel, esetleg utóvibrálással, zárt rendszerű sablon, mely a hőhatás okozta alakváltozást megakadályozza.

A gőzölt beton azonban károsodhat az izotermikus érelés szakaszában (5.35. ábra, 1) azáltal, hogy a hidratációhő miatt a beton felmelegszik és kiszáradhat még páradús gőztér esetén is. Ezt a vízvesztéséget lehet elkerülni a Dombi által kidolgozott szabályozott gőzöléssel (5.35. ábra, 2). Továbbá a gyors lehűtés repedéseket eredményezhet. Végül lehütéskor a beton annyira



5.35. ábra. A gőzölési diagram. 1 — a beton hőmérséklete; 2 — a kamra hőmérséklete; 3 — szabályozott gőzölés esetén a beton hőmérséklete

kiszáradhat, hogy utókezelés nélkül a még hiányzó szilárdulás elmarad vagy mérsékelt lesz.

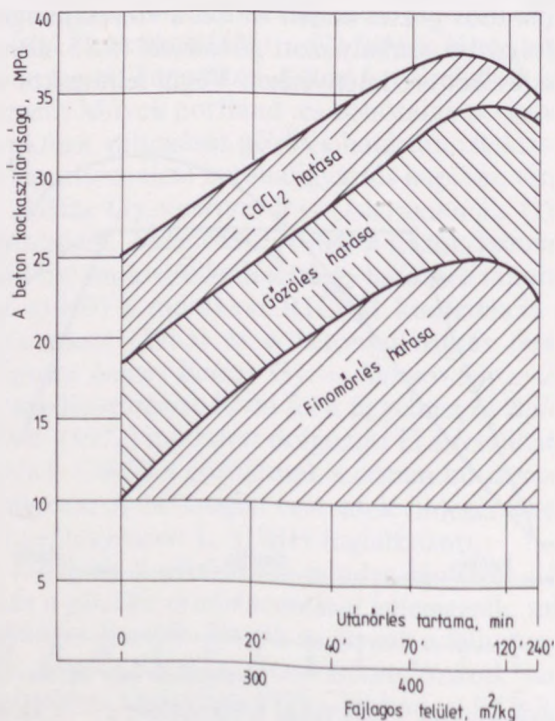
Sugárzó hővel (infravörös lámpával) szilárdították kezdetben a panelos lakások helyszíni kapcsolatainak a betonját. Ezt a módszert alkalmazták a százhalombattai kémények csúszózszaluzatos téli betonozásakor is [Ujhelyi J. (1978)].

Az *elektromos hőkezelést* is kipróbálták a győri vasútállomás építése során kísérleti gerendán (építette Hidépítő V., építésvezető *Penkala Tibor*, a kísérlet irányítója *Weiss György* volt). Nálunk, az energiaszegény országban, nem lehetett jövője.

A beton gőzölése során kívülről hat a hő és a betont nagyobb részben a sablonon át melegíti. 12—15% energiatakarékosság érhető el azáltal, hogy a gőzt közvetlenül a betonkeverékbe vezetik, és közvetlenül melegítik fel a beton alkotóit. Ez a *melegbeton*. Az előkészítő tanulmányt az ÉTI-ben *Pál K.* —*Lichtmanegger O.* és *Cséfalvy J.* (1977) dolgozta ki. A BVM-nél *Hubai Zs.* és *Huszár L.-né* (1973) foglalkozott a témával. Ez a technológia nagyon kényes, ezért nem vált be sem nálunk, sem külföldön.

A hőszilárdításról *Weiss Gy.* (1952) népszerűsítő füzetet írt.

A betonszilárdítási ismereteket hasznosították a téli építkezéseken, amelyről könyvek jelentek meg [Építési munkák... (1951), Sz. A. *Mironov* (1953), V. H. *Szizov* (1953), *Ócsvár R.* (1952)].



5.36. ábra. Kombinált szilárdítási technológiák együttes hatása [Balázs Gy. (1987)]

5.6.6. Kombinált technológiák

A kombinált technológiák közül *Balázs Gy.* dolgozta ki a cement őrlési finomságának növelése és a gőzölés együttes alkalmazása (1969), a gőzölés és kalcium-klorid együttes alkalmazása (1963, 1965), a gőzölés, a kalcium-klorid és az őrlési finomság növelése együttes alkalmazása (1987) módszerét, és kimutatta a különböző módszerek eredményezte hatások összegződését (5.36. ábra).

5.7. Különleges technológiák

5.7.1. Vákuumozott beton

A beton vákuumozását *Billner* szabadalmaztatta 1938-ban az USA-ban [*Palotás L.—Kilián J.—Balázs Gy.* (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.

A vákuumozás a II. világháború idején terjedt el az USA-ban és a Szovjetunióban, majd a háború után Lengyelországban és más országokban. Hazánkban az első kísérleteket *Weiss Gy.* (1952) végezte, majd az ÉTI *Armuth A.* (1962, 1963) és *Dobossy A.* 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 — *Ujhelyi János* által készített MI-04.19-81 is. Az irányelvek szerint az adalékanyag szemmegoszlása legyen folytonos és feleljen meg kb. az $AB—BC$ határgörbék által határolt területnek (megfelel a B görbe szerintinek). A cementtartalom olyan legyen, hogy a betonban a péptelítettséghez szükséges pép mennyisége $300—450 \text{ l/m}^3$ legyen, ami $250—400 \text{ kg/m}^3$ cementtartalomnak felel meg az adalékanyag szemmegoszlásától függően.

A $0,1 \text{ mm}$ -nél kisebb homok mennyisége a cementtel együtt ne legyen több $375—450 \text{ kg/m}^3$ -nél. A beton konzisztenciáját *TREMIX-eljárás* esetén a képlékeny és kissé képlékeny beton határán célszerű felvenni, terülés $42—46 \text{ cm}$. A vákuumozott beton összetételét előkísérlettel kell ellenőrizni. A vákuumozott beton szilárdsága akkor nő jelentősen, ha a vízelszívást tömörítéssel kapcsolják össze (vibrovákuumozás).

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

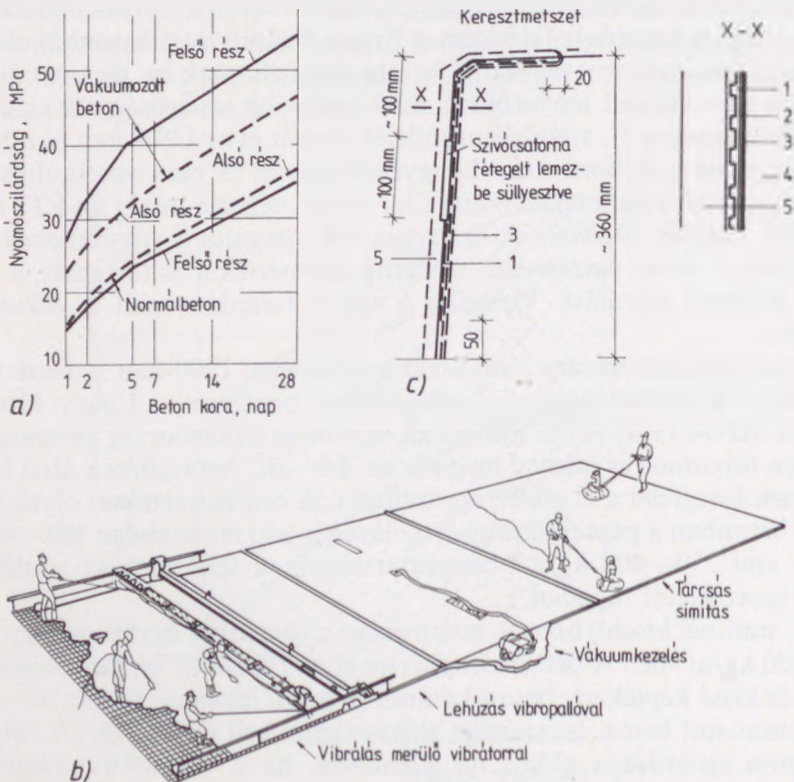
A vákuumozással ezt követően kevés épületet építettek. Majd a Hídépítő Vállalat kezdte el alkalmazását hidpályalemezknél 1980-ban, nagy sikerrel. Nevezetesebb alkalmazások: M0 autópályán a hárosi Duna-híd, dunaharaszti híd, Győr várost elkerülő autópálya hídjai, Millenniumi Földalatti Vasút felújítása.

A Hídépítő Vállalatnál a vákuumbetont *TREMIX*-eljárással készítik. A TS-B 26-89. sz. technológiai leírás szerint a vákuumozás a nyomószilárdságot és a kopásállóságot éppen a vákuumozott betonkéregben javítja meg, míg a hagyományos betonoké — a bizonytalan utókezelés, a cementpép felferődése miatt — itt a gyengébb (5.37/a ábra).

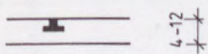
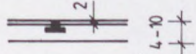
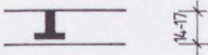
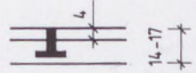
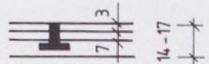
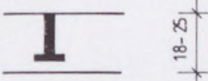
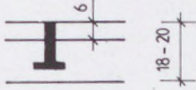
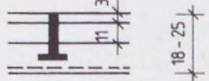
A vákuumozott beton készítésének menete (5.37/b ábra):

— A beton tömörítése merülővibrátorral, ha a rétegvastagság 15 cm-nél több.

— A betonfelület lesimítása vibrogerendával. A vibrogerenda hossza 3,2, ill. 6,2 m. A vibrogerenda akkor simít jól, ha a lehúzási sebesség 1 m/min és a vibrogerenda előtt 1—2 cm magas a beton.



5.37. ábra. A beton alsó és felső részének a nyomószilárdsága közötti különbség vákuumozott és normál beton esetén (a ábra); a *TREMIX*-eljárás munkafolyamata (b ábra); példa hidszegély vákuumozására (c ábra); 1 — belső szűrőszőnyeg (filter) (sárga), 2 — zöld háló, 3 — takarószővet, 4 — beton, 5 — zsalutábla. (A Hídépítő V. TS-B 26-89 jelű segédlete)

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

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

— Vákuumozás. A berendezés vákuumszivattyúból és kétrétegű vákuumszőnyegből, a vákuumszőnyeg egy alsó filterszőnyegből és egy felső szőnyegből áll. Az alsó szőnyeg meggátolja, hogy a szívás hatására a cement és a finomhomok a betonból eltávozzék. A filterszőnyeg nem sík, hanem redős. A redők teszik lehetővé a vákuum egyenletes elosztását és a kiszívott víz elvezetését.

A filterszőnyegen levő felső szőnyeg szövet alapú, mindkét oldala műanyaggal vagy gumival van bevonva. E szőnyeg közepén van a szívóréteg a hozzá-

5.7. táblázat. A 31. sz. Állami Építőipari Vállalat kivitelezésében vákuumtechnológiával készült jelentősebb padlószervezetek (1992-ig)

Budapest Sportszarnok
 Bevásárló központ, Balatonföldvár
 Balaton Bútorgyár, Veszprém
 IKARUS üzemcsarnok, Szeged
 Műjénpálya, Szeged
 Műjénpálya, Tatabánya
 Hűtőház, Nyírlugas
 VIDEOTON III. sz. raktára, Székesfehérvár
 VIDEOTON CD lemezüzem, Székesfehérvár
 Alba Regia Építőipari Vállalat lakkozó- és leplestítő üzeme
 Építők SC teniszcsarnoka, Budapest
 HUNGARORING főépülete, Mogyoród
 TVK PPGY III. raktárépülete, Lenínváros
 Alföldi Porcelánárugyár szaniter bővítés, Hódmezővásárhely
 MÁV üzemépülete, Békéscsaba

csatlakoztatható szívócsonkkal, amelyhez a szívótmömlőt megfelelően kell csatlakoztatni.

Hídszegély vákuumozására példát az 5.37/c ábra szemléltet.

A vákuumozási idő a lemez vastagságától és a légritkítás mértékétől függ. A hidépítésben a víz 15—25 m%-át célszerű elszívni.

— A felület tárcsás simítása forgótárcsás gépi simítóval a szőnyeg eltávolítása után.

Végül a betont 14 napig nedvesen tartják. A nedvesen tartást a beton mattulásakor, de legkésőbb 3—4 óra múlva meg kell kezdeni.

Szigorúan ellenőrzik (a hidépítésben mixerkocsinként) a beton területét és csak az előírt területű betont szabad beépíteni. A betonozásról jegyzőkönyvet vezetnek, amelyben a konzisztencia mérőszámán kívül feltüntetik a vákuumozás tartamát és az elszívott víz mennyiségét. Egyébként csak a beton összetételét ellenőrzik.

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

A vákuumpadló előnyei:

— gyors szilárdulás: 12 óra múlva járható, 24—48 óra múlva használatba vehető;





b



c

5.39. ábra. Csarnoképület betonburkolatának építése vákuumozással a Ferihegyi repülőtéren: a) a beton bedolgozása felületi vibrátorral; b) a sárga színű szűrőszövet és a kék színű vákuumpaplan létesítése; c) felületsimítás (Varga László felvétele, BUV)

— megnő a beton nyomószilárdsága a hagyományosan készített betonéhoz képest;

— nő a beton tömörsége, tehát vízzárósága, fagyállósága, vegyszerállósága;

— a kopásálló beton adalékanyaga bazalt, a szikramentesé mészkő, mint a hagyományos betonburkolatoknál.

A padlókészítés fontos eleme a TREFORM-gerenda (5.38. ábra), amelynek feladata:

— padlókészítés során a beton oldalzsaluzata;

— a felületképző vibrogerenda vezetősínje;

— dilatációs hézagképző;

— javítja a vasaláselhelyezés pontosságát.

Vákuumtechnológiával megépített jelentősebb padlószervezeteket az 5.7. táblázatban foglaltuk össze.

A Betonútépítő V. TREMIX-eljárással készítette a Ferihegyi Repülőtér csarnoképületének betonburkolatát. Néhány munkafázist az 5.39. ábra szemléltet.

5.7.2. A pörgetett beton

Körszimmetrikus beton-, vasbeton és feszített vasbeton elemek (csövek, távvezetéki oszlopok) egyik tömörítési módszere a pörgetés.

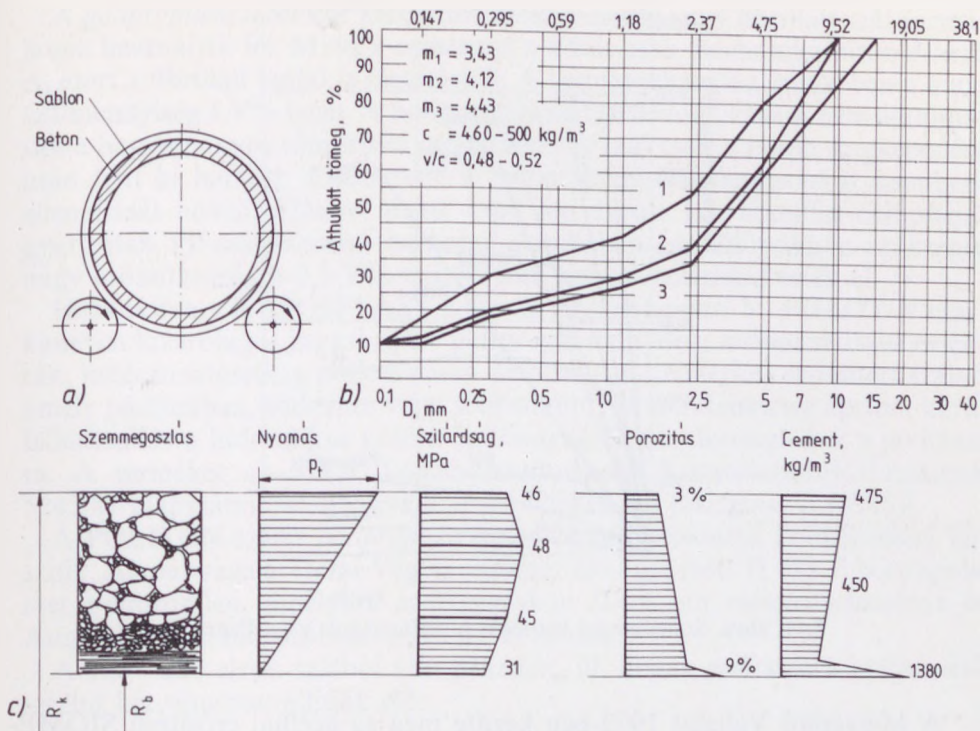
A pörgetés során a két félhengerből összecsavározott acélsablont vízszintes tengely körül nagy fordulatszámmal meghatározott ideig forgatják (5.40/a ábra). Forgatás közben a sablonban lévő friss betonra a centrifugális erő hat, amely a beton alkotóit a sablon falának nyomja. Így jön létre a pörgetés tömörítő hatása, amely a beton testsűrűségének, a készített elem sugarának és a fordulatszámnak a függvénye.

A pörgetés elméletét és technológiáját *Csutor J.* (1967) foglalta össze.

Hazánkban működött az 50-es évek első felében az I. sz. Épületelemgyárban a Hunziker csögyártó gép, majd 1972 óta a ROCLA-csöveket gyártják pörgetéssel (13.3. fejezet).

A MÁV villamosított vonalaihoz a tartóoszlopokat Csehszlovákiából szerezte be és sikeresen alkalmazta. Ezért a csehszlovák betonösszetételi példát mutatom be az 5.40/b ábrán. Más országokban a cementtartalom 650—700 kg/m³. *D* általában 8—10 mm. A kezdeti víz—cement tényező a pörgetés végére 0,38—0,42-re csökken le, ezáltal a kezdeti 4,5—7,5 cm kúproskadású beton 0,2—0,7 cm roskadású lesz.

A pörgetés során a beton alkotóinak szemnagysága a csőszerű elem külső felületénél a legnagyobb és befelé csökken. Ennek megfelelően változik a cső falvastagsága mentén a beton szilárdsága, cementtartalma, porozitása (5.40/c ábra).



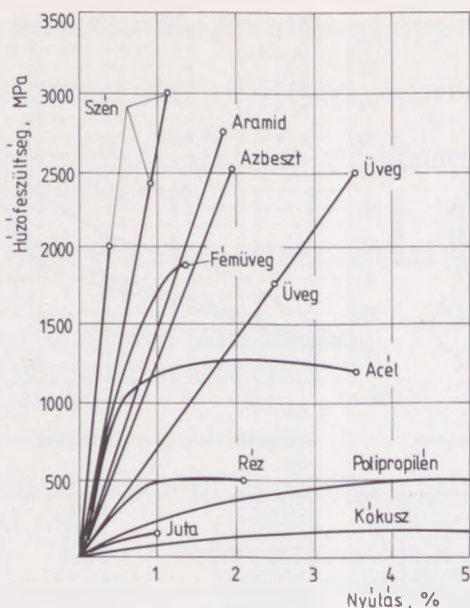
5.40. ábra. Pörgetett beton: a) pörgetőrendszer, b) betonösszetétel pörgetett beton csövekhez csehszlovák csögyárakban, c) pörgetett beton inhomogenitása [Csutor J. (1967)]

5.7.3. Szálerősítésű beton

A beton közismerten rideg anyag és minél nagyobb szilárdságú, annál ridegebb. Felmerült a gondolat, hogy a beton tulajdonságait szálerősítéssel javítsák meg. Legrégibb szálerősítésű cementkötésű anyag az azbesztcement, amelyet kb. 8 évtizeden át sikerrel alkalmaztak. A betonba elsősorban az acélszálat, és utóbbi időben a műanyag alapú szálakat használják. A jelenleg számításba vett szálak σ — ε diagramját az 5.41. ábra szemlélteti [Balázs Gy. —Tóth J. (1989)].

A szálerősítésre vonatkozó gyakorlati ismereteket (1980-ig) Balázs György foglalta össze [Palotás L.—Balázs Gy. (1980)]. Az acélszál erősítéséről kitünő könyv jelent meg Szabó Ivántól (1976), amely részletesen elemzi mind a szálerősítésre vonatkozó elméleti ismereteket, mind összefoglalja a gyakorlati alkalmazási példákat.

Szabó Iván nevezte el az acélszál erősítésű betont *acélhaj betonnak*. Mai felfogásunk szerinti acélhaj beton elméleti-műszaki alapjait J. P. Romualdi és G. B. Batson (1963) tanulmánya rakta le. Az acélhaj betont Romualdi szabáldalmaztatta 1965-ben Wirand elnevezéssel. Hazánkban az elméleti alapokhoz Fekete T. (1973), Palotás L. (1975) és Szabó I. (1976) járult hozzá.



5.41. ábra. Szálerősítésű betonok: a száanyagok $\sigma - \varepsilon$ diagramja

A Mélyépítő Vállalat 1972-ben kezdte meg az acélhaj erősítésű SIOME-csővek gyártását Szabó Iván irányításával. A gyártás megkezdése előtt kísérle-
leztek (13.3.2. fejezet).

Eddigi kísérletek és tapasztalat szerint az a kritikus acélszálhossz, amelynél repedésképződés esetén a szál nem húzódik ki, legalább $300d$ (d a szálátmérő). A gyakorlatban 0,25 és 0,5 mm átmérőjű *acélszálakat* gyártanak, és a kritikus hossz 75, ill. 150 mm lenne. Azonban a hagyományos módszerekkel csak kb. a harmada hosszúságút lehet jól bedolgozni. Ma már gyártanak hajlított végű szálakat (DRAMIX), ezektől várható a jó lehorgonyzódás. Leggyakoribb az 1 V%-os adagolás, ami kb. 80 kg/m^3 -nek felel meg. A szokásos cementtartalom $350 - 550 \text{ kg/m}^3$, mert a cementkőben kell a szálnak lehorgonyzódnia. Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága 10 mm. Legkedvezőbb szálorientáció esetén kb. 15%-kal nő a beton nyomó- és 90%-kal a hajlító-húzószilárdsága. Legnagyobb mértékben az ütve-hajlító szilárdságot növeli. Az acélszálás erősítést felhasználták a következő szerkezetekhez:

- Nagytömörségű betoncsövek repedésbiztonságának fokozása (pl. SIO-ME cső a Mélyépítő V.-nál).
- Különösen alkalmas lövellt betonhoz (vágatbiztosítás, meghibásodott hidak, vízepítési vasbeton szerkezetek javítása).
- Nehéz és könnyű teherbíró födécek ipari és kereskedelmi épületekhez, vízi létesítményekhez, repülőtéri kikutópályákhoz.
- Ferrocementtel kombinálva hajoépítéshez ($D = 4 \text{ mm}$) és más vékonyfalú szerkezetekhez.

A *polipropilénszálat* kör keresztmetszetű monofil vagy fibrillált szál formájában használják fel. Mivel a cementtel a kötés csak mechanikai úton érhető el, ezért a fibrillált szálak a megfelelőek. A bedolgozhatóság érdekében a max. szálmennyiség 1 V% lehet. A polipropilénszálak bedolgozására nem alkalmasak a hagyományos tömörítési módszerek. A szál csak a beton megrepedése után fejti ki hatását. Elsősorban a beton dinamikus hatásokkal szembeni ellenállását növeli. Előnyei miatt 1969 óta évente kb. félmillió cölöphéjat gyártottak PP-szálerősítésű betonból Angliában. A cölöpökhöz szükséges nagy ütőszilárdságot 0,5 V%-nyi, 40 mm hosszú szálakkal érték el.

Hazánkban a KAPOSPLAST Kefe- és Műanyagipari V. *POLITON* márkanéven kizárólagos joggal gyárt polipropilén anyagú, monoaxiálisan orientált, keresztmetszeteileg periodikusan deformált és felületileg érdesített szálat, amely pászmában, sodortan vagy sodratlanul, de mindenesetre aprítva kerül felhasználásra hidraulikus kötésű építőanyagok tulajdonságainak a javítására. A terméket az MTA Természettudományi Kutatólaboratóriumainak 5245/87 alapszámú találmánya alapján állítják elő [*Dezsényi I.* (1988)].

A *POLITON*-szálat *polipropilén* ömledékéből közvetlen szálképzéssel készítik. Alapanyaga a Tiszai Vegyikombinát által gyártott H 531 F homopolimer polipropilén, amelyhez szálképzéskor $D=5\ \mu\text{m}$ mészkőrleményt és Atmer 129 jelű hidrofóbozó anyagot kevernek.

A 120—220 elemi szálból álló pászmát, ill. annak sodratát a szálatmérő szerint két típusban állítják elő:

az <i>A</i> típus szálatmérője	130 + 20 μm
a <i>B</i> típusé	180 + 20 μm .

A szálak periodikus keresztmetszeti deformációjának mértéke kb. 20%, egymás közti távolsága kb. 1,2 mm, a deformált szakasz hossza kb. 0,4 mm.

A sodratlan pászmájú szálat csévében, a sodrott pászmájút zsákoltan 20, 40, ill. 60 mm hosszra aprítva forgalmazzák.

A szál mechanikai tulajdonságai:

- szakítószilárdsága min. 400 MPa,
- szakadási nyúlása max. 15%,
- rugalmassági modulusa min. 6 GPa,
- tapadószilárdsága min. 2 MPa.

A szál felhasználását cement- és mészhabarcsba, könnyű- és normálbetonba, gipszbe ajánlják.

Adagolása kétféle: a *premix-eljárás* során a vagdalt szálakat a megkevert betonhoz adagolják, majd adagolás utáni 30—40 s tartamú utókeveréssel a pászmák elemi szálakká bomlanak és egyenletesen oszlanak el. A szálak térbeli elrendezésűek. A *spray-eljárás* során a csévében szállított, sodratlan pászmákat a helyszínen aprítják és a megkevert betonnal együtt lövellő eljárással szórják fel a szerkezetre. A szálak síkban orientáltak lesznek.

Az 1989-ben kiadott műszaki feltételek szerint a vagdalt *POLITON*-szálak növelik a frissbeton állékonyosságát, ezáltal gyorsítják a kizsaluzhatóságot,

csökkentik a kivérzést, javítják a vízmegtartó képességet, csökkentik a szállítás közbeni szétosztályozódást, a zsugorodást. Lövellt betonban mérséklik a visszahullt anyagmennyiséget.

A POLITON-szálak a kezdeti húzószilárdságot nagyobb mértékben, 28 napos korban 5—10%-kal növelik. A nyomószilárdságot nem növelik. Elsődleges hatásuk az, hogy kb. 100%-kal megnövelik a beton ütvehajlító szilárdságát, ami betonutak, repülőtéri kifutópályák esetén kedvező. Növelik a beton kopási ellenállását, fáradási szilárdságát. A műszaki feltételek szerint kb. 100%-ban növelik a beton fagy- és sózásállóságát. A szívósság kb. kétszeresére nő.

Ajánlott alkalmazási területek:

- minden előregyártott elemhez a sérülések csökkentése érdekében,
- utakhoz, hidakhoz, repülőterekhez a fagy- és sózásállóság, valamint a kopásállóság növelése miatt,
- ipari padozatokhoz, villamosvasúti lemezaljakba a kopásállóság miatt,
- vasbeton cölöpökbe az ütészilárdság növelésére,
- vízzáró homlokzati és hőszigetelő vakolatokba.

Az adagolás mértéke *kiegészítőanyagként* betonokhoz 1, habarcsokhoz 3—5 kg/m³, erősítő anyagként $D=4$ mm adalékanyagú homokhoz 18—20 kg/m³ premix- és 25—35 kg/m³ spray eljárásához.

Dezsényi István, akitől a POLITON-szálakra vonatkozó információs anyagot kaptam, elvégezte a POLITON-szálak hatékonyságvizsgálatát 1988-ban, és összehasonlította az Európában használt szálakkal (5.8. táblázat). Az Ybl Miklós Műszaki Főiskolán *Bálint* Júlia, a Széchenyi István Műszaki Főiskolán *Guzmics* János végzett vizsgálatokat POLITON-szálás betonokkal.

Eddigiek során víztároló, szennyvíztisztító telepek építéséhez, cölöpök, burkolóelemek, magas kéregpanelek készítéséhez használták és eredményesen vizsgáztak. Fő terjesztője a DÉLVIÉP vállalat volt, amelynek laboratóriumában *Sántha* Béla végezte a kísérleteket.

A *DOLANIT-szálakat* az USA-ban és Németországban kísérletezték ki az azbeszt helyettesítésére az 50-es években. 1960 óta iparilag gyártják poli(akril-nitril)-ből. Építőipari felhasználásukról *Kiss* Rita „A poli(akril-nitril) anyagú DOLANIT-szálak használata az építőiparban” c. dolgozatában számolt be (1994-ben megjelenik az *Építőanyag* c. folyóiratban). Megadta a *G. König* vezetésével a Darmstadti Műszaki Egyetemen kidolgozott méretezési eljárást is.

Az *üvegszál* felhasználását nehezíti az, hogy a beton erősen lúgos kémhatású, az üvegszálat elkorrodálja. Még az E-üveg (boroszilikátüveg) ellenálló képessége is kevés. Azonban már alkalmas pl. bennmaradó zsaluzat készítésére. A korróziós hatás ellensúlyozására dolgozták ki a 12—14 m% ZrO₂-tartalmú Cem-fil üvegszálat, a szerves bevonatos Cem-fil 2 szálat, és a Forton üvegszálat (polimer komponensekkel javított E-üvegszál). Nincs egyetértés abban, hogy elsődleges teherhordó szerkezetekhez alkalmas lesz-e, de másodrendű teherviseléshez mindenképpen.

5.8. táblázat. Európában gyártott szálak összehasonlítása
(Dezsényi István)

Típus	Eredet	Szakítószilárdság MPa	Modulus GPa	Vagdálási hossz mm
DOLANIT	Hoechst/NSZK	400—500	15	6, 12, 18
Krenit	Dánia	400—500	11—13	6, 12, 18
FORTA	Svájc/USA	400	5	19, 38, 57
FIBREMESH	Anglia/USA	500—700	3,5	19,51
POLYCRETE	Dánia	500	7,5	5, 10, 15
SYNPLATE	Belgium	300	5	53
POLITON	Magyarország (KAPOSPLAST)	500	6	25, 40, 60

Dezsényi I. (1980) ZrO₂-üvegszállal erősített habarccsal végzett kísérleteit, a beton elérhető tulajdonságait ismertette. A szerkezetépítésben bennmaradó zsaluzatként általánosan elterjedt, és ritkábban homlokzati panelekként használatos.

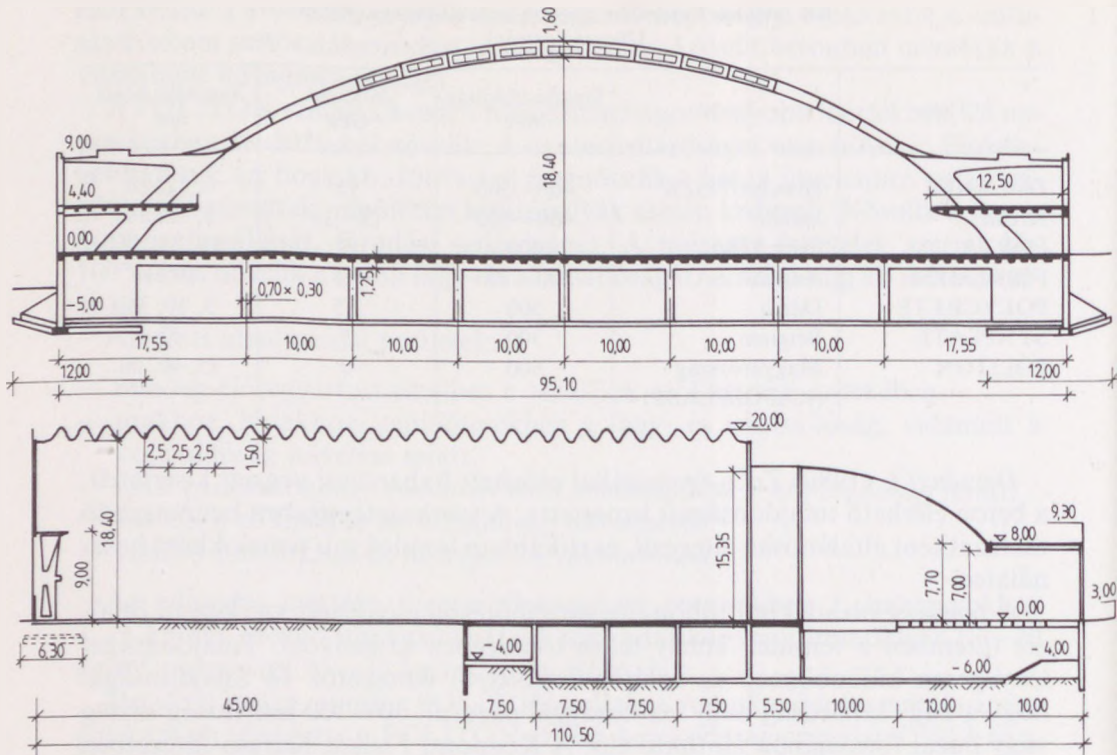
A fémüveg olvadékból többnyire gyorsítással előállított szerkezetű ötvözet (szemben a fémmel, amely teljes tömegében kristályos). Tulajdonságai lényegesen különböznek az azonos összetételű fémekétől. Jó tulajdonsága, hogy a nagy szilárdság nagy szívóssággal párosul. 30—100 µm vastag szalag vagy huzal formájában állítható elő. A Központi Fizikai Kutató Intézetben állítottak elő Fe₇₄Cr₆B₁₄S₆ összetételű fémüvegszálakat, amellyel a DUTÉP-nél Magyarai Béla (1986) kísérletezett. A habarcsba 0,5—2 V%-nyi szálakat adagoltak. Az eredmények biztatóak. A kísérletek abbamaradtak. Folytatás esetén a minőségegyenletességet és a törekenységet javítani kellene.

5.7.4. Ferrocement

A szabványok szerint megszerkesztett vasbeton lemez, héjlemez 6 cm-nél vékonyabb nem lehet, ha feltételezzük a kétoldali vasalást és az előírt betonfedést. Héjszerkezetekben gyakran kisebb vastagság is elég lenne. A vastagság csökkentését csak a ferrocement és a szálerősítés teszi lehetővé.

A ferrocement olyan hálókkaal vagy egyedi betétekkel és hálókkaal erősített finomadalékszemcsés beton (habarcs), amely legfeljebb 30 mm vastag. Ősének a Monier-virágcerép és a Lambot-csónak (7.1. fejezet) tekinthető [N. H. Thanh (1987)].

A ferrocement igazi apostola Nervi, híres olasz építész volt. Bartolival 1945-ben az Irene nevű 165 t vízkiszorítású vitorláshajót tervezte és építette. Nervi a ferrocementből építőipari szerkezetet 1946-ban tervezett, egy raktárat Rómában, amelynek fal- és tetőelemeit egyaránt 3 cm vastag előregyártott ferrocement elemekből készítették [Náday G.—Weisz Gy. (1964), P. Desideri—P. L. Nervi—G. Positano (1983)].



5.42. ábra. Nervi torinói kiállítási csarnoka [P. Desideri—ifj. P. L. Nervi—G. Positano (1983)]

A világháború után Nervi megalkotta híres építészeti alkotásait, amelyek szerkezeti megoldásaikkal és méreteikkel tűnnek ki. Ilyenek: magasházai (Centro Pirelli, Milano), gyárpéletei (Cartiera Burgo, Mantova), nyitott stadionjai (Stadio Flaminio, Róma), hídszerkezetei (Ponte del Risorgimento, Verona) [Balázs L. Gy.—N. H. Thanh (1990)]. Közülük a leghíresebb a 91 m fesztávolságú torinói kiállítási csarnok 1949-ben (5.42. ábra).

E szerkezetek merészségét és Nervi zsenialitását talán az érzékelteti legjobban, hogy építményei m^2 -re vetített önsúlya az ókor és a középkor híres kupoláihoz képest (legnagyobb támaszközü a római Pantheon volt, amelynek 42 m átmérőjű, félgömb alakú kupoláját i. e. 27-ben építették) 25 kN/m^2 -ről 2 kN/m^2 -re csökkent. Természetesen sem hajlított síklemezt, sem lemezből hajlított dongahéjat készíteni nem lehetett. Nervi a vékony lemezek hajlítómérségségét a hullám vagy trapéz keresztmetszetű szerkezetekkel érte el. A vízzárósággal sem volt baj, mert a cementtartalom $700\text{--}1000 \text{ kg/m}^3$ volt [Náday G.—Weisz Gy. (1964)]. Nervi alkalmazta először a ferrocementet többször felhasználható zsaluzatnak.

Azonban mégsem terjedt el úgy, ahogy várni lehetett volna, mivel megfelelő hálóvasalást és igen gondos technológiát kíván. Persze több országban kísérleteztek. A Szovjetunióban 1957-ben építették az első csarnoktetőt. Kidolgoz-

ták a számítási anyagjellemzőket. Így pl. a névleges szilárdság háromnegyedét tekintették határfeszültségnek. 30 MPa habarcsszilárdság és 2/cm felületi tényező (cm² acélfelület: cm³ ferrocement térfogat) esetén:

Igénybevétel	Szabványos szilárdság MPa	Határfeszültség MPa	Rugalmassági modulus MPa
Húzás	6	4,5	5 000
Nyomás	24	18	20 000
Hajlításból származó húzás	12	9	5 000
Hajlításból származó nyomás	24	19,5	15 000
Hajlításból származó nyírás	6	4,5	—
Tiszta nyírás	9	6	—

A leningrádi 105. sz. Trösztnél kétféle típusú szerkezetet dolgoztak ki. A vonóvasas ívtartót 12 és 18 cm támaszközre (5.43/a ábra) és a gerendajellegű elemeket 6—18 m támaszközre (5.39/b és c ábra) [Náday G.—Weisz Gy. (1964)].

Lendületet adott a ferrocementnek a National of Academy of Sciences 1973. évi cikke [National... (1973)]. Konferenciák foglalkoztak a ferrocementtel. Napjainkban a thaiföldi Nemzetközi Információs Központ irányítja a ferrocementtel kapcsolatos tájékoztatást.

A ferrocement fő alkotója fogalmaink szerint olyan cementhabarcs, amelyhez tiszta portlandcementet vagy kis hidraulittartalmú portlandcementet célszerű felhasználni. A homok maximális szemnagysága 2,5 mm-nél, ill. a ferrocement vastagsága harmadánál nagyobb ne legyen. Az optimális finomsági modulus $D=2,4$ esetén 2,9—3,1, $D=1,2$ mm esetén 2,5. A cementtartalom 500—800 kg/m³.

Erősítésül növényi rostok, üvegszál is számításba vehetők, de leggyakoribb a fonott, hegesztett és a sodrott acélháló (5.43/d ábra). Az acélháló rendszerint 1 mm-nél kisebb átmérőjű galvanizált huzalokból áll (korrózióvédelem miatt), a háló nyílásmérete 6—25 mm. Az erősítésül használható vázszerkezetű vasalás is, amelyhez 3—8 mm átmérőjű köracélt használnak, 70—100 mm-es hálósztással [N. H. Thanh (1986, 1987, 1988)].

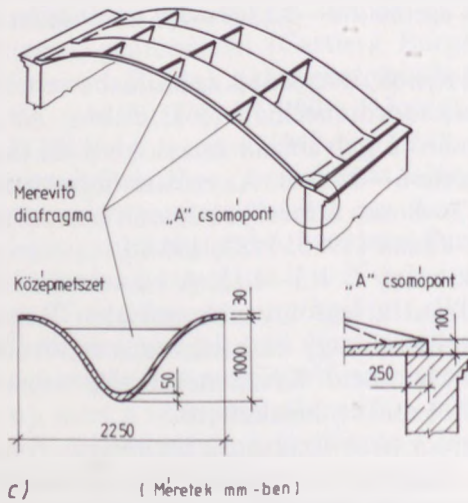
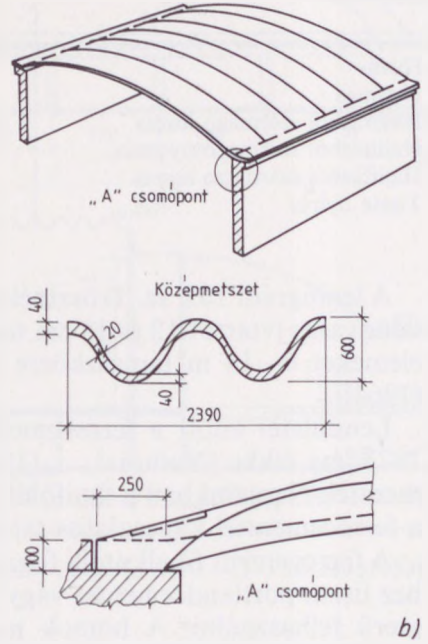
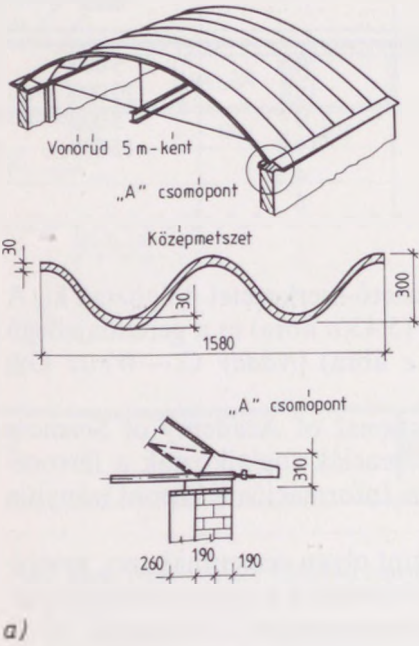
A cement—homok arány 1 : 1,5—1 : 2. A víz—cement tényező 0,4—0,5. A ferrocement bedolgozása a legfontosabb művelet. Rendszerint kézi erővel dolgozzák be, de lövelléssel vagy kézi felhordás és lövellés kombinációjával igen tömör szerkezet készíthető. Készítenek belőle csónakokat, hajókat, víztartályokat, tetőfedő elemeket, héjakat stb.

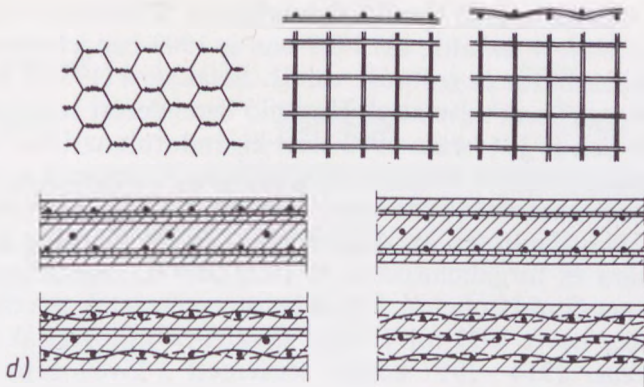
A jól elkészített ferrocement vízzárónak tekinthető. A nagy cementtartalom miatt zsugorodásra hajlamos és repedésérzékeny, de éppen az az erősítő vasalás szerepe, hogy a repedésveszélyt csökkentse, ill. kiküszöbölje.

A nagy tömörségre a korrózió elleni védelem miatt szükség van. Ugyanis a betonfedés a háló felett (5.43. ábra) kb. 3 mm. Ha a cinkbevonat megsérül,

akkor a vasalás galvánelemként működik, és pedig az acélbetét katódként, a cinkbevonat pedig anódként viselkedik.

Hazánkban N. H. Thanh (1986) kandidátusi értekezésében az optimális habarcsösszetétel kidolgozásával, a ferrocement törési mechanizmusának a vizsgálatával fejlesztette tovább az ismereteket.





5.43. ábra. Ferrocement felhasználása: a) vonóvasas kéthullámú ívszerkezet ferrocementből; b) gerenda jellegű kéttámaszú, kéthullámú tetőfedő elemek ferrocementből; c) gerenda jellegű, kéttámaszú, egyhullámú tetőfedő elemek ferrocementből [Náday G.—Weisz Gy. (1964)]; d) ferrocement vasalása [N. H. Thanh (1987)]

5.7.5. A lövellt beton

A lövellt beton nem újfajta beton, hanem olyan betonkészítési eljárás, amely rendszerint egymástól el nem választható módon egyesíti a beton előállításának fő technológiai fázisait: a keverést, a szállítást és a bedolgozást. A betont a bedolgozás helyére kb. 100 m/s sebességgel lövelve hordják fel. A nagy erővel ütköző beton megtapad, tömörödik, és a folyamatosan lövellt külső betonrétegek a korábbiakat tömörítik. Mivel a 20-as években a Torkret cég gyártotta a szükséges gépészeti berendezéseket, ezért a *torkretbeton* elnevezés terjedt el.

A lövellt beton **történetének** főbb állomásai:

1902-ben készítettek lövellt beton vakolatot Wuppertal városban a rajnai vasutak alagútjában Zyklon márkanevű berendezéssel. A cementhabarcsot 1:1 arányban szárazon keverték és csak a fúvókában keveredett a vízzel.

1908-ban Vass József (1867—1954) szabadalmat nyújtott be Drezdában, majd Budapesten „Eljárás falaknak habarcszerű anyagokból való felépítésére, ill. tetszés szerinti falak vakolattal való ellátására” címmel. A második szabadalma „Eljárás és berendezés különböző fajsúlyú anyagok nehezen folyó keverékeinek folytonos szállítására és felületekre fúvására” tárgyú, Drezdában DRP 264.766. sz. alatt 1911. jan. 2-án, Budapesten 57.603. sz. alatt 1912. okt. 12-én kapott szabadalmat. Ez a berendezés megszüntette a korábbi berendezések hibáit (adagolónyílások eltömődése, nagyon súlyos alkatrészek) és lehetővé vált a folytonos szállítás. A gép keverőből, dugattyúból, zsilipekből, membránokból és egy sűrített levegőt közvetítő készülékből állt. Mivel az építővállalatok drágállták, nem terjedt el. Szabadalmát a szakirodalom rendszerint meg sem említi.

A beton és habarcs száraz lövellő eljárásának a felfedezőjeül általában az amerikai C. E. *Akeleyt* tekintik, aki 1908-ban és 1909-ben jelentette be szabadalmait. Természetbúvár és szobrász volt [I. *Berkovitch* (1984)]. Betonlövellő gépét „Cement gun”-nak nevezte el. Hasonló berendezést szabadalmaztatott C. *Weber* 1914-ben és 1915-ben. 1902 előtt kivándorolt az USA-ba, 1917-től műszaki igazgatója volt a Torcrete Shipbuilding Corporation New-York-i cégnek. Tőle származtatják a „torcrete” elnevezést. 1919-ben visszatért Németországba. Megalapította az Allgemeine Torcret GmbH-t betonlövellő gépek gyártására és forgalmazására, és 1920-ban E. *Burbach* mérnökkel a Deutsche Torcret GmbH-t beton, lövellt beton szerkezetek tervezési és építési munkáira. A cég nevét 1921-től Torkret GmbH-ra változtatták és még működtek. C. *Weber* 1914—1917 között bejelentett 3 lövellőgépre vonatkozó szabadalmából kettőt átengedett az amerikai Cement Gun Company-nak. 1921-ben a Torkret GmbH újabb szabadalmat jelentett be, amely a napjainkban is használatos száraz eljárás alapját képezi. *Weber* nedves lövellő eljárás kidolgozására irányuló kísérletei nem voltak eredményesek.

Ezenkívül *Crown* 1923-ban módosította C. *Weber* szabadalmát, s ez jelentette a száraz lövellő eljárás végleges kialakítását.

A **lövellt beton készítéséhez** használt adalékanyag legnagyobb szemnagysága $D = 10$ mm volt. 1945 után növelték 25, ill. 32 mm-re (körlyukú rostán értve). M. *Vandewalle* (1990) szerint D ne legyen nagyobb 16 mm-nél (négyzetlyukú rostán).

Hosszú ideig kételkedés volt elsősorban a száraz eljárású lövellt betonnal szemben. Majd 1910-ben az USA-ban, 1923-ban a Berlin—Dahlemi, 1929-ben a stuttgarti Otto Graf Anyagvizsgáló Intézetben végzett kutatások már igazolták, hogy száraz eljárással is jó betont lehet készíteni, de csak az Otto Graf-intézet 1962. évi kutatásai után ismerik el egyértelműen, hogy a lövellt beton megfelel a DIN 1048 normál betonra vonatkozó előírásainak.

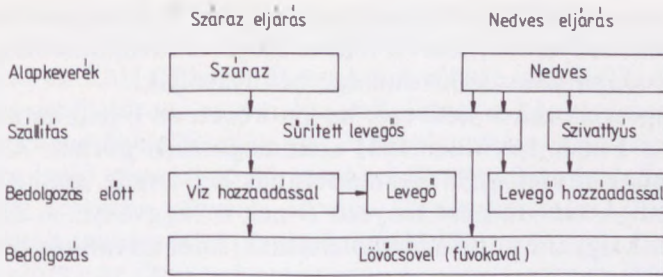
A lövellt beton előállítására vonatkozó első szabvány 1974-ben jelent meg az NSZK-ban (DIN 18551). Az USA-ban 1966-ban (ACI Publication SP-14), Ausztriában, hazánkban (MI-09.10233) 1977-ben irányelveket adtak ki lövellt betonszerkezetek készítésére és vizsgálatára. Megjegyezzük, hogy a magyar ME 19-63 már tartalmazott előírásokat a torkrét eljárásra, de az MI-09.10233 általánosította azokat.

A lövellt beton készíthető száraz vagy nedves eljárással (5.44/a ábra) [O. *Drögsler* (1961)].

A *száraz eljárás* során a száraz betonkeveréket pneumatikus szállítással juttatják a szórópisztolyhoz, ahol egy perforált csövön át vízzel keveredik, és az így készített betonkeveréket lövellik a betonozandó felületre.

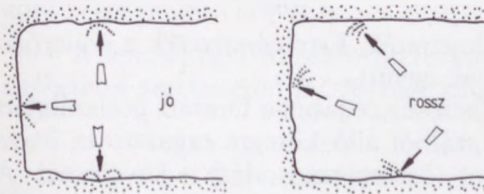
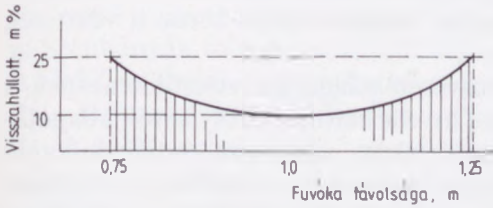
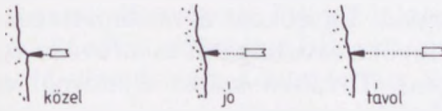
Nedves eljárással a betonkeverőben készítik el a betont és azt sűrített levegővel vagy szivattyúval juttatják a lövőfejhez.

Vegyes eljárásnak nevezik azt a nedves eljárást, amelynél először a cementet és homokot optimális mennyiségű vízzel keverik meg, majd ehhez adják a durva adalékanyagot.

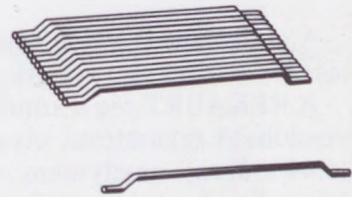


a)

A fúvóka távolsága



A lövelés helyes szöge



DRAMIX

b)

c)

5.44. ábra. Lövellt beton. a) Lövelli eljárások; b) a fúvóka helyzete és a visszapatntas mértéke [Pásztor R. (1980)]; c) Dramix acélszál [M. Vandewalle (1980)]

A lövelt beton készítésének gépi választékát és azok műszaki paramétereit Pásztor R. (1980, 1981) és G. Brux—R. Linder—G. Ruffert (1981) foglalta össze.

A lövelt beton alkalmazási területe igen széles körű: héjak, felületszerkezetek, tartályok, silók készítése, tárok, alagutak boltozatainak az előállítás, vasbeton épületek, hidak, boltozatok megerősítése és javítása, alüregelődések kitöltése, felületvédelem, korróziós károsodások javítása, repedezett közelek megerősítése stb.

A lövellt beton minőségét és gazdaságosságát a szemmegoszlás, szemalak, D , víz—cement tényező, fröcskölt felület szöge, a fúvókatávolság, a lövellés szöge és a visszapattanás valószínűsége befolyásolják.

A szemmegoszlás akkor kedvező, ha kb. követi az E jelű határgörbét (4.4. ábra), vagy a Fuller szerinti ideális szemmegoszlási görbét. A legnagyobb szemnagyságnak ez esetben is olyan durvának kell lennie, amit a rétegvastagság megenged. A víz—cement tényező D -nek is függvénye. A finom adalékanyagsemcsék ugyanúgy nem hiányozhatnak, mint szivattyús betonszállításnál (5.4.2. fejezet).

A lövellt beton és az alap közötti kapcsolatra jellemző egy bizonyos *önosztályozódás*. Az aljzatra lövelléskor az minden szemcsét visszalök, amíg egy lágy, kielégítően vastag ágyazat létre nem jön, ami azután a további szemcséket felveszi. A finom szemcse jobban tapad. Egyébként a visszapattanás a lövellő eljárások jellegzetessége. Függ a fúvóka távolságától és a fúvóka és a felület közötti hajlásszögtől (5.44/ b ábra). Továbbá száraz eljárásnál nagyobb, mint nedves eljárásnál. A visszahullási veszteség nagysága vízszintes felületre lövellés esetén 5—10 m%, függőleges, ill. ferde felületről 15—30 m%, fej feletti vízszintes felületről 25—50 m%. Nedves eljárás során a veszteség ezeknek az értékeknek kb. 60%-a.

Nedves eljárással felvitt betonhoz szívesen adagolják vízcökkentőnek a folyósító adalékszereket. Száraz eljárású lövellt betonhoz folyósítók adagolásának a rövid keverési idő miatt nincs értelme, mert nem tudják kifejteni hatásukat. Viszont tapadásnövelés céljából polimer latex adalékok adagolása célszerű. Mindkét eljárás esetén adagolhatnak vízzáróságot fokozó anyagokat.

A **szálerősítésű lövellt betont** is kifejlesztették. Erre érvényesek a szálerősítésre és a lövellésre vonatkozó ismeretek együtt.

A BEKAERT cég a könnyebb kezelhetőség céljából a Dramix acélszálakat vízzoldható ragasztóval olyan 30—50 szálból álló kötegre ragasztotta össze (5.44/ c ábra), amely nem okoz gondot (összecsomósodás) a keverésnél. A kötegek a betonkeverékben lévő nedvesség, valamint az anyagok dörzsölő hatására elemi szálakra oszlanak szét. Már az adalékanyagban lévő 3—8 m% víz elegendő a ragasztó oldásához. A 0,5 mm átmérőjű, 30—40 mm hosszú, kampós végű Dramix-szálak jól lehorgonyzódnak (M. Vandewalle (1990)).

A **lövellt beton hazai alkalmazása**. A lövellést már a II. világháború után hamarosan alkalmazták *vízzáró vakolatok* készítésére. A Mélyépítő V. megbízásából a II. sz. Hidépitési Tanszéken végzett kísérletek szerint az 1 cm vastag lövellt habarcs vízzárósága jobb volt a 2 cm vastag, 3 rétegű kézi erővel készített vakolaténál. Várpalotán a Ferencmező-bányában 1932-ben készítettek kísérleti vágatot, amelyet 5—6 cm vastag lövellt betonnal biztosítottak. A Gellért-hegyi sziklabiztosítást is lövellt betonnal oldották meg a 60-as években (Meitzen Nándor).

Lövellő berendezése volt a Bányászati Aknamélyítő V.-nak, a Hidépitő V.-nak, a Közlekedésépítő V.-nak és több kisebb szervezetnek.

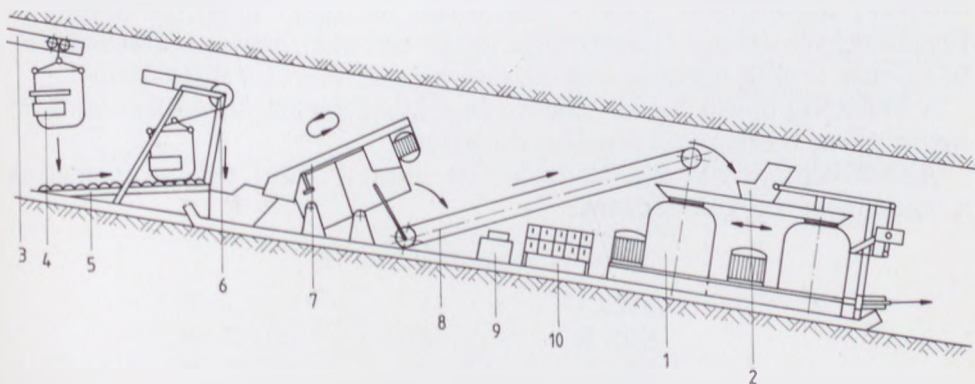
1974-ben a SPERNI (NSZK) cég egy géppel referenciamunkát vállalt a Bányászati Aknamélyítő V.-tal közreműködve a Dorogi Szénbányák V.-nál. Ezt a munkát az ÉMI (Pásztor Rezső) minősítette, aki 1992. évi haláláig a betonlövellés meghatározó egyénisége volt. Ennek a kooperációnak a keretében fejlesztették tovább a lövellőgépet, és kidolgozták az alacsony vágatokhoz igazodó kiszolgáló gépsort (5.45. ábra). (Meitzen Nándor, Szabó Gellért, Brassányi Pál tervezők, Kmetty István, Klausz István és Hámori Vilmos bányamérnökök tanácsadói közreműködésével.)

Ebben az időben az elméleti kérdésekkel Asszonyi Csaba és Richter Richárd foglalkozott a Miskolci Nehézipari Egyetemen, és kidolgozták a közet és a lövellt beton bányabiztosítás együttműködésének az elméletét.

1980-ban a kutatási, fejlesztési, rekonstrukciós tevékenység irányítását a Központi Bányászati Fejlesztő Intézet (Asszonyi Csaba, Meitzen Nándor, Szabó Gellért, Brassányi Pál) vette át, együttműködve a Dorogi Szénbányákkal (Kmetty István, Klausz István, Szeles Ernő). 1983-ban a COMPORGAN nevű cégen belül folytatták a tervező, a technológiai és kooperációs munkát. A cég 1989-ben jogutód nélkül megszűnt. Megszűnt a Központi Bányászati Fejlesztő Intézetben is a lövellt betonnal foglalkozó részleg. Azonban a Dorogi Szénbányák folytatta a lövellt betonos munkát, és megalakult a Börzsöny ÁFÉSZ-en belül a Metalloinvest szakcsoport (Szabó Gellért, Brassányi Pál, Meitzen Nándor). Továbbá Pásztor Rezső alakított a MONTAVID Rt.-n belül technológiai tervező csoportot. Ezek 1992-ben még működtek.

Példák a megépített szerkezetekről. (Erről áll rendelkezésemre a legtöbb adat [Pásztor R. (1980)].)

— A lencsehegyi transzformátorkamra födémének a megerősítése merev vasbetétes szerkezettel B 200-16/1 jelű betonnal (1975).



5.45. ábra. A Dorogi Szénbányák Vállalat betonlövellő gépsora. 1 — lövellőgép, 2 — adagoló szerkezet, 3 — függő sínpálya, 4 — fenékürítésű gumikonténer, 5 — görgősor, 6 — konténer-beemelő szerkezet, 7 — kényszerkeverő, 8 — töltőszalag, 9 — hidraulikus tápegység, 10 — elektromos kapcsolószekrény [Pásztor R. (1980)]

— Az egri Kisvölgyi úti, riolituffába vágott pincerendszer megerősítése 15 cm vastag vasbetonhéjjal, B 280 jelű betonból (1975).

— A pécsi Lánc utcai pincerendszer tönkrement téglaboltozatának megerősítése 15 cm vastag vasbeton szerkezettel. Betonminőség B 280-16/1 (1975).

— A tatabányai XII/A lejtősakna alsó kifutójának és rakodóterének a biztosítása merev vasbetetes szerkezettel. \varnothing 4 m, hossz 76 m, falvastagság 25 cm (1976).

— A putnoki lejtősakna megerősítése 760 m hosszban (1976).

— A márkushegyi lejtősakna nyitott szakaszának szigetelése 104 m hosszban, 10 cm vastag lövellt vízzáró betonnal (1977).

— A szolnoki művelődési ház részfalas betonalapjának vízzáró szigetelése B 200-30/10 vz 6 jelű betonnal (1977).

— A visegrádi vár épület- és sziklamegerősítési munkái. A sziklaüregeket B 50-16/0 jelű betonnal tömedékelték, a falakat B 200-16/0 jelű lövellt betonnal erősítették (1977).

— A márkushegyi lejtősakna 11 m magas vízgátja építése és a lejtősakna biztosítása 35 MPa nyomószilárdságú betonnal (1977—78).

— A budapesti Honvéd Kórház bauxitvasbeton szerkezeteinek a megerősítése (1978).

— Téglaboltozatú hidak megerősítése vasbeton héjszerkezettel [Ostfiaszszonyfa, Pécsudvar stb. (1979)].

— A lepence-fürdői medence lefedése héjszerkezetekkel. A betont fazsaluzatra lövellték (1979).

— Az 1954—56-ban épített Berettyóújfalui Tejporgyár forgási paraboloid alakú hűtőtornya felújítása (1979).

A Központi Bányászati Fejlesztő Intézet vállalkozói részlegéből 1983. ápr. 25-én 15 magánszemély megalakította a *PENGE BETON* kisszövetkezetet, amely 1990. dec. 1. óta *Kft.* lett.

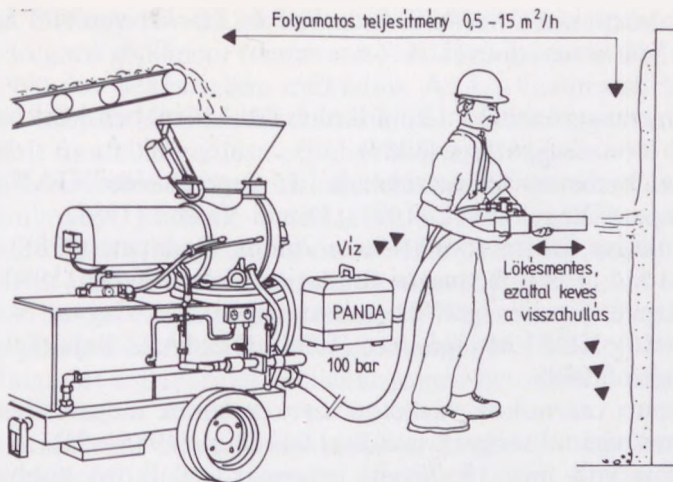
Specialitása a meggyengült vasbeton és egyéb épületszerkezetek, falak, födémek, függönyfalak, pincék, csatornák, alagutak, hidak és természeti képződmények utólagos megerősítése lövellt betonnal, nedves eljárású SPERNO típusú és SBS típusú száraz eljárású géppel. Vezetője *Sellei János*.

A SPERNO típusú gép kis teljesítménye miatt ma már kizárólagosan *SBS típusú száraz betonlövellő gépekkel* dolgoznak.

Az SBS betonlövellő gépcsaldnak (5.46. ábra) *A*, *B* és *C* típusa van, melyek a teljesítményben különböznek:

típus	teljesítmény m ³ /h
SBS A	5
SBS B	8
SBS C	15

A gépek 25, 32, 40, 50 és 65 mm átmérőjű tömlőkkel szerelhetők fel. A betonlövelléshez a megfelelő mennyiségű és nyomású keverővizet PAN-DA típusú víznyomásfokozó szivattyúval érik el. Nagy tömegű munkák kivitele-



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

zése során, valamint a visszahulló anyag csökkentésére PAN-DA MIX szivattyút használnak. Ezzel adagolható a folyékony kötőgyorsító is. A gépek kisméretűek, könnyen mozgathatók.

Az SBS GmbH folyamatosan fejleszti a betonlövellő gépeit, s ezen kívül a speciális csatornaépítő, -erősítő és függőleges aknaerősítő önjáró berendezéseket is kifejlesztette.

Néhány példa:

Inotai Hőerőmű három hűtőtornya (kb. 18 000 m²) megerősítése, az egyiknél párazáró és korrózióvédő bevonattal ellátva (1983—87).

A Nagykőrösi Konzervgyár hűtőtornyának (1991—92) megerősítése.

Dunai Vasmű kokszevegészeti gyáregység természetes szellőzésű hűtőtornya megerősítése (5500 m², 1986).

A Szentendrei Papírgyár (1983), a Dunaújvárosi Papírgyár (1985) vasbetonfödémének, budapesti belvárosi pincefödémek (1984—87), a Borsodchem Rt. ipari vasbeton szerkezeteinek (1989—91), a budafoki pincerendszernek (1992) a megerősítése.

A Miskolci Közúti Igazgatóság Gömöri úti felüljáró hidjának és a Laskópatak hidjának megerősítése.

A Pest megyei Közúti Igazgatóság területén (1993):

- Dunakeszi—Fót között vasút feletti híd pillérének erősítése;
- tinnyei téglaboltozatos híd megerősítése;
- tahitófalui Duna-híd szigeti hidpillérének javítása.

A CAOLA KH Rt. zalaegerszegi gyárában:

- vasbeton szennyvízkezelő műtárgyak erősítése és szigetelése (1992);
- vasbeton kármentők erősítése és szigetelése (1993).

1985-ben alakult a *KONKRÉT Betonlövő és Szerkezeterősítő Kft. Györkéné, Horváth Mária* vezetésével.

Néhány példa:

Hűtőtorony megerősítése a Lenin Kohászati Művekben Miskolcon (1985), a Nagyatádi Konzervgyárban (1989).

Darupálya vasbeton szerkezeteinek a megerősítése: GANZ-MÁVAG (1985), Budapesti Vegyiművek (1991), Dunai Vasmű (1989).

Hidak felújítása, javítása: BAH csomópont, Budapest (1988), 8. sz. főút kőboltozatos híd (1989), körvasút (Budapest) feletti hidak (1990) stb.

Épületfödém és pince megerősítése és vízszigetelése: Magyar Nemzeti Bank légópince (1986), KÖFÉM légópince (1988), DÉMÁSZ Baja téglaboltozatos födém erősítése (1988).

További ipari csarnokok vasbeton szerkezeteinek megerősítése, korrózió elleni védelme, vízi műtárgyak javítása, felújítása (1985—91).

Ezenkívül is volt még 19, lövellt betonnal foglalkozó kisebb gazdasági egység. A megerősítési és javítási munkáknál lassan nélkülözhetetlen lesz a lövellt beton, de a bányászatban igazán nem terjedt el.

5.7.6. Betonkészítés másodlagos nyersanyagokból

Hazánkban a második világháborúig a falakat döntő többségében tömör égetett agyagtéglából építették. Ha az ilyen házat bontásra ítélték, akkor az ép téglákat egyenként megtisztították és újra beépítették.

A második világháború után már városrészeket robbantottak fel (pl. Varsóban), a téglát is más módon kellett felhasználni. A modern téglákból már nem lehet új házat falazni. A hagyományos bontásra sincs idő. A panelos épületek is gondot jelentenek majd, ha bontásra kerülnek. Nő az előregyártott beton- és vasbeton termékek selejtmennyisége is. A környezetvédők tüntetnek a környezet károsodása miatt, és már ma gondot jelent, hogy hol helyezzék el a sok bontási törmelék, szemetet.

A gazdagabb országok már régen rájöttek arra, hogy az építési és bontási törmelék jó nyersanyag lehet. Ezeket *másodlagos nyersanyagoknak* nevezzük.

Hollandiában kb. 45 millió t beton-adalékanyagot használnak fel évente. Az építési és bontási törmelék ennek kb. a harmada, ami azonban évenként nő. Már jelenleg is kb. 60 telepített és kb. kétszer annyi mozgó törőüzemük van, amelyekben 1991-ben kb. 6 millió t másodlagos nyersanyagot állítottak elő. 2000-re az összes törmelék 90%-át másodlagos nyersanyagként szeretnék felhasználni.

Hollandiában az így előállított másodlagos nyersanyagot igénytelenebb célra (feltöltés, útalap) használják fel. Új szabályzataik szerint ez az anyag már szerkezeti betonokba is felhasználható lesz. Az osztrákok e téren valamilyen előbbre járnak.

Hazánkban a külföldi fejlesztési tendenciák alapján az ÉVM 5. sz. Célprogram Bizottság (jelenleg Épületfenntartási K + F alapítvány) 1986-ban indított el egy programot az OMFB támogatásával az ÉTI témavezetésével. Ennek a

keretében az ÉTI egy 15—35 t/h kapacitású, hazai, ill. kooperációs gyártású törmelékfeldolgozó gépláncot (témavezető: *Hikisch Lóránt*) regionális mintáüzemként 1990 óta Békéscsabán működtet. Az Út-Vasútépítő V. dunakeszi aszfaltkeverő telepén 1986 óta kísérletezik 10—15 t/h kapacitású géplánccal bontott aszfalt újrafelhasználása céljából hideg eljárással.

E kutatás keretében a Pollack Mihály Műszaki Főiskolán *Kászonyi Gábor* irodalomtanulmányt készített a téglazúzalék beton-adalékanyagként való felhasználására (1990), megvizsgálta a számításba vehető anyagok tulajdonságait (1990) és ezekkel betonkísérleteket végzett (1991).

Az ÉTI 33. Beton- és Vasbetonszerkezetek Tudományos Tagozatán 1986-ban *Kormos Zsolt* elkészített egy betontechnológiai irodalomtanulmányt és törtbeton, valamint téglazúzalék adalékanyaggal betontechnológiai kísérleteket végzett.

Hikisch Lóránt 1991-ben a Műszaki Könyvkiadónál megjelentette „Gépesített épületfelújítás” c. zsebkönyvét, amelyben kitért az építési törmelék újrahasznosításának a lehetőségére is.

A hulladékok másodlagos nyersanyagokkénti felhasználását meggyorsítja, hogy 1992. júliusban a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium (*Sindelyes Gábor* főosztályvezető helyettes), a Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium (*Scharle Péter* főosztályvezető), az Ipari és Kereskedelmi Minisztérium (*Karikás György* főosztályvezető) együttműködési megállapodást kötött és munkabizottságot hozott létre. A koordinátor a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium lett.

Az Ipari és Kereskedelmi Minisztérium, a Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, a Belügyminisztérium, az Épületfenntartási K + F Alapítvány, a DOLOMIT Kőbánya, az Aprítógépgyár, a Switelsky—ÚTVASÚT Építő Kft., mint a vállalatok koordinátora újabb pályázatot nyújtott be 1992-ben az OMFB-nek, amelyben a bontási törmelékanyagok és betonüzemek előregyártási selejtje betonadalékként való felhasználását célozták meg.

A koordinátor vállalat *Sréder Mihály* ügyvezető igazgató irányításával látott neki a feladat megoldásának. Törőgépet bérelt, előkísérleteket végeztetett az Építőanyagok Tanszéken (*Erdélyi Attila* előtanulmányt készített), mozgósít mindenkit, aki az ügyben érdekelt lehet.

Itt tartunk 1993. júl. végén.

Ahhoz, hogy ez az ügy előre lépjen, a következők szükségesek:

— olyan környezetvédelmi törvény, amely alapján gyűjtőhelyeket jelölnek ki az újrahasznosítható törmeléknek és abban teszik érdekeltté a törmeléktermelőket, hogy a törmeléket oda szállítsák;

— műszaki irányelveket kell kidolgozni a törmelék betonkénti újrahasznosítása elősegítésére;

— külföldről kell behozni jól bevált gépláncokat;

— minden eszközzel propagálni kell ennek a népgazdasági jelentőségét és előnyeit;

— egyes országokban a büntetésnél jobban bevált az adókedvezmény, mint az újrafelhasználásra ösztönzés módja.

5.8. A betontechnológia szabályozása

Az ÉTI Betontechnológiai Osztálya az ÉM Műszaki Fejlesztési Főosztálya megbízásából elkészítette a „Műszaki előírás beton és vasbeton készítésére” c. előírást, amelyet először 1954-ben (*Popovics Sándor*), korszerűsítve 1957-ben (*Kunszt György*), majd 1963-ban (*Buday Tibor*) adott ki. Ebben még nem volt szabályozva a transzportbeton és a különleges technológiák. Ezek csak a következő kiadásba (1977) kerültek bele. Az 1981-ben kiadott, korszerűsített műszaki előírásban a szabályozást tovább tökéletesítették. Ezeket *Újhelyi János* készítette. A szabályozás a 4. fejezetben ismertetett legkorszerűbb betonismeretekre épült.

A Budapesti Transzportbeton Társaság 1990. márc. 1-jén kezdődő hatállyal kiadta a BTESZ 01—90 „Transzportbeton” c. házi szabványát, amelyet *Újhelyi János*, *Liptay András* és *Máhr Géza* készítette.

A szabvány 1992-ben még nem kötelező, de azok az üzemek, amelyek vállalják e szabvány előírásainak a betartását és alávetik magukat a szabványban rögzített külső ellenőrzésnek, a „BTESZ 01—90 szerint ellenőrzött” megkülönböztető jelzést használhatják bizonylataikban és reklámtevékenységükben.

Szükség volt erre a szabályozásra, mert elég sok volt a peres ügy, ami azt bizonyította, hogy a beton gyártója, szállítója és felhasználója nem ismerték egymástól időben és térben elhatárolható felelősségük körét. A gyártó a beton átadásáig felel a beton minőségéért. A szállítót a betongyártó kapujától az átadási helyre érkezésig terheli a felelősség. A felhasználó pedig az átvétel időpontjától felelős a minőségért (belső szállítás, elhelyezés, bedolgozás, utókezelés és kiszaluzás). Ha a gyártó maga szállít is, akkor a beton készítéséért és szállításáért együtt terheli a felelősség.

6. Építéstechnológiák

6.1. A technológiák kialakulásának rövid története

A beton feltalálása után hamarosan kiderült két lényeges hibája.

Egyik hibája az, hogy kicsi a *húzószilárdsága*. Ezen a hibáján segítettek a vasbetonnal és a feszített vasbetonnal.

Másik hibája a helyszíni, monolitikus beton—vasbetonépítésben rejtett, nevezetesen a *beton megszilárdulásáig gyámolítást* (állványzat, zsaluzat) *igényel*. Emiatt a beton- és vasbetonépítés lassú és főként szezon jellegű volt, mert az építést télen csak az építési költségek lényeges növekedése révén lehetett folytatni. A betonnak ezen a hibáján segített az előregyártás.

Előregyártáson azt értjük, hogy a szerkezet elemeit üzemben gyártják le és a megszilárdult szerkezetet építik be. Emiatt a nagyobb szerkezeteket olyan részekre kell bontani, amelyek a rendelkezésre álló eszközökkel szállíthatók, beemelhetők.

Az előregyártásnak két főiránya alakult ki hazánkban: az üzemi és a munkahelyi előregyártás.

Az *üzemi előregyártáshoz* telepített üzem kell, ahol a gyártási folyamatot gépesítik, sőt sok esetben automatizálják. A telepített üzem azonban rendszert távol van a beépítés helyétől. Az üzemi előregyártás kétségtelen előnye, hogy független az időjárástól, többnyire fűthető csarnokokban történik a gyártás. Gyárszerűen szervezhető. Az üzemi laboratóriumban lehetséges a folyamatos ellenőrzés. Jó minőségű termék gyártható.

Ezzel szemben hátránya, hogy az elemeket az építés helyére kell szállítani, ami általában költséges. A szállíthatóság a méreteknek korlátokat szab. Minél több a kapcsolat, annál több a bizonytalanság a szerkezetben.

Az üzemi előregyártás elsősorban nagy tömegben előállítható típuselemek készítésére alkalmas.

A *helyszíni előregyártás* során a gyártási körülmények rendszerint kevésbé jók, de az elemeket csak a munkahelyen belül kell szállítani, ami sokkal nagyobb elemméretet tesz lehetővé. Eme előnye mellett hátránya, hogy nem függetleníthető az időjárástól, rendszerint nincs betanult munkásgárda, nem érdemes kiépíteni minden építéshelyen laboratóriumot, a gépesítettség kisebb fokú.

Az előregyártás jelentőségét már a múlt század végén felismerték, de tömeges előregyártásról nem lehetett beszélni. Az előregyártás tömeges méretűvé a

II. világháború után vált, amikor az építési feladatokat hagyományos monolitikus építéssel már nem lehetett megoldani. Hazánkban különös módon sietette az építési fa hiánya.

A hazai előregyártást lényegesen meggyorsította a „*Faanyagok gazdaságos használatának szabályozása*” tárgyú, 12. sz. építőipari rendelet [száma 3656/F/9-1/1960.VIII], melyet Szijártó Lajos államtitkár írt alá. Részletek a rendeletről:

„A magasépítőipar minden dolgozója előtt tudatosítani kell, hogy a fa takarékos felhasználása az 5 éves terv megvalósításának egyik alapfeltétele. Ennek érdekében: vasbetonszerkezeteket lehetőleg előregyártva, helyszíni zsaluzás nélkül kell tervezni és kivitelezni.

Ahol a tetőszerkezet előregyártott vasbetonból nem építhető, a tetőidomokat úgy kell kialakítani, hogy a tetőszerkezet kevés fa (lehetőleg gömbrúd) felhasználását igényelje.

Fafödémeket tervezni, ill. a már megtervezett födémeket kivitelezni nem szabad.

Nagy teret áthidaló szerkezetek és nagy terhelésű ipari födémek is lehetőleg előregyártott elemekből, helyszíni zsaluzás nélkül készüljenek.

Minden vasbeton szerkezet tervezésénél tekintettel kell lenni arra, hogy zsaluzószerszámok, ill. zsaluzóelemek változtatás nélkül ismételten felhasználhatók legyenek.

A helyszíni előregyártásnál alkalmazott betonozó formák lehetőleg kevés fa felhasználásával készüljenek.

Vékonyfalú, állandó keresztmetszetű vasbeton szerkezet (silótartály stb.) csak részleges — csúsztatható vagy szakaszonként emelhető — zsaluzással építhető.

Árbocfőállványt létesíteni általában nem szabad.

Könnyű, külső munkaállványok létra- vagy csőállványozással oldhatók meg.”

A rendelet szerint a vállalatok műszaki osztályán faanyagfelelőst kellett kijelölni és ezeknek már 2 hónapon belül jelentést kellett készíteni a megtett intézkedésekről.

A rendelet meghatározta az ÉTI segítő szerepét a faanyag-takarékos építésben.

A zsaluzóanyag többszöri felhasználásának jutalmazására külön rendelet jelent meg (9070/Z/3-1/1951.III).

E rendelet az üzemi és helyszíni előregyártást olyan mértékben meggyorsította, hogy egyes esetekben az ésszerűség határait is túllépte. Ugyanis olyan esetekben is erőltették az előregyártást, amikor a monolitikus építés vagy a vegyes építés egyszerűbb és olcsóbb lett volna.

Az előregyártott vasbeton szerkezetek erőjatekájában döntő szerepe van a kapcsolatoknak. A szerkezet statikai rendszerétől, elemekre bontásától, a gyártás és szerelés technológiájától függően hallatlanul sok megoldás lehetséges. Ezek megtalálhatók Balázs Gy.—Fogarasi Gy. „Vasbetonelemek kapcsolatai” (1977) c. könyvben.

Természetesen a monolitikus betonépítés a jövőben is megmarad a nagy tömegű vízépítési beton- és vasbeton szerkezeteknél, útburkolatoknál (térburkolatoknál már nem mindig), valamint a modern monolitikus építésnél (hid-, magasépítés).

A hivatkozott rendelet is segített abban, hogy a körszimmetrikus szerkezetek (víztornyok, hűtőtornyok, kémények stb.) *csúszózsalus építését* nemzetközileg elismert színvonalra emeltük.

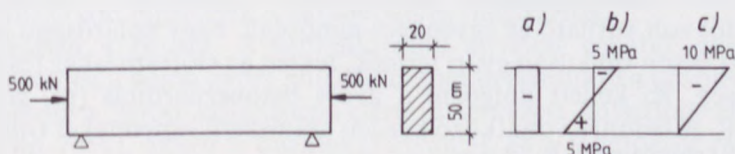
Tőlünk nyugatra lévő országokban a monolitikus építésnek olyan új módszereit dolgozták ki, amelyek majdnem ugyanúgy meggyorsították az építést, mint az előregyártás, miközben megmaradt a monolit szerkezet előnye (táblás, alagútzsalus, kúszózsalus építés, szabadbetonozású hidépítés stb.). Ezek közül a hidépítési technológiákat a 9.8. fejezetben ismertetjük.

6.2. Feszített beton

6.2.1. A feszítés elve

A beton közismert hibája, hogy hajlító-húzószilárdsága kb. tizedrésze, tiszta húzószilárdsága kb. huszadrésze a kockaszilárdságának. A beton ezen hibáján kezdetben a *vasbeton* segített, nevezetesen a tartóban a nyomásokat a beton, a húzásokat az acél vette fel. Az acélbetét azonban nem akadályozza meg a vasbetontartó megrepedését, ugyanis az acélbetétek jó közelítéssel akkor kezdenek dolgozni, amikor a tartó a húzott oldalon már megrepedt. Az acélbetéttel legfeljebb a repedések sűrűségét és ezáltal azok megnyílásának a szélességét lehet befolyásolni.

Azt a körülményt, hogy a vasbeton tartó meg ne repedjen, csak *feszítéssel* lehet elérni. *J. Monier* és *J. L. Lambot* példáján (lásd 7.1. fejezet) látjuk, hogy a vasbeton gondolatához empirikus úton jutottak el, ugyanakkor a feszített vasbeton tartó gondolatához elméleti úton. Bár a feszítés módszerei különbözők lehetnek, elve mindig ugyanaz marad: a feszítés révén nyomást hozunk létre a tartóban úgy, hogy az használati teherre se repedjen meg. Ezt egy elvi példán szemléltetjük (6.1. ábra). Az 50×20 cm méretű betontartót központosan megnyomjuk 500 kN erővel, akkor benne 5 N/mm^2 feszültség (6.1/a ábra) keletkezik (feltételezve, hogy az önsúly még nem terheli). Ha a terhelés hatására a tartóban felül 5 N/mm^2 nyomó-, alul 5 N/mm^2 húzófeszültség keletkezik



6.1. ábra. A feszítés elve: a) feszültség feszítésből; b) feszültség hajlításból; c) a kettő összege

(6.1/b ábra), akkor a két feszültséget összeadva (6.1/c ábra) a felső szélső szálaban 10 N/mm^2 nyomófeszültség lép fel, az alsó szélső szál éppen feszültségmentes marad.

A feszítési rendszerek két nagy csoportját különböztetjük meg:

a) *Előfeszítésnek* nevezzük az eljárást, ha az acélbetéteket a betonozás megkezdése előtt megfeszítjük, az acélbetétek a feszítés hatására megnyúlnak. A tartót bebetonozzuk. A beton megszilárdulása után a megfeszített acélbetétek lehorgonyzását megszüntetjük, azok vissza akarják nyerni eredeti alakjukat, de ezt a beton akadályozza. A megfeszített acélbetét a betonban az acél és a beton együttműködésének révén nyomófeszültséget hoz létre. Ebben az esetben feszítőpadra van szükség, amely viseli a beton megszilárdulásáig a feszítőerőt.

b) *Utófeszítésnek* nevezzük az eljárást, ha a feszítést a beton megszilárdulása után végezzük el. Az ún. feszítőkábeleket a tartóban kábelcsatornában vagy a tartón kívül vezetjük. A feszítőerőt a betonnak nem tapadás útján adjuk át, mint előző esetben, hanem a kábelvégeket rögzítjük a tartóhoz. Ebben az esetben feszítőpadra nincs szükség.

A feszítés gondolata — hasonlóan a vasbeton gondolatához — empirikus alapon már a múlt században felmerült (*Gedohnij* orosz tűzértiszt 1861, *Doehring* 1888, *Jackson* 1888). Elméletileg is helyesen alkalmazott feszítés gondolata *J. Mandl*é (1896). *M. Koenen* 1907-ben javasolta, hogy a beton húzott övében nyomófeszültségeket kell létesíteni. Többen mások is próbálkoztak. A feszítés azonban csak akkor lehetett eredményes, amikor rájöttek arra, hogy csak nagy szilárdságú beton és nagy szilárdságú, ún. feszítőhuzal alkalmazásával lehet a beton zsugorodása és kúszása, valamint az acél ernyedése okozta feszültségeket ellensúlyozni. Ugyanis kis szilárdságú anyagokból a bevitt feszítőfeszültség eltűnt vagy nagymértékben lecsökkent. Ezért *E. Freyssinet*től (1928) számítjuk a mai értelemben vett feszítés kezdetét. Forradalminak nevezett munkáját a Plougastel-híd építésével kapcsolatban fejtette ki (1933, 1936).

A feszített betonnal szemben támasztott legfontosabb követelmény a beton gyors kezdeti szilárdulása, nagy végszilárdsága, nagy rugalmassági modulusa, lehetőleg kis zsugorodása és lassú alakváltozása, végül az egyenletes betonminőség. Számszerűen: B 400, B 560 (esetleg B 280) jelű beton az előfeszített szerkezetekben és B 400, B 280 jelű beton az utófeszített szerkezetekben. Szükség volt a kis víz—cement tényezőre, amit csak képlékenyítő és folyósító adalékszerekkel lehetett elérni. Szükség volt az adalékanyag osztályozására. Szükség volt a keverőtelepekre, betongyárakra, előregyártó üzemekre, mert csak ezektől volt várható az egyenletes minőségű, nagy szilárdságú beton. Az előfeszített beton tipikusan gyári termék, hiszen az előfeszítéshez feszítőpadra van szükség. Ki kellett dolgozni a gyors betonszilárdítás (pl. gőzölés) új módszereit. A betonra vonatkozó kezdeti számszerű ismereteket *Gáspár Géza* [*Böröcz* I. (1952)] foglalta össze.

6.2.2. Feszítési rendszerek

E. Hoyer a róla elnevezett *előrefeszítési* (tapadóbetétes) *rendszer*t 1939-ben szabadalmaztatta. Megemlíti még E. Mörsch módszerét.

Az utófeszítési rendszerek legelsője és legfontosabbika a Freyssinet-rendszer [E. Freyssinet (1933, 1936)]. Rendszere a belsőkábeles feszítési rendszerekhez tartozik. Ebbe a csoportba tartozik még a Morandi (1949), a Rinaldi, a Franki-Smet, a G. Magnel, a Baur—Leonhardt, a Jakubovszkij, a Böröcz I. rendszer.

A szabadkábeles utófeszítési rendszerek közé tartozik az F. Dischinger (1928), a Finsterwalder (1937), a Lossier, a Gnädig B.—Thoma J. rendszer.

A különleges feszítési rendszerek csoportjába sorolják Mihajlov (1941) csévéléses feszítését, az angol Lee-MacCall (1949), a német DYWIDAG (1950), a svájci BBRV (1950, Birkenmaier—Brandestini—Roš és Vogt mérnökök találmánya) rendszert, a hőhatással feszítés, a munkahézag tagításával való feszítés módszerét, a MO-TA-LA (Mokk L.—Tassi G.—Lányi J.) rendszert és a Borbás—Makó rendszert.

Valószínűen nem soroltam fel mindent. Legnagyobb részük megtalálható a Böröcz I. (1952—1953) által szerkesztett „Feszített betonszerkezetek” c. könyvben. Ezért röviden a hazánkban általánosan elterjedt Hoyer, Freyssinet és DYWIDAG, valamint a magyar feszítési rendszereket ismertetem. Utóbbiak nem voltak hosszú életűek, ezért ezeket azoknál a szerkezeteknél ismertetem, ahol azokat felhasználták.

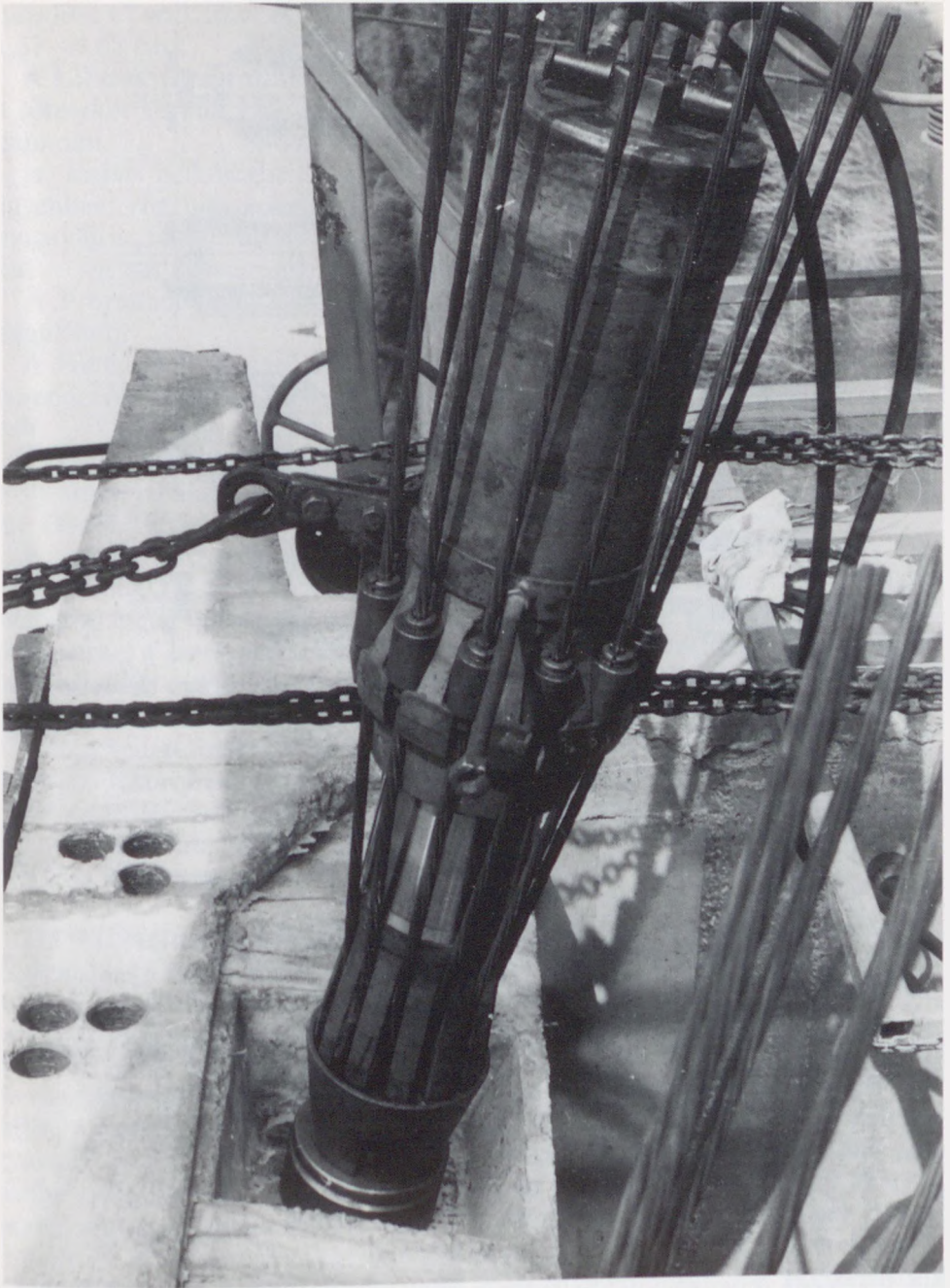
Hoyer-rendszer. A Hoyer-rendszerű feszítés az *üzemi előregyártás feszítési rendszere*.

Példaként egy előfeszített híd tartó keresztmetszetét mutatjuk be (6.2. ábra). A rendszer egyik lényeges része az olyan *nagy szilárdságú feszítőhuzal*, amely a nagy szilárdságú betonban minden beavatkozás nélkül tapadás során lehorgonyozódik. Már Hoyer kimutatta, hogy a 0,3—3 mm átmérőjű huzaloknál ez bekövetkezik. Az 5 mm átmérőjű feszítőhuzalok tapadását rovatkolással, a 3 mm átmérőjűekét hullámosítással vagy több huzal pásmába sodrásával növelték meg.

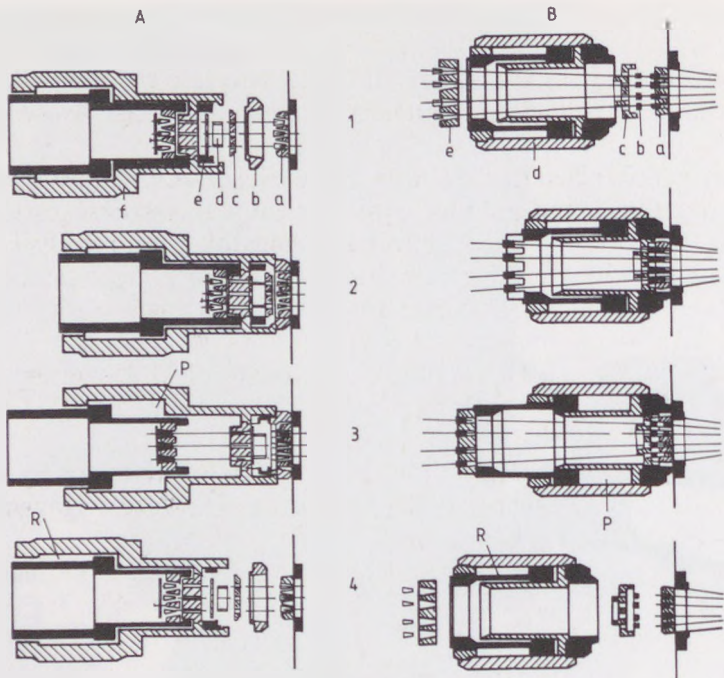
A rendszer másik, nélkülözhetetlen eleme olyan *megfogó szerkezet*, amellyel a betonozás és a beton szilárdulásának a tartamán a huzalokat elmozdulásmentesen rögzítik. Ez leggyakrabban lealapozott feszítőpad, de feszíteni lehet a sablonhoz is. Más megoldások is vannak.

A munkamenet a következő:

- A huzalokat elhelyezik a sablonban és megfeszítik.
- Elkészítik a betont. A sablonforduló növelése céljából gyakorlatilag nélkülözhetetlen a beton gyors szilárdítása, amin hazánkban gőzölést értenek.
- Amidőn a beton szilárdsága elérte a tervezett szilárdság előírt %-át (rendszerint 70%), akkor a huzalokat elvágják és a feszítőerőt ráengedik a betonra.



6.3. ábra. Freyssinet-puska



6.4. ábra. A feszítési művelet fázisai kétféle Freyssinet-puskánál (Dalmy Dénes—Farkas György)

A) Homlok rögzítésű sajtó B) Hátsó rögzítésű sajtó
1 — Elhelyezés

A sajtó és kiegészítő felszereléseinek elhelyezése

1.1. Homlok rögzítésű sajtónál

- a) lehorgonyzó tömb és ékek
- b) támasztógyűrű
- c) rögzítőlemez
- d) kitérítő gyűrű
- e) rendezőrács
- f) sajtó

1.2. Hátsó rögzítésű sajtónál

- a) lehorgonyzó tömb és ékek
- b) elasztikus anyagú rugó
- c) rendezőlemez
- d) sajtó
- e) hátsó lehorgonyzó tömb újra felhasználható ékkel

2 — Előkészítés a feszítéshez

A pászmák rögzítése a hátsó lehorgonyzó tömbhöz

3 — Feszítés

A (P) henger nyomás alá helyezése a pászma feszítéséhez szükséges feszültség eléréséig

3.1. Homlok rögzítésű sajtónál

Az ékek hidraulikus rögzítése

3.2. Hátsó rögzítésű sajtónál

Az elasztikus anyagú rugó biztosítja az ékek egyenletes rögzítését

4 — A hengerből az olaj kiengedése és a sajtó eltávolítása

A nyomóvezetékek nyitása

Az olaj átpumpálása az (R) hengerbe

A sajtó és kiegészítő berendezéscik eltávolítása

kat behúzzák a kábelcsatornába és a Freyssinet-puskával megfeszítik (6.3. ábra), majd előre bebetonozott testhez lehorgonyozzák. Majd a kiálló acélbetéteket levágják, és a kábelcsatornát kiinjektálják.

A kábelekhez nagy szilárdságú feszítőhuzalokat használnak fel, és pedig 5 mm átmérőjű huzalból rendszerint 8, 10, 12 vagy 18 szál, 7 mm átmérőjű

huzalból 12 szál alkot egy kábelt. A kábelek hasznos keresztmetszeti területe 1,57—4,62 cm².

A kábelek vonalvezetése a nyomatéki ábra követése céljából lehet íves, de a töréseket kerülni kell. Íves vonalvezetés esetén súrlódási veszteséggel kell számolni.

A feszítés nélkülözhetetlen eleme a *Freyssinet-puska*. Ehhez a huzalokat egyenként rögzítik, a hidraulikus sajtó a huzalokat a szükséges mértékben megnyújtja. Ezt követően dugót sajtolnak a huzalok közé, amellyel a huzalokat — súrlódás révén — a tartóba bebetonozott lehorgonyzó fejhez rögzítik.

A Freyssinet-puska két korszerű típusa működésének elvét a 6.4. ábra szemlélteti.

A Hidépítő V. az első Delta 100 A jelű feszítőhuzal feszítésére alkalmas berendezést 1959-ben, pászmák feszítésére alkalmasat pedig 1974-ben vásárolt.

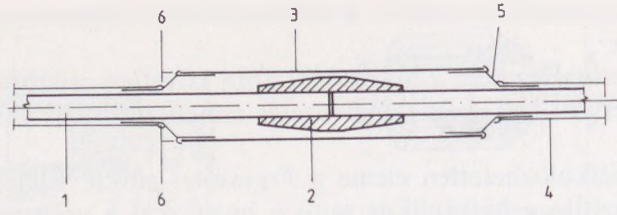
1991-ben megalakult a PANNON FREYSSINET Kft., amely a francia Freyssinet vállalat magyarországi leányvállalata. Ügyvezető igazgatója *Dalmy Dénes*, főmérnöke *Farkas György*.

Az eredeti Freyssinet-rendszer külső kábeles változatát is kidolgozták.

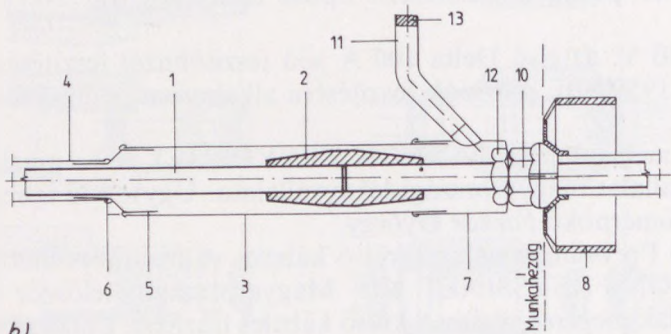
A PANNON-FREYSSINET Kft. Magyarországon először alkalmazta vasbeton hidak megerősítésére, a külső kábeles feszítést. Ennél az utófeszítési rendszernél a szerkezeten kívül vezetett kábeleket cementhabarccsal kiinjektált polietilén védőcsőben, zsírozott polietilén csővel burkolt egyedi pászmákból készítik. E feszítési eljárással a mechanikai és korrozív hatásoktól többszörösen védett feszítő pászmák, ill. kábelek ellenőrizhetők, cserélhetők vagy utólagos teherbírás növelése érdekében új kábelek építhetők be.

Ez az utófeszítési rendszer nem csupán szerkezetek megerősítésére, hanem új szerkezetek feszítésére is alkalmas, ebben az esetben a vasbeton szerkezeti méretek tetemesen csökkenthetők.

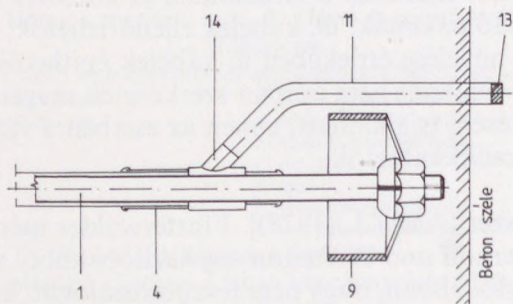
DYWIDAG-rendszer [*Janzó J. (1978)*]. Finsterwalder mérnök találmánya. A rendszert a Dyckerhoff und Widmann cég kezdőbetűiből nevezték el. Eltér a másik két rendszertől abban, hogy nem feszítőhuzalokat, hanem 12,2—36,0 mm átmérőjű feszítőrudakat feszítenek meg. A melegen hengerelt, ötvözt és hőkezelt rudak St 105/85 (105 = 1050 MPa a szakítószilárdság, 85 = 850 MPa az egyezményes folyási határ) jelűek. A rudak megengedett feszültsége 580 MPa. A feszítőrudakat 12, ill. 18 m hosszban sima és csavarbordás kivitelben gyártják. A sima rudak mindkét végére — a toldhatóság céljából — hidegen hengerelnek menetet. Csavarbordás rudakon meleghengerléssel alakítják ki a végigmenő csavarmenetet. Az elemek toldására a toldóanya szolgál (6.5/a — b ábra). A rudazat két végére lehorgonyzó elemek kerülnek, amelyek vagy csak lehorgonyzás (6.5/c ábra), vagy feszítés és lehorgonyzás (6.5/d ábra) céljait szolgálják. A megfeszített rudakat a lehorgonyzó elemekre támaszkodó anyával rögzítik. Hazánkban leginkább a 26,5 mm (határerő 319 kN) és a 32 mm átmérőjű (határerő 466 kN) rudakat használják. A feszítőrudakat spirálmertes burkolócsövekben helyezik el és a feszítés után kiinjektálják.



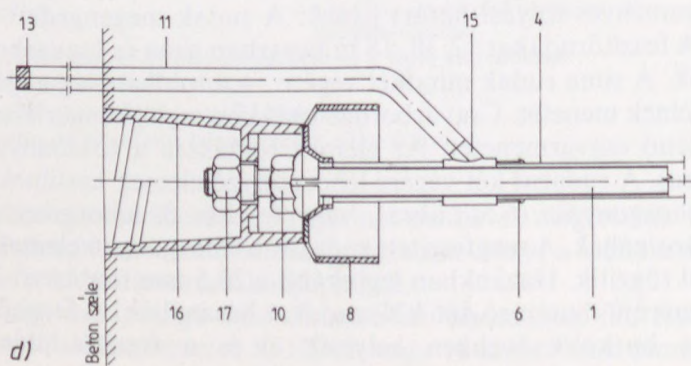
a)



b)



c)



d)

A feszítőrudakat többnyire egyenes vonalban vezetik és egyenként feszítik meg, de vezethetik ívesen is.

A DYWIDAG feszítési rendszer előnyei:

— A feszítési eljárás egyszerű, a lehorgonyzások gyakorlatilag csúszásmentesek.

— Egy feszítőrúddal is nagy erőt lehet átadni. A feszítőrudak relaxációjából származó veszteség elhanyagolható.

— A feszítőrudak korrózióra érzéketlenebbek a feszítőhuzaloknál.

— Az eljárás lehetőséget nyújt a szakaszos betonozásra. A munkahézagok a feszítéssel zárulnak.

— A magas- és mélyépítésben egyaránt használható.

— Más feszítési rendszerekkel összehasonlítva gazdaságos.

A DYWIDAG feszítési rendszert eddig elsősorban a medenceépítés területén használták (Gellért-hegyi $2 \times 40\,000\text{ m}^3$ -es ivóvíztároló medence; a Fővárosi Vízművek által kidolgozott Aqua-seel rendszer előregyártott elemeinek a hézagzárása, 13.5.9. fejezet). Felhasználták a hidépítésben előregyártott hidgerendák, hídpályalemezek keresztirányú feszítésére, szabadbetonozású és szabadszerelésű hidak egyensúlyának a biztosítására a pillérek mellett. Ezenkívül is sok helyen jól alkalmazható módszer.

A Hidépítő Vállalatnak 1970 óta van DYWIDAG-rendszerű feszítőberendezése.

A MO-TA-LA eljárás. A hazai eljárások közül csak a MO-TA-LA eljárást ismertetjük itt, mivel ezt többféle szerkezetnél alkalmazták. A többi hazai eljárást ott ismertetjük, ahol alkalmazták. Mi volt a MO-TA-LA rendszer alap gondolata?

A kör alaprajzú tározók feszíthetők végtelenített vagy csévéltek huzalokkal és egyedi huzalnyalábokkal. A feszítőerő mindkét esetben létrehozható érintő- (vagy közel érintő) irányú vagy harántirányú (a huzaltengely főnormálisában vagy binormálisában ható) erővel. E két eset variációival alakultak ki a bevezetett feszítési rendszerek, amelyek még az alkalmazott munkaeszközök szerint is sokfélék lehetnek.

Külföldön körszimmetrikus műtárgyak feszítésére legjobban elterjedt a feszítőkocsival való csévélés, hazánkban pedig a Gnädig—Thoma-féle elv alapján álló dongaeljárás mellett sokszor került sor egyedi huzalnyalábok érintőirányú erővel való feszítésére, Freyssinet-rendszerrel.

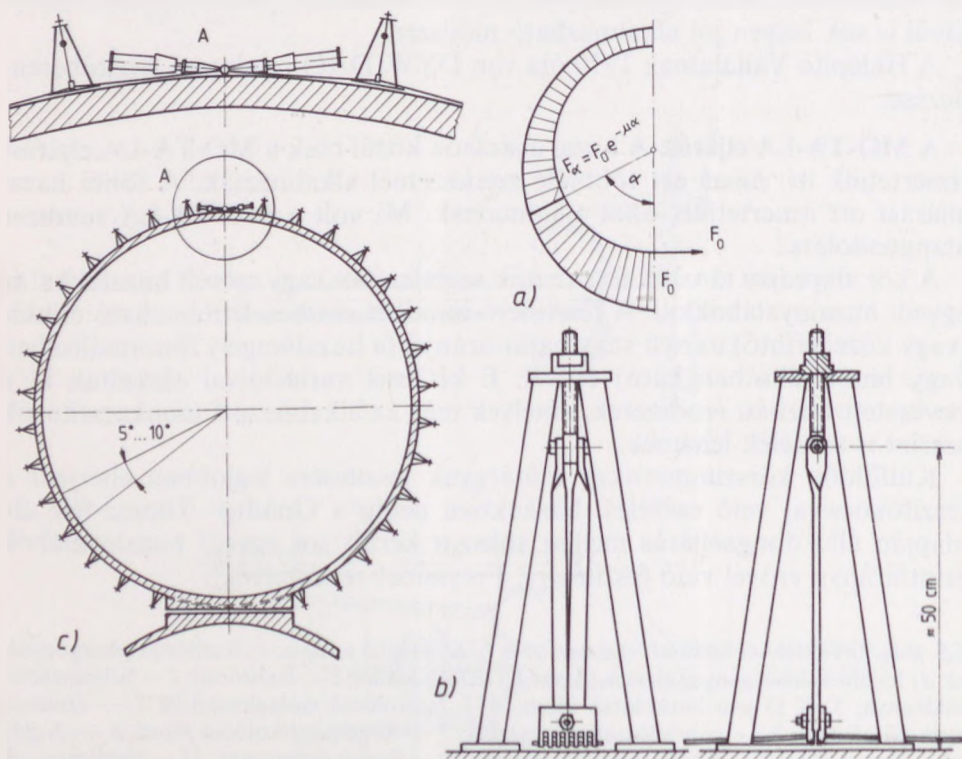
6.5. ábra. DYWIDAG feszítési rendszer. *a)* és *b)* feszítőrúd toldása; *c)* feszítőrúd lehorgonyzása; *d)* feszítő és lehorgonyzó elemek [Janzó J. (1978)]. Jelölés: 1 — feszítőrúd; 2 — belsőmenetes toldóanya; 3 — D jelű burkolócső idom; 4 — burkolócső szalaglemezből; 5 — átmeneti burkolócsőidom; 6 — szigetelőszalag ragasztás; 7 — G jelű burkolócső idom; 8 — A jelű lehorgonyzó elem; 9 — B jelű lehorgonyzó elem; 10 — feszítő csavaranya; 11 — légtelenítő, ill. injektáló tömlő; 12 — lapos rögzítő csavaranya; 13 — dugó; 14 — B jelű leágazó tömlőelem; 15 — A jelű leágazó tömlőelem; 16 — kúpos zsaluzó elem, alatta fóialemezzel (feszítés előtt eltávolítva); 17 — rögzítő csavaranya

A Freyssinet-rendszerrel feszítés esetén gondot jelent a súrlódás által okozott feszítőerőcsökkenés az íves szakaszon. A lecsökkent feszítőerő az Euler-képlettel fejezhető ki (6.6/a ábra):

$$F_{\alpha} = F_0 \cdot e^{-\mu\alpha}.$$

A képletben F_0 a feszítőerő, μ a súrlódási szög, α pedig a 6.6/a ábra szerinti szög. F_{α} — ha két feszítőpuskával feszítenek — akkor $\alpha=180^{\circ}$ esetén $0,25 F_0$ is lehet.

Annak érdekében, hogy a feszítőerő csak viszonylag kisebb mértékben csökkenjen, az Euler-képlet kitevőjében szereplő szöget igyekeztek lehetőség szerint kisebbre választani, ami annyit jelentett, hogy a palást több alkotója mentén alakították ki a feszítősajtók megtámasztására és lehorgonyzására szolgáló falpilléretet, illetve bordákat. 6, sőt 8 lehorgonyzási helyet is kialakítottak, és a feszítősajtók helyét nyalábokként ciklikusan változtatták. Az Euler-képlet exponenciális függvényének kitevőjében szereplő szög csökkentése a nagyszámú feszítés, lehorgonyzás, a falpillérek kialakítása miatt költséges.



6.6. ábra. MO-TA-LA feszítési eljárás: a) a feszítőerő csökkenése a kerület mentén; b) az ingák két nézetben; c) a Freyssinet-puska (A pont) és az ingák elhelyezése siló feszítésekor [L. Makk—G. Tassi—J. Lányi (1962)]

A 31. sz. ÁÉV-nál végzett kutatások arra vezettek, hogy az említett kitevőben szereplő másik tényezőnek, a súrlódási együtthatónak a csökkentése célravezetőbb. A huzalnyalábot a kerületnek csupán egy pontján kellett megfeszíteni, s a feszítőerő közben mégis egyenletes maradt, ehhez a súrlódás nagymértékben való csökkentése volt szükséges. Ez csak akkor érhető el, ha a huzalnyaláb a betonfelületet sehol sem érinti. Olyan alkalmas eszközt kellett szerkeszteni, amelynek segítségével a fellépő súrlódás elenyésző lett. Ilyen eszközök a fésűszerű huzalmegfogó elemmel ellátott ingák (6.6/b ábra), amelyeket a kerület mentén kiosztva, a huzalok velük megfoghatók és a faltól eltávolíthatók voltak. A huzalnyaláb végeit a hengerfal egy alkotója mentén elhelyezett lehorgonyzó rúdra támaszkodó két Freyssinet-sajtóba fogták be. Ha ezekkel a huzalnyalábot megfeszítették, a súrlódás miatt fellépő csökkenés minimális, 4% lett. Miután az ingákon átvezetett huzalnyalábot a sajtók segítségével megfeszítették, az előírt feszítőerő rendelkezésre állt, de a huzalnyaláb még a levegőben volt. Annak érdekében, hogy a feszítőerő a huzalnyalábnak a falfelületre való bocsátásával ne csökkenjen, ezt a műveletet a feszítősajtó-párral átellenes oldalon párosával kezdték (6.6/c ábra). Miközben az ingák nyelvét a falfelülethez közelítették, a feszítősajtókat állandóan működtették, és ezáltal a kerületváltozásból következő feszültségcsökkenést a sajtókkal kiegyensúlyozták. Az ilyen módon egyenletesen megfeszített huzalnyalábot kedvező módon lehetett vakolni, mivel a huzalok rendezetten helyezkedtek el. Kedvező ez az elrendezés abból a szempontból is, hogy pl. a Telekes-féle huzalfeszültség-mérő műszerrel a feszítőerő utólag is ellenőrizhető. E műszer a harántfeszítés elvén működik (lásd 9.14. ábra). Ez a feszítési eljárás megbízható, jó ütemben végezhető, s a klasszikus egyedi kábeleknél és más rendszereknél is sok tekintetben kedvezőbb, szerencsésen egyesítette a harántirányú és az érintőirányú erővel való feszítés előnyeit.

Az eljárást *Mokk* László, *Tassi Géza* és *Lányi Jenő* szabadalmaztatta és nevüknek kezdőbetűiből MO-TA-LA eljárásnak nevezték el. A szabadalom száma MO 507/37b/1962. máj. 23.

Magyarországon 26 silót, 9 talpgyűrűt, 2 pakuratartályt, 2 víztorony magastartályát és kb. 27 víztározó medencét feszítették így. A feszítési rendszert a Szovjetunió és az NDK vette át.

6.3. Az üzemi előregyártás

[*Csuha P.* (1973)]

6.3.1. Gyártási eljárások

Beton-, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek üzemi előregyártása területén alkalmazott eljárások három fő csoportba sorolhatók.

A *stand rendszerű vagy fixpados gyártási eljárás* során az előregyártott termék készítése és szilárdítása során nem mozog. A stand rendszerű gyártás

során a termék vagy a szilárdulás befejeztéig sablonban marad (pl. feszített távvezetékoszlop), vagy csak a tömörítés befejezéséig (pl. csúszósablonos feszített földempalló).

A *konvejer* (futószalagos) rendszerű gyártási eljárás lényege az, hogy az elemgyártási folyamatot azonos időigényű elemekre bontják, az egyes részfolyamatok helyei nem változnak, miközben a futószalagon a gyártósablon azonos sebességgel halad előre.

Az *aggregát rendszerű gyártási eljárás* a konvejer eljáráshoz hasonló, de nem futószalagon szállítják a sablont az egyes munkaállásokba, hanem pl. daruval, és egy-egy munkaművelet nem azonos idejű.

Mindegyik gyártási eljárásnak megvan az alkalmazási területe. A konvejer gyártási eljárás világviszonylatban kevésbé terjedt el. Ez nemcsak a nagy beruházási költséggel magyarázható, hanem azzal is, hogy az a gyártósor megkívánja az azonos időtartamú műveletelemeket, de ezt nehéz betartani.

Bármelyik gyártási eljárásnál a termék előállításához szükséges gépi berendezés összessége a *gyártósor*, amely a következő műveleteket foglalja magában:

- késztermék kiszerezése, tárolótérre szállítása;
- sablon tisztítása, olajozása;
- acélváz elhelyezése a sablonban, beleértve a feszítőhuzalokat és a feszítést is (feszített betontermékek esetén);
- üregképzők, elválasztók elhelyezése;
- beton készítése, szállítása, adagolása, tömörítése;
- termék szilárdulása vagy szilárdítása (pl. gőzölése);
- sablonok kiszerezési helyre szállítása (kivéve a stand gyártási eljárást).

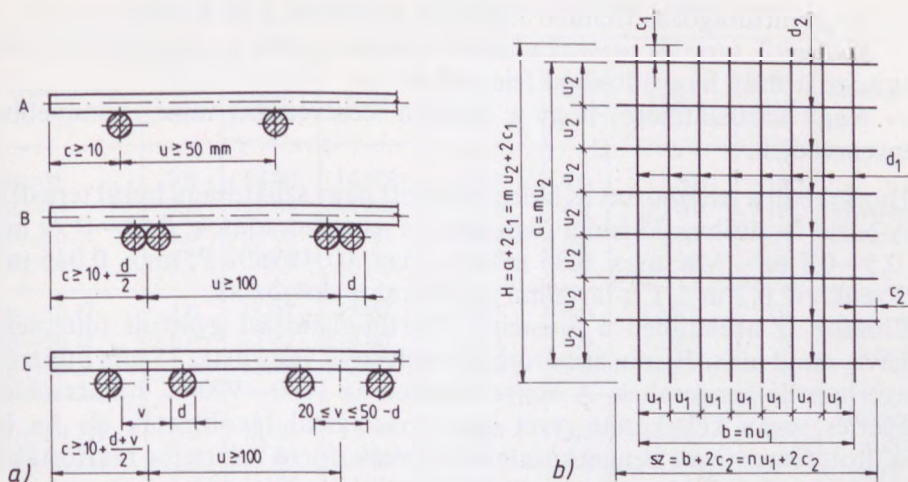
Ez a folyamat a legbonyolultabb termékre vonatkozik, egyszerűbb esetben (pl. betonáru) egyes munkafolyamatok hiányozhatnak.

6.3.2. Fejlődés az acélanyagban

A termék teherbírása szempontjából az előregyártás legfontosabb anyaga a *betonacél* és a feszítőhuzal. Nagyon fontos ezek egyenletes minősége. Ezért az előregyártó ipar különleges követelményeket támasztott a kohászattal szemben.

Az elemgyártás kezdetben sokat küzdött a *betonacél* nem egyenletes minőségével. Ugyanazon szállítmányon belül is nagy volt a betonacélok szilárdságának az eltérése. Ugyanis betonacélnak azokat az anyagokat használták fel, amelyek szerkezeti acélnak nem feleltek meg. Amíg a minőségegyenletesség meg nem javult, addig az elemgyártás két utat járt. Egyik az volt, hogy a folyási határt *csavarással* bizonyos szintre állították be. A másik az volt, hogy az azonos szilárdságú betonacélokat kiválogatták. A vasalást mindkét esetben áttervezték. A csavarás törvényszerűségeit *Tóth F.* (1952) elemezte. Az iparosság fokozásához lényeges előrelépést jelentettek a *betonacél hálók* (6.7. ábra).

A betonacél hálók ma már nélkülözhetetlenek a betonacél váz készítéséhez. Ezáltal elmaradt a nehéz kötözési munka és az acélszerelés munkahelyi idő-



6.7. ábra. Betonacélhálók: a) hegesztési elrendezés; b) síkhálókra jellemző méretek. Jelölés: d — huzalátmérő, u — huzaltávolság, a — a háló hasznos hossza, b — a háló hasznos szélessége, c — a huzalok túlnyúlása a szélső huzalok tengelyétől, H — teljes hálóhossz, sz — teljes hálószélesség; A — egyszeres; B — kettős; C — páros huzalhegesztés

szüksége kb. a tizedére csökkent. A betonacél hálókat és a létrákat (keskeny, hosszú háló) ponthegeesztő berendezésekkel állították elő. Jelentőségük egyre nőtt. Felhasználták lemezszerkezetekhez, alagútzsalus építéshez, vasbeton csövek gyártásához, házigyári épületelemekhez.

A hegesztett hálók készítéséhez a C15H jelű, hegeszthető, ötvöztelen (széntartalma 0,15 m%), hideg húzással előállított acélt dolgozták ki, amely lehet sima kör keresztmetszetű, rovátkolt vagy bordás. Az MSZ 04.22 szabványban előírt minimális anyagjellemzői:

Átmérő	Szakítószilárdság	Folyási határ	Szakadási nyúlás
mm	MPa	MPa	min. %
4—6	600	480	8
6,5—12	600	480	10

Feszítőhuzalok. Magyarországon 1951-től a Salgótarjáni Acélárugyár állított elő feszítőhuzalokat. Előtte külföldről hozták be. 1951—52-ben 2,5 mm átmérőjű sima huzalt, 1953-tól 5 mm átmérőjű sima huzalt gyártottak. A December 4. Drótművek 1959-től gyártotta az 5 mm átmérőjű sima, 1962-től a rovátkolt, 1970-től a csavartfelületű rovátkolt huzalt.

Mankher L. (1958) szerint az alábbi követelményeket támasztják:

- Lehető legnagyobb szakítószilárdság, ill. folyási határ.
- Nagy rugalmassági határ.
- Minél kisebb kúszás.

- Jó együttműködés (felületi kötés) az acélhuzalok és a beton között.
- Kielégítő tartalék a szakadással szemben, amit a folyási határ és a szakítószilárdság hányadosával fejeznek ki.
- Nagy karikaátmérő, hogy a huzal a lecsévélésnél minél könnyebben kiegyesedjék.

Hazánkban a patentozott és hidegen húzott nagy szilárdságú huzal terjedt el.

A hazai feszítőhuzal kémiai összetételére jellemző adatok: 0,65—0,79 m% C; 0,5—0,7 m% Mn; max. 0,35 m% Si; max. 0,045 m% P; max. 0,045 m% S. Ezenkívül 0,2 m% Cu-tartalmú acélokkal is dolgoztak.

Először az acélműben a Siemens—Martin-eljárással gyártott öntecseket bugává, majd max. 50 mm átmérőjű körszelvényű vagy max. 15 mm átmérőjű hengerhuzallá hengerelték. A hengerhuzalon az 1100—900 °C hőmérsékletű hengerlés során keletkezett revét savas pácolással távolították el. Az így előállított fémes tiszta hengerhuzalt leöblítették, forró mésztejbe mártották és megszárították. Majd a száraz, meszes huzalokat előhúzták.

Ezt követően az előhúzott huzalt hőkezelésnek vetették alá, azaz patentozták. A *patentozás* azt jelenti, hogy a huzalt a széntartalmának megfelelően felső átalakulási hőmérséklete fölé, 900—1000 °C-ra hevítették és utána ólomvagy sófürdőben lehűtötték. Ezáltal az acélhuzal sorbitos szövetszerkezetű lett, amely a hőkezelést követő hideghúzás során nagymértékű keresztmetset-csökkenéssel járó, igen kedvező mechanikai tulajdonságok elérését tette lehetővé. A 9 mm átmérőjű előhúzott huzalból az 5 mm átmérőjűt öt kihúzási művelettel érték el. A négyfokozatú húzás már a *feszültségkorróziós veszélyt* hordozta magában.

A következő lépés volt a *nemesített huzal* gyártása. A nemesítés edzésből (a felső átalakulási hőmérséklet fölötti hevítésből és olajban gyors lehűtésből áll) és ezt követően 400—600 °C hőmérsékleten való megeresztésből tevődik össze. A nemesítés jelentősen megnöveli az acél szakítószilárdságát, folyási határát és szívósságát. A nemesített acélhuzalt olajedzett acélhuzalnak is nevezik.

A *feszítőhuzalok* műszaki jellemzőit először az MSZ 5720-62 tartalmazta (6.1. táblázat).

Hőkezelés nélküli, csak hőkezelt és hőkezelt és rovátkolt feszítőhuzalokat szabványosítottak.

A huzalok szabványos rugalmassági modulusa 190 000 MPa, a hullámosított huzaloké 150 000 MPa volt. A hőkezelt és rovátkolt huzalok ernyedési veszteségét a

$$\Delta\sigma = \left(0,27 \frac{\sigma_0}{R_{tt}} - 0,1 \right) \sigma_0$$

képletből lehetett számolni, ahol σ_0 a feszítőfeszültség, R_{tt} a szakítószilárdság.

Hőkezelés nélküli patentozott huzalok számításba vehető — ernyedés okozta — feszültségvesztését 30%-ra lehetett felvenni. Ha a feszítőhuzalt

6.1. táblázat. Feszítéshez használt feszítőhuzalok főbb műszaki adatai

Acélminőség	Átmérő mm	σ_1 MPa	$\sigma_{0,2}$ MPa	$\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_1}$	δ_{10} %	$\sigma_{feszítő}$ MPa	Hajtogatás	Megjegyzés
180—25	2,5	18 00	14 500	0,80	4,0	12 50	10	Hőkezelés nélkül
180—30	3,0	18 00	14 000	0,78	4,0	12 00	10	
150—50	5,0	15 00	11 50	0,77	5,0	10 50	8	
140—70	7,0	14 00	10 20	0,73	5,0	10 00	6	
180—30 H	3,0	18 00	15 00	0,83	6,0	12 50	10	Csak hő- kezelt
170—50 H	5,0	17 00	14 00	0,83	6,0	12 00	8	
150—70 H	7,0	15 00	12 00	0,80	6,0	10 50	6	
180—30 HR	3,0	18 00	15 00	0,83	5,0	12 50	10	Hőkezelt és rovátkolt
170—50 HR	5,0	17 00	14 00	0,83	6,0	12 00	6	

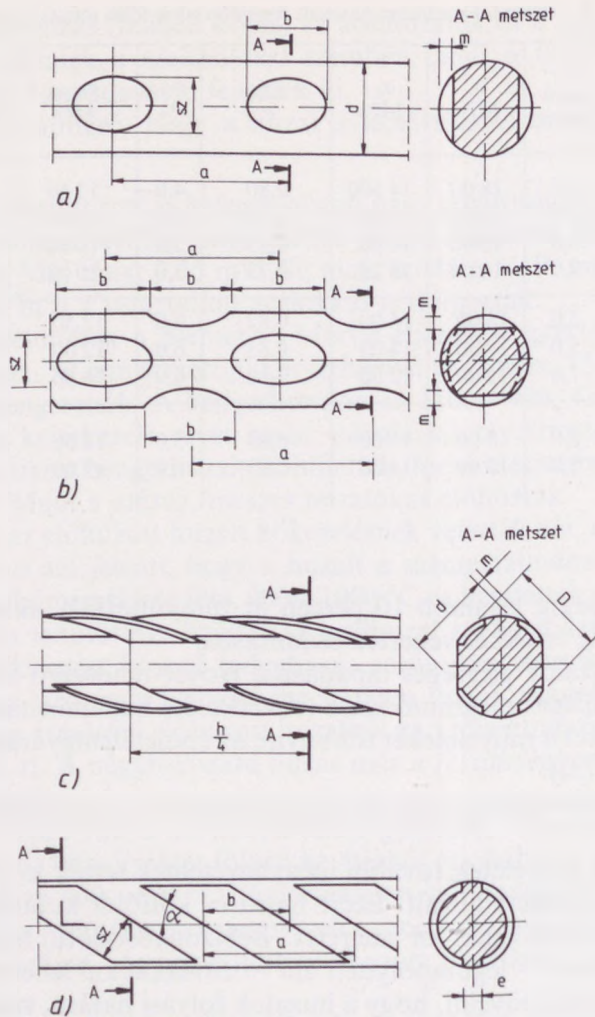
1,1 σ_0 feszültségig legalább 10 percen át túlnyújtották, akkor a feszültségvesztéséget fele értékkel vehették számításba.

A feszítőhuzalok elégséges tapadása a Hoyer-rendszerű feszítéshez csak a huzalok különleges megmunkálása (rovátkolás, hullámosítás, sodrás) esetén van meg. Ezeket a műveleteket többnyire az épületelemgyárakban végezték el [Csuha P. (1973)].

Ezenkívül a feszítőhuzaloknak ki kellett bírniuk a hajtú alakú huzalmeghajlítást is.

Mindezek a műveletek további igénybevételnek tették ki a húzási művelet során felkeményedett huzalt. Ezért hazai és külföldi kutatások keresték az optimális rovátkáformát és -méretet. Bebizonyosodott, hogy csak az éles sarkoktól mentes — legömbölyített élű — rovátkákkal lehet a feszítőhuzalok tapadását anélkül növelni, hogy a huzalok folyási határa, szakítószilárdsága, szakadónyúlása jelentős mértékben csökkenne. Hosszú ideig a Zeuss rovátkatípust (6.8/d ábra) tekintették a legjobbnak. Újhelyi J.—Armuth A. (1967), Baranyai Horváth M. (1974) szerint a miskolci „December 4.” Drótművek találmánya, az ún. „csavartfelületű, lapított rovátkolás” (6.8/c ábra) ennél is jobb. Továbbá előnyben kell részesíteni a huzalok rovátkolását a kohászati üzemben, mert ez a rovátkolás műszakilag megbízhatóbb az előregyártó üzemben végzett rovátkolásnál. 1974-ben általában már rovátkolt huzalokat rendeltek.

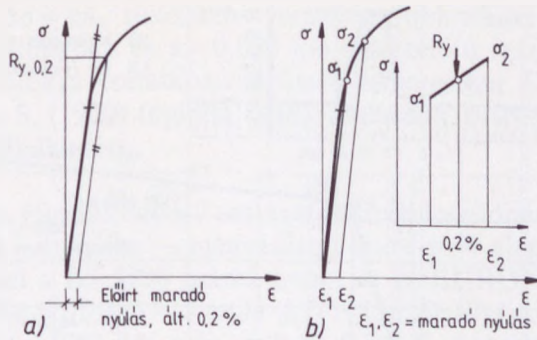
A huzalokat megfelelően kialakított fogaskerek közötti áthúzással könnyen lehet hullámosítani. A huzalok az előfeszítés hatására ugyan annyira kiegyenesednek, hogy a hullám szemmel alig látható, de ez a hullámosság is elég a tapadás szükséges mértékű növelésére. A hullámosítás a rugalmassági modulus és a szakadónyúlás jelentős csökkenését okozhatja. Rontotta a hullámosítás hatását, hogy a feszítőhuzalokat nem a kohászat, hanem az



6.8. ábra. Rovátkák: a) kétoldalt; b) négyoldalt rovátkolt acélhuzal; c) csavart felületű huzal; d) Zeus rovátkák [Baranyay Horváth M. (1974)]

építőipar hullámosította, ahol a szakértelem kisebb [Baranyai Horváth M. (1974)].

A feszítőhuzaloknak nincs valóságos folyási határa, ezért bevezették az *egyezményes folyási határt*. Kezdetben a különböző országok és cégek nem azonosan definiálták. A szocialista országokban és Ausztriában ezen a 0,2% maradó alakváltozáshoz tartozó feszültséget értették. Kezdetben terheletlen állapotban vizsgálták, azaz bizonyos terhelőfeszültségről tehermentesítettek. A terhelést—tehermentesítést addig folytatták, amíg a 0,2%-os nyúlást közrefogták (6.9/b ábra). Ez a meghatározás nehézkes volt és már Mankher Gy.—Mankher L. (1962) az egyezményes folyási határ terhelt állapotban való



6.9. ábra. Az egyezményes folyási határ a) terhelt állapotban; b) terheletlen állapotban

meghatározását ajánlotta. Ez esetben meghatározzuk a σ — ϵ diagramot, és ahol a diagram kezdeti érintőjével $\epsilon=0,2\%$ -ból húzott párhuzamos egyenes metszi a diagramot, ott van az egyezményes folyási határ (6.9/a ábra). Ezek a fogalmak ma is érvényben vannak.

A másik probléma, amely sokat foglalkoztatta a kutatókat [Veress S. (1956), Erdélyi A. (1966, 1967, 1970, 1971, 1972, 1973, 1978, 1982, 1984), Erdélyi A. és Czeglédi Gy. (1973), Czeglédi Gy.—Erdélyi A. (1974)] a feszítőfeszültséget csökkentő *ernyedés* vagy *relaxáció*.

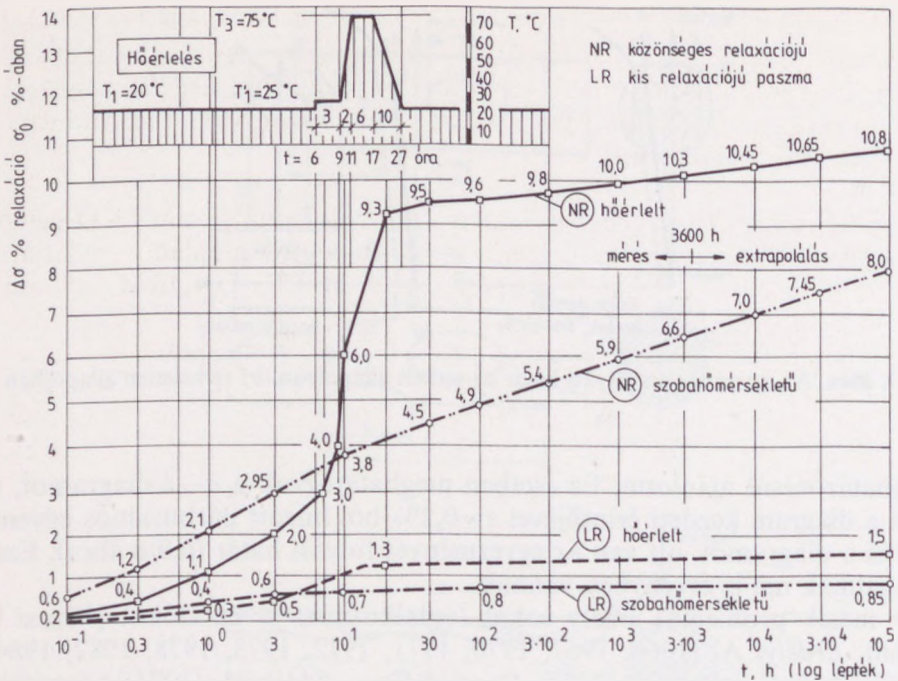
Erdélyi Attila tagja volt a FIP (Nemzetközi Feszítettbeton Egyesület) feszítőacélok és feszítési rendszerek bizottságának, és cikkeiből nemcsak saját kutatási eredményei tükröződtek, hanem a bizottsági munka eredményei is. Saját, valamint külföldi eredmények alapján megállapította (1966), hogy ha a feszítőfeszültség a szakítószilárdság 60—70%-a, akkor a relaxáció 11,5 évre extrapolált végértéke 10% alatt marad. Ezen túlmenően a különböző huzalok relaxációja a szokásos képletekből nem számítható megbízhatóan, mert nem veszik figyelembe a huzal összes mechanikai tulajdonságait és a szerkezetelemből adódó szabálytalan, lassú csillapodási szakaszokat.

A feszített betonelemeket hazánkban gőzölték, ezért Erdélyi A. (1973, 1978) a gőzölés okozta többletrelaxáció számítására a

$$\Delta\sigma_t = \Delta\sigma_{t_0} + A \left(\frac{\Delta t}{t_0} \right)^c$$

összefüggést ajánlotta. A képletben $\Delta\sigma_{t_0}$ a t_0 hőmérséklethez tartozó relaxáció, $\Delta t=(t-t_0 \text{ } ^\circ\text{C})$, A és c mérési adatokból, de t_0 -tól eltérő, legalább kétféle hőmérsékletű görbéből megállapítható állandó, t_0 pedig tetszés szerinti kiinduló t_0 .

Belga kísérletek arra engednek következtetni, hogy a gőzölés meggyorsítja a relaxációt, 50—100 év múlva azonban közel azonos a gőzölt és gőzöletlen feszített betonban az acél relaxációja, de csak végtelen időben szűnik meg a különbség (6.10. ábra).



6.10. ábra. A gőzölés hatása a feszítőhuzalok relaxációjára [Erdélyi A. (1978), H. Lambotte—P. Herberghen—A. Acker—D. Nieuwenberg (1974)]

A relaxációs veszteséget Erdélyi A. javaslatára a következő értékekkel írták elő az MSZ 15022-2/83 szabványban:

1. általában:

$$\Delta\sigma_{\infty} = \sigma_0 \left(\frac{0,7\sigma_0}{R_{pk,norm}} - 0,28 \right), \text{ ha } \sigma_0 > 0,4 R_{pk,norm}$$

$$\Delta\sigma_{\infty} = 0, \text{ ha } \sigma_0 \leq 0,4 R_{pk,norm}.$$

2. különleges, kis relaxációjú betéteknél:

$$\Delta\sigma_{\infty} = \sigma_0 \left(\frac{0,5\sigma_0}{R_{pk,norm}} - 0,25 \right), \text{ ha } \sigma_0 > 0,5 R_{pk,norm}$$

$$\Delta\sigma_{\infty} = 0, \text{ ha } \sigma_0 \leq 0,5 R_{pk,norm}.$$

A képletekben $\Delta\sigma_{\infty}$ a feszültségvesztés végértéke, MPa, σ_0 a feszítőfeszültség, MPa, $R_{pk,norm}$ a feszítőhuzal minősítési értéke, MPa.

A relaxációs veszteség ($\Delta\sigma_t$) időbeli lefolyása

$$\Delta\sigma_t = \frac{t^a}{t^a + b} \Delta\sigma_{\infty} + \Delta\sigma,$$

ahol t a feszítés óta eltelt idő, óra, a és b az acélfajtától és a feszítés mértékétől

függő állandó, $\Delta\sigma = \alpha\sigma_0$ relaxációs veszteségtöbblet hőérlelt beton esetén, MPa, $\alpha = 0,075$ általában és $\alpha = 0,030$ kis relaxációjú feszítőhuzalokban. A hazai feszítőhuzalokra vonatkozó legújabb ismereteket Erdélyi A.—Madarász L.—Takács S. (1970) foglalta össze. Erdélyi A. (1981) a feszítőhuzalok tartósságával foglalkozott.

Feszítőpászma. Hazánkban a 7 szálás stabilizált feszítőpászmát a December 4. Drótmű 1982. január óta — megvásárolt know-how alapján — gyártja. Ez a termék megfelel a BS 5896 számú angol és az EURONORM 138 számú szabványoknak [Lakatos O.—Lipták A. (1985), Erdélyi A. (1986)].

A pászmát 0,75—0,80 m% szén- és 0,6—0,7 m% mangántartalmú ötvözetlen szénacélból ARBOGA DG 5 típusú svéd gépen 7 húzási fokozattal, 85—90%-os összkeresztmetszet-csökkenéssel állították elő. A húzást ún. *patentozásos hőkezelés* előzte meg, hogy a húzással nagyszilárdságúvá tett huzal perlites szövetszerkezetű és jól alakítható legyen. A patentozást nagy teljesítményű, ún. impulzuségős gázkemencében végezték, a hűtést ólomfürdőben érték el. A patentozás után a hengerlési és patentozási revét sósavas pácolással távolították el. Majd a huzal felületére kétrétegű (foszfát + borax) hordozófilmet hordtak fel azért, hogy a húzáshoz szükséges kenőanyag az acélhoz jobban tapadjon.

A húzást a *csévézés* követte. Egy cséve kb. 1000 kg tömegű, hegesztéses toldás nélküli. Ezután a huzalokat minősítették. Csak a megfelelő szilárdságú huzalokat vetették alá a sodrás és stabilizálás műveletének, amelyet egy munkafolyamatban Redaeli olasz és BBC német berendezéseken végeztek el. A pászmák 7 erekek voltak, egy maghuzalból és 6 borítóhuzalból álltak. A sodrat menetmagassága a pászma átmérőjének 14—16-szorosa. A *stabilizálás* termomechanikus hőkezelési eljárás, amely során a pászmát megfeszítik és megfeszített állapotban hőkezelik (megeresztés) azért, hogy kis relaxációjú pászmát kapjanak.

A pászmákat kötegekben vagy dobon szállították.

0,5" átmérőjű feszítőpászmákat állítottak elő, a gyártósor lehetővé tette 8—15,2 m hosszú pászmák gyártását.

A pászma tulajdonságaira vonatkozó, az Építőanyagok Tanszéken (Erdélyi A. (1988), az ÉMI-ben (Madarász L.) és a VASKUT-ban (Takács S.) szerzett tapasztalatokat a 6.2. táblázat tartalmazza (1990).

Üvegszálás feszítőkábelek (Erdélyi L.—Kiss R. (1992)]. Lehet, hogy megjelent az acél feszítőhuzalok versenytársa, a műanyagba ágyazott üvegszálás feszítőkábel.

A stuttgarti egyetemen [G. Rhem és L. Franke (1974, 1977)] kísérletekkel bizonyították, hogy az üvegszálás feszítőkábel különösen ott alkalmas acél feszítőkábelek helyettesítésére, ahol fokozott korrózióveszéllyel kell számolni.

Jelenleg a Bayer A.G. POLYSTAL HLV (Hochleistung-Verbundstab) márkanéven gyártja. Az általuk gyártott POLYSTAL kábel kb. 43 mm átmérőjű és 19 db, egyenként 7,5 mm átmérőjű POLYSTAL kötélből áll. A

6.2. táblázat. A 7 eres pászma jellemzői mért adatok alapján [Erdélyi A. (1986)]

Megnevezés	Szakítóerő kN	Egyezményes folyási határ		Teljes nyúlás* F_{max} -nál %	Rugalmassági modulus MPa
		$F_{0,1}$	$F_{0,2}$		
		kN			
Mért legkisebb	170,6	149,8	154,2	5,8	191 000
Átlag	173,8	157,0	162,5	6,5	194 000
Szórás	3,0	2,0	3,8	0,3	2 000
Variációs együttható %	1,7	1,3	2,3	4,6	1,0

* = követelmény legalább 3,5% 600 mm mérőhosszon

kábelt 55 mm belső átmérőjű kábelcsatornába helyezik, amit később kiinjektálnak.

A 7,5 mm átmérőjű üvegszálás POLYSTAL kötél 32 db párhuzamos üvegszálalából, ún. rovingból és telítetlen poliésztergyantából áll. A rovingok kb. 2000 db, 20—25 μ m átmérőjű E-üvegszálból állnak. Az üvegszál a teljes keresztmetszetnek 68 V%-a, a műgyanta 32 V%-a. A kötél felületét érdesítik.

Az St 1470/1670 jelű feszítőpásmával azonos szakítószilárdságú POLYSTAL kötél szakadónyúlása kb. fele (3,3%), rugalmassági modulusa kb. a negyede (kb. 51 000 MPa), mint az acél feszítőpásmáé, folyási határa nincs.

Tervezés során a kötél relaxációja 3,2%-ra, tartós szilárdsága 70%-ra, a kábelek hatásos feszítőereje 600 kN-ra vehető fel. A feszítőkábelek egyik problémája a lehorgonyzás.

Az első kísérleti műtárgy a düsseldorfi Lünen'sche Gasse-i 6,55 m támaszközü lemezhid volt, 1980-ban a kísérleti jelleg miatt a kábelcsatornákat nem injektálták ki. A kísérleti hídon 5 féle lehorgonyzást próbáltak ki és 5 év múlva ezeket rangsorolták. Ekkor a kábeleket újakra cserélték ki és a kábelcsatornákat kiinjektálták.

Az első nem kísérleti jellegű közúti hidat 1986-ban helyezték forgalomba Düsseldorfban. A kisnyílású híd támaszköze 21,30 és 25,60 m. A hidat 59 db kábellel feszítették meg, kábelenként 19 db üvegszálás kötéllel. A kábelek lehorgonyzása kiöntött-szorító típusú.

A hidpályalemez építéséhez szükséges 700 m³ B45 szilárdsági jelű betont egy nap alatt munkahézag nélkül dolgozták be.

Ezenkívül 1988-ban Berlinben egy gyaloghídat, Leverkusenben 3 nyílású közúti hidat adtak át és 1990-ben kezdtek az ausztriai Nötschben építeni egy háromnyílású lemezhidat.

Hazánkban 1991-ben Kiss Rita készítette el diplomamunkaként egy közúti hid tervét Balázs György és Erdélyi László irányításával.

6.3.3. Üzemi előregyártással előállított főbb építőelemek

Alábbiakban felsoroljuk az üzemben előállított építőelemeket és megadjuk, hogy azokat mely fejezetben ismertetjük.

a) *Lakásépítési elemek:*

nagy elemek (14. fejezet):

- homlokzati falpanelok,
- válaszfalpanelok,
- vizesblokk-téreelemek,
- loggiaelemek,
- fűdémpanelok,
- lépcsők stb.

kis elemek:

- fűdémgerendák (14. fejezet),
- üreges fűdembéléstestek (14. fejezet),
- fűdém tálcák (14. fejezet),
- fűdém pallók (14. fejezet),
- kiváltógerendák,
- falazóblokkok (14. fejezet),
- kéményelemek,
- szellőzőelemek,

b) *Közösségi épületek elemei (16. fejezet):*

- pillérek,
- mestergerendák,
- fűdém pallók,
- falpanelok stb.

c) *Ipari és mezőgazdasági csarnokszerkezeti elemek (15. fejezet):*

- alaptestek,
- pillérek,
- főtartók,
- mestergerendák,
- szelemenek,
- tetőpanelok,
- falpanelok,
- padlóburkolati elemek stb.

d) *Vízellátási és csatornázási elemek (13.3. fejezet):*

- csövek

- kútgyűrűk
- aknaelemek.

e) *Útépitési elemek:*

- útburkolókövek (8.3. fejezet),
- járdalapok,
- korlátoszlopok,
- korlátgerendák,
- útszegélyek,
- jelzőoszlopok,
- térburkolati elemek.

f) *Vasúti, villamosvasúti elemek:*

- vasúti aljak (10.8. fejezet),
- kisvasúti aljak (10.8. fejezet),
- tübbingelemek (11.3. fejezet),
- villamosvasúti panelek.

g) *Vezetékek és közvilágítási elemek:*

- távvezetéki oszlopok,
- oszlopgyámok,
- vasúti felsővezetéki oszlopok,
- közvilágítási oszlopok stb.

h) *Vizépitési elemek:*

- mederburkoló lapok.

i) *Hídelemek:*

- hídgerendák (9.4.2. fejezet),
- feszített pallók (9.4.1. fejezet),
- szegélyelemek.

j) *Egyéb elemek:*

- bányaidomkövek,
- kerítéselemek,
- garázsok,
- hétvégi ház elemei,
- műköárak.

6.3.4. Az elemek formázása

Az elemgyártás fejlődése során a formázásnak a termék fajtájától és a gyártási eljárásoktól függően az alábbi módszerei alakultak ki:

a) A vasbeton és a feszített vasbeton elemek formázásának leggyakoribb módja az volt, hogy *az elemet sablonban készítették, és a beton megszilárdulása után a sablonból az elemet kivették.*

A legtöbb esetben a sablon felülről nyitott volt, az elemnek csak a felülete nem volt sablonban. Lemezszerű elemeknél (pl. belső falpanel, tübbing) az elem felületének nagy része maradt szabadon, míg más esetekben (pl. födémgerenda, hídgerenda) ez az arány kisebb volt.

Másik megoldás az volt, hogy az elemet zárt (pl. Sentab-cső) vagy majdnem zárt (válaszfalpanelek állósablonos gyártása) sablonban gyártották. A szilárdulás szempontjából legkedvezőbb módszer, mert az érlelés tartamán víz nem távozhat a betonból.

A harmadik megoldás az volt, hogy az elem elkészítése után az oldalzsalt eltávolították.

A negyedik megoldás az volt, hogy a sablont saját beton alap vagy műközalap képezte, és csak az oldalzsalt volt acélból. Pl. födémlemez gyártása, amelyet padlófűtéssel érleltek (6.11/a ábra).

b) *A friss, bedolgozott elemről a formázás után a sablont levették.* Egyik módszer szerint a tömörítés befejezése után a termékről felhúzták a sablont (csőgyártás, falazóblokk gyártása). A másik módszer szerint a sablonból kitolták a betömörített terméket. Ez a gyártási mód megkövetelte a frissen bedolgozott elem állóképességét (megfelelő zöldszilárdságát).

c) *Csúszósablonos formázás.* Használták beton-, vasbeton és feszített beton elemek gyártásához. Bár több változata volt, közös a tömörítési mód: a vibrálás, ill. vibropréselés. Egyik változata szerint a gyártógép haladt, az elkészített elem csak megszilárdulása után volt mozdítható. Pl. feszített födempallógyártás Weiler típusú gépekkel. Másik eljárásnál a gép állt, az alátétek az elkészített termékkel az érlelőtér felé mozdultak.

A betongyártás terén eléggé általános a csúszósablonos formázás, pl. a lapszerű elemeket (mozaiklap, járdalap stb.) a vibropréselés után a sablonból kinyomták.

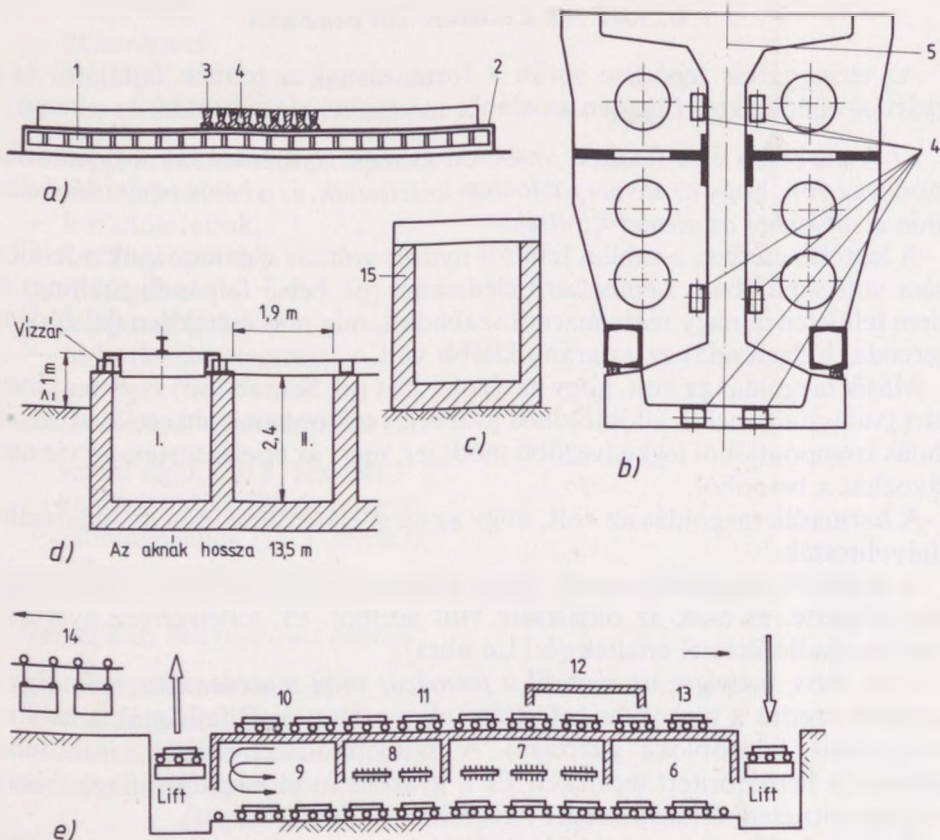
6.3.5. A gőzölés technológiája

A betonszilárdítás lehetséges módszereit az 5.6. fejezetben ismertettük.

A hazai üzemi előregyártásban a gőzölés szinte egyeduralkodónak volt tekinthető.

A gőzölési rendszerek:

- padlófűtés,
- sablonfűtés,



6.11. ábra. Gőzölési rendszerek [Balázs Gy. (1987)]. a) padlófűtéses érlelés: 1 — üreges vasbeton lemez; 2 — mozaiklap; 3 — födémgerenda; 4 — acélsablon; b) sablonfűtéses érlelés: 4 — gőzvezeték; 5 — hidgerenda; c) gőzölőkamra: 15 — hőszigetelt fal; d) gőzölőakna; e) gőzölő alagút: 6 — pihentetés; 7 — felfűtés; 8 — izotermikus érlelés; 9 — lehűtés; 10 — szerelés; 11 — betonozás; 12 — felületi simítás miatt szikkasztás; 13 — utósimítás; 14 — tárolóterre szállítás függő konvektor pályán

- gőzölés kamrában,
- gőzölés medencében,
- gőzölés alagútban.

A padlófűtéses érlelést (6.11/a ábra) az előregyártás kezdeti időszakában alkalmazták a Budapesti Épütelemgyárban vasbeton födémgerendák szilárdításához. A gyártólemez alatti csatornába vezették a gőzt. A lemez a sablont melegítette. A rendszernek két hibája volt. Egyrészt energiapazarló volt, másrészt az elemek hőérlelés közben kiszáradtak. Utóbbi hibát ki lehetett ejteni azért, hogy az elemek fölé búrát helyeztek és az alá is gőzt vezettek. Ezt a módszert később a hosszúpályás, főként csúszózszaluzatos formázás után használták. A búra alá vezetett gőz az elemek üregeibe is behatolt.

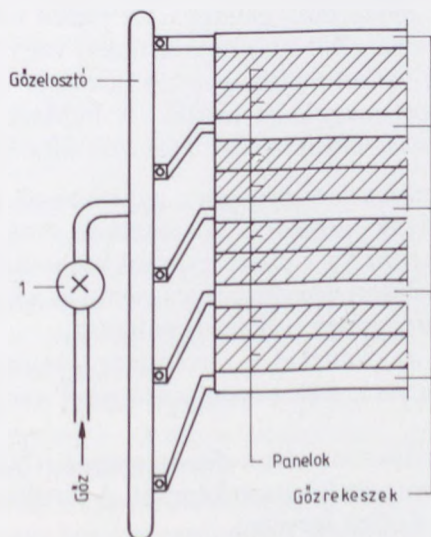
A *sablonfűtés* (6.11/b ábra) olyan érlelés, amely során az elem közvetlenül nem kap gőzt, csak a sablonban lévő üregek közvetítésével. Ilyen a panelos válaszfalak csoportzsalus érlelése is függőleges helyzetben (6.12. ábra). A sablonfűtés lehetett vízszintes helyzetű is. Ez esetben az elemmel megtöltött sablonokat egymásra helyezték, és pl. a sablonfenékben lévő zárt teret melegítették.

A sablonfűtés rendszerébe sorolható az az eset, amidőn a gőzt a térelemek (garázs, épületgépészeti magok) stb. belső sablonterébe vezették. Hasonló volt a SENTAB-cső érlelése (lásd 13.3. fejezet).

A sablonfűtési eljárás sem volt energiatakarékos. Kivételt képeztek a házgyári csoportzsaluk.

A *gőzőlőkamrák* (6.11/c ábra) szobaszerű, jól hőszigetelt terek, amelyekbe az elemeket sablonostul vagy kiformázott állapotban helyezték el. Rendszerint egyajtósak és ajtajuk függőleges volt. Gőzőlőkamrákban elsősorban betonárukat (csöveket, blokkyszerű elemeket stb.) érlelték. A jól megépített gőzőlőkamrák energiatakarékosak. A gőzölés jól szabályozható — a pihentési idő kivételével.

A *gőzőlőaknák* (6.11/d ábra) felülről nyitható gőzőlőterek. Lehetnek a csarnok padlószintje felett vagy részben a padlószint alá süllyesztve. Utóbbiak voltak a gyakoribbak, mert ez esetben a csarnokban a kilátást nem zavarták. Rendszerint 1 m-re emelkedtek a padlószint fölé. Valójában ezeket nevezik aknának. Méreteiket a gyártandó elemek szabták meg. Ahogy az akna megtelt, hőszigetelt aknatetővel lezárták. A vasbeton és a feszített vasbeton szokásos gőzölési rendszere. Daruzott csarnokban kedvezőbb volt a kamrá-



6.12. ábra. Érlelés csoportzsaluban, felülnézet [Balázs Gy. (1987)]. 1 — szervómotor a csoportzsalu gőzszelvényének a működtetéséhez.

nál, az elemeket könnyebben lehetett mozgatni. Kialakítható energiatakarékosan.

Az eddig ismertetett érlelési rendszerek szakaszos üzeműek voltak. A *gőzölő alagútban* (6.11/e ábra) megvalósítható volt a folyamatos üzem. Az elemek az alagút egyik végén kocsin begördültek. A folyamatos üzemű gőzölőalagútban nem lehet élesen elválasztani a gőzölés szakaszait, mert sem a be- és kilépő nyílások, sem a gőzölési ciklushatárok nem zárhatók gőzzáróan.

Voltak szakaszos működésű gőzölőalagutak is. Ezek ajtajait a termékkel való feltöltés után zárták és utána megkezdődött az előírt gőzölés. A szakaszos működésű gőzölőalagutak tehát hosszú, két végükön nyitható gőzölőkamrák.

6.3.6. Az elemek szállítása és tárolása

A legyártott, megfelelően szilárd elemeket a tárolótérre szállították.

Az üzem területén a szállítás módja függött a gyártott termék fajtájától, a gyártási technológiától és a gyár technológiai felszereltségétől. Az üzemi előregyártás az építőipar mellék- vagy kiegészítő tevékenységeként indokolt és onnan vette át a toronydarut, mint általános szállítóeszközt. Később kiszorították a híddaruk, a bakdaruk, az autódaruk, a targoncák, a demág pályák demág emelőkkkel stb.

A szokásos tárolótérek:

a) Daruk nélkül, elsősorban betonárut gyártó üzemekben, a szállítást targoncával, autódaruval végezték.

b) Egyszerű, két irányban konzolos bakdaruk, esetleg kiegészítve targoncás szállítással. Főként blokkszerű elemgyártás esetén használták.

c) Nagy teherbírású (50—200 kN) bakdarukkal vagy híddarukkal felszerelt tárolótérek. Ezek a vasbetonelem-gyártás tárolótér típusai. Leggazdaságosabbnak a híddaruzott megoldást tartják. A híddaruk alkalmasak mind hossz-, mind keresztirányú szállításokra. Hosszuk általában 100—200 m.

A híddarupályák lehetnek merőlegesek a gyártósorok, ill. a mellettük futó vasúti vagy közúti pályák vonalára, de lehetnek azzal párhuzamosak is. Utóbbi esetben a híddarupálya a gyártócsarnokból indulhatott. Ilyenek voltak általában a házgyárakban. Célszerű, ha a vasúti és a közúti pályák vonalai ebben az esetben is merőlegesek a híddarupályáéra.

A gyártócsarnokból az elemeket a tárolótérre görgősoron, csillén, kötéltranszportörrel, targoncával, traktorvontatású pótkocsival, esetleg híddaruval szállították ki.

Vasbeton elemek tárolásához olyan depónialapokat kellett építeni, hogy a rakatokat károsodásmentesen lehessen képezni. A tárolóteret és azon a rakatképzést gondosan meg kellett tervezni.

A tárolótérre helyezett elemek terv szerinti szilárdságuknak rendszerint csak 50—60%-át érték el a kiszállítás időpontjában. Ezeknek az elemeknek

utókezelésre lett volna szükségük a továbbszilárduláshoz. Utókezelésre megfelelő a páradús tér, amit víz permetezésével lehetett elérni. Erre azonban ritkán került sor. Ha nem volt utókezelés, akkor a nyári esőmentes időszakban kedvezőtlenebb volt a gőzölés utáni szilárdulás, mint ősszel vagy tavasszal.

6.3.7. Betonárúk gyártástechnológiája

A betonáru vasalatlan terméket jelent. A sokféle elem — gyártás szempontjából — lehet lapszerű, blokszerű és csőszerű.

A betonárúkra rendszerint a kis méret, kis tömeg, valamint az jellemző, hogy automatizálva gyárthatók.

A *lapszerű elemek* elsősorban burkolóelemek. Egyik legrégebbi és legnagyobb mennyiségben előállított burkolóelem a **mozaiklap**.

A mozaiklapokat lakó-, középületek és ipari épületek vizes helyiségeinek, közlekedő tereinek burkolására használták. A szokásos lapméretek: 20/20, 25/25, 30/30 és 40/40 cm. A lapok 25—45 mm vastagok voltak.

A mozaiklapok járófelületétől kopásállóságot és esztétikai megjelenést követelünk meg. Azonban túl költséges lenne ebből a különleges betonból készíteni a teljes lapot, ezért a mozaiklap kétrétegű. A *hátbeton* szokásos összetétele: 1 rész cement, 3 rész kvarchomok (ebből 0,5 rész zúzott mészkő) és 3—10 m% víz a koptatóréteg nedvességi fokától függően. A hátbeton annál szárazabb kellett legyen, minél vizesebb volt a koptatóréteg. Olyan adalékanyag jó, amelynek van megfelelő abszorbeáló képessége. Erre kellett a zúzott mészkő. A *koptatóréteg* adalékanyaga a csiszolhatóság és fényezhetőség miatt rendszerint színes mészkő vagy márványzúzalék volt. Színes habarcsú koptatóréteget oxidfestékek adagolásával értek el. A halvány színű színezékhez fehércementtel kellett készíteni a koptatóréteget. A zúzalék szemmegoszlását szigorúan előírták.

A *klasszikus mozaiklapgyártás* három vezérgépre épült, nevezetesen a lap-sajtolóra, a durvacsiszoló gépre és a finomcsiszoló vagy fényezőgépre.

Az első munkaművelet során a lapformába kézi adagolással jutatták a koptatóréteg anyagát, amit vibrálással terítették el. A nagy víz—cement tényező miatt ez a művelet könnyű volt. Az elterített koptatórétegre adagolták a szárazabb hátbetont. Majd 8—10 MPa nyomással tömörítették. A sajtolás hatására a víztartalom a két rétegben közel kiegyenlítődött. A sajtolt lapot azonnal ki lehetett emelni.

A konténerbe rakott lapok legalább 8 napig természetesen szilárdultak. Ezután a koptatórétegből 2—3 mm-t lecsiszoltak, ami által a koptatóréteg elnyerte végleges színét és mintázatát.

Ilyen rendszerű mozaiklapgyártás mindmáig folyt. Hibái (nagy fizikai munkai igény, sok selejt, nagy lefedett területeket igényelt, nem volt eléggé egyenletes a minőség) miatt tökéletesítették a sajtoló- és csiszológépeket és a mozaiklapgyártás teljes automatizálására törekedtek.

Az első automata Henke rendszerű gépsort a BVM Szolnoki Gyárában építették fel az 1960-as években. A gyártási folyamatot *Csutor János* dolgozta ki, és *Csuha P.* (1973) részletesen ismertette. Ez a gyártósor végül is rövid életű volt, mert a gyártási művelethez szükséges technológiai fegyelmet nem tudták betartani.

Ocem-Cassani olasz automata gyártósort építettek a Szentendrei Beton-árnyárban.

A **járdalapok** vasalatlan betonelemek. Abban térnek el a mozaiklapoktól, hogy nagyobbak ($40 \times 40 \times 6$, $50 \times 50 \times 5$ vagy $50 \times 75 \times 8$ cm), egyrétegűek, nagyobb a hajlító-húzószilárdsági követelmény, fagyállóknak (esetleg sózásállóknak) kell lenniük és a járófelülettel szembeni esztétikai igény kisebb a mozaiklapokénál.

A legkezdetlegesebb és még napjainkban is előforduló gyártási mód az volt, hogy a járdalapot rázóasztalon a sablonba bevibrálták, az elkészített elemet alátétlapra borították és azon az érlelő- (tároló-) helyre szállították. Ez a gyártás kis termelékenységű volt, kézi munkára alapozódott.

A következő fejlődési fokozat a vibropréseléses eljárás volt. Rendszerint körforgóasztalos, hasonló a mozaiklapgyártó gépekhez. Végül kifejlesztették az automatizált járdalapgyártó gépeket.

5 fő kezelőszeméllyel egy ütemben 1 m^2 , egy műszakban $1100\text{--}1400 \text{ m}^2$ lapot gyártottak. A gyártósor elején helyezték el az adalékanyag- és cementsilókat és a betonkeverőgépeket. Ezek programkártya vezérlésűek. A prés gép körforgóasztalos. A préssel előállított lapokat egy automata leszedte és élére állítva alátétlemezekre helyezte. A lapokat az alátétlemezen görgősor az érlelőtérbe juttatta.

Az érlelősorok kapacitását az érlelési mód függvényében határozták meg. A kész termékeket a leszedő gép szedte le, raklapra vagy konténerbe csomagolta.

A gyártósor többféle lehetett. Általában az érlelés módja tért el. Egyik szerint az alátétláncokat függőleges mozgású sorolóállványra helyezték, amely ha megtelt, akkor a lapokat villás targoncával a gőzölőkamrába vitték és ott gőzölték.

A **blokkszerű elemek** üreges vagy tömör, könnyűbetonból vagy kvarckavic betonból készített vasalatlan betonárúk.

Rendeltetésük szerint idetartoznak a falazóblokkok, a földémbélestestek, a kémény- és szellőzőelemek, kerítéselemek stb. Ezek általában a lakossági építkezésre szánt tömegárúk.

A hagyományos gyártási módszerekre a minimális gépesítettség, a nehéz és sok fizikai munka és a kis termelékenység volt jellemző. Napjainkban is előfordul, de a tömeges gyártást a gépi munka növelése jellemzi.

A korszerű blokkgyártás túlnyomó részben *vibropréseléses*. A vibroprés a vezérgép. A gyártási eljárás lehet stand rendszerű, amikor a legyártott elem a helyén marad, és lehet konvektor rendszerű, amikor a gép helyhez kötött.

A vibroprésüket általában kis szilárdságú betonblokkok előállítására használták, de előállítottak velük igen nagy szilárdságú betonelemeket is.

A blokkgyártó vibroprés fölött hengerelt acél betontartály volt, amelyet alul szektorzárral nyihattak-zárhattak. A betontartályból a beton a töltőkosziba hullott, ahonnan a sablonba esett. A kocsi ürítés közben előre-hátra mozgott a töltés egyenletessége érdekében. A gyártósablon magasabb volt a végleges elemnél. Az elem a vibropréselés után kapta meg tervezett magasságát. A sablon fenéklemezét az alátétlemez alkotta. A vibropréselés befejezése után a gyártógép a sablont felfelé húzta, miközben a nyomószerkezet nyomólemeze az elemeket az alátétlemezen tartotta. A kiformázás után a nyomószerkezet is felemelkedett eredeti helyére. Majd a hordozó láncpár, amelyen az alátétlemez szélességének megfelelő távolságban ütközők voltak, előremozdult annyira, hogy az alátétlemezeket a rajtuk lévő elemekkel együtt a végtelepített sodronyköteles szállítóberendezésre toltta. Azon az elemek a készárutároló térre jutottak.

A bemutatott vibroprés kombinálható volt automata betongyárral, hőerlelő rendszerrel, s így megvalósulhatott a teljes automata blokkgyártás.

A tömör blokkszerű elemeket (pl. térburkoló elemeket) gyártották *sajtolásos eljárással* is. A szokásos körasztalos présgépek régebben egysablonosak voltak, újabban háromsablonosak. Az egysablonos gyártásnál a blokkgyártás három munkafolyamat (töltés, sajtolás, késztermék kiemelése) egymást követte. A háromsablonos eljárásnál a három művelet egyidejű volt.

A gyártási folyamat menete:

— A sablon aljára lyuggatott lemezt helyeztek, erre szűrőpapírt. Ezek tették lehetővé a kisajtolt víz távozását a cement nélkül. Ha szükséges volt, akkor a betöltött betonra is lyuggatott lemezt és/vagy fátyolszövetet tettek.

— A következő, de már az előző ütemben betöltött sablonban elvégezték a sajtolást.

— A harmadik: a sablonból kinyomták a kész elemet.

A művelet időtartamát a sajtolás időszükséglete határozta meg, amely 5—20 másodperc, a kifejthető préserő 4000—5000 kN volt.

A talplemez változtatásával különböző felületi mintákat alakíthattak ki.

A készterméket vákuumszivattyús emelővel az alátétlemezre helyezték. Az így egymásra helyezett elemeket érlelőbe, majd a tárolótérre vitték.

6.3.8. Vasbeton elemek gyártása

A *stand rendszerű födémgerenda-gyártás* lényege az volt, hogy a sablonokat a 6.11/a ábra szerinti, mozaiklapokkal burkolt gyártótérre helyezték. A betont futódaruval tartályban szállították a sablonok fölé, majd a sablonba ürítették. A betont szétteregették, majd tűvibrátorral tömörítették. A födémgerendákat a gyártótér alá bevezetett gözzel 8—16 órán át szilárdították. Azután az elemeket a gyártótéren kiformázták és a tárolótérre szállították.

Ennek a gyártásnak egyik hátránya volt, hogy viszonylag nagy víz—cement tényezőre, ezáltal nagyobb cementadagolásra volt szükség a tűvibrátoros tömörítés miatt, másrészt energiapazarló volt a beton szilárdítása.

A födémgerenda-gyártás kezdeti időszakában használták.

Aggregát futószalag rendszerű födémgerenda-gyártás folyt a Dunaújvárosi Épütelemgégyárban. A gyártási eljárás fő jellemzői:

— Az egy paketben lévő 4—6 gerenda sablonjai csuklósan kapcsolódtak egymáshoz, harmonikaszerűen széthúzhatók és összetolhatók voltak. A széthúzásra—összetolásra megfelelő gépet használtak.

— A betont vibrobakokon, ill. vibroasztalokon tömörítették.

— A betont gőzölő alagútban érlelték.

A gyártás menete a következő volt: A gőzölőalagútból csőrlővel kihúzták a csillét, rajta az 5—6 gerendát tartalmazó sablonnal. A futódaru a sablont a széthúzó—összetoló gépre helyezte. A sablon széthúzása után a gerendákat futódaruval kiemelték, a sablont megtisztították, a vasszerelést elhelyezték, majd a gép a sablont összetolta. Az így előkészített sablont görgősorra helyezték, amelyen sodronykötél mozgatta azokat. A sablonokat a keverőgéphez érve megtöltötték, majd a vibrobakok fölé érve tömörítették. Ezt követően a futódaru a sablonokat a csillére emelte, amelyen a gőzölőalagútba jutva 6—8 órán át 60—90 °C gőztérben juttatták az alagút másik végére.

Azután a folyamat ismétlődött.

Ez a gyártási mód már jónak mondható a termelékenységet, a minőség-egyenletességet, a gőzfelhasználást, a nagyfokú munkamegosztást és a nehéz fizikai munka kiküszöbölését a gépesítettség által elérve.

Ha a gyártósoron folyamatosan ugyanazt a terméket nem lehetett gyártani, akkor célszerűbb volt az *univerzális gyártósor*, amelyen egymást követően lehetett rokon jellegű elemeket előállítani. A Szolnoki Építőelemgyárban és a Budapesti Épütelemgégyárban építettek univerzális nagy teljesítményű gyártósort. Ezeket gyártották az ipari, a mezőgazdasági, a középületek rúdszerű elemeit (pillér, főtartó, szelemen stb.) és alulbordás födémpaneleit. A gyártósort a következő főbb adatok jellemezték:

— Egy gyártósor a gőzölőakknákkal együtt 18 × 72 m alapterületű csarnokban fért el.

— A gyártósorok hasznos szélessége 1,80, ill. 2,40 m volt. A gyártósorok formázó, tömörítő berendezéseit a betongyár közelében helyezték el.

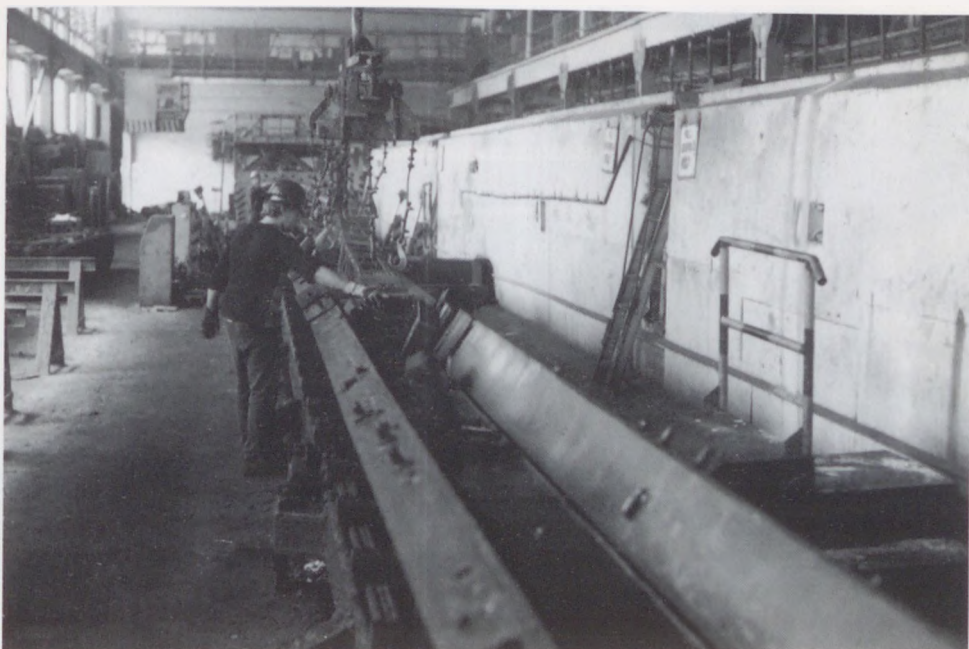
— A sablonba a betont adagolókoszi adagolta, a kocsiba a betont a gyárból targoncán szállították.

— A gyártósor görgősorból állt, a görgőket gépi úton, a sablonokat a gyártósoron szakaszosan mozgatták.

— A gyártósorhoz 2 db 200 kN teherbírású híddaru tartozott.

— A gőzölőakknák 2,4 × 14,0, ill. 3,4 × 14,0 m méretűek, 3,0 m mélyek voltak és kb. 0,8 m-re emelkedtek a padlószint fölé.

A gyártás menete:



6.13. ábra. UNIVÁZ-elemek gyártása konvejer-aggregát gyártósoron (Fotó: Ozvári György)

— Az egyik híddaru a gőzölőaknából kiemelte az elemeket tartalmazó sablont és a gyártósor végére helyezte. Itt ugyanazzal a daruval kiemelték az elemeket a sablonból és a kiszállító járműre helyezték.

— A sablon a következő munkahelyre gördült, ahol a sablont megtisztították, bepermetezték sablonleválasztó anyaggal.

— A sablon ezután a következő munkahelyre gördült, ahol beszerelték a betonacélvázat, szerelvényeket, betéteket elhelyezték, rögzítették.

— A következő munkaállásban elvégezték a feszítést (ha volt).

— A következő munkaállásban a sablon a vibrobakok fölé került, lesúlylyesztették azokra, megtöltött sablonban a betont tömörítették.

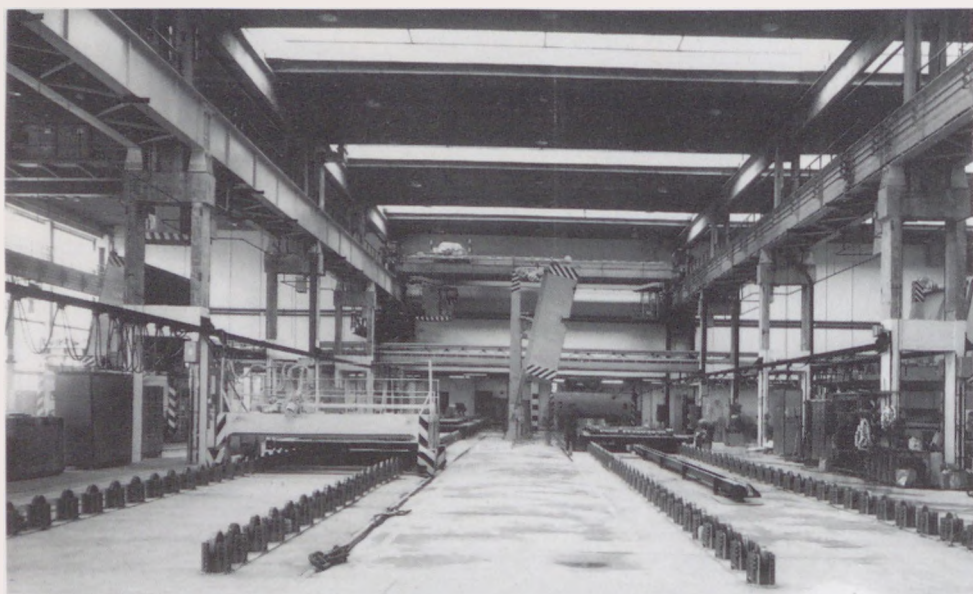
— Az utolsó szakaszban a betont az automata vezérlésű gőzölőaknában gőzölték.

A körüreges földémpallók gyártásához az üregképzőket a betonozás helyén helyezték el.

Ezek a gyártósorok igen termelékenyek voltak, 3 műszakban az évi termelés 50 000—100 000 m³ késztermék volt.

A 6.13. ábra az UNIVÁZ-elemek gyártását szemlélteti konvejer-aggregát gyártósoron az Alsózsolcai Vasbetonipari V.-nél.

A házgyárak elemgyártása annyiban eltért a rúdszerű elemek gyártásától, hogy az elemek lemezszerűek, rendszerint szobanagyságúak, általában tagoltabbak voltak, az ablakokat, a szerelvényeket a gyártás során beépítették,



6.14. ábra. A 43. ÁÉV 4. sz. Házgyárának gyártócsarnoka (Fotó: Kiss, ÉTK)

a panelek egy része réteges felépítésű volt, a gyártás során a szokásosnál nagyobb méretpontosságot kívántak meg és vakolásmentes felületet állítottak elő a lakáson belüli oldalon, a külső felülettel szemben pedig esztétikai igényeket támasztottak.

Az elemeket általában fekvő helyzetben gyártották, de a válaszfalaknál szokásos volt a függőleges helyzetű (például csoportzsalus, 6.12. ábra) gyártás is.

A gyártás lehetett stand rendszerű (ritkán), aggregát rendszerű (legelterjedtebb) és konveyor rendszerű.

Az aggregát rendszerű gyártás munkaállásai hasonlóak voltak az aggregát futószalag rendszerű univerzális gyártósoréhoz. A 6.14. ábra a 43. ÁÉV 4. sz. házgyárának gyártócsarnokát szemlélteti. Tervezője IPARTERV, kivitelezője 31. ÁÉV.

A *homlokzati panelek felületképzése* a házgyártás kezdetétől fontos kérdés volt. 1969-ben a Szentendrei úton a házgyár területén — az ÉVM kezdeményezésére — kiállítást rendeztek, amelyen az érdekelt vállalatok száznál több modellt mutattak be.

A legtöbb modell az *adalékmintás betonfelület* választékát szemléltette. Ez terjedt el a gyakorlatban. A látható kérget készítették színes zúzalékot vagy kvarckavicsot tartalmazó betonból. Kezdetben a gyártás során a látható felület alul helyezkedett el. A zúzalékszemeseket úgy tették láthatóvá, hogy kezdetben a felületi rétegbe kötészélesztető adalékszert keverték, később a sablont kötészégtlő adalékszerrel kenték be. Amikor a megszilárdított panelt a sablonból kiemelték, akkor a felületről a cementhabarcsot 0,4–0,6 MPa

nyomású vízzel kimosták. Ez a technológia sok bizonytalanságot rejtett magában (a sarkok a kimosás során csorbulhattak, a kötőanyag nem egyenletesen felületi egyenetlenséget okozott stb.), és ezeket a hibákat utólag nehezen lehetett javítani.

Az adalékmentés betonfelület készítésének másik módja abból állt, hogy gyártás során a látható felület felül volt. A betont bedolgozták, majd ráterítették a színes adalékanyagot tartalmazó burkolóhabarcsot, azt tömörítették. 0,5–1,5 órás pihentetés után a panelt kb. 30°-ra megdőntötték és a fölös cementhabarcsot vízszaggal kimosták. Ez esetben érvényesült a kimosást végző egyénisége, a vezetékes víz nyomásabani különbség, de a hibát ki lehetett javítani.

Már az 1969. évi kiállításon is felmerült a színgazdagítás növelésére a *beton színezése*. A tartós színt oxidpigmentekkel lehetett elérni, amelyet általában a Bayer cégtől szereztek be. A cégnek Bayer Hungária megnevezéssel hazánkban is van képviselője. A fekete és a vörös színek szürkecementtel is, de a világosabb (sárga, zöld, kék, piros) színek fehércementtel készített betonban érvényesültek jól.

A kiállításon bemutattak *mázás kerámia vagy színes üveglapokkal készített betonfelületet* is. A papírra ragasztott lapokat a gyártás során a sablonba helyezték, rádolgozták a betont, amely hozzájuk kötött. A papírt a szilárdulás után lemosták.

A színhatást úgy is fokozhatták, hogy a betonfelületre utólag szórtak fel *műanyag kötésű színes zúzalékot* vagy a betont *színes festékkel* mázolták. Fontos volt mindkét esetben, hogy a bevonat a beton lélegzőképességét lényegesen ne befolyásolja.

Az esztétikus betonfelületet *alakos-mintásra* úgy is készíthették, hogy a falfelület negatívját a sablonba tett műanyag vagy gumi matrica képezte. Ez esetben a fény- és árnyékhatás változatos esztétikai látványt nyújtott.

Látszóbeton felületek készítését *Armuth A.*—*Balázs Gy.*—*Újhelyi J.* (1967), valamint *Újhelyi J.* (1966) ismertette.

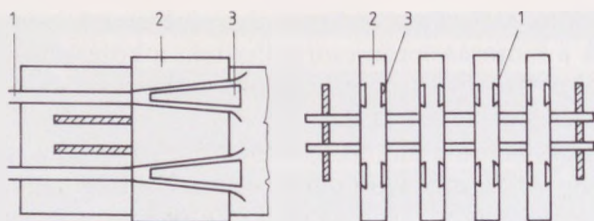
Természetesen a kis sorozatban készített vasbeton szerkezeteket egyedi módon gyártották.

6.3.9. Előfeszített elemek gyártása

Előfeszített födémgerendákat hazánkban háromféleképpen gyártottak.

A stand rendszerű, sablonban feszített födémgerendákat 1953–55-ben gyártották a budapesti 2. sz. Épületelemgyárban. Az elemeket 100 m hosszú padon, négy egymással mereven összekapcsolható, belső fűtésű sablonban, zsaluvibrátorral tömörítve gyártották. A feszítőhuzal 5 mm átmérőjű volt.

A kitisztított sablonba behelyezték a méretre szabott feszítőhuzalt. Úgy kerülték el, hogy a huzal olajos legyen, hogy a huzalt rendezőlemezekon húzták át, amelyek egyúttal a gyártandó gerendák véglapjait is határozták. A feszítőhuzalokat Magnel-ékekkel (6.15. ábra) horgonyozták le a Magnel-



6.15. ábra. Feszítőhuzal lehorgonyozása Magnel-ékekkel [Csuha P. (1973)]. 1 — huzal; 2 — Magnel-ékház; 3 — Magnel-ék

lemezekbe, amelyeket a feszítőbakokhoz támasztottak a sablon egyik végén, a másik végén hidraulikus sajtókkal megfeszítették a huzalokat és szintén Magnel-ékekkel rögzítették. A huzal relaxációs veszteségét 10 percig tartó 10%-os túlfeszítéssel csökkentették. Ezután a végleges helyükre állították a rendezőlemezeket. Majd a vibrátorokat a zsaluzatra erősítették, elvégezték a betonozást, tömörítést, eltávolították a vibrátorokat, a sablon gőzterébe beengedték a 80—90 °C-os gőzt. Az érlelés tartama 8—10 óra volt. Ezalatt elérte a beton tervezett szilárdságának kb. a 75%-át. A beton szilárdítása közben a beton felszínét kb. 1 cm vastag vízréteggel árasztották el, hogy a beton szilárdulás közben ki ne száradjon. Végül a huzalokat a rendezőlemezek között elvágták és a gerendákat egyenként kiemelték a sablonból.

Ezt a gyártási módot 1955-ben megszüntették, jóllehet a gerendák minősége megfelelt, mivel igen megnőtt a feszítőhuzal ára a betonacéléhoz képest. Ez az eljárás később sem éledt újra, mert nehézkes és nem kielégítő volt a vibrálás, nagy volt a hőenergia-felhasználás és viszonylag kicsi volt a termelékenység.

Időközben külföldön kidolgozták a stand rendszerű *csúszózszaluzatos feszített födémgerenda gyártást*.

Hazánkban 1960—61-ben építették fel a Weiler-rendszerű gyártósort, amely szintén stand rendszerű. E gyártási eljárás főbb elemei:

- 100—130 m hosszú gyártópálya, pályánként 4—8 gerendavonal;
- a gerendákat előállító csúszózsalu.

A gyártás munkaműveletei:

— Megtisztították és a betongerenda betonaljzathoz tapadása meggátlására téglazúzalékkal felszórták a kétoldalt vezetősínekkel határolt gyártópályát.

— A pálya egyik végén a gerendákhoz szükséges huzalokat megfogó fejben rögzítették. Majd a huzalokat a huzalkihúzó kocsira a pályát határoló síneken haladva kihúzta és azokat megfogó fejben kiékelte. A megfogó fejeket azután a kihorgonyzó bakokhoz rögzítették.

— Ezt követte a feszítési művelet. A gyártósorra merőlegesen mozgó feszítőkocsira szerelt hidraulikus feszítőgéppel egyszerre egy gerendavonal huzal-jait feszítették meg, majd a feszítőhuzalok megfogófejeit a kihorgonyzó bakokhoz csavaranyával rögzítették.

— A feszítés befejezése után elhelyezték a kengyeleket, a gerendák végeit jelző és az alsó huzalokat alátámasztó közbetétet.

— A pálya egyik végére a vezetősínekre felhelyezték a csúszózsuluzatos, kerekkel ellátott betonozógépet és az adagolótartályt. A betont az első tartályból beadagolták a beton húzott övébe, a másik tartályból a még hiányzó részt adagolták.

— A formázógép a gerenda keresztmetszetének megfelelő csúszózsuluzatból és 9000 ford/perc rezgésszámú vibrátorokból állt. A nagy frekvencia és a viszonylag kis amplitúdó a zsuluzat nélküli gerendagyártás egyik feltétele. A betonozógép haladási sebessége 0,7—1,5 m/perc volt.

— Ha az elemeket gőzölték, akkor a gyártósor fölé búrát helyeztek és kétórás pihentetés után az alá vezették be a gőzt. A gőzölés tartama 8—12 óra volt. A gőzölési hőmérsékletet nem lehetett pontosan tartani.

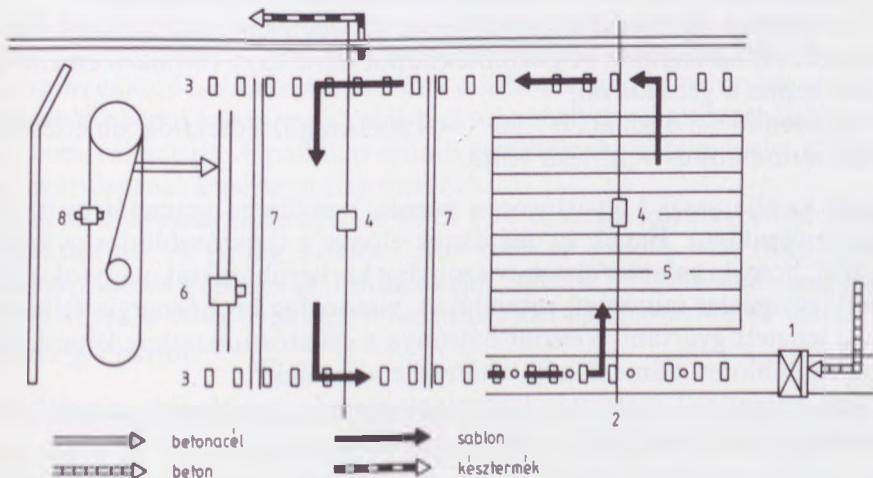
— A megszilárdult gerendákat fűrészgéppel a megfelelő hosszúságúra vágták.

A csúszózsuluzatos födémgerenda-gyártás *előnye*, hogy meg lehetett takarítani a sablonok gyártási, karbantartási költségeit, a gerenda profilját a csúszózsuluzat betétjeinek a cseréjével egyszerűen meg lehetett oldani.

Ezzel szemben a rendszer *hátránya* volt az *igen nagy érzékenység a beton összetételére*, különösen konzisztenciájának a haladási sebességre. A sablon nélkül gőzölt — azonos összetételű — beton szilárdsága mindig kisebb a sablonban gőzölténél. Végül nagy gyártási alapterületet kívánt.

Közben 1961—62-ben a Budapesti Épületelemgyárban kidolgozták az *aggregát-futószalag rendszerű előfeszített födémgerenda gyártását*. Először a 6 m hosszú, 4—6 csatornás pakettes módszerrel kísérleteztek, de ez nem vált be. Ezt a kétszatornás hosszúsablonos változat követte, amely jól bevált.

A gyártás folyamatábráját a 6.16. ábra szemlélteti. Az eljárás főbb jellemzői:



6.16. ábra. Kétszatornás hosszúsablonos előfeszített födémgerendák gyártására alkalmas aggregát-technológiai vázlat [Csuha P. (1973)]. Jelölések: 1 — betonterítő kocs; 2 — bedolgozás; 3 — göngyösor; 4 — elektromos futómacska; 5 — gőzkamra; 6 — feszítőberendezés; 7 — láncos sablonmozgató; 8 — huzal-előkészítés



6.17. ábra. E-jelű födémgerenda gyártása az Alsószolcai Vasbetonipari V.-nál, az ikersablon nyitott állapotban (Fotó: Ozvári György)

- 14 m hosszú, ikersablonos (kétsatornás) acélsablonok alkalmazása;
- a huzalokat egyik végükön hajtúszerűen meghajlították, a másik végükön végezték el a feszítést és a huzalokat ékeléssel horgonyozták le;
- a sablonok mozgatására görgősoros, ill. végtelenített galláncos mozgatóberendezést használtak. A gőzölőteknőből daru vagy futódaru emelte ki a sablont benne a gerendával;
- a betont 6—8 órán át 80—90 °C-os gőzben gőzölőteknőkben érlelték. A gőzölés automatikus vezérlésű volt.

Ezzel az eljárással 1 gyártósoron évente 1 millió m gerendát gyártottak három műszakban. Ennek az eljárásnak előnye a csúszósablonos gyártással szemben, hogy kis alapterületen, viszonylag kis beruházással, nagyfokú gépesítéssel, egyenletes minőségű gerendákat, viszonylag kis hőenergia felhasználásával lehetett gyártani. Viszont hátránya a csúszószaluzathoz képest, hogy annyiféle sablonra van szükség, ahányféle a termék.

E-jelű gerenda 2 csatornás konvejtör-aggregát gyártósorát szemlélteti az Alsószolcai Vasbetonipari V.-nál a 6.17. ábra.

A feszített födempallók gyártásának hazánkban is kipróbált módszerei:

1. Stand rendszerű Stasa csúszószaluzatos gyártási eljárás, amelyből két berendezés a Pécsi Épületelemgyárban működött.

2. Stand rendszerű Weiler csúszózszaluzatos eljárás, amelyet 1961 óta a Budapesti Épületelemgyárban működtettek.

3. Aggregát-futószalag rendszerű előfeszített födempalló gyártása, amelyet 1961—62-ben dolgoztak ki hazánkban.

4. Stand rendszerű csúszózszaluzatos eljárással gyártják a SPAN-DECK födemelemeket a BVM Szolnoki Gyárában 1978-tól.

A *Stasa rendszerű* szabadtéri gyártást tett csak lehetővé, mivel a gyártósor 200—250 m hosszú volt, így a gyártás csak szezonjellegű lehetett. Gőzölést nem használtak. A pallókat kör vagy ellipszis alakú üreggel gyártották három rétegben, a középső réteg téglatörmelékes beton volt. A feszítéshez 2,5 mm-es sodrott huzalt használtak. A csúszózszaluzos betonozógépet portáldarura szerelt futódaru mozgatta. Egymás fölé több pallósort is gyárthattak — a szilárdulás figyelembevételével. A pallókat papírréteggel választották el. Ez egyben hátrány is volt, mert a legfelső palló megszilárdulását is meg kellett várni.

Nálunk a tervezett mutatókat nem tudta teljesíteni és jelentős volt a selejt.

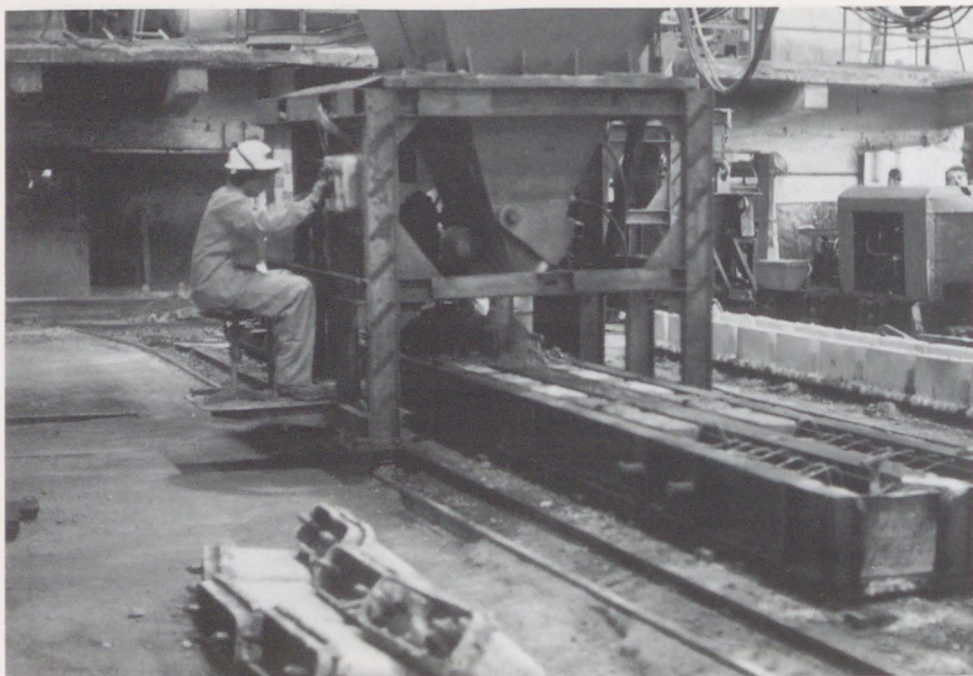
A *Weiler eljárás* már lehetővé tette a gyártócsarnokba helyezést és a gőzölést. A betonozógép tömege csak 1,5 t volt. A Budapesti Épületelemgyárban 1,20 m széles, 0,19 m vastag, 30 V% üregtartalmú alul-felül sík pallókat gyártottak. A gyártás menete megegyezett a födémgerendáknál ismertetett csúszózszaluzos eljárásával. Egy gyártóberendezéssel, 6—8 gyártópálya esetén, 3 műszakban, 100 m hosszú pályán, az elemeket gőzölve, 300 000 m² pallót lehetett elméletileg gyártani, amit a Budapesti Épületelemgyárban sohasem érték el. A pallók csak kívülről kaptak gőzt, az üregekben nem, ezért a feszített alsó öv lassabban szilárdult a felsőnél, holott fordítva lett volna kedvezőbb. Elég gyakori volt a selejt.

Az *aggregát-futószalag rendszerű* előfeszített födempalló gyártás során az acélsablonba paplanszerűen egy szálból hajlított huzalokat helyeztek. A huzalok két szabad végét kiékeltek, míg a 180°-ban meghajlított végeken acélhengernek támaszkodtak. A gyártást univerzális gyártósoron végezték. *Betonozás előtt az üregképző acélcöveket betolták a sablonba és a beton bedolgozása után kihúzták.* Ebben is különbözött előbbiektől, amelyeknél az üregképző a betonozó kocsival haladt. A pallókat ezután gőzölték. A többi művelet az univerzális gyártósornál ismertetethez hasonló.

Ezzel az eljárással hazánkban 0,60 és 1,20 m széles körüreges födempallókat gyártottak. A pallók hossza 2,40—6,60 m közötti volt. Kezdetben a gyártósorok éves kapacitása 3 műszakban 300 000 m² volt, amit később kb. 500 000 m²-re, a 70-es évek eleji fejlesztéssel kb. 1 millió m²-re növeltek. Ez a rendszer jól bevált.

A *távvezetékoszlopokat* kezdetben stand rendszerű gyártással állították elő. Az oszlopokat rövid feszítőpadon, páronkénti huzalfeszítéssel, fasablonban, ponyva alatti gőzöléssel állították elő. Majd *László György* irányításával a következő technológiát dolgozták ki a 2. sz. Épületelemgyárban:

A feszített távvezetékoszlopokat B 400 jelű betonból és 5 mm átmérőjű, hullámosított acélhuzalból gyártották. A huzalok szakítószilárdsága 1500 MPa,



6.18. ábra. Távvezetékoszlop gyártása aggregát gyártósoron az alsószolcai Vasbetonipari V.-nál (Fotó: Ozvári György)

egyezményes folyási határa 1300 MPa, a feszítőfeszültség 1050 MPa volt. A beton zsugorodását 0,5%-nek, rugalmassági modulusát 38 000 MPa-nak, kúszási tényezőjét 2,5-nek, az acél relaxációját 136 MPa-nak vették fel. A beton megengedett nyomófeszültsége 22, megengedett húzófeszültsége 2 MPa volt. A huzalokat Magnel-ékekkel horgonyozták le.

A beton összetétele: 450 kg/m³ 600-as portlandcement, 0,4 víz—cement tényező, $D = 15$ mm, az adalékanyagot 3 frakcióból állították össze.

Kezdetben a B 400 jelű beton előállítására nehézségekbe ütközött, mert ezt a betonminőséget még nem szokták meg, a technológiai fejelem kicsi volt. A keletkezett selejtek miatt a gyártás rövid időn belül megszigorodott.

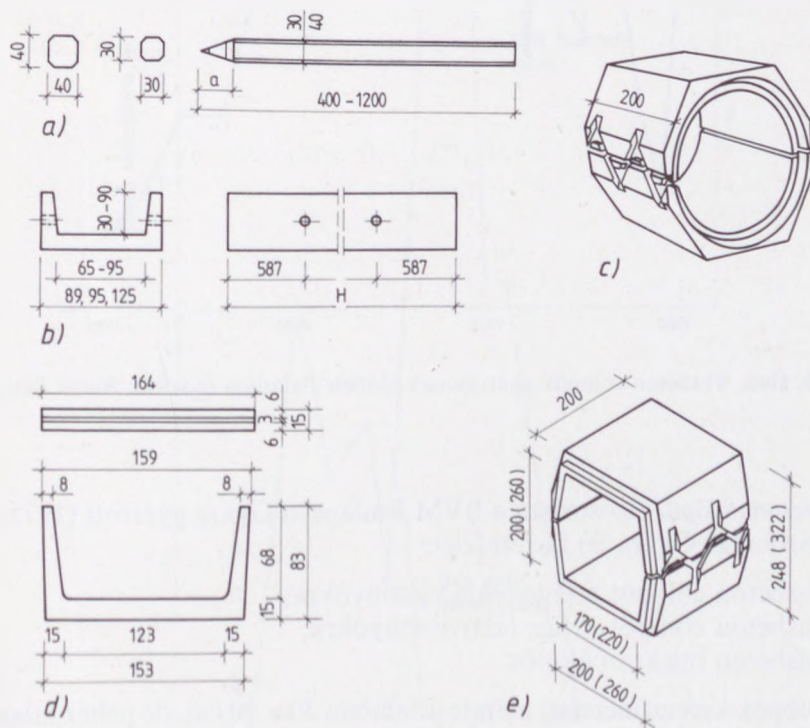
A feszítőpad 60 m hosszú, U keresztmetszetű, vasbetonból készített volt. Az 5 mm átmérőjű huzalokat hullámosították, mivel akkor a rovatkolás még nem volt megoldva. A huzalokat a pad egyik végén acélhenger körül hajtűszerűen meghajlították, a másik végén Magnel-ékekkel rögzítették. Itt végezték el a feszítést. Az acélhuzal kúszási alakváltozását 10 perces túlfeszítéssel próbálták kiejteni.

Az I keresztmetszetű oszlopokat függőleges gerinchelyzetben 3 mm vastag, szögvasakkal merevített acélsablonban gyártották. Majd az előfeszítő padokat hőszigetelő lemezekkel takarták le és a betont 8—10 órán át 80—90 °C-os telített gőztérben szilárdították. A feszítőerő ráengedéséhez 32 MPa kockaszilárdságot követeltek meg.

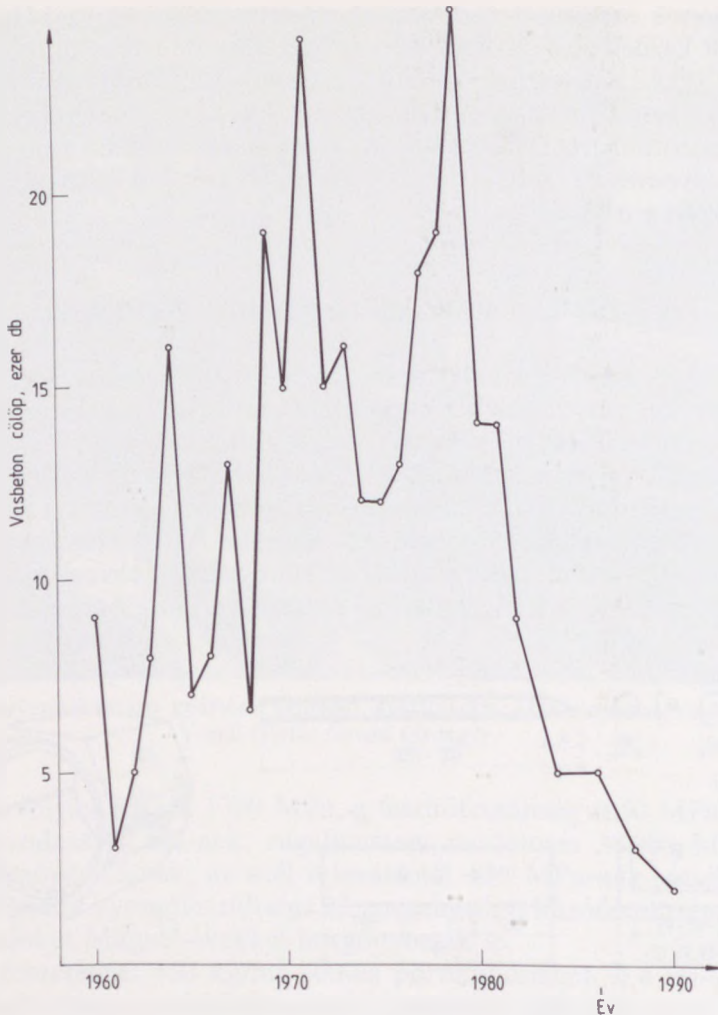
Az oszlopok szállítását és tárolását részletes előírások szabályozták. Az oszlopokat kezdetben fabikával és csörlővel állították fel. Amikor már volt autódaru, akkor a helyszínen szállított oszlopokat a kiásott gödör közelében bakokra helyezték, felszerelték a kereszttartót és az alaplemezeket, a kapcsolatokat cementhabarccsal öntötték ki, s annak szilárdulása után a daru az oszlopot súlypontjánál megfogta és beemelte. Távvezeték-tartó oszlop gyártását szemlélteti a 6.18. ábra.

6.3.10. Üzemen előregyártott termékek

A 6.3.3. fejezetben felsorolt termékek közül e helyen csak azokkal foglalkozunk, amelyeket más fejezetben nem ismertetünk. Az ismertetés nem lehet teljes, mivel egyrészt nemcsak a BVM gyártott különböző termékeket, és azokról is csak 1960 óta vannak adataim, másrészt egyes elemeket több kisebb szervezet is gyártott, különösen a rendszerváltozás óta, de ezeket részben nem ismerem, részben csak hiányos adatokat kaptam. Az ismeretek közreadását mégis fontosnak tartom, mert rámutat az előregyártott elemek sokféleségére és egyébként a BVM-nek meghatározó szerepe volt az előregyártásban.



6.19. ábra. Mélyépítési előregyártott elemek: a) vasbeton cölöpök; b) közmű védőcsatornák; c) MIRABET esővek; d) meder- és vezetékesatorna-elem; e) közműalagút-elemek (mértékek cm-ben) [BVM kézikönyv, 1989]



6.20. ábra. Vasbeton cölöpök gyártásának időbeli alakulása (adatok: Nacsá János)

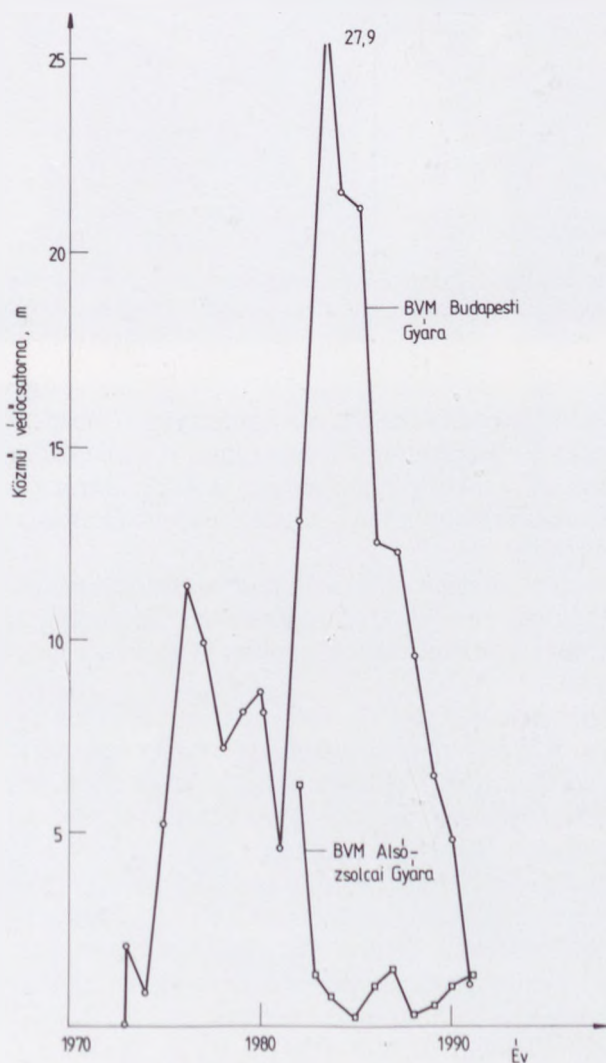
Vasbeton cölöpöt elsősorban a BVM Budapesti Gyára gyártott (1975-ben a BVM Szolnoki Gyára is) háromfélét:

- vasbeton cölöpöt átlagos talajviszonyokra;
- vasbeton cölöpöt nehéz talajviszonyokra;
- vasbeton injektorcölöpöt.

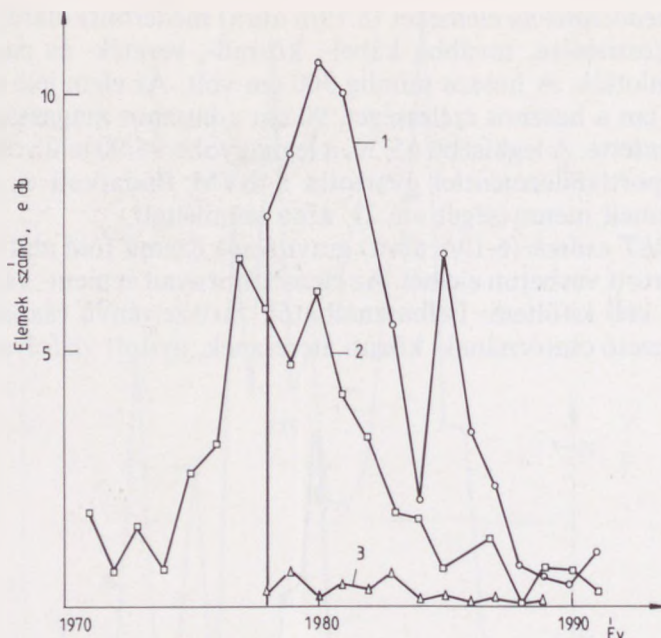
A cölöpök keresztmetszeti mérete általában 30×30 cm, de nehéz talajviszonyokra 40×40 cm méretűt is gyártottak. A cölöpök hossza 4,0—12,0 m volt (6.19/a ábra). A cölöpöket portland- és S54 jelű portlandcementekkel állították elő. A cölöptermelés időbeli alakulását a 6.20. ábra szemlélteti.

A közmű védőcsatorna elemeket (6.19/b ábra) mederburkolatok vagy levezető árkok készítésére, továbbá kábel-, közmű-, vezeték- és padlócsatorna építésére ajánlották. A hossza mindig 300 cm volt. Az elem jele pl. V 65/90-300, ahol 65 cm a hasznos szélességet, 90 cm a hasznos magasságot, 300 cm a hosszat jelentette. A legkisebb 65/30, a legnagyobb 95/90 jelű volt. Portland- és S54 jelű portlandcementtel gyártotta a BVM Budapesti és Alsózsolcai Gyára. A termelt mennyiséget a 6.21. ábra szemlélteti.

A *MIRABET* csövek (6.19/c ábra) gravitációs üzemű föld alatti csővezetékek előregyártott vasbeton elemei. Az elemek hornyait cement- vagy műgyantahabarccsal kell kitölteni. Felhasználhatók zártszelvényű csapadékvíz-, ill. szennyvízelvezető csatornának, közúti áteresznek, nyitott vízfolyásmedernek.



6.21. ábra. Közmű védőcsatorna gyártásának időbeli alakulása (adatok: *Nacsa János, Ozvári György*)



6.22. ábra. Mélyépítési elemek gyártásának időbeli alakulása. 1 — MIRABET csatornaelem; 2 — mederelem; 3 — közmulagut-elem (adatok: Nacsza János, Nagy Árpád)

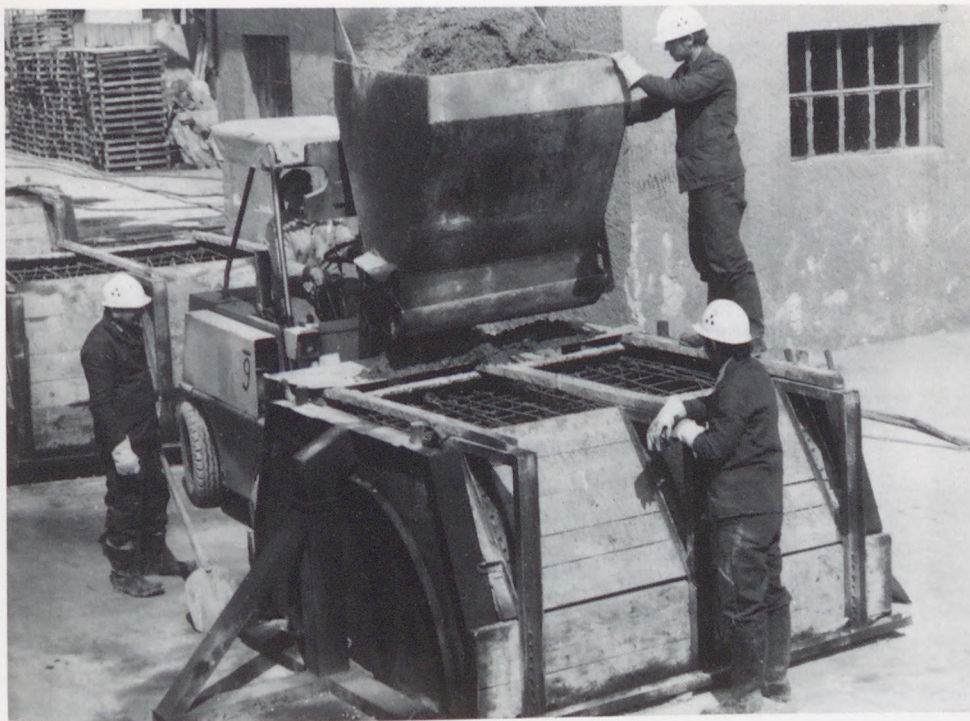
A MÉLYÉPTERV megtervezte 20 cm átmérőlépcsőkben az 1,80—2,80 m átmérőjű csöveket 3—3 teherbírási fokozatban. A csöveket a BVM Miskolci Gyára gyártotta. A gyártott mennyiséget a 6.22. ábrán tüntettük fel. A MIRABET csöveket faszaluban gyártották. Gyártásukat és a kész csöveket a 6.23. ábra szemlélteti.

Az előregyártott mederelemeket (6.19/d ábra) mederburkolatok készítésére gyártotta a BVM Budapesti Gyára 2 m hosszban. Fedlappal ugyanolyan célra használhatták, mint a közművédő elemeket. A gyártott mennyiséget a 6.22. ábra szemlélteti.

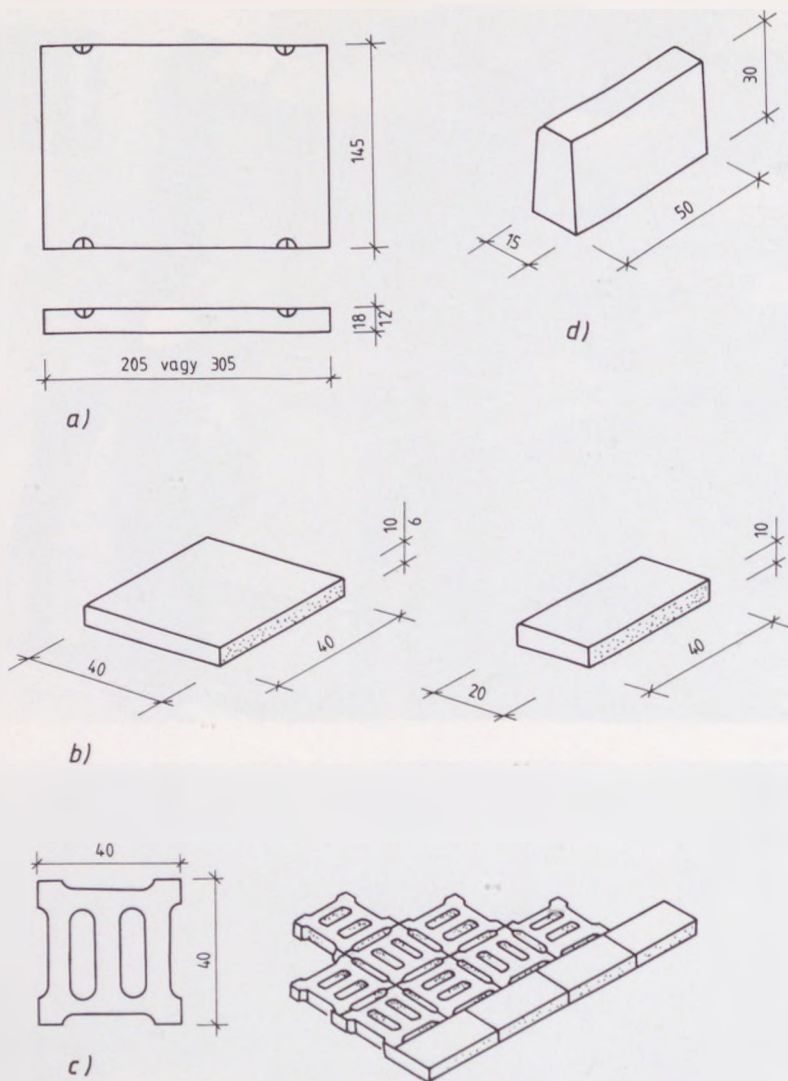
A közműalagút elemeket (6.19/e ábra) kétféle méretben gyártotta a BVM Miskolci Gyára. Közmű- és szalagalagutak részére készítették. Az alsó és a felső U alakú vasbetonelem azonos. Az elemeket hegesztett köracélokkal kapcsolták és a hornyokat cement- vagy műgyantahabarccsal öntötték ki. A termelt mennyiséget a 6.22. ábra mutatja.

50 és 180 kN tengelynyomásra méretezett UBh jelű útpályaelemeket egyenes (6.24/a ábra) és íves szakaszokhoz gyártott a BVM Látatlan Gyára, Dunaújvárosi Gyára és Budapesti Gyára. Az elemeket helyi utak, útburkolatok, ideiglenes utak, tárolóhelyek és felvonulási utak készítésére ajánlották. A gyártott mennyiséget a 6.25. ábra szemlélteti.

A beton burkolólapokat (6.24/b ábra) a BVM Miskolci Gyára tömör (b ábra) és gyephézagos (c ábra) formában gyártotta. A tömör lapokat dinami-



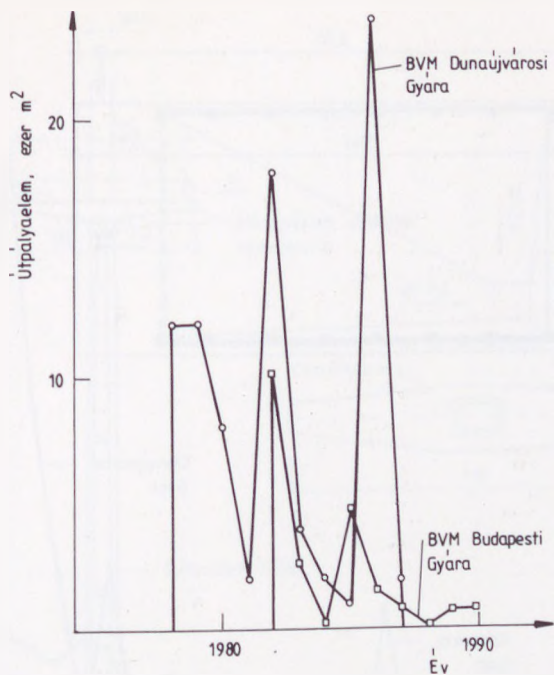
6.23. ábra. MIRABET csövek a BVM Miskolci Gyárában. *a)* A csövek gyártása fazsaluban; *b)* legyártott csövelemek a gyárudvaron (Fotó: Nagy Árpád)



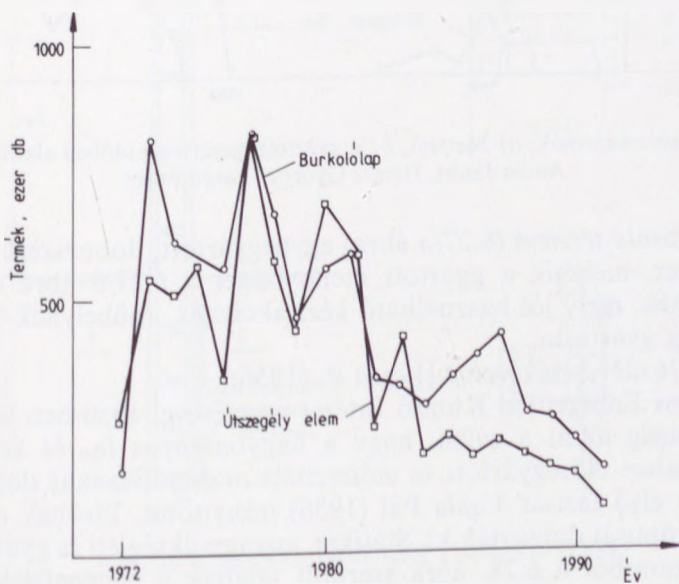
6.24. ábra. Útépitési elemek. a) UBH jelű útpályaelemek; b) beton burkolólapok; c) gyephézagos szegélyelemek [BVM kézikönyv, 1982, 1989]

kus terhelésnek ki nem tett gyalogosutak, játszóterek, sétányok, hétvégi házak teraszai, üzemi épületek padozatai stb. burkolására ajánlották. A gyephézagos burkolólapokat elsősorban esztétikus igényű gyalogos közlekedésű parkok burkolására használták fel. A gyártott mennyiséget a 6.26. ábrán mutatjuk be.

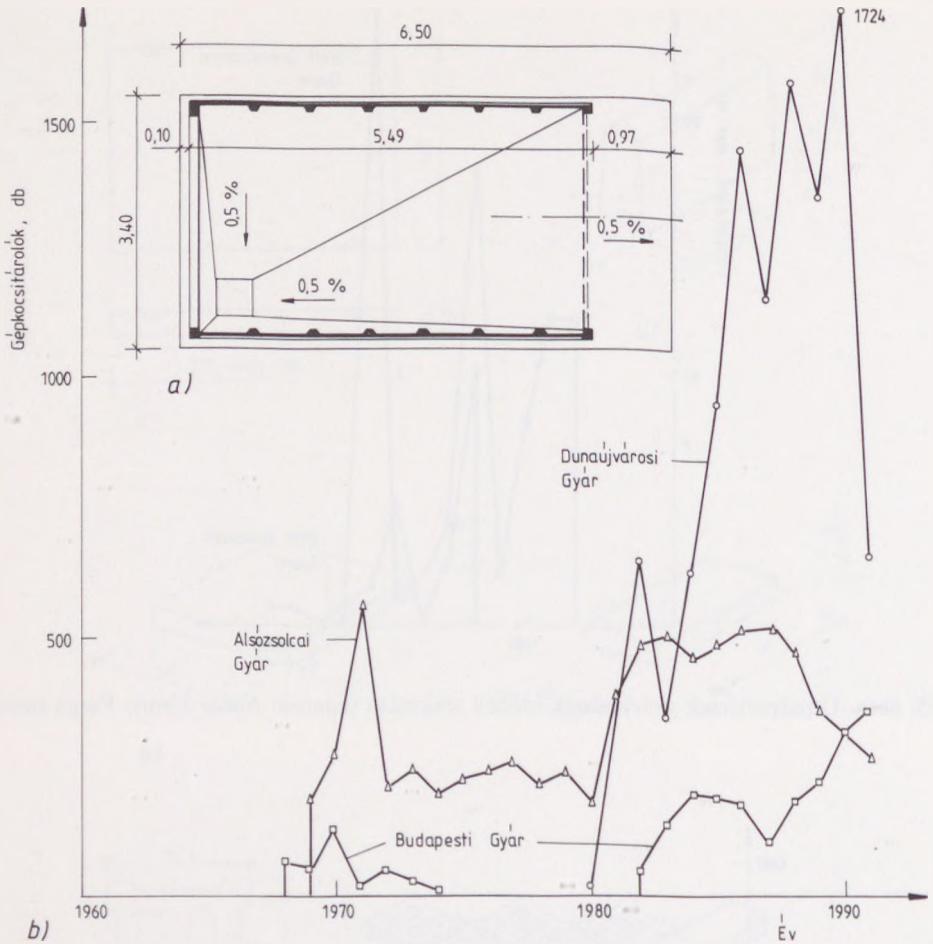
Az útszegélyelemeket (6.24/d ábra) a BVM Miskolci Gyára, Szentendrei Gyára és Szolnoki Gyára gyártotta. A gyártott mennyiséget a 6.26. ábrán tüntettük fel.



6.25. ábra. Útpályaelemek gyártásának időbeli alakulása (adatok: Nacsa János, Varga Imre)



6.26. ábra. Burkolólapok és útszegélyelemek gyártásának időbeli alakulása (BVM statisztikai adatok)



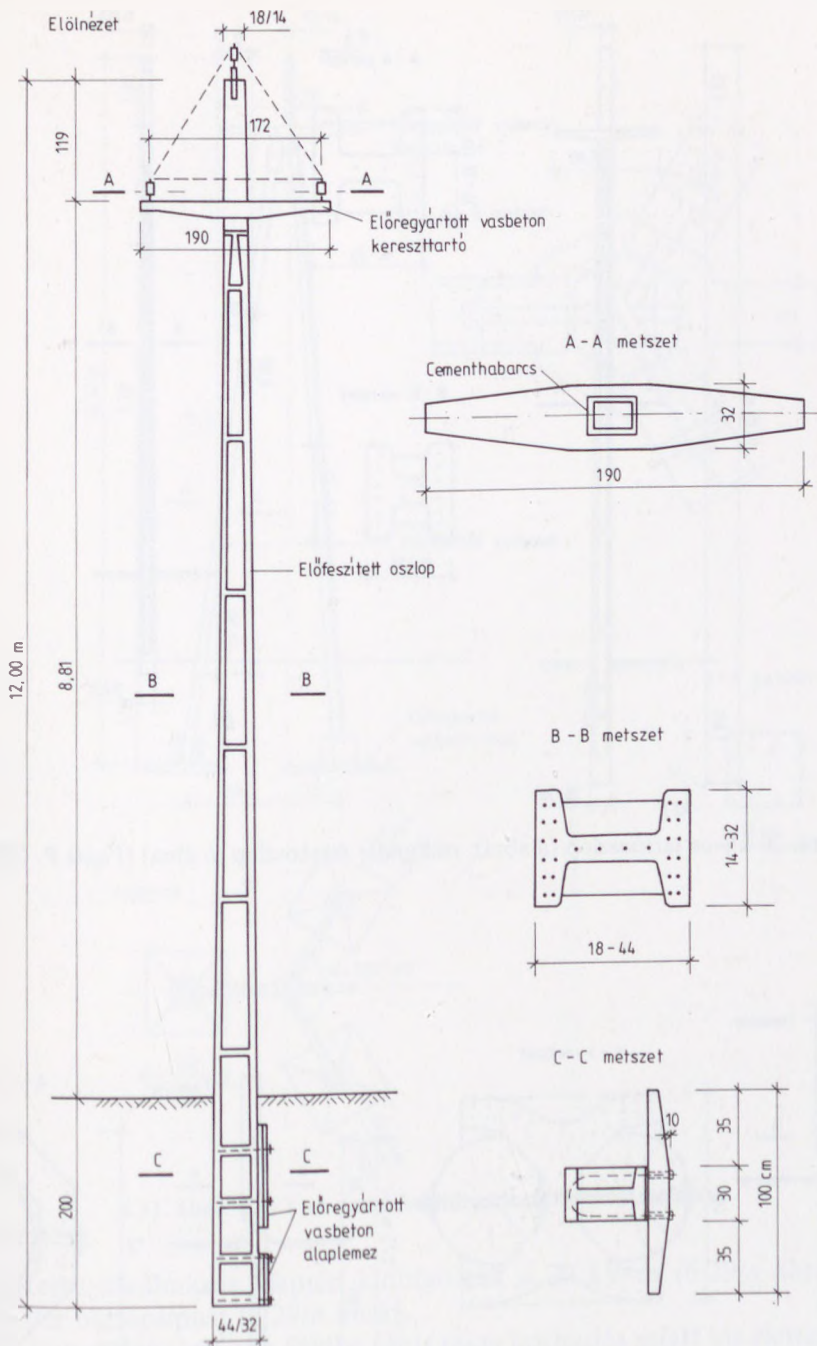
6.27. ábra. Gépkocsitárolók. a) Metszet, b) a gyártott mennyiség időbeli alakulása (adatok: Nacsa János, Osvári György, Varga Imre)

Gépkocsitároló térelem (6.27/a ábra) egybegyártott, dobozserű előregyártott szerkezet, melyből a gyártott mennyiséget a 6.27/b ábra szemlélteti. Sikeres termék, mely jól használható kéziratárnak, műhelynek is. A BVM három gyára gyártotta.

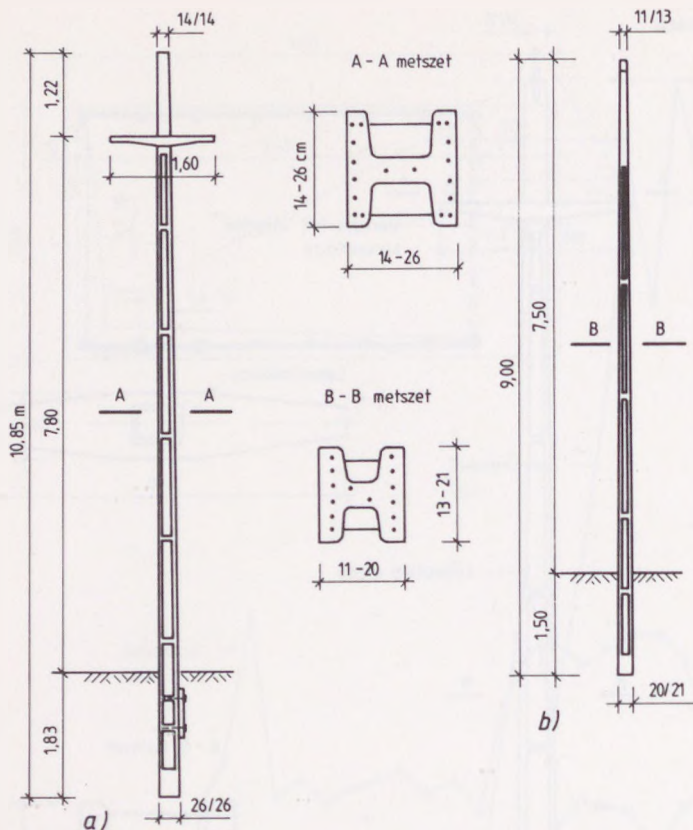
Előfeszített távvezetékoszlop [Vajda P. (1956)].

A Villamos Energetikai Kutató Intézet vezetésével 1950-ben létrejött egy munkabizottság azzal a céllal, hogy a hagyományos fa- és acéloszlopok helyett üzemben előregyártott és előfeszített oszloptípusokat dolgozzon ki.

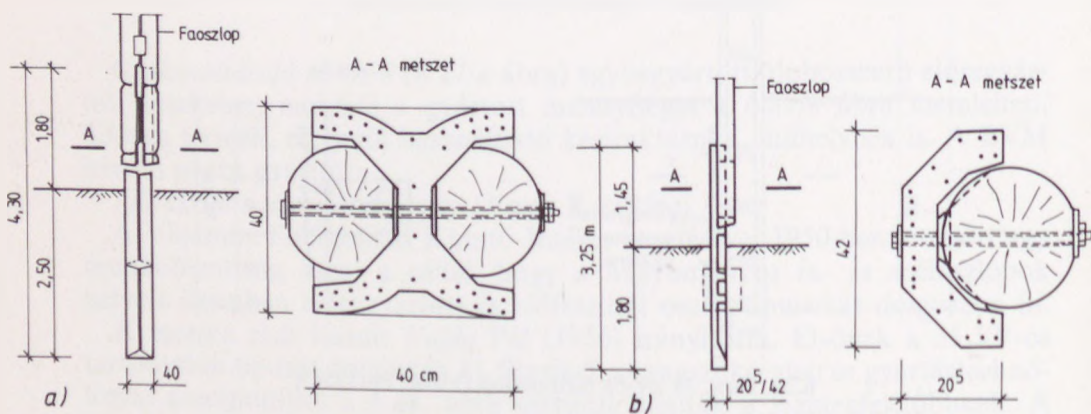
A munka első fázisát Vajda Pál (1956) irányította. Elsőnek a 35 kV-os tartóoszlop típusát dolgozták ki. Statikai, anyagszükségleti és gyártástechnológiai szempontból a 6.28. ábra szerintit találták a legmegfelelőbbnek. A kísérleti, majd a sorozatgyártást a Budapesti II. sz. Épületelemgyár végezte László György főmérnök irányításával.



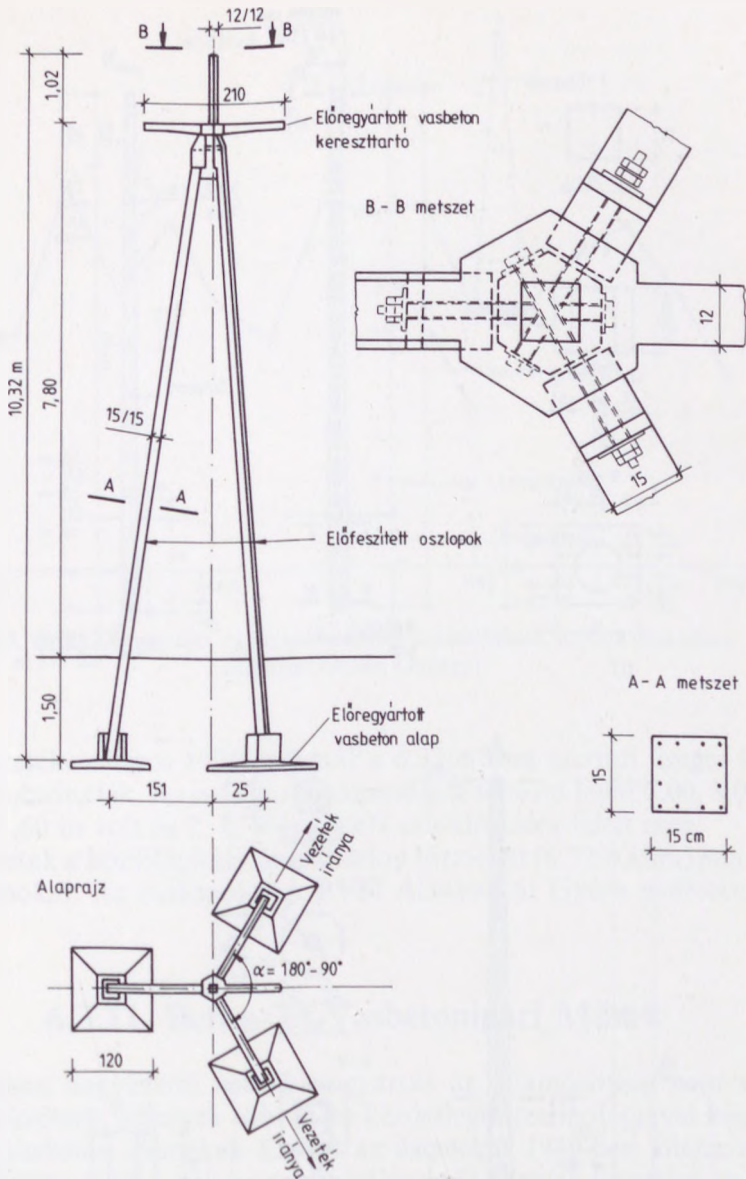
6.28. ábra. 35 kV-os tartóoszlop [Vajda P. (1956)]



6.29. ábra. 20 kV-os tartóoszlop (a ábra); szekunder tartóoszlop (b ábra) [Vajda P. (1956)]



6.30. ábra. Oszloplábak 60 kV-os (a ábra) és 20 kV-os (b ábra) tartóoszlopokhoz [Vajda P. (1956)]

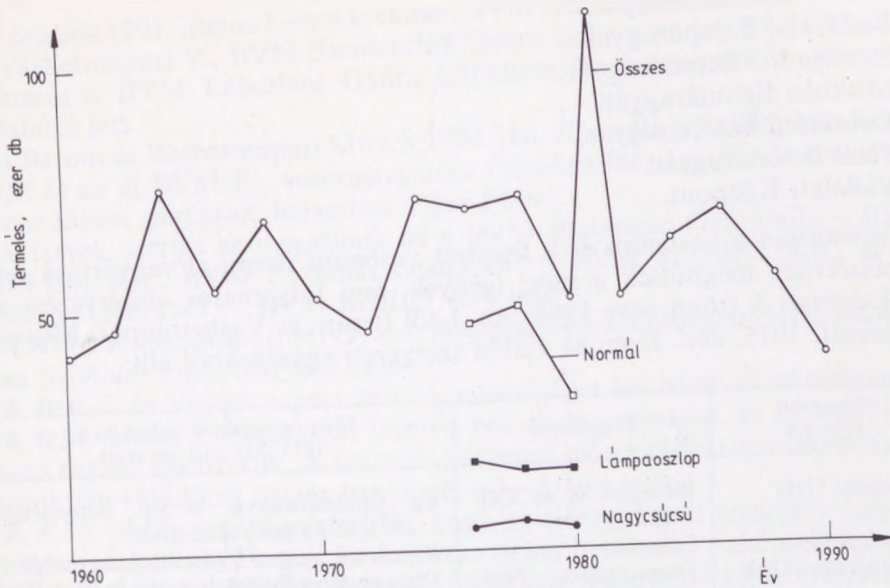


6.31. ábra. 20 kV-os sarokfeszítő oszlop [Vajda P. (1956)]

A sikeres alkalmazás alapján kidolgozták a 20 kV-os (6.29/a ábra) és a szekunder oszloptípust (6.29/b ábra).

A fa távvezetékoszlopok földbe ásott része korhadás miatt kis élettartamú. A földben lévő oszloprész helyettesítésére dolgozták ki a feszítettbeton oszlopgyámokat 60 kV-os oszlopokhoz (6.30. ábra).

E sorozat befejező része volt a feszítő- és sarokfeszítő feszített oszlopok kidolgozása (6.31. ábra).



6.33. ábra. Távvezeték- és lámpaoszlopok termelésének időbeli alakulása (adatok: Ozvári György)

A távvezetékoszlopot 1975-ben már a 6.32/a ábra szerinti üreges keresztmetszettel készítették. Az oszlopok magassága a térszint felett 7,00, 8,00, 8,80, 11,00 és 11,60 m volt és 2, 4, 8 és 13 kN csúcshúzásra felelt meg.

Kidolgozták a közvilágítási lámpaoszlop törzseket (6.32/b ábra) és a kandeláberoszlopokat. Az oszlopokat a BVM Alsószolcai Gyára gyártotta (6.33. ábra).

6.3.11. Beton- és Vasbetonipari Művek

Hazánkban nagyüzemi betonelemgyártás az államosításig nem volt, de voltak kis üzemek, amelyek többnyire kezdetleges technológiával készítettek beton- és vasbeton elemeket. Ezeket az üzemeket 1949-ben államosították. Megkezdődött a kisüzemek koncentrációja és új üzemek létesítése az ÉM 12. Betonelemgyártó Igazgatóság felügyelete alatt.

A nagyvállalati átszervezés során az ÉM 12. Betonelemgyártó Igazgatóságból és a felügyelete alá tartozó gyárakból 1963. júl. 1-jén megalakult a hazai nagyüzemi betonelemgyártást összefogó ÉM Betonelemgyártó V. a következő szervezeti egységekkel:

Budapesti Épületelemgyár,
 Komárom megyei Vasbetonelemgyár,
 Dunaújvárosi Épületelemgyár,

Zsolcai Épületelemgyár,
 Budapesti Betonárugyár,
 Szentendrei Betonárugyár,
 Miskolci Betonárugyár,
 Debreceni Betonárugyár,
 Pécsi Betonárugyár,
 Vállalati Központ.

Elsősorban a vasbeton és a feszített vasbeton üzemi előregyártása terén ugrásszerűen megnöttek a piaci igények, ami folyamatos átszervezést tett szükségessé. A tröszt neve 1968. jan. 1-től Beton- és Vasbetonipari Művekre változott. 1975. dec. 31-én az alábbi szervezeti egységekből állt:

Szervezeti egységek	Telephelyek	Mely egységekből alakult ki az 1975. XII. 31-i szervezet
Budapesti Gyár	Budapest XI. és XXI. ker.	Bp. Épületelemgyár és Bp. Betonárugyár 1973. I. 1-i összevonásából
Lábatlani Gyár	Lábatlan	Komárom megyei Vasbetonelemgyárból
Dunaújvárosi Gyár	Dunaújváros, Pécs, Hird, Komló	Dunaújvárosi Épületelemgyár és Pécsi Betonárugyár 1973. I. 1-i összevonásából
Alsózsolcai Gyár	Alsózsolca	Zsolcai Épületelemgyárból
Szolnoki Gyár	Szolnok	1968. I. 1-től működő új gyár
Szentendrei Gyár	Szentendre, Vác	Szentendrei Betonárugyárból
Miskolci Gyár	Miskolc, Bodrogkeresztúr, Kazincbarcika	Miskolci Betonárugyárból
Kunszentmártoni Gyár	Kunszentmárton	1968. I. 1-től új gyár
Vezérigazgatóság	Budapest XI. ker.	Vállalati központból

1968. január 1-től az egységek megnevezése pl:

BVM Dunaújvárosi Gyára Hirdi Telepe.

1975. dec. 31-ig az alábbi telepek szűntek meg:

Budapesti Gyárnál:	Bp. VIII. Asztalos S. u. 12.	1970. XII. 31-gyel
	Bp. X. Szállás u. 44.	1970. XII. 31-gyel
	Kiskunlacházi telep	1974. XII. 31-gyel
Lábatlani Gyárnál:	Komáromi telep	1974. XII. 31-gyel
Dunaújvárosi Gyárnál:	Dombóvári telep	1968. XII. 31-gyel
Miskolci Gyárnál:	Egri telep	1973. XII. 31-gyel
Debreceni Gyár		1969. XII. 31-gyel.

1975 óta bekövetkezett változások:

1991. jan. 1-jével kivált a BVM Dunaújvárosi Gyára és Ferrobeton Dunaújvárosi Beton- és Vasbetonelem Gyártó Vállalat megnevezéssel új vállalattá alakult.

Továbbá 1991. június 1-jével kiváltak: BVM Alsószolcai Gyára és Alsószolca Vasbetonipari V., BVM Szentendrei Gyára és Szentendrei Betonárugyár, valamint a BVM Lábatlani Gyára Lábatlani Vasbetonipari V. néven új vállalattá lett.

A Beton- és Vasbetonipari Művek 1993. jún. 30-án Rt.-vé alakult át. A volt BVM és az új BVM Rt. vezérigazgatója *Pálinkás János*, műszaki helyettese *Nacsa János*, gazdasági helyettese *Pájer Péter*.

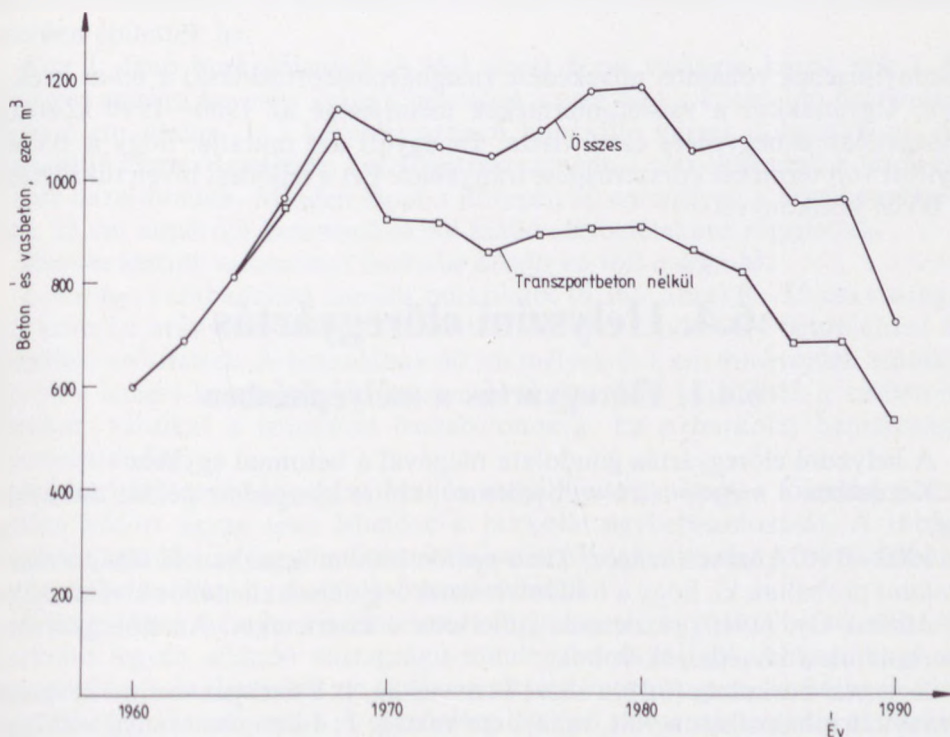
A tervek szerint ez megszűnik és a BVM Budapesti Gyárából — BVM ÉPELEM Kft., BVM Szolnoki Gyárából — BVM SZOBET Kft., BVM Miskolci Gyárából — BVM MIBET Kft. lesz.

A BVM Kunszentmártoni Gyárát megvásárolta a Tradeplast Kft., tulajdonosa *Szokolai Lajos* és *Prási Lajos*.

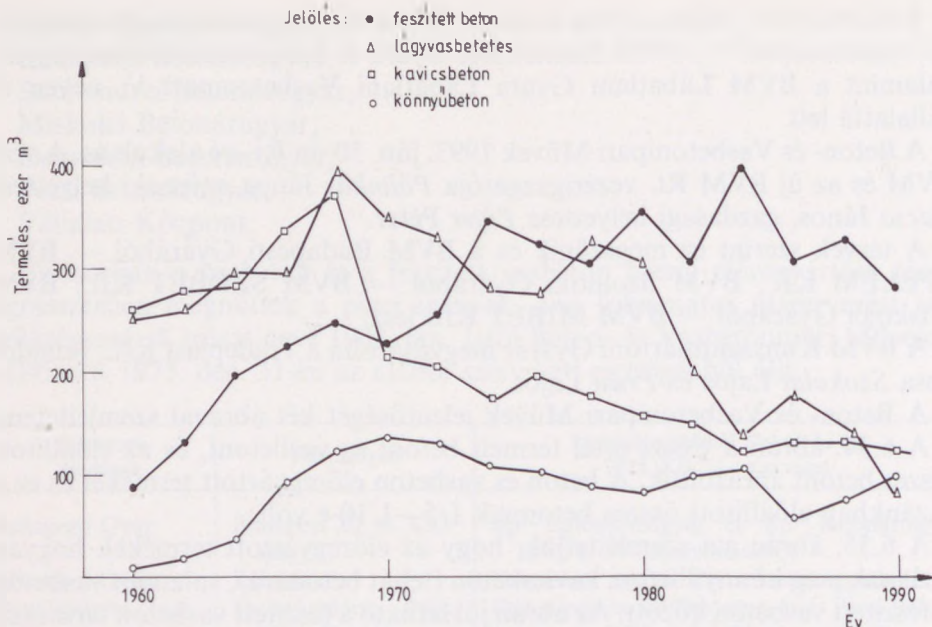
A Beton- és Vasbetonipari Művek jelentőségét két ábrával szemléltetem.

A 6.34. ábrán a tröszt által termelt betont és vasbetont, és az előállított összes betont ábrázoltuk. A beton és vasbeton előregyártott terméket és ez a hazánkban előállított összes betonnak 1/5—1/10-e volt.

A 6.35. ábrán azt szemléltetjük, hogy az előregyártott termékek hogyan oszlanak meg könnyűbeton, kavicsbeton (tehát betonáru), valamint vasbeton és feszített vasbeton között. Az ábrán jól látható a feszített vasbeton termékek



6.34. ábra. Beton- és Vasbetonipari Művek által előállított összes beton-, ill. előregyártott termék (BVM statisztikai adatok)



6.35. ábra. A BVM termelésének megoszlása 5 fő termék szerint (BVM statisztikai adatok)

mennyiségének rohamos növekedése (megháromszorozódása) a 60-as években. Ugyanakkor a vasbetontermékek mennyisége az 1980—1990 közötti időszakban a negyedére esett vissza. Ez együtt azt mutatja, hogy a BVM nyitott volt termékei korszerűsítése irányában. Ezt a fejlődést híven tükrözték a BVM kézikönyvei.

6.4. Helyszíni előregyártás

6.4.1. Előregyártás a mélyépítésben

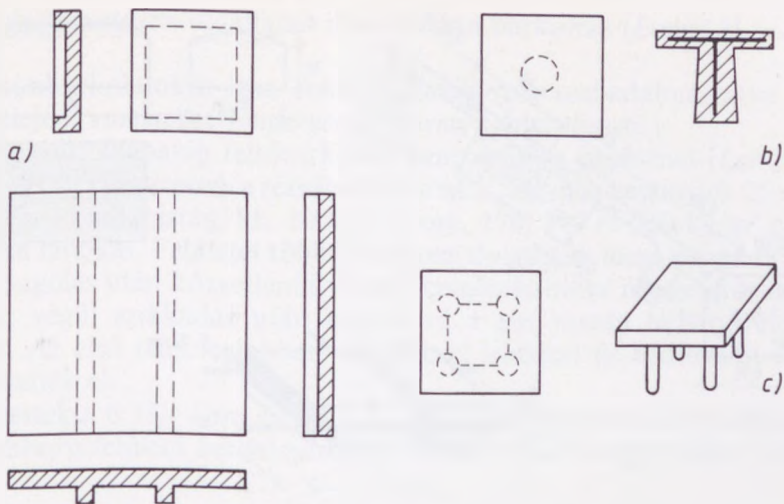
A helyszíni előregyártás gondolata magával a betonnal egyidős.

Kezdetben a *mélyépítésre* volt jellemző, amire kiragadott példát mutatok be.

1903—1907 között a *szegedi Tisza-parton* 1400 m hosszban 41 féle *partburkolatot* próbáltak ki, hogy a hullámverésnek legjobban ellenállót kiválasszák.

Malina Gy. (1910) részletesen ismertette e kísérleteket. Az előregyártott burkolatok a következők voltak:

Schustler burkolata (6.36/a ábra) 8 cm vastag, 1 : 8 térfogat szerinti keverési arányú dróthálós beton volt, rajta 1 cm vastag, 1 : 4 keverési arányú védőkéreg. Ezenkívül az 1,0 × 1,0 m-es lapokat alul körbefutó 25 cm széles, 10 cm mély bordával, a 2,0 × 2,0 m-es lapokat két hosszanti, egymástól 1 m-re lévő



6.36. ábra. Kísérleti betonburkolatok. a) Schustler burkolata; b) Kiss J. Jenő burkolata; c) Lenarducci szabadalma szerinti burkolat [Malina Gy. (1910)]

bordával erősítették. A bordákba 4 db 5 mm átmérőjű acélbetétet feszítőműszerűen építettek be.

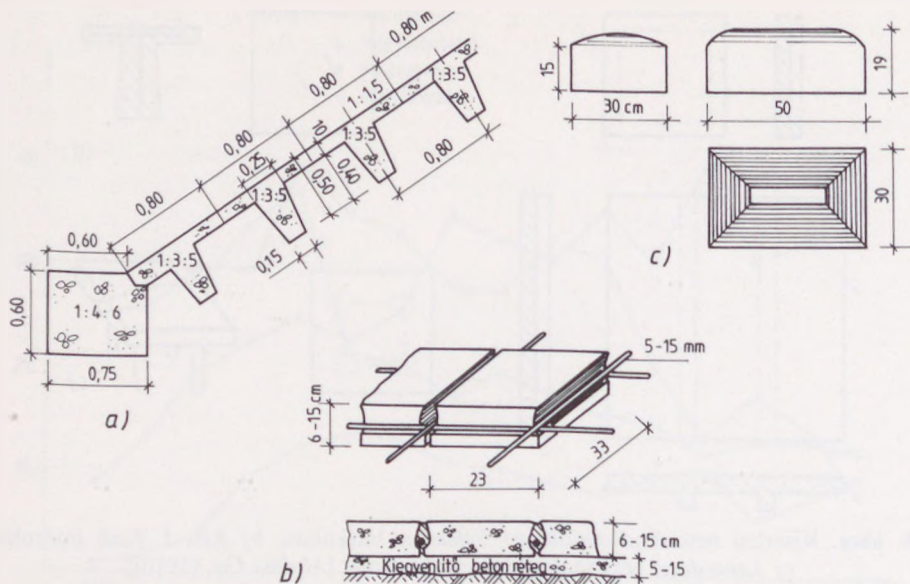
Kiss J. Jenő burkolólapjait (6.36/b ábra) 8 cm vastagra készítették 1:6 térfogat szerinti keverési arányú betonból, s erre még a kötési idő befejezése előtt 2 cm vastag, 1:3 keverési arányú kopásálló kérget dolgoztak rá. A kopásálló kéreg összetétele: 1 térfogatrész cement, 1 rész élesszemű homok és 1 rész bazalthomok. Minden lapot a közepén 50 cm mélyen a rézsűbe mélyített, 25 cm átmérőjű betontuskókból kiálló acélbetétekhez rögzítettek.

Malina szerint valamennyi burkolat között ez volt a legjobb.

Lenarducci szabadalma szerinti burkolatot (6.36/c ábra) 8—12 cm vastag, 1:5 keverési arányú betonból készítették. Minden lapot 4—4 betonlábbal a rézsűhöz erősítettek. A betonlábak 40 cm mélyek és 8 cm átmérőjűek voltak. Előbb a lemezt készítették el, majd azon lyukat ütve készítették a vasbeton lábakat, vasait a lemezével összebetonozva. Ez a burkolat hamarosan összeroppedezett.

A kísérletek eredményeként Malina megállapította, hogy a lösztalaj és az erősen kötött agyag teszi lehetővé a burkolat egybebetonozását. A többi talajok ülepedése és fagy hatására bekövetkező alakváltozása következtében az egybebetonozott burkolatok összetöredeztek.

A betonlapok hézagai vízszintesen és függőlegesen egy vonalba essenek. A burkolat legyen állandó vastagságú minden borda nélkül. Ahhoz, hogy a hézagokban a hullámverés ne tudja az altalajt megmozgatni, a hézagok alá szűrőréteget célszerű tenni. A szűrőréteg legfelső rétegének kavicsai akkorák legyenek, hogy a legszélesebb hézagnyílás esetén se mozdulhassanak ki a helyükből. A szűrőréteg alsó része azonban finomszemű legyen.



6.37. ábra. Betonburkolatok Zsigmondy Béla eljárása szerint (a ábra); Sabathiel—Lenarducci rendszerű betonburkolatok (b ábra); Kherndl burkolólapja (c ábra) [Lampl H.—Sajó E. (1914)]

Kőburkolatok helyett betont partburkolatként — Lampl H.—Sajó E. (1914) szerint — először a bökényi kamrazsilipnél és duzzasztógátnál alkalmazták. Zielinski Szilárd tervei szerint 4 cm vastag, 1 m² felületű burkolólapokat készítettek. A lapokat az előkészített felületre lefektették, köztük 5—8 cm széles rést hagyva. A résekbe acélbetétet helyeztek és azt bebetonozták. A lapok négy sarkán azokat vasbeton lábakkal horgonyozták le. Agyagtalajban a lyuk fala nem dőlt be. Homokos talajban bádógtölcsérbe betonozták, amit fokozatosan húztak ki.

1910—11-ben a kistopoloveci vízosztózsiliphez és gáthoz csatlakozó lejtős részeket burkolták 15 cm vastag, 50 × 30 cm lapméretű vasalt betonlapokkal. A lapokat 5 cm vastag homokágyra fektették, a köztük lévő hézagot kihabarcolták [Lampl H.—Sajó E. (1914)].

Zsigmondy Béla tervei szerint készítették a 6.37/a ábra szerinti rézsűburkolatot a gombosi Duna-hídnál és a letenyei Mura-hídnál. A rézsűoldalak földmunkáit gondosan előkészítették, beleértve a trapézalakú „lábakat” is, majd a 80 × 80 cm felületű rézsűburkolatokat kibetonozták. Az ábrán látható a keverési arány is. A lapok felső, 3 cm vastag rétegét 1 : 3 keverési arányú betomból készítették [Lampl H.—Sajó E. (1914)].

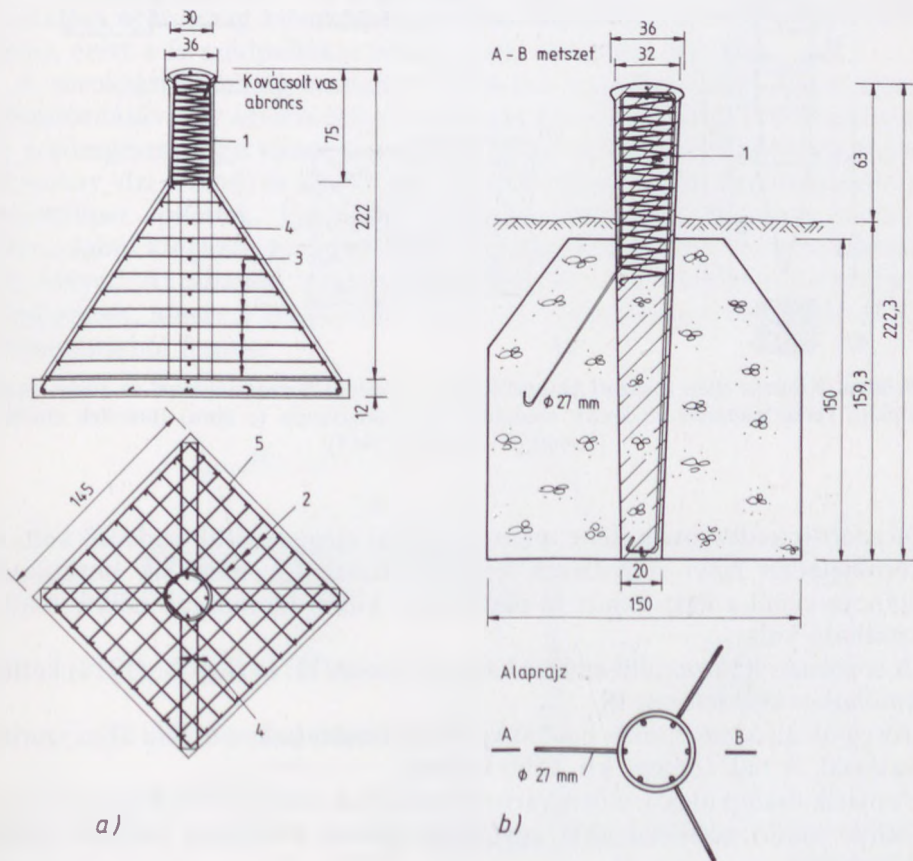
A Lenarducci—Sabathiel-eljárással készítették a marosvásárhelyi vízierőtelep rézsűburkolatát 1913-ban. Az eljárás lényege az, hogy 5—15 cm vastag kiegyenlítőbetonra fektették a 33 × 33 cm lapméretű, 8—15 cm vastag betonlapokat, a köztük lévő hézagba mindkét irányban 6—15 mm átmérőjű köracélt helyeztek és a rést kibetonozták (6.37/b ábra). A marosvásárhelyi kb.

2 km hosszú csatorna oldalfalait ilyen módon burkolták [Lampl H.—Sajó E. (1914)].

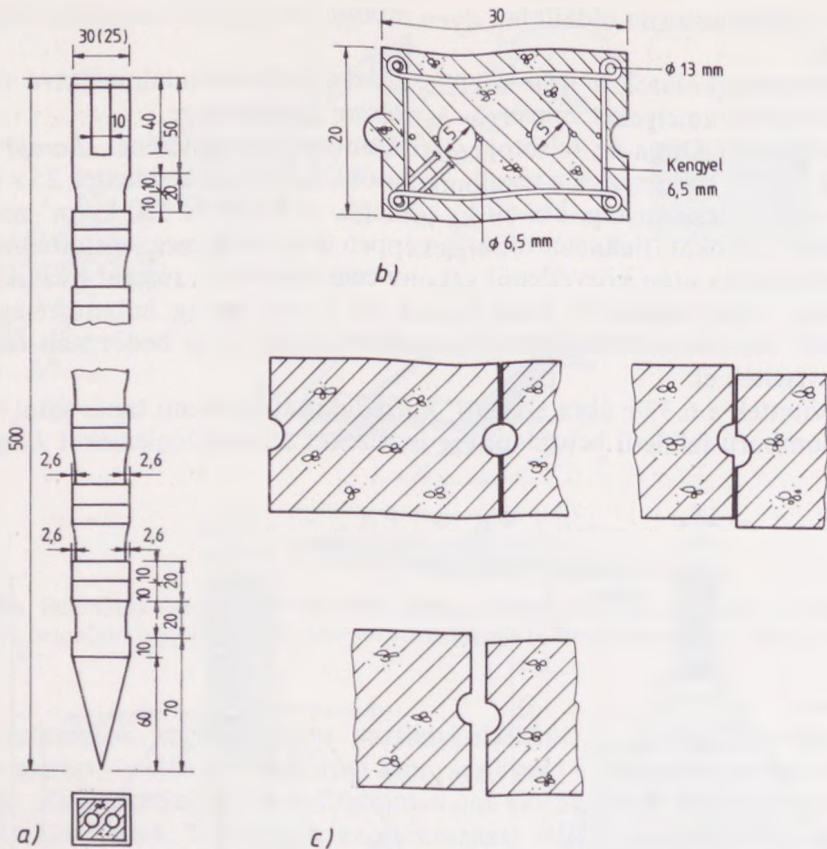
A betonburkolatokra igen sokféle eljárás volt szabadalmaztatva már a század elején, amelyeket *Emperger* és *Büsing* foglalt össze.

A soroksári Duna-ág felsőtorkolati kamrazsilipe építésénél [Lampl H.—Sajó E. (1914)] kísérleteztek a rézsűburkolatokkal. Éspedig készítettek 25 × 50 cm lapméretű, 15 cm vastag, kb. 50 kg tömegű, 170, 200 és 250 kg/m³ cement-adagolású lapokat. Felületét többféleképpen dolgozták meg: lesimítás vasléccel, bedöngölés után közvetlenül vékony cementhabarcs réteget húztak rá és vasalták, végül szikkadás után húztak rá 1 cm vastag habarcsréteget és vasalták. Az első telet legjobban a vasléccel lehúzott és bedörzsölt felületű lapok viselték el.

Készítettek a 6.37/c ábra szerinti, *Kerndl* Antal egyetemi tanár által tervezett, domború felületű betonlapokat is. Ezeket a burkolóelemeket *Lampl* és



6.38. ábra. Előregyártott bordás kikötőbak (a ábra, metszet a bordán át és alaprajz); oszlop alakú kikötőbak (b ábra) [Lampl H.—Sajó E. (1914)]. 1 — 5 mm átmérőjű spirál kengyelezés; 2 — 8 mm átmérőjű elosztóvas 15 cm-enként; 3 — 8 mm átmérőjű elosztóvas 12 cm-enként; 4 — 20 mm átmérőjű fővas; 5 — keretvas (mérték cm-ben)



6.39. ábra. Kihúzás ellen fogazott betoncölöpök a bökönyi duzzasztógátnál (a ábra); vasalt szádpalló keresztmetszete (b ábra); szádpallók csatlakoztatása (c ábra) (mértékek cm-ben) [Lampl H.—Sajó E. (1914)]

Sajó azért is kedvezőnek ítélte, mert esztétikai megjelenésük kedvező volt, az elkerülhetetlen helyi süllyedések kevésbé tűntek fel, mint sík burkolatok esetén, és végül a lépcsőkhöz és padkákhöz külön idomdarab nélkül csatlakoztatható volt.

A soroksári kamrazsilip építése kapcsán Lampl H. és Sajó E. (1914) kétféle kikötőbakot kísérletezett ki.

Az egyik alsó lemezzel és bordákkal egybeöntött bak, a 6.38/a ábra szerinti vasalással. A bak tömege kb. 1800 kg volt.

A másik oszlop alakú, előregyártott kikötőbak volt (6.38/b ábra). A bakot, a belőle kiálló acélbetétekkel együtt helyszínen előállított tömbbe kellett bebetonozni.

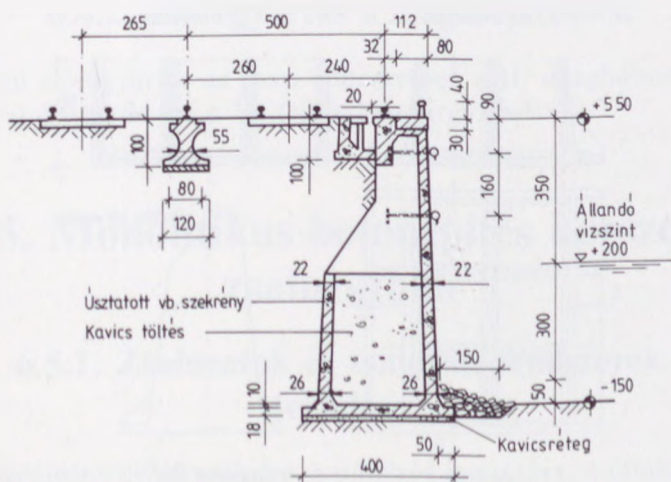
Kofranek Vendel földkúpok burkolását a Hortobágy—Berettyó Főcsatornán épített túrkevei vasbetonhidnál hatszögletes, előregyártott beton burkolóelemekkel oldotta meg.

A burkolóelemek párhuzamos oldalai közötti távolság 390 mm, vastagsága 140 mm volt. A hézagok 10 mm szélesek voltak. Vassablonban készítették. A cementtartalom 180 kg/m^3 volt. Az elemek felületét ívesen lesímitották. Az elemeket 20/40 cm méretű vasbeton lábra támasztották. A hézagokat rostált homokoskavicccsal töltötték ki, azokat a földkúp megüledése után kiöntötték.

Századunk elején — elsősorban mólók, partfalak, hidak építéséhez — alkalmazták a *betoncölöpöket*. Kezdetben a cölöpöket könnyű (300—500 kg) kosokkal nagy ejtési magasságokkal verték be, a cölöpök azonban összetörték. Végül kialakult a helyes cölöpépítési mód: nehéz kos (2000—3000 kg) és kis ejtési magasság. A bökényi duzzasztógát és hajózársílipet kihúzás ellen fogazott cölöpökkel készítették (6.39/a ábra).

Ugyanitt használtak először *beton szádpallókat* (6.39/b ábra). A szádpallókat részben veréssel, részben mosással süllyesztették a szádpallóban lévő lyukakon át, majd a köztük lévő hornyot kibetonozták. A szádpallók csatlakoztatása és a hézag kitisztítása azonban ritkán sikerült tökéletesen (6.39/c ábra), ezért a fa szádpallókat részesítették általában előnyben.

A soroksári Duna-ág rendezését 1904-ben határozták el. Célja a vízszint állandósításával az árvízvédelem, a hajózás lehetővé tétele, vízi energia nyerése, a közegészségügyi viszonyok javítása. E cél érdekében a Csepel-sziget felső (Kvassay vízi erőmű) és alsó (Tassi vízi erőmű) csúcánál duzzasztóművet és hajózársílipet építettek. Ezenkívül a Csepel-sziget keleti részén a soroksári Duna-ágból kiágazva két ipari és két kereskedelmi kikötő részére biztosítottak helyet. Az állandó vízszint tette lehetővé a ferencvárosi helyi kikötő megépítését, amely a Nagyvásártelep és az egész főváros élelmiszer-ellátása szempontjából fontos.



6.40. ábra. Ferencvárosi helyi kikötő úsztatott vasbeton szekrényes partfala
[Kovács házy F. (1956)]

A budapesti kereskedelmi és ipari kikötőt 1922—27 között építették. Partfalát 680 m hosszban úsztatott vasbeton szekrényekből készítették (6.40. ábra). A háromrekeszes szekrények 7,5 m hosszúak voltak. Ez volt az *első hazai úsztatott szekrényes alapozás*.

Ugyanitt 183 m hosszú betonpilléres, kihorgonyozott vasbeton szádfal is épült [Kovács házy F. (1956)].

A Dunai Vasmű kikötő partfala szintén úsztatott vasbeton szekrényes kivitelben készült [Major S. (1951)] (6.41. ábra).

A szekrények első 4,38 m magas részét a tassi hajózsilipben, ideiglenes tető alatt, szárazon előregyártották, majd a Dunán elemenként a helyszínre úsztatták. A hajózsilip befogadóképessége miatt a szekrények kisebb részét Dunaújvárosban, a beépítés helye melletti magas parton gyártották és sójapályáról csúsztatták a Dunába. Egy szekrény tömege 235,5 t volt és úzás közben 3,38 m-re merült a Dunába.

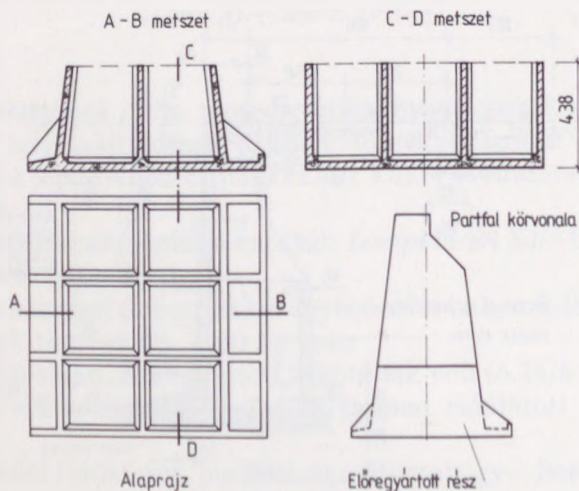
Nincs tudomásunk arról, hogy Lambot nyomán Magyarországon hajót gyártottak volna. A hajógyártás gondolatát azonban felhasználták a partfal-építéshez.

A beton megfelelt a szilárdsági és vízzárósági követelményeknek.

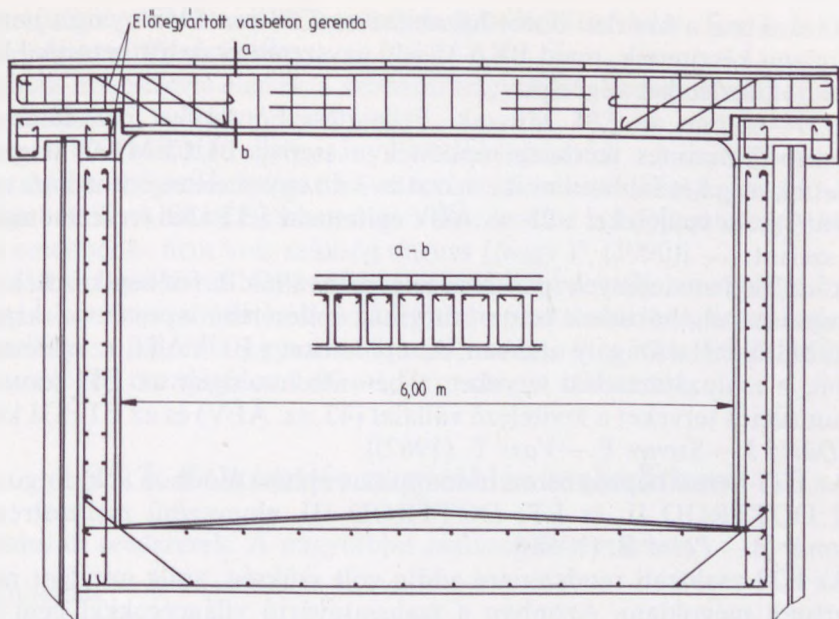
Kidolgozták a süllyesztett szekrényeknek egy utófesztített változatát is. Süllyesztés után a kábelekre nincs szükség, azok visszanyerhetők. Ennek alkalmazására példát nem találtam.

A Petőfi híd építésénél 1933-ban, majd a budapesti Margit híd szélesítésével 1935-ben előregyártott *vasbeton szekrényeket* süllyesztettek le.

A helyszíni előregyártásnak másik példája az 1935—1937 évekből: a *Margit hídi gyalogos aluljárót* előregyártott vasbeton gerendákkal fedték le (6.42. ábra) [Gyengő T. (1989)].



6.41. ábra. A Dunai Vasmű előregyártott úsztatott szekrényes partfala (mérték cm-ben) [Major S. (1951)]



6.42. ábra. A Margit-hídi gyalogos aluljáró előregyártott gerendája [Gyengő T. (1989)]

A II. világháború után a helyszíni előregyártást a mélyépítésben is egyre inkább háttérbe szorította az üzemi előregyártás (tűbbingek, csövek, hidak stb.), de a medenceépítésben (13.5. fejezet) és a hidépítésben is (9.6. fejezet) még előfordult.

6.4.2. Előregyártás a magasépítésben

A helyszíni előregyártás az ipari építészetben a II. világháború után igen magas szintet ért el, de ezt a 15. fejezetben tárgyaljuk.

6.5. Monolitikus betonépítés korszerű zsaluzatban

6.5.1. Zsaluzatok és zsaluzati rendszerek fejlődése

A munkaerőigény csökkentésére, a minőség javítására, a fatakerekosságra (6.1. fejezet), az építési idő rövidítésére irányuló törekvés az 50-es évek kezdetétől nálunk is a korszerű zsaluzati rendszerek kifejlesztéséhez vezetett.

Hazánkban a kísérleti öntötházakhoz az *ÉTI-ben* 1958 nyarán *prototípus zsaluzatot* készítettek, majd BKö 35 jelű egyszemcsés öntöttbetonnal laboratóriumi kísérleteket végeztek.

1959—60-ban az ÉM Műszaki Fejlesztési Főosztálya javaslatára 2 db kísérleti földszintes ikerházat építettek a csepeli BUCEMKŐ telepen. Itt építettek még két földszintes ikerházat és 3 db egyemeletes öntötházat [Dávid J. (1959)]. Az épületeket a 25. sz. ÁÉV építette az ÉTI által tervezett technológia szerint.

A kísérleti eredmények ipari bevezetéseként 1961 II. felében kezdtek el 3 db 9 emeletes kohóhabsalak-beton öntötház építését Budapesten az Árpád hid pesti hídfőjénél a Dagály utcában. Az épületeket a BUVÁTI, az építéstechnológiát, a zsaluzatszerelési terveket, a betontechnológiát az ÉTI tervezte, az organizációs terveket a kivitelező vállalat (43. sz. ÁÉV) és az ÉTÉGI készítette [Dávid J.—Szenes E.—Vass T. (1962)].

Az ÉTI-ben a köpenybeton monolitfalas építési módhoz is kidolgozták az ÉTI DOTTRÓD II. és ÉTI DOTTRÓD III. elnevezésű zsaluzatrendszert [Ottmár B.—Petró B. (1968)].

Az ÉTI zsaluzati rendszereire addig volt szükség, amíg mindent magunk akartunk megoldani. Azonban a zsaluzatgyártó világcégekkel nem tudták felvenni a versenyt.

A zsaluzati rendszerek további *előnyei*:

— A zsaluzat össze- és szétszerelése kevés szak- (ács, lakatos) munkát igényel. A szerelések anyagvesztéssel nem járnak. A zsaluzatok 50—100-szor felhasználhatók, tehát anyagtakarékosak.

— Az üzemben elkészített zsaluzatok méretpontossága nagyobb, mint a helyszínen készítettéké, így az elkészített szerkezet méretpontossága is nagyobb.

— A zsaluzási és állványozási munka szerelő jellegűvé vált, termelékenyebb lett. Ezáltal a monolitikus betonépítés színvonala elérheti az üzemi gyártás színvonalát.

— Mindezekhez — a hagyományos zsaluzathoz viszonyítva — fokozatosan még egy előny járult, a vakolatot nem igénylő betonfelület készítése.

Meg kell említeni a *hátrányait* is:

— Minden zsaluzati rendszer méretkötöttséget jelent még akkor is, ha bizonyos modulméretekhez igazodik.

— A zsalutáblák méretei nőnek, így egyre nagyobb emelőberendezésekre van szükség. Emelőberendezések, daruk a beton szállításához szükségesek. Ezek teherbírását összhangba kell hozni a zsalutáblák tömegével.

— Nem szegezhető.

A zsaluzatok fejlődése az egyedi nagytáblás zsaluzat irányában haladt. A fejlődésben első jelentős lépés az osztrák DOKA zsalutábla volt. Ez kétoldalt gyalult árokereztekkel kapcsolt faszalu volt, a tábla végeit hidegen hajlított acéllemez szegélyezte, amelyben két-két furat segítette elő a táblák egymáshoz

rögzíthetőségét. A táblaméret kezdetben 0,8—0,75 m² volt. Ezt is fokozatosan rendszerré fejlesztették.

A táblák növelésével elérték a szobafal nagyságot. Ezeket a zsalutáblákat már csak daruval tudták mozgatni.

A nagytáblás zsaluzat egyik irányú továbbfejlesztése a *kúszózsalu* volt. A zsalu a beton megszilárdulását követően a következő szintre kúszik daru segítségével nélkül. A 60-as években olyan kúszózsalut is kifejlesztettek, amelynek az emeléséhez nem volt szükség darura [Nagy P. (1990)].

A másik irányú továbbfejlesztése a *csúszózsaluzat* volt, amelynél a zsalu mozgatásakor szintén nem volt szükség darura, a zsalut és a hozzákapcsolt munkaszintet a betonba ágyazott támrúd hordja, és a rajta fel-le mozogni képes emelőgép mozgatja az 1,00—1,50 m magas zsaluzatot.

6.5.2. Falkészítés nagytáblás zsaluzatban

A zsaluzati rendszerek. A nagytáblás zsaluzatok szerkezete

- zsaluhéjból,
- vízszintes és függőleges merevítőkből,
- állítható ferde támaszokból és
- munkagalériákból áll.

A zsaluhéj lehet csaphornyos fenyőzsaluzat, farostlemez, gumiszőnyeg, rétegelt falemez, műanyag lap, acéllemez stb. Legjobban a rétegelt falemez és az acéllemez terjedt el.

A rétegelt falemezhez általában a fenyő furnérját használták fel, de növelhető a tartósság nehezebb fafajtákkal. A furnérrétegek ragasztására víz- és lúgálló műgyantát kell használni. A gyakorlatban az olcsó melamin-formaldehid gyanta jól bevált. A műgyantabevonat feladata egyrészt a rétegelt falemez vízfelvételének a megakadályozása, másrészt zsaluleválasztó anyagként viselkedik. A fenolgyanta-bevonatos táblákat minden felhasználás előtt olajjal vagy viasszal kezelni kell. A felületkezelés nélküli zsaluhéjak max. 10—15-ször, a felületkezelték 35—100-szor használhatók fel megfelelő gondozás esetén. Célszerű továbbá a zsalutáblát az első felhasználás előtt vízzel kellősi-teni, hogy később ne duzzadjon.

Hazánkban a Budapesti Falemezművek fejlesztette ki a BUFA márkanévű különleges rétegelt falemezt.

A rétegelt lemez 2—3 mm vastag cserfa anyagú belső és bükkfából készített színfurnérból állt. Ragasztóanyaga víz- és lúgálló műgyanta volt. A felületi bevonat szerint két típust különböztettek meg. A BUFA III lemezt fenolgyanta bevonattal, hideg eljárással készítették. A BUFA V-t fenolgyantafilm kasírozással, meleg eljárással állították elő. A lemezek бүтүс végeit szintén vízálló gyantával kezelték. A lemezvastagság min. 5, max. 14±1 mm. A lemezeket 2000 × 1250 mm lapmérettel forgalmazták, de készítettek más méretekben is.

A zsaluzat alak- és formatartása érdekében a merevítőket acélból kellett készíteni.

Megkülönböztetünk függőleges vasbeton falak zsaluzására alkalmas *sík-zsaluzatot* és monolit födémek zsaluzására alkalmas *asztalzaluzatot*.

Hazánkban a következő zsaluzati rendszereket használták:

- HÜNNEBECK, német rendszer,
- SCAN-FORM, dán rendszer,
- BATIMETAL, francia rendszer

licence alapján a FÉMUNKÁS Vállalat (Budapest) gyártotta,

- NOE, német rendszer,
- OUTINORD, francia rendszer,
- DOKA, osztrák rendszer, amelynek a Magyar DOKA Zsalutechnikai Kft. a magyar képviselői szerve.
- PERI (12.6.3. fejezet).

Ezek közül a zsaluzati rendszerek közül röviden az első, a HÜNNEBECK nagytáblás zsaluzatot ismertetjük a 21. ÁÉV tapasztalatai, *Érdi T.—Huszár Z.* (1974) és *Nagy P.* (1990) alapján.

HÜNNEBECK nagytáblás zsaluzati rendszer. A Hünnebeck cég AZ 16, AZ 27 és AZ 50 jelű zsaluzatmerevítő tartót gyártott (6.43. ábra). A tartókat tűzhorganyzott acélból készítették. Az AZ-tartók a fazsaluzatot függőlegesen támasztották meg. A tartók távolsága a tartó típusának és a beton oldalnyomásának a függvénye volt. A zsalumerevítő tartók eleve különböző hosszúak voltak, de azokat toldani is lehetett.

Az AZ jelű tartókat a tartóöv nyílásain áttolt övtartókkal merevítették. Az övtartók lehettek pl. fűrészelt fatartók vagy AT 27 és AZ 50 jelű tartók esetén AZ 16 jelű tartók. A két tartó rögzítésének igen szellemes eszköze volt a csavaros kettős ék (6.43/f ábra).

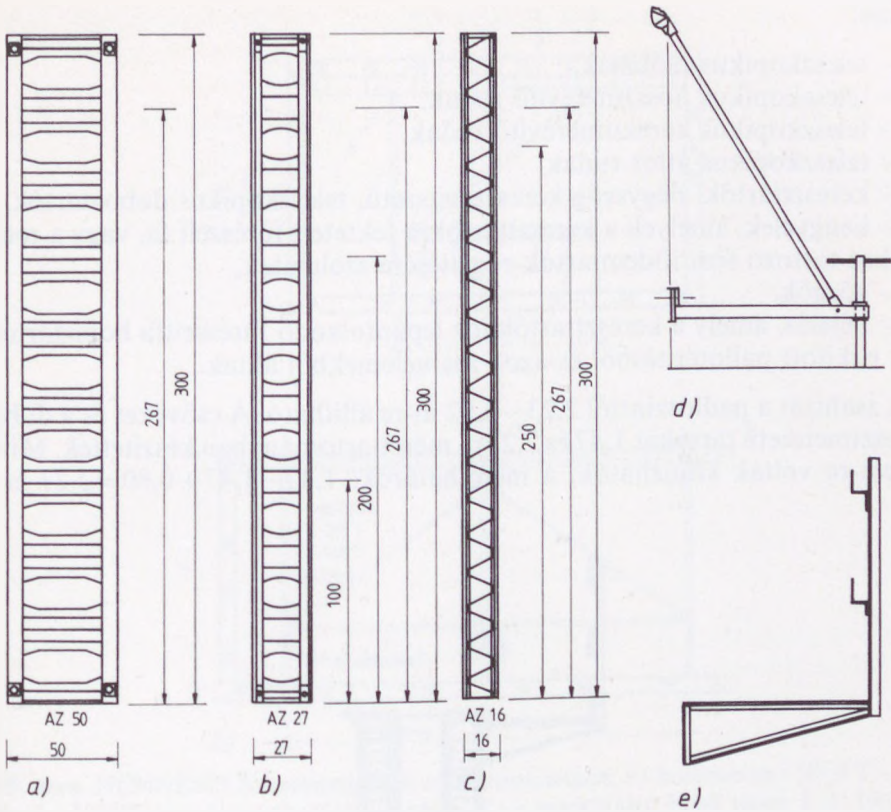
A zsaluhéjat az AZ-tartók U szelvényű övébe becsavarozott betétfákon rögzítették. A vastagabb zsaluhéjat közvetlenül, a vékonyabbat közbeiktatott ritkított alapszalura rögzítették. Ha az AZ-tartók távolsága 1 m-nél nagyobb volt, akkor 50 cm-enként fa- vagy acélbordázatot csavaroztak a betétfára és arra erősítették a zsaluhéjat.

A fal vastagságát távolságtartós szerkezettel érték el.

A zsaluzatot a 6.43/a—c ábra szerinti rudakkal támasztották ki, és felszerelhető volt rá a 6.43/d ábra szerinti munkagaléria. Összeszerelt végzsaluzatot a 6.44. ábra szemléltet.

Vakolatmentesség szempontjából el kell kerülni a zsaluhéjak illesztése helyén a „betonorrót”. Ezt úgy érték el, hogy az illesztés felett bennmaradó azbesztcementcsíkot illesztettek.

A HÜNNEBECK asztal- (födém-) zsaluzatot könnyen szétszedhető-összerakható elemekből építették fel.

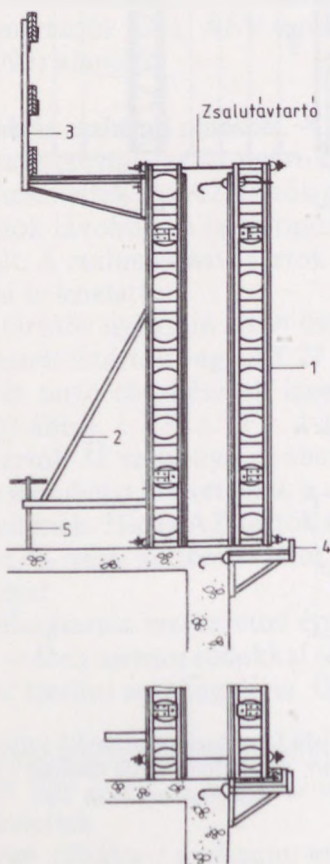


6.43. ábra. HÜNNEBECK AZ jelű falzszaluzatot merevítő tartók [Nagy P. (1990)]: a) AZ 50; b) AZ 27; c) AZ 16 jelű tartó; d) állítható ferde támasz; e) munkagaléria; f) metszet (méretek cm-ben)

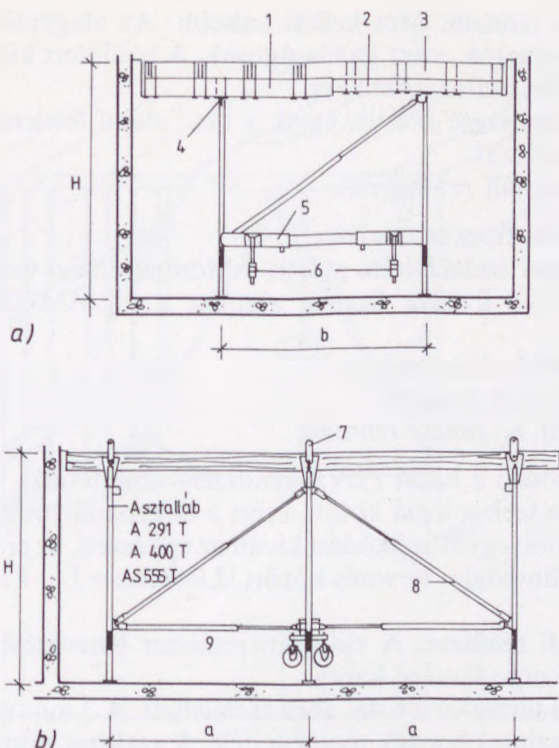
Elemek:

- teleszkopikus csőlábak,
- teleszkopikus hosszmevítő rudak,
- teleszkopikus keresztmevítő rudak,
- teleszkopikus átlós rudak,
- keresztartók: négyszög keresztmetszetű, teleszkopikus doboztartók,
- kengyelek, amelyek a keresztartókra fektetett fűrészelt fa, vagy a rendszerhez tartozó fém földtartók rögzítésére szolgáltak,
- görgők,
- héjalás, amely a keresztartókhoz lepántolandó fűrészeltfa hosszartókból, ritkított pallóterítésből és azon zsaluelemekből álltak.

A zsaluzat a padlószinttől 2,23—5,92 m-re állítható. A csöveket és a doboz keresztmetszetű tartókat 1,47 és 2,27 m mérettartományban készítették. Mivel 80 cm-re voltak kihúzhatók, a mérethatarok: $1,47 - 1,47 + 0,80 = 2,27$ és a



6.44. ábra. HÜNNEBECK végfalzsaluzat [Nagy P. (1990)]. 1 — AZ tartó; 2 — állítható ferde támasz; 3 — munkagaléria; 4 — kúszó konzol; 5 — távolságtartó



6.45. ábra. HÜNNEBECK asztalzsorozat. a) Keresztmetszet; b) hosszmetset [Érdi T.—Huszár Z. (1974)]. 1 — keresztartó külső része; 2 — keresztartó belső része; 3 — fűrészelt gerenda: 8/16; 4 — beakasztó; 5 — görgőtartók; 6 — görgők; 7 — beakasztó fül; 8 — átlós merevítő; 9 — vízszintes merevítő

$2,27 + 0,80 = 3,07$ m. Ezek a mérethatárok meghatározták az állványzat keresztirányú mérettartományát. Hosszirányban két mérettartományt készítettek: a 4 lábú asztal max. hossza 3,07 m, a 6 lábú asztal minimális hossza $2 \times 1,47 = 2,94$ m, maximális mérete $3,07 \times 6,14$ m.

Az asztalzsorozatot a 6.45. ábra szemlélteti.

6.5.3. Alagútsorozat

Zsalurendszerek. A nagytáblás zsaluzatok továbbfejlesztett változata az alagútszalu vagy térzsalu. A fal- és födémzsalu egy rendszerbe van összekapcsolva. Létrejöttét a toronydaruk gémkinyúlása és teherbírása növekedésének köszönheti.

Az alapzsaluzatok kivétel nélkül fém anyagúak. A zsaluhéj 3—4 mm vastag acéllemez, a zsalu- és merevítőbordákat szögacélból vagy hidegen hajlított acélból készítették. A zsaluzat 3,00—6,00 m széles födémek készítésére volt

alkalmas. A kész felületet nem kellett vakolni. Az alagútzsaluzatok 300—400-szor felhasználhatók, ezért gazdaságosak. A rendszert kiegészítették nyílásképző és liftakna zsaluzatokkal is.

A zsaluzatok rendszere kétféle: egyik a két Γ alakú félelemből készített, a másik \square alakú zsaluzat.

Hazánkban használt rendszerek:

- OUTINORD: francia rendszer,
- PEVA: magyar szabadalom, gyártja a Mezőgazdasági Gépjavító Vállalat,
- BATIMETAL: francia licence alapján a FÉMMUNKÁS Vállalat gyártja,
- SCAN-FORM: dán rendszer,
- S.T.E.M: francia rendszer,
- HÜNNEBECK: német rendszer.

Ezek közül röviden a hazai PEVA-rendszert ismertetjük.

Az alagútzsalu technológia kötött, ezért a hagyományos technológiákhoz viszonyítva nagyobb együttműködést kíván az építészeti, az erőtani, az épületgépészeti és a technológiai tervezés között [Liebhauer J.—Valiskó J. (1973)].

PEVA zsaluzati rendszer. A zsaluzati rendszer elnevezését a tervezőkről (*Pelle József és Varga István*) kapta.

Az acél anyagú térzsalut a 6.46. ábra szemlélteti. A 3 mm vastag zsaluhéjat függőleges és vízszintes bordák merevítették. A zsaluzat pontos beállítására, kizsaluzásra egyszerű, szinkronizált rúdrendszert használtak, amelyet a közepső, ún. vezértengely elforgatásával mozgattak. A rudazatok teleszkopikusak voltak. A zsaluzati rendszert négy keréken gördítették. A kerekek mellett helyezték el a magasság beállítására szolgáló csavarorsókat. A fal- és födémgerendák sarokmerev kialakításúak voltak.

A födém tábla közepső részét cserélhetően alakították ki, ezáltal a falközt 2,10—4,20 m között (ún. A típusú zsaluzattal) vagy 3,90—6,30 m között (ún. B típusú zsaluzattal) változtathatták. Az alagútzsalu hossza 1,80 m, magassága 2,65—3,30 m között volt.

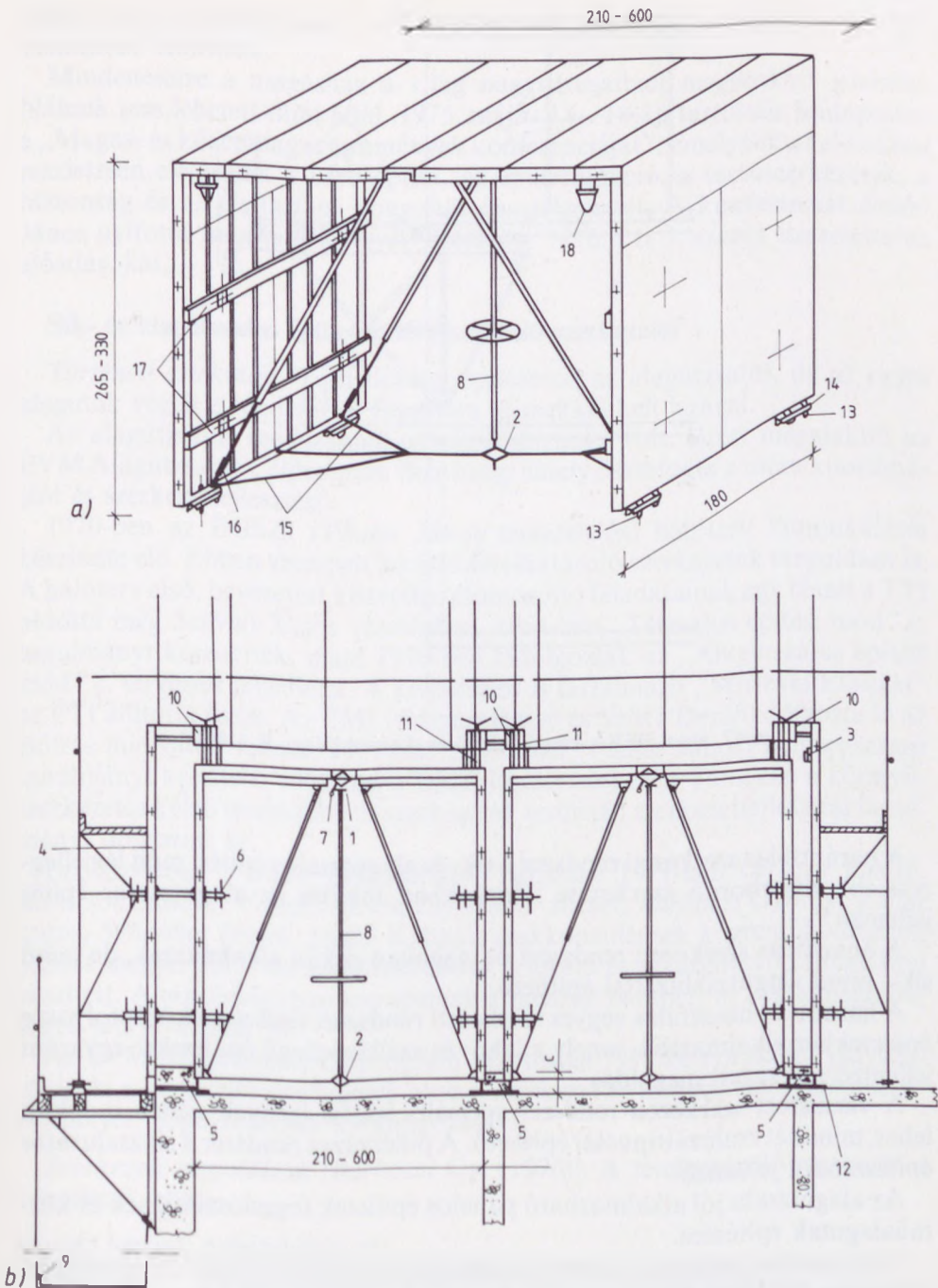
A falzsalut két, ill. három sorban elhelyezett távolságtartókkal tették me-revvé és formatartóvá.

Tartozik a rendszerhez végfalzsalu és nyílás- (pl. ablak) kirekesztő elem is.

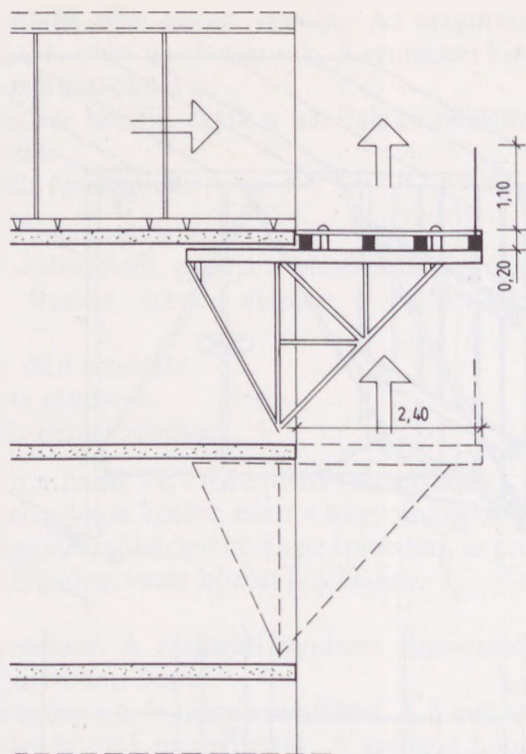
Az alagútzsalut a fal és a födém megépítése után a kizsaluzó állványkonzol-ra (6.47. ábra) tolják ki és onnan emelik a következő szintre. Mivel a zsalu hossza 1,80 m, ezért 2,40 m konzolszélességre van szükség.

Az alagútzsalu felhasználási területei. A nagytáblás és alagútzsalus építési mód elsősorban a zárt sejtekből álló épületek építésére alkalmas. Ilyenek:

- lakóépületek,
- szállás jellegű épületek (szálloda, diák-, munkás-, nővérszálló, vállalati üdülő),
- irodaépületek.



6.46. ábra. PEVA alagútsalu *a)* téreleme; *b)* összeépítési vázlata [Dulácska E. (1989)]. Jelölések: 1 — felső összehúzó szerkezet; 2 — alsó összehúzó szerkezet; 3 — profilképző betét; 4 — bütüzsalu; 5 — csanakfalzsalu; 6 — szerelőcsavar; 7 — zárszerkezet; 8 — összekötő tengely; 9 — függőjárda; 10 — csanakfalzsalu; 11 — távtartó hüvely; 12 — kitolósín; 13 — kerek; 14 — emelőorsó; 15 — alsó merevítőrudazat; 16 — állítócsavar; 17 — merevítőgerenda; 18 — emelőfül (mérték cm-ben)



6.47. ábra. PEVA kizsaluzó állványkonzol [Nagy P. (1990)]

A harántfalas szerkezeti rendszer a sík- és alagútzsalus építési mód legjellegzetesebb teherhordó szerkezete. Hazánkban inkább az alagútzsalus építés jellemző.

A hosszfalas szerkezeti rendszert önmagában ritkán alkalmazzák, de mind sík-, mind alagútzsaluzattal építhető.

A haránt- és hosszfalas vegyes szerkezeti rendszert tipikusan középfolyosós épületekhez alkalmazzák, amely a lakó- és szállás jellegű épületekre egyaránt jellemző szerkezeti megoldás.

A vázasított szerkezeti rendszer speciális építési igények esetén indokolt lehet, mindkét zsaluzattípussal építhető. A pillérvázis rendszer a síkzsaluzatos építésmódra jellemző.

Az alagútzsalu jól alkalmazható panelos épületek fogadósintjének és közműalagutak építésére.

Alagútzsalus építéshez tervezési tájékoztatót készített a BME Magasépítési Tanszéke 1973-ban (Karácson S.—Valiskó J.—Liebhauer J.).

Az alagútzsalu egyik felhasználási területe a *magasház*. Hazánkban a középmagas ház legmagasabb lakószintje +29 m lehet. Ennél magasabb lakó-

Lakó és szállás jellegű épületek alagútvégeinek a lezárására három alapvető alaprajzi megoldás van:

- külső sík homlokzat,
- függőfolyosó, erkély,
- loggia.

Külső sík homlokzatok nehézelemes (beton anyagú) lezárásának formái:

- parapetpanel, mellvéd,
- álló + parapetpanel,
- homlokzati nagypanel.

A parapetpanel a legegyszerűbb, hazánkban legtöbbször alkalmazott alagút-véglezáró megoldás. Az elsőt a BULAV alkalmazta a budafoki S-5 jelű épületnél. Lényege az, hogy a földémszélre felfektették a parapetpanel belső részét, felső élét pedig csavarozással, ill. helyszíni hegesztéssel rögzítették a harántfalakba betonozott belsőmenetes csővégekhez, hidegen hengerelt L-profil közbeiktatásával.

A parapetfalas panelházak hőszigetelési, víz- és légzárási problémái megegyeznek a panelos épületekével. Előnyben kell részesíteni a panelrögzítést az azt a módját, amely nem igényel hegesztést. A bonyolult kapcsolat a darut hosszú ideig leköti.

Álló + parapetpanel szerkezettervezési problémái megegyeznek a parapetpaneloséval. Az állópanel rögzítése valamivel bonyolultabb a parapetpanelénál.

A *homlokzati nagypanel* házigyári technológiával készített elem. A ház megjelenésében és hőtechnikai viselkedésében a panelos épületekre hasonlít.

Függőfolyosós megoldás elkerülhetetlen a változatos, különböző igényeket kielégítő lakóépületek tervezésénél. Részletmegoldásokat tekintve az erkélyes megoldáshoz hasonlítható.

Kezdetben a BULAV a budafoki S-5 jelű kísérleti épületnél előregyártott konzolokat épített be a monolit harántfalakba. Kivitelezési pontatlanságok, a kivitelezési hibák, munkaigényesség miatt nem vált be. Később monolit konzolokkal dolgoztak, de ehhez hozzátartozott a függőfolyosó, erkély földémlemezének monolitikus készítése is.

A *loggia* mind funkcionális, mind homlokzatformálási szempontból nélkülözhetetlen az igényesebb lakásoknál.

A *nehézelemes* (betonanyagú) *végfalmegoldásoknak* három alaptípusa van:

- burkolópanel,
- köpenypanel és
- teherhordó végpanel.

A *burkolópanelos* (kéregpanelos) megoldásnál a megépített monolit végfalra — a végfalra a betonozáskor kihagyott nyíláson keresztül — támasztották vagy függesztették az esztétikus felületkialakítású és hőszigetelt panelokat. A panelokat alulról felfelé haladva, daruval, belülről szerelték és rögzítették csavaros vagy ékes rögzítőeszközökkel. A panelokat célszerűen szintbeállító

csavarok segítségével helyezték el. A vízszintes és függőleges illesztési hézagokban az előbb elhelyezett panelra biturán hézagzáró csíkot ragasztottak úgy, hogy a később elhelyezett panel ezt összenyomja. Feladata a légzárás. A vízzárást a függőleges hézagba helyezett neoprén vagy PVC anyagú C-profilal oldották meg, hasonlóan a panelos épületekhez.

A *köpenypanelos végfal* megoldásnál a felületképzéssel és hőszigeteléssel ellátott végfalpanelokat betonozás előtt helyezték el a zsaluzatban, és véglegesítés után a 13 cm vastag monolit végfalat mellébetonozták. A hézagzáró elemeket a végfalpanel beállítása után kellett elhelyezni. Végfalhomlokzatra ennél az építésmódnál is szükség volt.

A *teherhordó végfalpanelos* megoldás során a felállított szélső alagútzsalu mellé szintbeállító csavarokra emelték a kész, hőszigeteléssel és felületképzéssel ellátott panelt és rögzítették. A falak betonozása után merev kapcsolat jött létre az előregyártott végfalpanel és a monolit födém között.

Konkrét szerkezeti részleteket a 14. fejezetben ismertetünk.

6.5.4. A csúszózsalus építéstechnológia

A **technológia története** [Fischer Gy. (1965)]. Az irodalmi adatok szerint a csúszózsalus technológia 1905-ben Philadelphiában (USA) kezdődött. Kezdetben kör keresztmetszetű magas műtárgyakon, később különböző alaprajzú ipari épületeknél használták. A zsalugyártó vállalatok egymással versengtek és ajánlottak zsalurendszereket.

Európában a Szovjetunióban 1926-tól a gabonasiló-építési program keretében országszerte alkalmazták.

Ezt az építéstechnológiát a 20-as évek végén könnyűbeton öntötházak építésére is felhasználták. A Szovjetunió óriási igényei miatt a nagyüzemi technológiák (blokk, panel) háttérbe szorították és csak ipari építkezéseknél alkalmazták.

Hazánkban elsőként a csepeli gabonatárház építésekor alkalmazták [Freytag F. (1931)] 1926. július és 1928. augusztus között (lásd 15. fejezet). Ezzel Európában a másodikak lettünk. Összehasonlítva a hagyományos építési módokkal, az ácsmunkában 50%-ot, faanyagban 65%-ot, betonacélban 15%-ot takarítottak meg, míg 20%-kal több betonra volt szükség.

A csúszózsalus technológia fejlesztése terén Svédország vette át a vezető szerepet. Felismerték, hogy a csúszózsalus építéshez jól működő gépi berendezésre van szükség. A svéd Concretor-Prometo típusú sajtókat 1940-ben találták fel. Svédország az élre tört és berendezéseit sok országba exportálta.

Hazánkban a II. világháború után először *Benkő József* a csepeli emelőberendezésekkel építette meg a hajdúnánási silókat [Marjalaki S. (1956)] 1953-ban. *Mester István* (1953) Mérnöki Továbbképző intézeti előadásában gazdaságos zsaluzási módszerként ismertette, amely szerepel a „gazdaságos állv-

nyozás, zsaluzás és ducolás” c. irányterv-gyűjteményben is. 1954-ben a csepeli emelőorsókkal építették meg a Debreceni Erőmű 20 m átmérőjű, 32 m magas hengeres hűtőtornyát. Az építésről *Homonnai T.* (1955) tájékoztattott. *Valkó Ödön* 1956-ban a Magyar Építőiparban a külföldi példákat ismertette. *Marjalaki S.* (1956) pedig a Mérnöktovábbképző Intézetben a csúszózsálas építésről tanfolyami előadást tartott.

1959-ig kézi mozgatású, támaszokon haladó emelőket és fa emelőjármokat alkalmaztak. Új korszakot jelentett *Thoma József* munkássága a csúszózsálas építésben, aki szabadalmaival és tervezői munkájával elismerést szerzett mind itthon, mind külföldön. A fejlesztésben első lépés volt a „Robot” emelőgép és a „Fregoli” acél emelőjárom.

1962 májusában az OMF megbízásából *Thoma József* (MÉLYÉPTERV), *Horváth József* (1. sz. Mélyépítő V.) és *Fischer György* (ÉTI) megállapodtak abban, hogy a csúszózsálas építést lakásépítéshez is kidolgozzák [*Fischer Gy.* (1963)]. 1962-ben *Thoma J.* tervei szerint megépült a százhalombattai első 200 m magas vasbetonkémény [*Thoma J.—Söpkéz G.* (1963, 1964)]. Még 1964-ben jelent meg *Mohácsi L.* (1962) könyve, amely a csúszózsálas technológiákat is érdeme szerint ismertette.

1962 decemberében *Thoma J.* és társai javaslatot tettek a csúszózsálas lakásépítés technológiájára.

Bár a csúszózsálas építésben a Budapest Szálló (15. fej.) megelőzte, lakásépítésben a budafoki M-1 jelű 11 szintes lakóépület volt az első, és azt kohóhabsalakbetonból építették (lásd 14. fejezet).

A csúszózsálas építés előnyei és hátrányai.

A csúszózsálas előnyei:

- nincs szükség állványra,
- nem feltétlenül szükséges nagy teherbírású emelődaru,
- minimális a felhasználás, a szakszerűen kezelt jármok és a zsaluhéj sokszor felhasználható,
- a munkapadozat a zsaluzattal együtt emelkedik,
- az építési idő lerövidül,
- a beton jó minőségben való előállításának megvannak a technológiai feltételei (jól hozzáférhető, tömöríthető, nincs szétosztályozódás),
- minimális a munkaterület,
- könnyen, olcsón védhető az időjárás változásoktól.

A csúszózsálas hátrányai:

- nagy a beruházási költség, amely csak többszöri felhasználás esetén térül meg,
- a technológiai folyamatokat (zsalu mozgatása, vasszerelés, betonozás) gondosan meg kell szervezni, hogy a munka folyamatos legyen,
- a legkisebb falvastagság — technológiai okokból — 14 cm,

- a csúszózszaluzatos technológia elsősorban körszimmetrikus szerkezetek építésére való, házak építésénél fennáll a betonrepedés, beragadás veszélye, különösen sarkok közelében,
- lakóépületeknél a koszorúbekötések, a monolit födémépítések csökkentik a sebességet.

A csúszózszaluzat építés alaptervezései. Az OMF 10-702-V számú, „Magas épületek és építmények építése csúszózszaluzattal” c. tanulmányt készítetett. A tanulmányt Szabó János, Thoma József, Bán Kálmán, Maholányi Ernő, Söpkéz Gusztáv és Watzek Miklós dolgozta ki. E tanulmány csúszózszaluzatos alaptervezésen az emelőgépből, emelőkeretből és függőállványból álló emelőegységet, valamint a csúszózszaluzatos építési technológia hatékonyságát biztosító különleges emelő-süllyesztő rendszerű elektrohidraulikus sajtókat értette.

Az építőipar területén működő emelőgépek (1970-ben):

- elektromechanikus emelőgép,
- elektropneumatikus emelősjtó,
- elektrohidraulikus emelősjtó.

Az emelőgépekre jellemző adatokat a 6.3. táblázat tartalmazza.

a) Az *elektromechanikus* „Robot” emelőorsó csigatengelyéhez 1-1 kardán-csukló, majd ezekhez a munkaszint felett kb. 50 cm-rel vezetett kardántengely csatlakozott. Az elektromotor szinkronban működtette az emelőgépezetet és közvetve a kardántengely-rendszert. Előnye nagy élettartama, túlterhelhetősége volt. Hátránya, hogy a kardántengely vonalvezetése megnehezítette az anyagszállítást a munkaszinten, a vasszerelést, a nyílásképző elemek elhelyezését.

b) *Kétkamrás elektropneumatikus emelősjtót* először 1964-ben a Borsodi Vegyi Kombinát szórótorony kivitelezésénél használtuk fel. A kedvező tapasztalatok alapján 1965-ben a meglévő 126 db emelősjtóval 6 db műtárgyat építettek meg. 1966-ban további 5 db, 1967-ben 60 emelősjtót gyártottak le.

6.3. táblázat. Emelőgépek műszaki adatai

Megnevezés		Elektromechanikus	Elektropneumatikus	Elektrohidraulikus
Emelőképeség	kN	50	60	30
Emelőorsó hossza	mm	360		
Teljes lökethossz	mm	280		
Előírt támrúdátmérő	mm	30	28	28
Tömege	kg	52	22	13
Névleges lökethossz	mm		22	25
Emelősjtó teljes hossza	mm		346	540,5
Tömlősésze átmérője	mm		270	
Legnagyobb átmérő	mm			105

Az emelőszajtokat elektromotorral meghajtott, 0,8 MPa levegőnyomást biztosító légkompresszor hajtotta meg. Az elektropneumatikus emelőszajtó előnye a „Robot” emelőgépekkel szemben:

— Olyan szintellenőrző berendezést dolgoztak ki, amelyik — a nemzetközi gyakorlatot is megelőzve — az emelőszajtó, és így a mozgó munkaszint helybenjárását biztosította. Az aránylag rövid lökethosszból eredő emelkedési egyenlőtlenések automatikusan kiegyenlíthetők voltak.

— Elmaradtak a kardántengelyek és a velük kapcsolatos hátrányok.

— Az emelőszerkezet egyszerű kialakítása megkönnyítette a szajtok fel- és leszerelését.

c) A „*Concretor-Prometo*” típusú svéd *elektrohidraulikus emelőszajtokat* 1964-ben szerezték be. Ilyen berendezéssel építették a budafoki M-1 jelű kísérleti lakóépületet (lásd 14. fejezet, ahol részletesen ismertetve lett).

d) A *nagy teherbírású emelő-süllyesztő rendszerű elektrohidraulikus szajtó* (UD-520) működési elvében azonos a c) pontban ismertetett elektrohidraulikus emelőszajtóval, de nagy teherbírású emelő-süllyesztő rendszerű hidraulikus szajtokat alkalmaztak pl. csúszózszaluzattal készített víztoronytörzsek fejrészének építésénél. Ezeket a szajtokat ikerhengerrel működtették, nagyobb volt a támrúd a c) alatti emelőhöz viszonyítva, nagyobb volt a lökethosszuk.

Ezeket a szajtokat elsősorban többszintes iroda- vagy lakóépületek monolit vasbeton szerkezetének függesztett zsaluzatos építésére, terepszinten gyártott víztoronnyfejrészek felemelésére, tornyok terepszinten összeállított zsaluzatainak, előregyártott erkélyelemeinek a felemelésére, tehát általában a csúszózszaluzatos technológia kiegészítésére használták. Ezáltal nem veszett el a csúszózszaluzatos technológiával elért előny a kapcsolódó szerkezetek építésekor.

e) *Különleges csúszózszaluzatos berendezés.*

Többéves műszaki fejlesztési tevékenység eredményeként készült el az új, vasszerkezetű, kúpalkotó mentén automatikusan vezérelt csúszózszaluzatos berendezés, amelyet a gyulai 1000 m³-es víztorony építésénél használtak először 1965-ben.

A cél az volt, hogy a csúszózszaluzat menjen fel a víztorony tetejéig. Így született meg a csillag alaprajzú víztoronnytípus (Dunaújváros, Nyíregyháza, Tiszaszederkény, Makó, Hódmezővásárhely stb. lásd 13.6.3. fejt.).

A víztorony külső köpenyfala olyan húszágú csillag volt, amely a torony teljes magasságában állandó kerületű. A csúszózszaluzat húr- és sugárirányú vezérlést igényelt. Az állandó kerület viszonylag egyszerű zsaluzatkialakítást tett lehetővé. A 20 ágú, csillag alaprajzú köpenyfal alsó átmérője 9,5 m, felső átmérője 16,6 m volt.

Az acélszerkezetű berendezés olyan emelőkeretből állt, amelyek belső térbeli rácsosgyűrűhöz kapcsolódtak. Ennek a gyűrűnek a tartozékai: az emelőkeretekhez csuklóval kapcsolódó rácselemek és a háromirányú, egymással párhuzamosan álló vezérlő orsósor.

A három orsóból álló térrács feladata: a berendezés kúpalkotón tartása, a csavarási merevség, a vízszintes síkú merevség biztosítása és az emelőkeretek sugárirányú függőleges síkban tartása.

A berendezés automatikája egy végtelenített lánc, amely emelőkeretként az orsók hosszát mindig a szükséges méretre változtatta a vezérlőorsókon lévő lánckerekekkel. A végtelen láncot egy fix ponton a megépített falhoz rögzítették, s így a vezérlőorsók széthajtását közvetve a csúszózsalu emelését végző sajtórendszer biztosította.

A berendezés zsaluzatát szintén idomacéllal merevített, állandó görbületű, de állítható ívmagasságú, egymáson csúszó acéllemez táblák alkották. Olyan volt a felfüggesztésük, hogy azokat építés közben a falfelülettől hátra lehetett húzni, le lehetett tisztítani és le lehetett szerelni.

Az alkalmazás határai: a műtárgy kúposága max. 1 : 10, legnagyobb falvastagsága 45 cm, a külső zsalutáblák hossza 1,45—2,70 m, a belső zsalutáblák hossza 1,25—2,50 m (mindkét esetben íven mért hossz).

Elsősorban víztornyokhoz, TV-tornyokhoz használták.

A speciális berendezés magyar találmány.

f) *SVETHO rendszerű csúszózsaluvalatos berendezés* [Thoma J.—Söpkéz G. (1970)].

Az eddigi berendezések hátrányait (átmérőhatár, kizárólag csonkakúp alakú műtárgy, kis határok között változtatható falvastagság) küszöbölte ki a SVETHO rendszerű berendezés.

A SVETHO rendszer a feltalálók (Sven E. *Svenson* svéd és *Thoma* József magyar) nevének kezdőbetűiből származik. A magassággal folyamatosan változó keresztmetszetű, tetszőlegesen változó falvastagságú toronyszerű vasbeton műtárgyak csúszózsaluvalatos építésére alkalmas berendezés. A műtárgy függőleges vezérlőorsója lehet egyenes vagy tetszőleges szerinti görbületű, az érintő hajlásszöge max. 30% lehet.

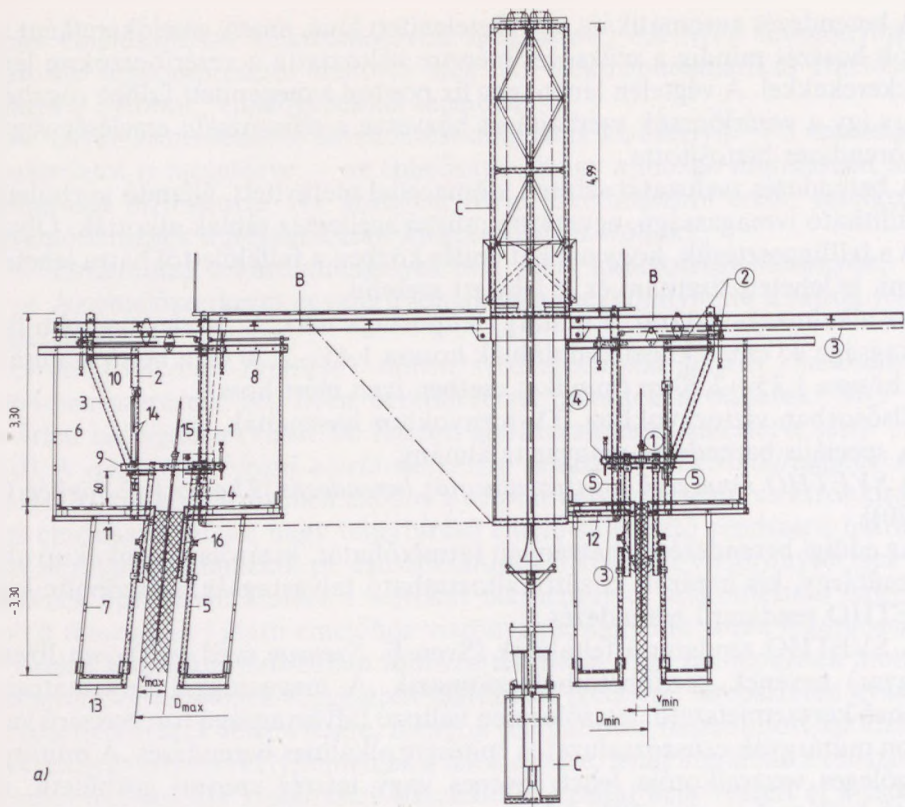
A SVETHO berendezés tetszőleges számú, de mindig páros emelőegységekből áll. Egy egység 0,7—2,2 m falhosszat készít. Acéllemez zsalus rendszer.

A SVETHO rendszer elvi vázlatát a 6.48. ábra szemlélteti. Az emelőkeret egységek egymáshoz kapcsolását és a szerkezet vízszintes síkú merevségét kettős térbeli „ollós rács” rendszerrel (6.48. ábra C-C nézet) érték el. Ennek felső, mozgó csomópontját automatikusan vezérelt függőleges csavarorsók emelik vagy süllyeszti, ezzel tetszőleges keresztmetszet-változás hozható létre. A pontos alaktartás biztosítására — nagyobb átmérők esetén — az emelőkereteket kétsíkú, sugárirányú drótkötél-küllőrendszer köti össze egy központos idomacélgyűrű segítségével. A küllőrendszert az „ollós rács” vezérlésével szinkronizálták, és mindig automatikus a sugárváltoztatás. E rendszerrel már 1970-ben 3,5—150 m között választhatták meg az átmérőt.

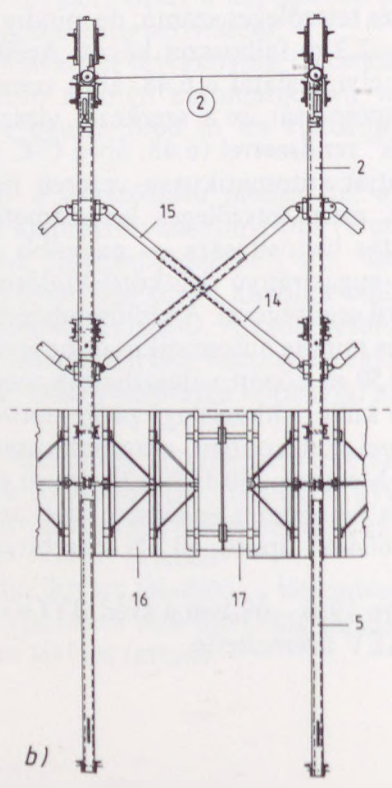
Az „ollós rácsot” és a küllőrendszert egy programozott berendezés, az ún. „vezérlőékek” segítségével szinkronban, automatikusan vezérli.

A vezérlőberendezést Mecman 250 H/Nr 23 típusú elektrohidraulikus sajtókkal működtették, és a berendezés emelésére ezzel szinkronban működtethető svéd „BYGGING 604-S” típusú, 60 kN teherbírású, elektrohidraulikus sajtókat használtak.

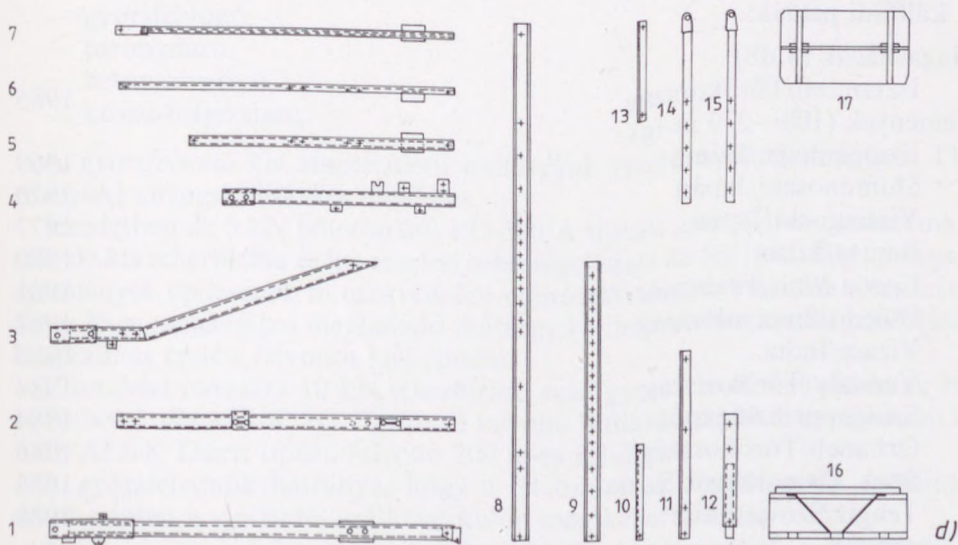
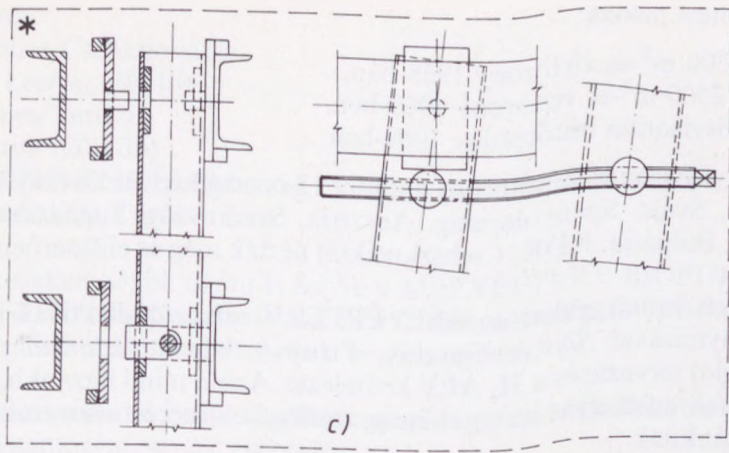
A berendezés próbájára 1968—69-ben a svéd BYGGING cég bevonásával került sor, majd a 31. ÁÉV üzemeltette.



a)



b)



6.48. ábra. A SVETHO-rendszerű berendezés *A*) vázlata (Gleitschalung in Ungarn c. termékismertető) *a*) az összeépített acélszerkezet és *d*) elemei; *b*) oldalnézet; *c*) oldalirányú eltolódást biztosító szerkezet. Jelöléscsk: 1 — belső állítható keretoszlop; 2 és 3 — sarokmerev keretoszlop; 4 — zsalutartó, állítható; 5 — belső függőállás keret; 6 — munkapódium függesztőhídja; 7 — külső függőállás keret; 8 — felső gerendapár; 9 — alsó gerendapár; 10 — külső keretoszlop merevítő rúdja; 11 — munkapódium tartórúdja; 12 — teleszkópszerű munkapódium-tartó; 13 — munkaállás tartóeleme; 14 — érintőirányú ferde merevítőrúd; 15 — ferde merevítőrúd; 16 — fő zsalutábla; 17 — csúsztatható zsalutábla; *B*) körszimmetrikus acélszerkezet (csillaggerenda rendszer), *C*) körszimmetrikus anyag- és személyszállító berendezés (ALI-SLIPKON rendszer), *D*) emelő- és irányítóberendezés: 1 — hidraulikus emelő; 2 — sugárirányú hidraulikus szabályozó rendszer; 3 — feszítő kötel (sugarirányú stabilizátor); 4 — hidraulikus szabályozó rendszer a falvastagság változtatásához; 5 — falhajlást szabályozó orsó

Kezdeti építési példák:

- pápai 1500 m³-es víztorony 1968-ban,
- szegedi 2500 m³-es víztorony 1969-ben,
- gyöngyösvisontai hűtőtorony 1969-ben.

A gyöngyösvisontai hűtőtorony építését 12 ország képviselői (USA, Kanada, Anglia, Svájc, Spanyolország, Ausztria, Svédország, Jugoszlávia, Lengyelország, Bulgária, NDK, Csehszlovákia) nézték meg és elismerően szóltak róla.

A kísérleti műtárgyakat a MÉLYÉPTERV tervezőkollektívája (*Thoma József* irányításával *Söpkéz Gusztáv*, *Vizvárdy István*, *Szathmáry István*, *Mérei László*) tervezte és a 31. ÁÉV kivitelezte. Azóta mind hazánkban, mind külföldön sok műtárgyat építettek meg, amellyel elismerést szereztek maguknak és hazánknak.

A külföldi példák:

Magasházak (4 db)

Isztambul/Törökország 1985

Kémények (100—270 m-ig)

Koppenhága/Dánia 1969

Shimonoseki/Japán 1976

Yimiaguchi/Japán 1977

Banias/Szíria 1980

Corde Mais/Franciaország 1981

Oviedo/Spanyolország 1982

Vizacs/India 1983

Yeniköy/Törökország 1984

Szingapúr/Szingapúr 1984

Orhaneli/Törökország 1986

Snez, Damaszkusz/Szíria 1988

Tengiz/Szovjetunió 1988

TV-tornyok

Tampere/Finnország 1970

Sigrauli/India 1984

Hűtőtornyok

Kitakynom/Japán 1972

Orhaneli/Törökország 1986

Kazánállvány

Kangali/Törökország 1982

Chatalagzi/Törökország 1988

1 000 000 m³-es vízmedence tartópilonok

Muna/Szaúd-Arábia 1983

Szénsiló

Japán 1981

Víztorony	
Teplice/Csehszlovákia	1988
Partfal, keszon (30 db)	
Gabes/Tunézia	1985
Hídpillérek (200 db)	
Boszporusz II/Törökország	1987
Ispartakule/Törökország	1988

Ez a tevékenységük azóta is folyik a MÉLYÉPTERV BIOPUR Kft.-ben. A SVETHO rendszer alkalmazását a Dunamenti Hőerőmű 200 m-es kéményének az ismertetésénél mutatjuk be (15. fejezet).

A csúszózszaluzatos építés segédberendezései. A csúszózszaluzatos építés helyszíni anyagmozgatásának eszközei:

- gyorsfelvonó,
- toronydaru,
- betonszivattyú,
- kúszó-forgó daru.

A *gyorsfelvonó* kis alapterületű műtárgyak (víztornyok, kémények, TV-tornyok) anyagszállítására alkalmas.

Kezdetben az 5 kN teherbírású FÖ-500/A típusú gyorsfelvonót alkalmazták, de kis teherbírása és kis emelési sebessége miatt az 50/1966. ÉM „Magasépítmények építésének munkavédelmi előírásai” tárgyú utasítása elrendelte, hogy 35 m magasságot meghaladó műtárgy kivitelezéséhez személyszállításra is alkalmas építési felvonót kell építeni.

E rendelkezés hatására 10 kN teherbírású svéd gyorsfelvonókat szereztek be. 1970-ben 1 db ALI-K SO 10 típusú felvonó működött 150 m-es árbóccal és 1 db ALI-K Duett típusú felvonó 200 m-es árbóccal.

A gyorsfelvonók hátránya, hogy a felvonó csak függőlegesen szállított, adott szinten a vízszintes szállítást külön meg kellett oldani.

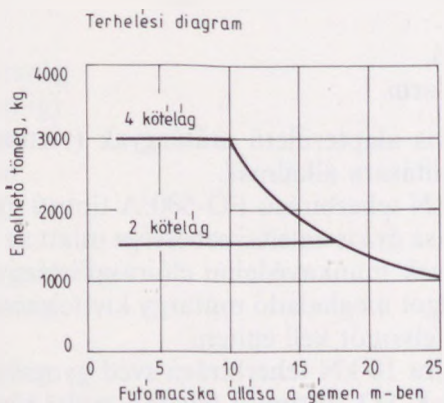
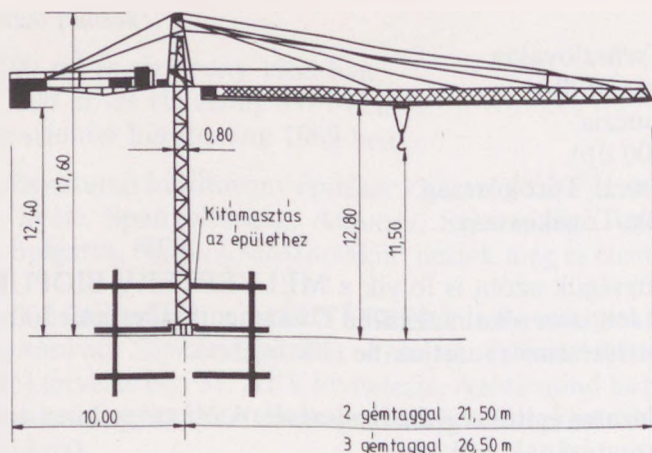
A *toronydaru* a felhasználás helyére juttatja az anyagokat, eszközöket. A csúszózszaluzatos építés kezdeti időszakában a következő toronydarukat használták:

ZB-45 típusú toronydaru

- budafoki M-1 jelű középmagas lakóépület, 1964,
- Budapest-Kőbánya Sörgyár 60 vagonos siló, 1967,
- Selypi Cementgyár silói, 1967.

MÁVAG 30 típusú toronydaru

- pécsi 600 vagonos gabonasiló, 1966,
- hevesi 600 vagonos gabonasiló, 1967.



6.49. ábra. 250 kNm-es építési kúszó-forgó daru. a) Oldalnézet; b) terhelési diagram [Magas épületek... (1970)]

RAPID III. típusú toronydaru

— bábolnai 600 vagonos siló, 1967.

A toronydarus szállításnak határt szab a toronydaru gémkinyúlása és horogmagassága.

A dugattyús betonszivattyú csak a beton szállítására alkalmas, ezért alkalmazási területe szűk. Mindenesetre 1967-ben szerezték be az első dieselüzemű, olajhidraulikus, ikerhengeres, BP 16/22 típusú Schwing-szivattyút (5.31. ábra). Maximális teljesítménye $22 \text{ m}^3/\text{h}$. Legnagyobb vízszintes szállítási távolsága 150—300 m, legnagyobb szállítási magassága 80 m volt.

A kúszó-forgó daruk első típusai Európában és a Szovjetunióban közvetlenül a II. világháború után jelentek meg. Hazai alkalmazása 1966-ban kezdődött. Svéd importból szerezték be a 250 kNm teherbírású LINDEN D 25/25 típusú építési kúszó-forgó darut.

A LINDEN típusú darukat a következő szerkezeti kialakítással készítették:

1. futómacskás ellengémes
— épületaknában kúszó kivitelben,
— teleszkópos szerkezetű oszloppal, sínen járó vagy helybenjáró változatban,
— hosszabbított oszloppal;
2. futómacskás, speciális billenő gémmel.

Felhasználására általában nagy magasságú, toronyszerű építmények (silók, lakó- és kommunális épületek) építése során kerül sor.

A munkaszinttel együtt emelkedik, az épületre támaszkodik. A daruból származó terhekre méretezni kell az épületet. A daru legnagyobb emelési magassága 30 kN teherbírásig 75 m, 15 kN teherbírásig 150 m.

A darutörzs négy elemből álló oszlopon nyugszik. Az oszlopok alsó részén nyílások vannak a keresztbemenő I-tartóknak, amelyek az oszlop terhét az épületre továbbítják.

250 kNm-es építési kúszó-forgó darut és terhelési diagramját a 6.49. ábra szemlélteti.

ALIMAK KG 4-8 típusú kúszó munkaállványból 1970-ben az ÉVM területén 1 db és a FIAT típusú mozgó munkaállványból 1 db működött.

6.6. Különleges technológiák

A különleges technológiák megtalálhatók O. Büttner „Emelő eljárások a magasépítésben” (1974) c. kitűnő könyvében. Továbbiakban röviden ismertetem a hazánkban alkalmazott eljárásokat.

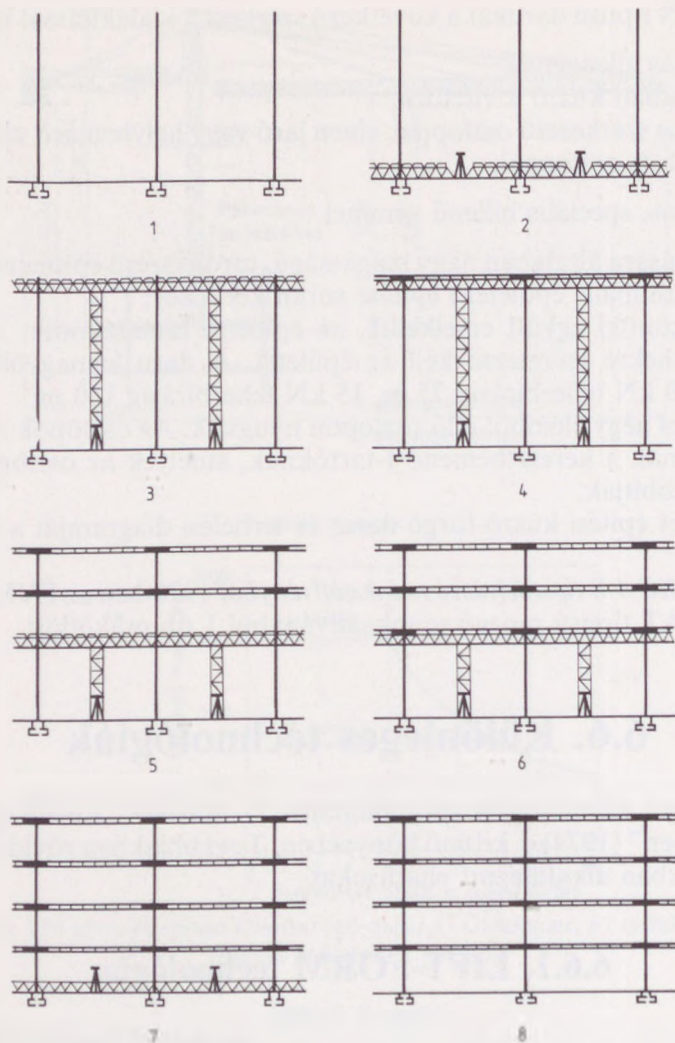
6.6.1. LIFT-FORM technológia

[Nagy P. (1990)]

Nagy István, az ÉTI munkatársa kifejlesztette a zsaluemeléses-süllyesztéses építéstechnológiát.

A technológia lényege a következő. Megépítik az alapokat és felállítják a végleges acéloszlopokat. Elkészítik a térszínen a zsaluhéjat — teherhordó KIP-SZER — térrácson. Majd olajhidraulikával és függőleges rácsos oszlopokkal a felállított acéloszlopok mentén a legfelső szintre emelik. Itt a zsaluzati rendszert csavarorsókkal ráültetik az acéloszlopokra. A zsaluzat beállítása és a vasszerelés elhelyezése után elkészítik a födém vasbetonját. Amikor a beton megszilárdult, akkor a zsaluzatot visszaváltják a rácsos oszlopokra és hidraulikus sajtókkal a következő födém szintjére süllyesztik. Ezt a folyamatot ismétlik.

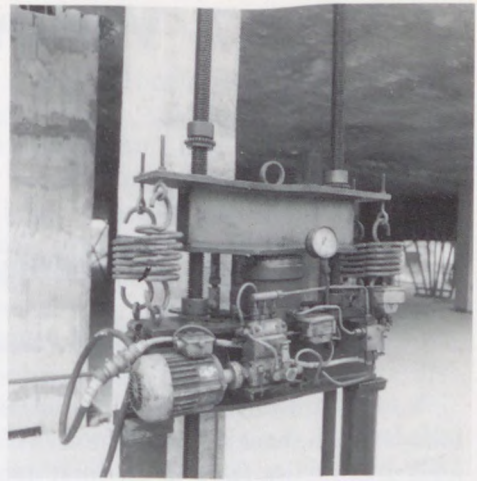
A szerkezetépítés munkafázisait a 6.50. ábra szemlélteti [Zámbó E.—Pálinkás B. (1980)]. Az építés geodéziai munkálatait Karsay F.—Batiz Zné (1981) ismertette.



6.50. ábra. Zsalusüllesztéses technológia. A szerkezetépítés munkafázisai [Zámbó E.—Pálinkás B. (1980)]. 1 — alapozás, pillér elhelyezése; 2 — emelőberendezés, zsaluzattartó szerelése; 3 — zsaluzattartó felemelése, rögzítése; 4 — födémbetonozás; 5 — zsaluzattartó süllesztése; 6 — födémbetonozás; 7 — zsaluzattartó—zsaluzatemelő berendezés leszerelése; 8 — elkészített épület metszete

6.6.2. Födémemelés (lift-slab) technológia

A 22. sz. ÁÉV 1965-től használta a Bolgár Tudományos Akadémia (NISI) által kidolgozott technológiát. A rendszer lényege az, hogy az összes födém egymáson, kényelmes munkakörülmények között, fóliával elválasztva legyártják. Azután 600 kN teherbírású, olajnyomású, szinkronban külpontosan vezérelt sajtókkal a födémcsomagot felemelik az első szintig. Az egyes sajtók



6.51. ábra. Lift-slab technológia. *a)* Emelőkeretek; *b)* emelősajtó; *c)* példa a megépített oszlop-födém rendszerre (Fotó: 22. sz. *ÁÉV*, *Deák Hunor*)

között az emelési magasságban max. 4 mm eltérés lehet. Majd beemelik az egy szint magas oszlopokat. Vasbeton oszlop esetén az oszlop felső végén lévő lyukba acél tartódarabot dugnak, s arra ráültetik a legalsó födémet. Az oszlopok és a födém összekapcsolása után folytatják az emelést a 2. szinten. Ezt ismétlik addig, amíg a legfelső szintet is megépítik.

A 6.51. ábrán a budapesti Vadász utcai építkezésről mutatunk fényképeket.

7. Vasbetonismeret

7.1. Feltalálják a vasbetont

7.1.1. A vasalt virágcserep

A vasbeton szülőhazája Franciaország. A vasbeton (a vasalt virágcserep) felfedezője a francia Josef *Monier* (1823—1906), a kertész, aki a vasalt betont 1849-ben találta fel, szabadalmát azonban csak 1867-ben jelentette be, 77165 számon „mozgatható virágcserep és tartály vasból és cementből kertépítéshez” címmel. A szabadalom szerint a készítendő tárgyak bármilyen nagyságúak és alakúak lehettek (négyzetes, kerek, tojás alakú stb.), nyílásokkal vagy anélkül, az előállítási mód mindig azonos volt. Előállításukhoz kerek vagy szögletes vasrudak felhasználásával, drótok segítségével rácsotat képezett, amelyet 1—4 cm vastag portlandcementbe ágyazott az edény mérete szerint (7.1. ábra).

Monier a következő évben pótszabadalmat nyújtott be vasalt csövek, majd továbbit helyhez kötött tartályok készítésére. Következő évben kiegészítette szabadalmát sima lapok készítésére, amely a húzásra igénybevett edényekkel szemben már hajlított tartó volt. 1873-ban szabadalmát kiterjesztette hidak, gyaloghidak és boltozatok építésére. 1875-ben megépítették a világ első *Monier*-hidját a chazeleti kúrián (16,5 m hosszú és 4 m széles boltozott hid).

1878-ban pótszabadalmat jelentett be, amelynek lényeges részei:

„Ebben a pótszabadalomban felsorolom a rendszer alkalmazását tartószerkezethez, bármilyen hídhoz. Ezek a tartók nagyon hasznosak és helyettesítik a követ, a fát, a vasat és minden más anyagot olyan előnyökkel, mint a gazdaságosság, a szilárdság és a tartósság. A szerkezetek készítése céljából kör vagy négyzet keresztmetszetű vasból vázat csinállok, a ható erőnek megfelelően bármilyen alakban és méretben. Így a kívánságnak megfelelően bármilyen alakot, vastagságot, nagyságot, hosszúságot el tudok érni. Az elkészített vasvázat minden oldalról bekenem cementtel, úgy, hogy a vas teljesen be legyen cementtel borítva, ami megvédi az oxidációtól és nagy ellenállást, szilárdságot és majdnem korlátlan tartósságot nyújt neki.” *Monier* szabadalmát kapott Angliában, Ausztriában, Belgiumban, USA-ban, Spanyolországban, vasúti aljra jelentette be szabadalmát 1870-ben.

Bár *Monier* a vasbeton lényegét nem értette még, *Armand Considere* (1899) és *Paul Christophe* és mások szerint egy mérnök sohasem jutott volna arra a gondolatra, hogy az egymástól ennyire eltérő két anyagot, az acélt és a betont összeházasítsa, ahhoz egy kertész kellett.

7.1.2. A vasalt csónak

Joseph Louis *Lambot* (1814—1887) a francia Montfortban született. Szenvedélyes gazda és földbirtokos volt. Jogot végzett, sokoldalúan képzett volt, de gazdálkodott. Már a 40-es években „ferciment”-nek nevezett anyagból állított elő virágcserépeket, víztartókat és más használati tárgyat. 1848-ban megépíti a *vasalt csónakot* (7.2. ábra), hogy a birtokán lévő tavon át azzal közlekedjék. A párizsi 1855. évi világkiállításon mutatta be szabadalma tárgyát, a csónakot. 1955-ben igen alacsony vízállásnál két csónakot megtaláltak a Szajnában. Egyik még igen jó állapotban volt, ezt 1902-ig használták. A másíkról arra lehetett következtetni, hogy az nem volt tökéletesen megépítve.

Szabadalmában (1855), melyet Belgiumban és Angliában is bejelentett, arra utal, hogy a nedvesség veszélyének kitett fát akarja helyettesíteni. Az új, helyettesítő anyag fő alkotója egy rudakból összekapcsolt fémháló, melyet a találkozási pontokon összekötnek és a készítenő tárgy (csónak, víztartó stb.) alakja szerint hajlítanak meg, majd bebetonozzák.

Lambot közleményben mutatott rá szabadalma előnyeire:

- éghetetlenség,
- kis előállítási költség,
- fenntartási költség nincs,
- gyors kivitelezhetőség,
- kár esetén gyors javíthatóság,
- elpusztíthatatlan tartósság és
- vízzáróság.

A következő években Lambot még épített néhány bárkát folyón való közlekedésre. A haditengerészet azonban elvetette hadihajó építését, mert nem tartotta eléggé könnyűnek, fordulékonynak és sérüléssel szemben biztonságosnak tengeri csata esetén.

Hazánkban vasbeton hajót nem építettek. Itt említem meg, hogy Lambot találmánya nem veszett egészen kárba.

Carlo *Gabellini* olasz mérnök 1890-től különböző nagyságú hajóegységet épített hajóhid számára és épített egy 90 t-ás komphajót az olasz flottának. A hajók ellenállóak és könnyen javíthatók, de a fahajóknál nagyobb merülésűek voltak. Szenzációnak számított, hogy egy 150 t-ás teherhajót 1905-ben Rómából tengeren Genovába vontattak. Németországban a Grastorf cég 1908-ban Hannoverben épített vasbeton uszályhajót 4 cm vastag fallal. Az USA-ban 1892-ben, Angliában 1910-ben építették az első belvizi vasbeton hajót.

Az első világháború alatt Hamburgban vasbetonhajó-építő társaságot alapítottak, sok 300 t-ás hordképességű belvizi és tengeri hajót építettek. Ezt a háború után is folytatták. Végül P. L. *Nervi* épített az általa művelt „ferrocement”-ből szabadidő hajót, ill. az olasz flottának partvédő őrhajókat.

A II. világháború után Kubában megkezdődött 18 m hosszú halászhajók sorozatgyártása. 1963-ban Csehszlovákiában megépítették az első 270 t-ás, előregyártott elemekből készített vasbeton uszályt ömlesztett áruknak az Elbán-Oderán való szállítására. Ez a hajó 68 m hosszú volt.

PATENTSCHRIFT

Nr. 14673

Klasse 80: Ton- und Steinwarenindustrie.

JOSEPH MONIER IN PARIS

Verfahren zur Herstellung von Gegenständen verschiedener Art aus einer Verbindung von Metallgerippen mit Zement.

Patentiert im Deutschen Reiche vom 22. Dezember 1880 ab.

Nach diesem Verfahren werden Gefäße aller Art aus mit Zement umgossenen Metallgerippen hergestellt, wodurch größere Haltbarkeit, Ersparnis an Zement und Arbeit bezweckt wird.

Fig. 1 bis 4 zeigen die Anwendung des Verfahrens zur Herstellung von Eisenbahnschwellen.

Fig. 1 ist eine Ansicht,

Fig. 2 ein Schnitt nach M-N,

Fig. 3 ein Schnitt nach P-Q,

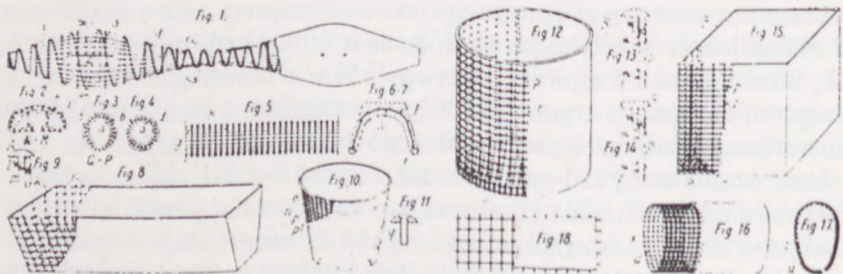
Fig. 4 eine Ansicht der Enden der Schwelle.

Die Schwelle in unregelmäßiger Form besteht aus zwei nebeneinanderliegenden Ovalen, die an derjenigen Stelle ihre größte Weite haben, an welcher die Schienen aufliegen.

Die Schwelle ist somit an den Enden schmal auslaufend und in der Mitte zusammengezogen und ist in der Gegend der größten Belastung unten flach und oben rund, wie der Schnitt Fig. 2 zeigt.

Diese Schwellen werden aus Querringen a hergestellt, die durch eiserne Längsstäbe b und Verbindungen cc miteinander verbunden sind; das Ganze wird noch mit einem starken Bandeisen d schraubenförmig umwickelt.

Die Schienenlager oder auch die Schienen selbst ruhen an der breitesten Stelle der Schwellen auf Platten e, welche von unten durch Stehbolzenrahmen ff geschützt werden.



Patent Monier.

Wenn das eiserne Gerippe fertig ist, so wird es in Zement eingehüllt, wie bei Fig. 1 rechts gezeigt ist. Der Zement haftet am Metallgerippe und füllt das Innere desselben aus.

Fig. 5 und 6 stellen in Ansicht und Querschnitt eine Schwelle von gleichmäßigem Längsprofil dar.

Diese Schwelle besteht aus einem gebogenen Gitter, das aus Längsstäben *g* und gebogenen Stäben *h*, die durch Eisendraht miteinander verbunden sind, hergestellt worden ist. Da, wo das Gitter aufliegt, befinden sich halbrunde oder flache Längseisen *i* von genügender Breite. Das Ganze ist mit Zement umgeben (siehe Fig. 6 und in größerem Maßstabe Fig. 7); unten bleibt die Schwelle hohl.

Fig. 8 zeigt einen Wasser- oder Futtertrog. Wie man an dem linken Teil desselben sehen kann, besteht das Metallgerippe aus ringsherumgehenden, horizontalen Eisenstäben *j* und vertikalen Stäben *k*, die durch Eisendraht miteinander verbunden sind.

Der Boden wird von den vertikalen Stäben *k*, die an dieser Stelle horizontal gebogen sind, gebildet. Auf den Enden der Stäbe *k* wird ein oben abgerundetes T-Eisen *A*, Fig. 9, befestigt. An den Stellen, wo die Stäbe mit dem eisernen Rand *A* verbunden werden, sind Löcher für den Bindedraht *m* angeordnet. Sobald das Gerippe so hergerichtet ist, wird es mit Zement (siehe Fig. 8 rechts) umgeben.

Fig. 10 zeigt die Herstellung eines Blumen- oder Gewächstopfes; dieselbe ist analog der des Troges.

Zwischen den Stäben *n* und den Ringen *o* sind hier außerdem vertikale wie horizontale, schmalere Eisenstäbe *pp'* in Anwendung gebracht. Die vertikalen Stäbe *n* gehen durch den obersten Ring *q*, Fig. 11, und werden dort vernietet.

Fig. 12 bis 15 stellen die Benutzung des Verfahrens zur Herstellung eines Bottichs aus Eisen und Zement für Aufnahme von Flüssigkeiten aller Art dar.

Man bildet den oberen Rand aus einem besonderen Eisen, gewöhnlich T-Eisen, das abgerundet sein kann (siehe Fig. 13 und 14). Die Rippe dieses Eisens ist mit Löchern versehen, welche zur Aufnahme der Verbindungsdrähte für die Stangen *p* dienen.

Die vorher in der gewünschten Form hergerichteten horizontalen Eisenstäbe *r* werden an die vertikalen Stäbe *t* vermittelst Draht gebunden.

Die horizontal umgebogenen vertikalen Stäbe *p* bilden den Boden, der noch durch andere Stäbe *s*, die sich an der Kante des Bodens ein wenig über denselben erheben, verstärkt ist.

Sind die Gerippe mit Zement umhüllt, so haben sie das Aussehen, wie bei den Fig. 12 und 15 rechts gezeigt ist.

Die Fig. 16 und 17 zeigen in Ansicht und Schnitt einen Kanal aus Metall und Zement.

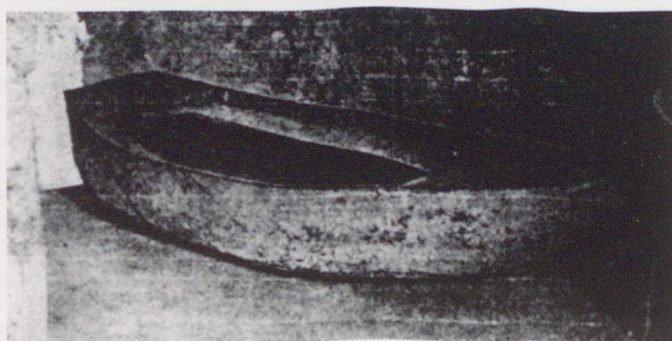
Das Gerippe ist aus Ringen *l* und Längsstäben *u* gebildet, die untereinander durch Eisendraht verbunden sind.

Nach diesem Verfahren können auch noch gerade Platten zu Füllungen, Scheidewänden, Fliesenbelag, Pflasterungen etc. hergestellt werden, wie es Fig. 18 zeigt.

PATENTANSPRUCH.

Verfahren zur Herstellung von Gegenständen aller Art durch Umgießen eines den Wandungen des Gegenstandes entsprechenden Gerippes aus Eisen mit Zement und insbesondere die Herstellung von Eisenbahnschwellen nach diesem Verfahren.

7.1. ábra. Monier szabadalmi leírása [Haegermann G. (1964)]



7.2. ábra. Lambot csónakja, amely még a század elején is használatban volt. [Palotás L. (1959)]

A hajóépítési törekvés újra feléledt, amikor feltalálták a *polimerrel impregnált betont*. Az impregnálással a beton tulajdonságai ugrásszerűen megjavultak. Nyomószilárdsága 100 MPa-nál nagyobb volt, nagy húzószilárdság, nagy tömörség, kopásállóság, korrózióállóság jellemezte. Ma még nem tudjuk, hogy ez az új anyag milyen fejlődést hoz a hajóépítésben.

7.1.3. Az igazi vasbeton kezdetei

A vasbetonépítés elvileg helyes gondolatát Franciaországban F. Coignet valósította meg. Még 1855-ben felépített egy vasúti őrházat Sueres-ben és St. Denis-ben saját kétemeletes házát, mely ma is áll.

1855-ben benyújtott pótszabadalma szerint úgy kell vasalni, hogy *monolitikus szerkezetet* kapjunk. A födém acélbetétei egymást szimmetrikusan kereszttezzék. Látta a vasak lehorgonyzásának a jelentőségét, nevezetesen azt írta, hogy a vasakat végükön meg kell csavarni és meg kell vastagítani, mert így gátolják a födém behajlását. 1861-ben 400 oldalas könyvben írta le az addigi ismereteket. Az öntött fal gondolatát is ő adta meg, de csak később találták

meg hozzá a megfelelő anyagot (panelos építkezés). Coignet az acélt már a húzott oldalon vezette.

Az első házát Angliában a cementgyáros G. F. White építette Swanscomban, a saját házat.

W. B. Wilkinson 1859-ben földépipítésre jelentett be szabadalmat, amely szerint a beton megvédte az acélt a tűz ellen. Az acélt a húzott oldalon vezette.

Ezt követően egymást érték a szabadalmak. Kezdetben a merev vasbetétes rendszer terjedt el, F. Hennebique, E. Coignet, W. G. Dyckerhoff stb. szabadalmi alapján a vasbeton végül is utat tört magának Európában és Amerikában. A szabadalmakban szerepelt minden (csónak, hajó, víz- és gáztartály, torony, cölöp, cső, híd, ház stb.).

7.2. A rozsdakérdés, a tűz hatása és a tapadás

Az iparosodás igényei magukkal hozták az acélgyártás fejlődését. A Bessemer (1855), a Thomas (1878) és a Siemens—Martin (1865) eljárás kezdete óta lehetővé vált a szerkezeti acélok tömeges gyártása. Ettől az időtől kezdve az acélgyártás és az acél felhasználása reneszánszát élte.

Az acélnek azonban két hátránya volt: a korrózió és a tűzveszély. A vasbetonnal utóbbin igyekeztek segíteni.

A vasbeton viszonylag gyors elterjedését két tényező segítette elő, a földrengés és a tűz.

Az 1842. évi hamburgi óriási tűz 300 hektárnyi területet pusztított el és felmerült a tűzzel szemben tartósabb építőanyag igénye.

1906. ápr. 18-án San Francisco városát a földrengés, majd az ezt követő tűz majdnem teljesen elpusztította. Csak 3—4 épület készült addig vasbetonból, de azok a földrengésnek ellenálltak. Hasonlóan az 1908. évi baltimore-i tűzvész során csak a vasbeton építmények maradtak javításra alkalmasak. Ezt követően mindenki vasbetonból akart építeni, és a hozzá nem értés, sarlatánság rontotta a vasbeton jó hírét, amíg az 1905-ben megalakult amerikai betonegyesület (National Association of Cement Users) rendet nem csinált.

A vasbetonnal kapcsolatosan két vitatott kérdés a századfordulóig megmaradt, a *rozsdásodás*, valamint a vas és beton közötti *tapadás* kérdése. Egy időben általános volt az a felfogás, hogy az acél a betonban rozsdásodik, a beton és acél kapcsolata laza, a vasbetont a hőmérséklet-ingadozások tönkreteszik.

Bár Monier 1867. évi szabadalmában már kijelentette, hogy a cement megvédi az acélt a rozsdásodástól, mégis néhány tapasztalat ennek ellenkezőjét látszott igazolni. Ezek közül is leghíresebb volt a Galatheát és Poseidont ábrázoló 5 m magas, edényt tartó szoborcsoport esete. A szobrot 1869-ben építették Karlsruheban. Egy idő után Galathea karja letört, és benne az acél erősen rozsdás volt. Nyilvánvalóan nagyon kicsi volt a fedés az acélon.

A rozsdakérdés és a tűz hatásával kapcsolatos kutatásokról *Kossalka J.* (1902) egyetemi tanár tájékoztatta a hazai mérnököket.

Norton egyetemi tanár több száz próbatestet vizsgált meg. 3 hetes tárolás után megfigyelték a vasak állapotát. A be nem betonozott (etalon) vasak igen erősen rozsdásodtak. A következtetések:

1. Tiszta portlandcement még egészen vékony rétegben is tökéletesen megvédte a vasat a rozsdásodás ellen.

2. A betonnak tömörnek, hézag- és repedésmentesnek kell ahhoz lennie, hogy a vasat a rozsdá ellen megvédje. A vasat nedves betonnal kell körülvenni. Nagyon fontos, hogy a vasat vékony cementpépréteg vegye körül. A vasak rozsdásodása kivétel nélkül a betonban előforduló hézaggal vagy a tökéletlenül elégetett salakdarabbal függött össze.

3. A vas rozsdásodását a salakbetonban a salak vas-oxid-tartalma és nem a kén-tartalom okozta.

4. A hézag- és repedésmentes, jól nedvesen csömöszölt salakbeton éppúgy megvédte a vasat a rozsdá ellen, mint a kavicsbeton.

5. A vas legyen rozsdamentes a felhasználáskor.

Ugyancsak *Kossalka J.* (1902) ismertette a vasbeton tűzállóságával kapcsolatos amerikai kísérletek eredményeit.

A cement tűzállóságának alapja az, hogy a portlandcement gyakorlatilag olvashatatlan, a lekötött víz nagyon lassan távozik a hő hatására.

Hosszabb ideig hőhatásnak kitett betonnak nagy a tapadása a vashoz, vízugarak okozta hirtelen lehűtésre sem repedezik össze.

A beton likacsossága és kötött víztartalma biztosítja a beton tűzállóságát. A habarcsban a kémiaiilag kötött víz elérheti a cement tömegének a 18m %-át. Ebből 280 °C körül eltávozik a lekötött víz egy része, de a teljes bomlás csak 500 °C-nál következik be. A víz eltávozása hő igényel, tehát az eltávozó víz hűti a vasat. A beton likacsossága miatt a betonban levegő van, ami a beton hővezetését csökkenti. Továbbá a salakbeton rosszabb hővezető, mint a homokból és kavicsból készített tömör beton, ezért tűzállóbb is.

Annak a betonrétegnek a vastagsága, amely biztos védelmet nyújt a tűz ellen, ekkor még nem volt tisztázva. *J. Parker* 1901-ben tartott előadásában úgy vélekedett, hogy 38 mm vastag cementréteg esetén az erős tűz és hatalmas vízugarak még okozhatnak kárt, de az 50 mm-t elegendőnek tartotta.

Schustler J. (1895) arról adott tájékoztatást, hogy a mész-, gipsz- és cementhabarcs közül csak a cementhabarcs védi meg a vasat.

A tapadás kérdésének a tisztázásához hazai kutatások is élenjáróan járultak hozzá.

Riedl K. (1906) beton és kovácsvas közötti tapadással foglalkozva megállapította, hogy az azonos átmérőjű, simára leasztergályozott kovácsvas és a beton közti tapadás igen kicsi. A hengerlési reveréteggel beágyazott betét tapadása 2—8-szorosa, a gyengén rozsdásított hengerelt betét tapadása pedig még ennél is nagyobb volt. A legnagyobb volt a tapadás, ha a kovácsvasat sűrű cementpéppel vonták be.

A Rajna—Herne csatornánál végzett, 1912-ben befejezett kutatások hasonló eredményre vezettek. A tapadás a beton és a vas között akkor volt a legnagyobb, ha a vasak közepesen rozsdásak voltak, és a betonozás előtt a vasakat sűrű cementlével bekenték. A tapadást ez kb. megkétszerezte. Ekkor azt már ismerték, hogy a rozsdá nem gátolja a tapadást, sőt eltűnik a bebetonozott vas felületéről [Lampl H.—Sajó E. (1914)].

1894-ben E. Tacher az USA-ban már ismertette, hogy a tapadást meg lehet javítani az acél bordázása által. Azt az ismeretet azonban csak később követte tett. Németországban 1928-ban bevezették az ISTEAC-acélt, 1930-ban a csavart acélt, 1936-ban a TOR-acélt (ferde bordák nélkül). Hazánkban a II. világháború után vezették be a melegen hengerelt bordás betonacélokat.

Mindenesetre W. G. Dyckerhoff, a Deutsche Beton-Verein elnöke 1901. évi főgyűlésén még elmondta kételyeit a vasbetonnal szemben: A beton rugalmassági modulusa idővel nő, az acélé nem, ami repedéseket és rozsdát eredményez. Ezt a kételkedést már nem fogadta megértés, a vasbeton megindult diadalútján.

7.3. A vasbetonépítés kezdetei hazánkban

7.3.1. A Monier-rendszer

A Monier-rendszer Németországban akkor indult rohamos fejlődésnek, amikor Dél-Németország területére a Freytag u. Heidschuh cég megvette Monier szabadalmát (1881-ben), Észak-Németország területére pedig A. G. Wayss mérnök. A két cég nagy léptékű kísérletekkel tisztázta az új építőanyag előnyeit. A próbaterheléseken a porosz közmunkaügyi minisztériumot M. Koenen képviselte. E kísérletek alapján elsőként ismerte fel, hogy a vasbeton szerkezetekben az acélbetétek a húzást, a beton a nyomást veszi fel. Ebből kiindulva felállította a *vasbeton első elméletét*. Azonban hamarosan túlhaladt közelítésként az, hogy a semleges tengelyt a lemezmagasság felében vette fel. Viszont a vasbetonelmélet szempontjából óriási jelentősége volt annak a felismerésnek, hogy a húzott zónában a beton húzófeszültsége elhanyagolható, a húzott beton megrepedhet, a húzóerőt a húzott zóna széléhez közel elhelyezett acél veszi fel.

Közreműködésével és kezdeményezésére Wayss kiadta a „Monier-rendszer alkalmazása az építés minden területén” c. tájékoztatót. Ezek a kísérletek eloszlatták a Monier-rendszerrel, az acélbetét rozsdásodásával és tapadásával kapcsolatos aggodalmakat.

A Monier-rendszert a kezdeti időszakban elsősorban lemezek, lemezes dongaboltozatok, falak, íves tetők, csatornák, csövek készítésére használták.

Koenen elméleti és kísérleti munkája alapján terjedt el a Monier-rendszer Ausztriában és hazánkban is. A monarchia területére érvényességgel R. Schuster vette meg a szabadalmat 1880-ban.

A Wayss betonépítési vállalat magyarországi képviselője, *Breymann* Gusztáv mérnök nyújtotta adatok alapján *Takács* Gy. (1881) ismertette a rendszer lényegét és az alkalmazhatóságra példákat mutatott be.

A Monier-szerkezetek sík vagy görbe felületekkel határolt, mindkét oldalon cementbetonnal burkolt vasvázak.

A vasvázak, amelyeket számítanak, egyik támasztól a másikig haladnak, távolságuk 5—10 cm. Ezeken szintén 5—10 cm távolságban vastag vasdrótok vannak keresztülfektetve, amelyeket a találkozási pontokon 1 mm vastag vasdrótokkal kötözték a másik irányú vasszalakhoz. Ezeket elosztó rudaknak is nevezték, mert az a rendeltetésük, hogy a terhelést keresztirányban elosszák. Az összedrótozás merevíti a vasvázat a betonozás tartama alatt. A toldás, amit igyekeztek elkerülni, 5—7 cm-es átfedést jelentett.

A vasvázat a mintadeszkázatba tették és faékekkel rögzítették terv szerinti helyzetükben.

A betonhoz jó minőségű portlandcementet használtak (akkor így különböztették meg), éles, tiszta folyami kavicsot, amelynek a 2,5 cm lyukméretű rostán át kellett esnie.

A beton keverési aránya eltérő volt. 1 Vrész cement és 2—3 Vrész éles homok, kisebb igénybevételek esetén 1 Vrész portlandcement és 5 Vrész apró folyami kavics.

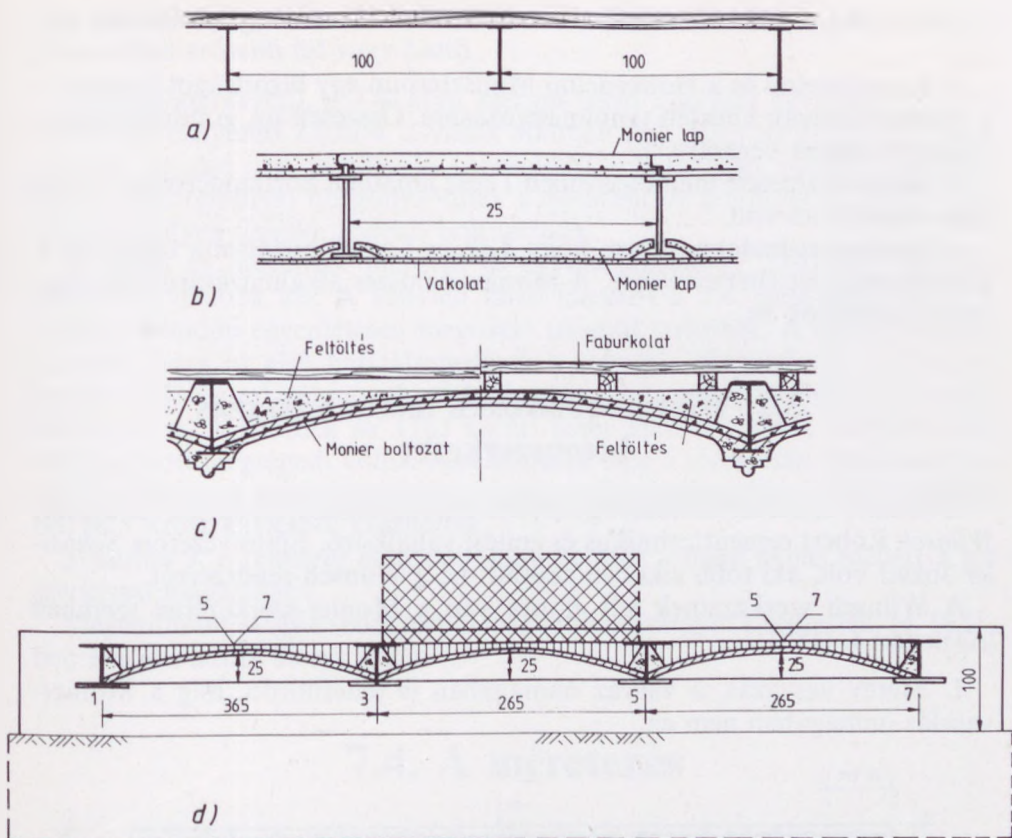
A középítészetben célszerűen alkalmazható volt mind lakások, mind gyárak építésére, sík- és gömbfelületű boltozatokként. Vastartók feletti Monier-rendszerű födémet mutat be a 7.3. ábra. A támaszok felett a fővasalást a húzott oldalon vezették (7.3/a ábra). Ha a vastartókat tűz és rozsdá ellen is védeni kellett, akkor a vastartók egészen körülvehetők voltak Monier-lapokkal. Ha a vastartóknak nem volt szabad látszaniok, akkor az alsó öveikre Monier-lemezből, a 7.3/b ábra szerinti megoldást készítették el. A lapok végei a vastartó talpa fölé voltak hajlítva, míg az alsó oldala egy síkban volt a vastartó talpával. A habarcs tapadását a vashoz a Monier-pallóból kiálló drótokkal segítették elő. Ha hangszigetelést is el akartak érni, akkor az alsó Monier-lapokat annyira megvastagították, hogy a vastartók közé tett laza anyagot elbíriák. Végül a födémet vastartókra helyezett felső Monier-lapokkal zárták le.

Sík födémekek esetén a Monier-lapokat szinte kivétel nélkül vastartókra helyezték, a fesztávolság 3 m-ig növelhető volt, míg a vastagság 3—10 cm között változott.

Kétféle boltíves Monier rendszerű födémet szemléltet a 7.3/c ábra. Ezek a rendszerek majdnem mindig monolitikusak. Zsaluzata az acélgerendára függeszthető volt.

5 m nyílásig és 1200 kg/m² terhelésig az egyszerű acélbetétet építették be. Nehezebb és egyoldalúan terhelt boltozatokba két vasvázat helyeztek. Egyet a boltívbe és egyet a felső vízszintes lemezbe. Ilyen esetben a kettő közti teret betonnal töltötték ki (7.3/d ábra).

Ha a boltozat megterhelése egyenletes volt, és nem volt rábetonozás, akkor a vasvázat a boltív alsó felületéhez közel vezették. Ha egyoldalúan terhelt volt



7.3. ábra. Monier-födémek: a) acélgerendákon nyugvó monolit lemez; b) az acélgerenda alsó övének takarása előregyártott Monier-lapokkal; c) acéltartók közötti Monier-boltív és a födém kétféle megoldása; d) acéltartók közötti födém Monier-boltozat próbaterhelése [Takács Gy. (1881)]

a boltozat, akkor az acélbetétet a legnagyobb húzóerők helyén vezették. Ha a teher mind az egyik, mind a másik oldalon lehetett, akkor az acélbetétet a boltív középvonalában vezették.

Térelhatárolásra — különösen nagy kereskedelmi központokban — 3 cm vastag, tűzbiztos, függőleges Monier-falakat is készítettek, különösen olyan esetben, ha alatta nagy csarnokok voltak, amelyek födémét óvatosan terhelhették. A fal vasalását a határoló téglafal habarcsrétegébe vezették be. Olyan jól tapadt a téglafalhoz, hogy nem kellett külön kiékelni. Használható volt még a Monier-rendszer

- öntöttvas oszlopok tűzvédelmére;
- lépcsők, lépcsőházak, pincefalak befedésére;
- szekrényelemű falak készítésére;
- csővezetékek, csatornák, gáz- és víztárolók készítésére.

Csatornák, csövek készítésekor a teherelosztó vasak tengelyirányúak voltak.

A Kereskedelmi és a Honvédelmi Minisztérium egy bizottságot küldött ki a Monier-rendszer kísérleti tanulmányozására. Összesen tíz, gondosan összeállított kísérletet végeztek.

A beton összetétele minden esetben 1 rész lábatlani portlandcement, 3 rész apró dunakavics volt.

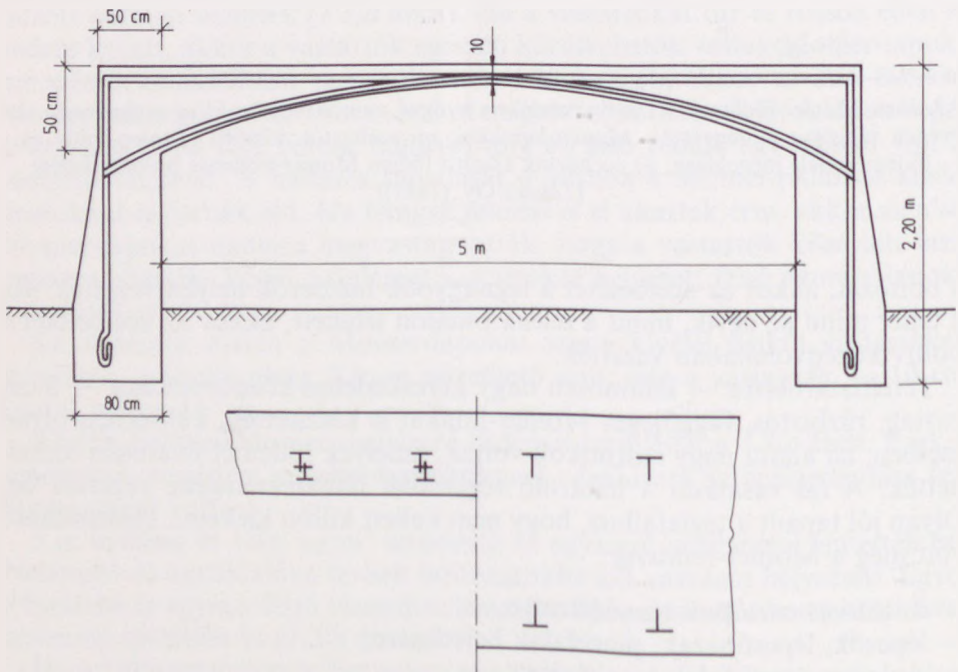
A kísérlet eredménye az lett, hogy *Takács Győző* buzdította tagtársait a Monier-rendszer elterjesztésére. A Monier-rendszer alkalmazásáról más fejezetben számolok be.

7.3.2. Wünsch-rendszerű merev vasvázás betonszerkezet

A Monier-rendszerrel közel egy időben szabadalmaztatta építési rendszerét *Wünsch Róbert* cementtechnikus és építési vállalkozó. Építésvezetője *Schustler József* volt, aki több cikkben számolt be a Wünsch-rendszeréről.

A Wünsch szerkezetnek két előnye van a Monier-szerkezettel szemben [*Schustler J. (1891)*].

1. Merev vasvázás, a vasváz önmagában is teherhordó, míg a Monier-vasalás önmagában nem az.



7.4. ábra. A Wünsch-rendszerű szerkezet kísérleti modellje és vasalása [*Schustler J. (1891)*]

2. Olcsóbb, mert keretszerkezetként van kialakítva, a támaszerők felvételére nem kell erősebb fal vagy hídfő.

Wünsch-szerkezetű, a 7.4. ábra szerinti tartó vasvázát egymástól 15—15 cm-nyire elhelyezett 25/29/4 \perp -vasak alkotják úgy, hogy az egyik vízszintes, a másik, az alsó íves, mindkettő kapcsolódik a függőleges vasakhoz, melyek végül vashorgonnyal horgonyzódnak a betonba. A szerkezet alkalmas hídnak, bármilyen (istálló, földem) boltozatnak.

A beton az acéltartót merevíti és együtt dolgoztatja. 1891-ben terhelési próbának vetették alá. A kísérleti tartó méreteit a 7.4. ábra szemlélteti. A modellt féloldali egyenletesen megoszló teherrel terhelték. A kísérlet sikerét igazolta, hogy az első hajszálrepedések a számítás alapjául vett 400 kg/m^2 helyett 1763 kg/m^2 -nél jelentkeztek. A teljes törés pedig 5048 kg/m^2 -nél következett be. A záradék az 1763 kg/m^2 teher alatt $0,7 \text{ mm}$ -t süllyedt anélkül, hogy ott megrepedt volna. Az ellenfalak még a törés után is mozdulatlanok maradtak. A modell betonját 1 Vrész portlandcementből, 3 Vrész homokból és 5 Vrész kavicsból készítették.

Schustler J. e rendszer előnyéül említette még a nagy nyílás mellett a kis szerkezeti magasságot.

Megemlítette, hogy e rendszerből már több műtárgyat készítettek, pl. 1881-ben Kassán adtak át egy hidat.

7.4. A méretezés

7.4.1. A méretezési eljárások rövid története

A műszaki tevékenység egyik feladata az ember szükségleteit kielégítő létesítmények megalkotása, az építés.

Kezdetől arra törekedtek, hogy az építmények megbízhatóan lássák el feladatukat. Eleinte tapasztalatból szerezték ismereteiket, majd századunk felé haladva egyre inkább kiegészült a tapasztalat anyagismerettel.

Írásos emlékek szólnak arról, hogy az építőmester már az ókorban is csak felelősséggel végezhetette feladatát. Hammurabi törvénykönyvéből (i. e. XVII. század): „Ha egy építőmester valaki számára házat épít és ennek szerkezetét nem építi erősre, úgyhogy az összeomlik és a tulajdonosnak halálát okozza: az építő mestert meg kell ölni. Ha az összeomlás a tulajdonos egyik fiának halálát okozza, úgy meg kell ölni az építőmester egyik fiát. . .

Ha a tulajdonos rabszolgája jár szerencsétlenül, az építőmester adjon egy azonos értékű rabszolgát.

Ha az építőmester egy házat épít és annak szerkezetét nem elég erősre készíti, úgyhogy a fal összeomlik, akkor ő a saját költségén megerősítve köteles ismét felépíteni. . .” [Palotás L. (1979)].

A rómaiak idején állami hivatalnokok örködték az építések megbízhatóságán.

Később szokás volt az, hogy a tervezőnek próbaterheléskor a megépített szerkezet alá kellett állnia. A vasbetonépítés kezdetén (1903) *Zielinski* Szilárd egyetemi tanárnak a szegedi víztorony alatt kellett állnia mindaddig, amíg azt vízzel feltöltötték.

Felelősséget kellett tehát vállalnia a tervezőnek és a kivitelezőnek. A mérnökképzés megindulásával azonban mind több embernek volt lehetősége a tervezésre. Ezért szükség volt kísérletekkel alátámasztott méretezési szabályokra, amelyek rögzítették a méretezés elveit.

A századfordulótól hosszú ideig a megengedett feszültségen alapuló méretezési eljárás volt érvényben. Eszerint

$$\sigma_c \geq \sigma_M,$$

ahol σ_c a megengedett feszültség, σ_M pedig az állandó és hasznos terhekből a rugalmasságtan szerint számított mértékadó feszültség.

Pl. a Magyar Mérnök és Építészegylet 1931. évi vasbetonszabályzata szerint a mértékadó igénybevétel számításakor a vasbeton saját tömegét 2400 kg/m^3 -re kellett felvenni, az esetleges terhek szorzótényezője a méretezés során vasúti hidakra 1,4, közúti hidakra 1,3 volt. Pillérek és hídfők számításához azonban csak 1,0 szorzótényezőt írtak elő a mozgó terhelésre. Magasépítményekre a szorzótényezőt Budapest Székesfőváros építésügyi szabályzata tartalmazta. A tartó igénybevételeit a homogén tartókra ismert módon kellett meghatározni. A megengedett feszültséget a rugalmasságtan elvei szerint számították.

A megengedett nyomófeszültség a beton 28 napos kockaszilárdságának 28—32%-a (vasúti hidak), 35—40%-a (közúti hidak), ill. 30—45%-a (nem hidak) volt. A megengedett acélfeszültséget az acélbetét folyási határa felére (vasúti hidak) vagy kb. 40%-ára (közúti hidak) írták elő.

Bár a megengedett feszültségek alapján való méretezés világszerte elterjedt és egyes országokban még napjainkban is egyedüli vagy alternatívaként használható módszer, a 20-as évektől hibáit is emlegették.

Az 1950—51. évi magyar szabályzatok minőségi változást jelentettek előzőkhöz képest, mert bevezették az *osztott biztonsági tényező fogalmát és a keresztmetszetek teherbírási határállapot szerinti méretezését*. Előbbi *Korányi I.* (1949), utóbbi elsősorban *Menyhárd István* érdeme [*Gábor P.*—*Menyhárd I.*—*Rózsa M.* (1951)].

Hazánkban 1950 decemberében adták ki az Országos Magasépítési Méretezési Szabályzat II. részének, a Vasbetonszabályzatnak a kiegészítését „Utasítás a vasbetonszerkezetek tervezésére” címmel.

A méretezés alapképlete

$$Y_H \geq Y_M$$

lett. A képletben Y_H a határigénybevétel, Y_M az egyes terhelésekből számított mértékadó igénybevétel.

A mértékadó igénybevételt (erőt, hajlítónyomatékot stb.) általában az

$$Y_M = k_a Y_a + \Sigma k_e Y_e$$

de legalább $1,25 Y_a$ képlet kedvezőtlenebb értéke adta.

A szabályzat szerint állandó terhelésre k_a biztonsági tényező 1,1, ill. 0,9 volt aszerint, hogy az állandó teherből származó igénybevétel a hasznos terhelésből származóval összegeződött-e. Ezzel a biztonsági tényezővel a szerkezet méreteinek és az anyag tömegének az ingadozását vették számításba.

Az esetleges terhelésre vonatkozó k_e biztonsági tényező az esetleges terhek jellegétől és számától függött. Ha csak egyetlen teherből (hasznos teher, hőteher vagy szélteher) állt, akkor a biztonsági tényező 1,4, de 300 kg/m^2 -t meghaladó megoszló hasznos teher esetén 1,3. Meghatározott térfogatú és minőségű anyag tárolására szolgáló tartályok (pl. siló, folyadéktartály) esetében 1,1.

Ha az esetleges teher több egyidejű terhelésből származott, akkor a legnagyobb hatást előidéző teherre vonatkozóan 1,1, a többi teherre egységesen 1,0.

Ha a tartó külsőleg statikailag határozatlan volt, akkor a fenti képlet szerinti mértékadó igénybevételt növelni kellett a hőmérséklet-változásból, a zsugorodásból, a támaszpontok esetleges mozgásából származó legkedvezőtlenebb igénybevételekkel.

A határ-igénybevételt a tartó terv szerinti méretei és a határfeszültség alapvételével határozták meg. E számítás során az acélbetétek elméleti helyzetéhez képest általában 1 cm, konzolok támaszponti acélbetéteinél 2 cm nagyságú, a határ-igénybevételt csökkentő bizonytalansági tűrést kellett figyelembe venni. Folyamatos gyári üzemben előregyártott szerkezeteknél ezt a tűrést fél értékkel vehették számításba.

A vasbeton szerkezetek elméletéről és számításáról összefoglaló művek jelentek meg: Mihailich Gy. (1922), Mihailich Gy.—Schwertner A.—Gyengő T. (1946), Mihailich Gy.—Palotás L. (1964), Palotás L. (1967, 1973), Gyengő T.—Menyhárd I. (1960), Szalai K. (1988).

A magyar előírások — érvénybelépésük idején — világviszonylatban is a legkorszerűbbek voltak még akkor is, ha a teherbírási határállapotra helyezték a hangsúlyt, és háttérbe szorult az alakváltozási és repedezettségi határállapot [Deák Gy. (1969)]. Előírásunkat Menyhárd I. (1954) összehasonlította a nemzetközi ajánlásokkal.

A magyar szabvány megjelenése után a szabványosítás fejlesztése a nemzetközi szervezetekben (CEB, FIP, IVBH) folyt. Mindegyik szervezet alapként elfogadta az osztott biztonsági tényezők rendszerét. Hazánk ugyan részt vett e szervezetek munkabizottságainak a munkájában, de kezdetben külön úton haladt a KGST Építési Állandó Bizottsága, amelyikhez hazánk is szorosan kapcsolódott. Ennek keretében az ÉTI a biztonsági tényezők rendszerével, a lakó- és középületek földemeinek esetleges terhével, a vasbeton rúd- és lemezszerkezetek képlékeny alakváltozásával, a nyírású teherbírással és a repedések tágasságának a számításával foglalkozott. Az ÉMI adatokat gyűjtött a vasbeton szerkezetek önsúlyának, méreteinek, a szerkezeti anyagok szilárdsági

jellemzőinek statisztikus eloszlásáról. A BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke a külpontosan nyomott vasbeton elemek teherbírását vizsgálta [Deák Gy. (1969)].

A külföldi szabályzatok fejlődése, nemzetközi szervezetek állásfoglalása a nálunk 1951-ben bevezetett osztott biztonsági tényezők rendszerének a helyességét igazolta.

A szabványok átdolgozása során a korábbinál következetesebben alkalmazták az osztott biztonsági tényezőket. A szabványosítást kiterjesztették az előregyártott, a könnyűbeton, a merevvasbetetes és az együttdolgozó vasbeton szerkezetekre. A *rendeltetési tényező* bevezetésével a szerkezeti elem szerepét a teherviselésben figyelembe lehetett venni. Fokozottabban számításba vették a terhek egyidejűségének kis valószínűségét. A statisztikai adatgyűjtés eredményeként általában növelték a szerkezeti anyagok határfeszültségét. Az addiginál nagyobb figyelmet fordítottak az alakváltozási és a repedezettségi határállapotokra és pontosították a jellemző határértékeket. A valóságnak jobban megfelelő számítási modelleket írtak elő. A hajlított-nyírt szerkezetek nyírási teherbírása számításakor figyelembe vették a nyomott betonöv teherbírását is [Deák Gy. (1969)].

A szabályozástól a gazdaságosabb tervezést várták a biztonság indokolatlan csökkentése nélkül.

A magyar és a volt KGST-országok nemzeti szabványai abban különböztek a CEB-FIP 78 ajánlásaitól, hogy általában nagyobb kockázatot vállaltak.

A CEB 64 ajánlásból kiindulva hazánkban Kármán Tamás és Mistéth Endre (1969, 1987, 1989), Szalai Kálmán foglalkozott a komplex ráfordítások minimumához tartozó optimális vagy elegendő kockázattal valószínűségelméleti alapon [Szalai K.—Lenkei P. (1993)]. Mistéth E. (1969) hangsúlyozta a tervezett élettartam (ezt ma már előírják) figyelembevételét. Szalai K. (1988) elemezte a biztonsági tényezők rendszerét.

A jövőben számolni lehet az egységes európai szabályozással. E célt szolgáló Eurocode-2 átvette azt a félvalószínűségi eljárást, amelyet a magyar szabványok 1951-től tartalmaznak.

7.4.2. A méretezés tiszta hajlításra

[Mihailich Gy.—Haviár Gy. (1966), Beke J. és Richter K. (1906)]

a) A kezdet. J. Monier és J. L. Lambot elindította útjára a vasbetont, de még kb. fél évszázadot kellett várni, amíg a vasbeton tartóban a beton és az acél szerepét tisztázták. A századfordulón jól ismerték a homogén anyagú tartók szilárdságtanát. A vasbeton számításával kezdetben nem tudtak mit kezdeni, és a feltalálók ösztönös meglátása, kitűnő gyakorlati érzéke vitte előre. Emiatt kezdetben volt bizalmatlanság a vasbetonnal szemben. Nagy haladás volt, amikor rájöttek arra, hogy a kéttámaszú hajlított gerendában végigmenő alsó acélbetétek szükségesek.

A múlt század 80-as éveiben nagy vállalatok alakultak (Hennebique, Wayss és Freitag stb.) és ezek inkább vállalati, mint tudományos célból kísérleteztek és e kísérletekben kiváló szakemberek is részt vettek. Így a Hennebique cég a kor legjobb vasbetonkutatóját, A. *Considère*-t kérte fel, aki kidolgozta a Hennebique típusú bordás—lemezes rendszert. Németországban a Wayss és Freitag cég kutatásait M. Koenen, majd E. *Mörsch* irányította. Meg kell még említeni Svájcban *Ritter* és *Schüle*, Turinban *Guidi*, Bécsben *Brik*, Lembergben *Thullie*, Dániában *Ostenfeld*, Amsterdamban *Sanders* kutatásait, akik szintén gazdagították a vasbetonelméletet.

A vasbetonnal szembeni bizalom helyreállítása, a biztonság egységes megállapítása és a versenytárgyalások értékelése céljából szükség volt szabályozásra. Franciaországban *Lorieux* elnöklete alatt 1891—1900 között vasbeton bizottság működött. Majd kutatócsoportot alakított, amelyben építési vállalkozók is képviselve voltak. Ebben működött közre A. *Considère*, Ch. *Rabut* és a két (E. és F.) *Coignet* (apa és fia). 1903-ban a német betonegyesület kezdeményezésére C. *Bach* stuttgarti tanár vezetésével szintén bizottság alakult a vasbetetes betonszerkezetek tanulmányozására kísérleti úton.

1886-tól egymás után alakultak ki a számítási eljárások, amelyeket kitűnő könyvek terjesztettek.

P. *Christophe* „Le béton armé et ses applications” c. Brüsszelben megjelent kézikönyve már tartalmazta az első számítási eljárások kritikáját, a szerkezeti kérdéseket és építés közben felmerülő problémákat.

F. E. *Emperger* 1896-ban megjelentette „A vasbeton lemezek rugalmasságtan szerinti elméletéhez” c. művét. 1901-ben megalapította a „Beton und Eisen” c. folyóiratot, amely a 30-as években a „Beton- und Stahlbeton” elnevezést kapta.

E. *Mörsch* 1902-ben kiadta „Der Eisenbetonbau und seine Anwendungen” c. könyvét, amely már részletesen ismerteti a vasbetonelméletet. Ez a könyv már a nyíróerőkkel is foglalkozott.

R. *Saligernek* 1906-ban jelent meg „Der Eisenbeton” c. könyve, amely már egyértelműen tartalmazza, hogy a vasbeton szerkezetben a húzásokat az acél veszi fel, ezért a nyomatéki ábra szerinti húzott oldalra kell a vasalást helyezni, erre példákat is megadott.

Németországban 1907-ben alakult meg a Deutscher Ausschuss für Eisenbeton (később Stahlbeton lett), amely rendszeres tudományos kísérleteket végzett és elősegítette a vasbetonelmélet kidolgozását. Ezt a tevékenységet a mai napig folytatja. Segítették a szabályozást.

Hazánk sem maradt el. 1903-ban *Beke* József, *Richter* Károly és *Duschek* Aurél nyugati tanulmányútkról 84 oldalas nyomtatott jelentést készített. 1906-ban *Beke* József és *Richter* Károly ezt kibővítve kiadták a 275 oldalas „Vasbetetes betonszerkezetek” c. kitűnő könyvet. Ez volt az első hazai vasbeton kézikönyv. Ebben a könyvben kritikai szemlélettel minden benne van, amit akkor a vasbeton szerkezetek kialakításáról, méretezéséről, kivitelezéséről tudtak.

1906-ban megalakult a Magyar Cementbizottság, majd 1906-ban a Magyar Mérnök és Építész Egylet „Vasbeton Bizottsága”, amely kidolgozta az 1909-ben kiadott első vasbetonszabályzatunkat.

Hosszú ideig csak a gyakorlati tapasztalat és a kísérletezés vitte előre a vasbetonépítést. A kor két nagyjának, J. *Monier*-nek és F. *Hennebique*-nek nem volt tudományos műszaki képzettsége. Megfigyeléseik alapján a fő hangsúlyt a vasalás kialakítására és rögzítésére helyezték. A betonnak kezdetben csak kitöltő szerep jutott.

A Monier-rendszerben nem volt tisztázva a vasalás szerepe. Az így kialakult rendszerek nem elégítették ki a mai szilárdságtan követelményeit és gyakran ellentétben voltak a gyakorlati tapasztalattal is. Valószínűen ezzel magyarázható, hogy a legkülönbözőbb szerkezeteket szabadalmaztatták (csövek, tartályok, hajók, csatornák, cölöpök, boltozatok stb.).

A vasbeton alap gondolatának első megjelenése után kb. két évtizeddel jutottak arra a következtetésre, hogy az acélbetéteket ott kell elhelyezni, ahol a betonban húzás keletkezik. Ezért kezdetben hajlításra igénybe vett gerendát nem is tudtak építeni. Nagy haladás volt, amikor kéttámaszú hajlított vasbeton gerendában a húzott oldalon végigvezették az acélbetéteket.

Normálisan vasalt hajlított kéttámaszú vasbeton tartó terhelését fokozatosan törésig növelve (statikus terhelés) megfigyelték, hogy a gerenda közepén közel függőleges repedések jelennek meg, míg a támaszok környezetében ferde, közel 45° alatt hajló repedések. Előbbieket hajlítónyomaték okozta σ -repedéseknek, utóbbiakat nyírórepedéseknek, τ -repedéseknek nevezték el (7.5. ábra). Ennek megfelelően a méretezés is kétirányú volt: tiszta hajlításra és nyírásra méretezés.

Mint minden új anyag, a vasbeton méretezése során is más anyagokra kidolgozott elvekből indultak ki. Magas szintű volt a homogén anyagú tartók (pl. acéltartók) méretezési elmélete. Természetesen a vasbetont is kezdetben homogén anyagnak tekintették. Később a méretezésnek vasbeton tartóra kifejlesztett (figyelembe véve a beton és az acél eltérő rugalmassági modulusát) változatát *I. feszültségi állapot szerinti méretezésnek* nevezték el.

Nagy jelentőségű volt R. *Saliger* (1947) könyve, amely mind a szovjetunióbeli, mind a hazai n-mentes méretezési eljárások alapját képezte. E könyvben a teljes n-mentes méretezést ismertette, beleértve a repedéstágasság számítását is.

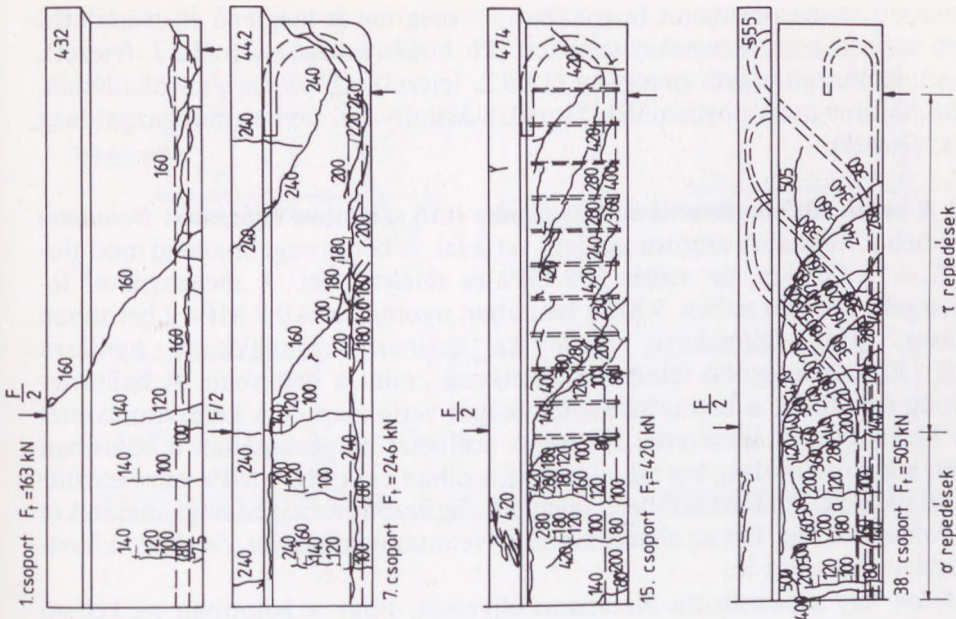
Beke J. és *Richter K.* (1906) a hajlításra igénybe vett vasbeton tartó méretezésére vonatkozó kezdeti számítási módokat két csoportba sorolta:

- a beton húzási ellenállását is figyelembe vevő módszerek,
- a beton húzási ellenállását elhanyagoló eljárások.

Ezt a csoportosítást meghagyva ismertetem a sokféle eljárás közül a fontosabb kezdeti számítási eljárásokat.

Megemlítem, hogy a vasbeton építésről *Orosz Á.* (1985) adott rövid történeti áttekintést.

Már itt megemlíjtük, hogy a magyar vasbetonépítés atyjának *Zielinski* Szilárd egyetemi tanárt tekintjük, aki az 1900. évi párizsi világiállítás után



Csoport szám	Acél- betét, kg	Törő- erő, F ₁ , kN	Acszelvény
1	62	163	2 x Ø 40
4	66,8	220	2 x Ø 40
7	80,6	246	2 x Ø 40
15	93,8	427	2 x Ø 40
29	73,4	420	3 x Ø 22
30	80,5	486	3 x Ø 22
38	72	505	3 x Ø 22
50	73,6	371	3 x Ø 22

7.5. ábra. Beton- és vasbeton-építési laboratórium kísérleti gerendái és a repedéseképek [Mihalich Gy. (1922)]

— kezdeti vasbetonismeret birtokában — még ma is meglévő és csodálatra méltó vasbeton szerkezeteket tervezett. Pl. bökényi hajózsilip (12.2. fejezet), szegedi és margitszigeti víztorony (13.6.2. fejezet). Országos Zeneakadémia, Petőfi Sándor utcai postaépület, Horváth Mihály téri távbeszélő igazgatóság (16.1. fejezet).

b) A beton húzási ellenállását figyelembe vevő számítási eljárások. *Neumann* 1890-ben a 7.6/a ábra szerinti modellt vette fel. A beton rugalmassági modulusát $E_b = 15$ GPa-ra, az acélét 200 GPa-ra tétélezte fel. A megengedett feszültségek: 75 MPa acélra, 3 MPa betonban nyomásra és 0,3 MPa a betonban húzásra. Már feltételezte, hogy az acélban ugyanakkora nyúlásra $n = E_a : E_b$ -szer nagyobb feszültség keletkezik, mint a betonban. A hajlítófeszültség felvételére a beton húzószilárdságát vette alapul. A keresztmetszetet már heterogénnek tekintette. De ha az acélbetét magasságában a betonban éppen a húzószilárdság lép fel, akkor az acélban csak kb. 4 MPa húzófeszültség keletkezett, tehát az acélbetét jelenléte alig érződött és igen nagy méretekre lett volna szükség. Ezt az ellentmondást *Neumann* is észlelte, de ebből következtetést nem vont le.

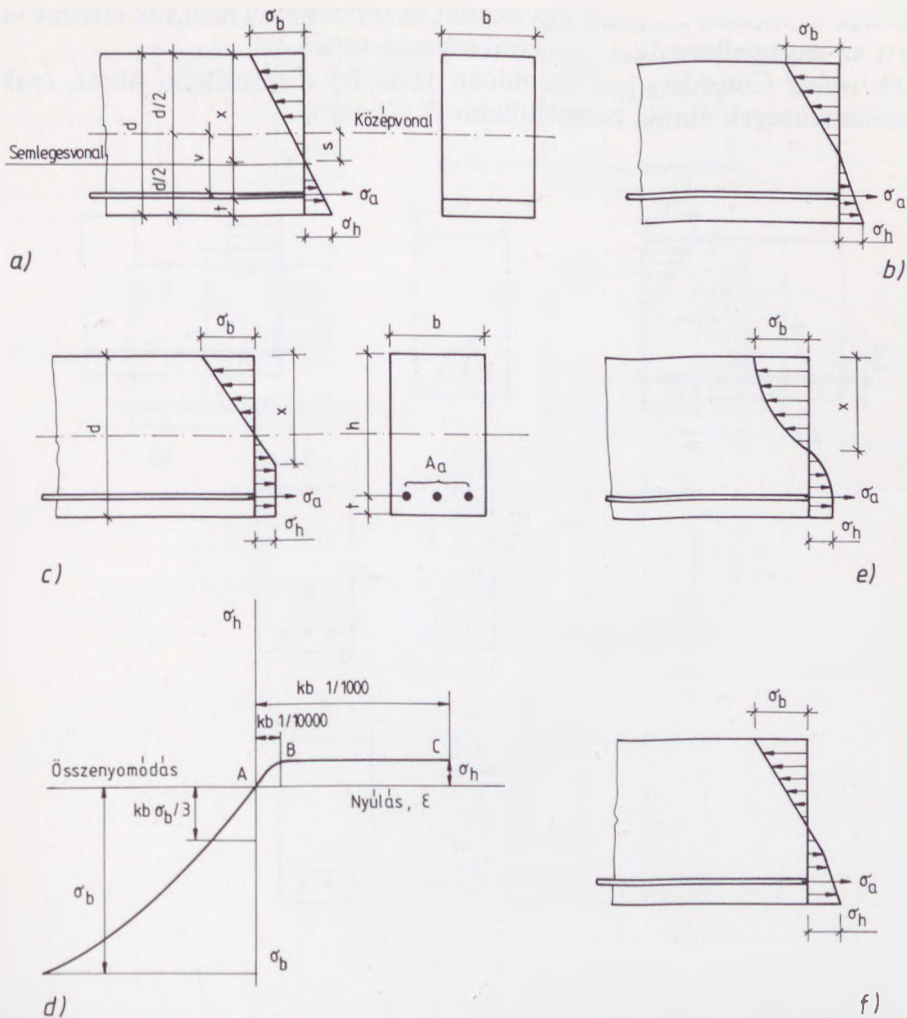
Melan úgy módosította *Neumann* eljárását, hogy a betonban ne kelljen lehetetlennek látszó húzófeszültségekkel számolni. Feltételezte, hogy érvényes a húzott betonban is az arányossági (Hooke-) törvény, de a beton húzási rugalmassági modulusát a nyomási rugalmassági modulus 1/16-od részének vette fel. Az eredmény helyessége attól függött, hogy a kétféle rugalmassági modulusot jól vették-e fel (7.6/b ábra).

A számítási eljárás egyszerű, ugyanúgy, mint *Neumann* módszerénél. Ugyanis alkalmazhatók a homogén tartókra érvényes módszerek, de a súlypont, inercianyomaték stb. számításánál minden alkotó (acélbetét, húzott, ill. nyomott beton) saját keresztmetszeti területével és rugalmassági modulusával számítandó.

A feszültségeloszlást *A. Considère* a 7.6/c ábra szerint tétélezte fel. A feszültségek nagyságának a kiszámításához felhasználta kísérleti eredményeit. Egy ábrában ábrázolta a nyomási és a húzási $\sigma - \varepsilon$ diagramot (7.6/d ábra). A nyomási $\sigma - \varepsilon$ diagramot a szilárdság 20%-áig egyenesnek tekintette. Ez megfelelt a használati terhelési feszültségnek, ennyire vették fel a megengedett nyomófeszültséget. A húzási $\sigma - \varepsilon$ diagram kezdetben szintén egyenes. A szakadási nyúlást a vasalatlan beton 1/10 000-ed rész fajlagos nyúlásnál érte el. Vasbetonban azonban ezt követően jelentős képlékeny nyúlás következik be, mivel a húzóerőt az acélbetét veszi fel.

A méretezés során *A. Considère* a beton húzási $\sigma - \varepsilon$ diagramját két egyenessel helyettesítette. A beton húzási és nyomási kezdeti rugalmassági modulusát azonosnak vette fel. A beton húzószilárdságát 0,8—1,2 MPa-nak tekintette. További számítási feltételek: érvényes a Bernoulli—Navier-feltevés, a belső erők egyensúlya, és azonos a belső és a külső erők nyomatéka.

Századunk elején ezt a számítási módot olyannak tekintették, amelyik a valóságot jól megközelíti. Azonban német és amerikai kísérletek rámutattak



7.6. ábra. Feszültségeloszlás feltételezése tiszta hajlítás esetén (a beton húzási ellenállását is figyelembe veszik) a) Neumann szerint; b) Melan szerint; c) Considère szerint; d) Considère $\sigma-\varepsilon$ diagramja; e) Haberkalt szerint; f) Ostenfeld szerint [Beke J.—Richter M. (1906)]

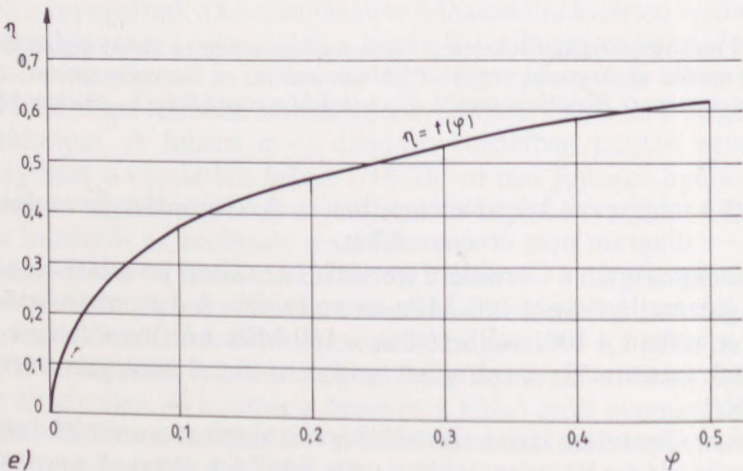
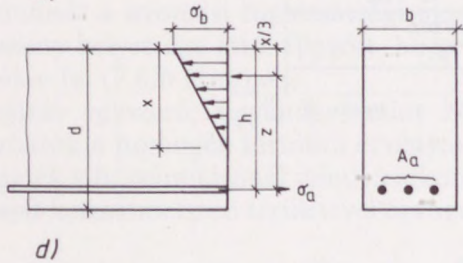
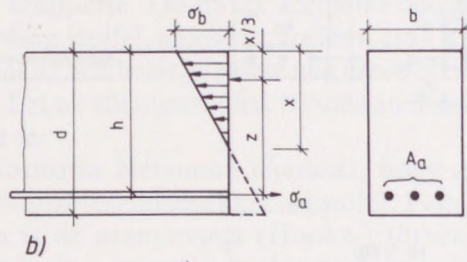
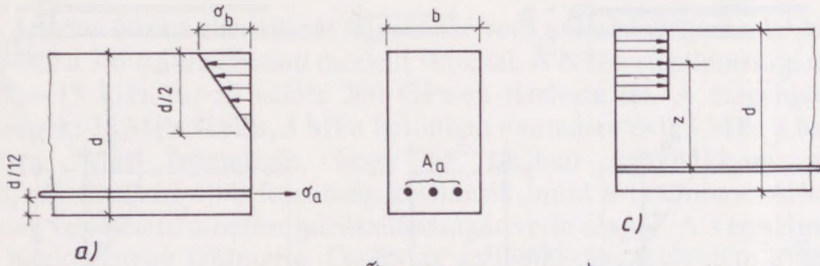
arra, hogy a megrepedt keresztmetszetben az A. Considère javasolta idealizált húzási $\sigma-\varepsilon$ diagram nem érvényesülhet.

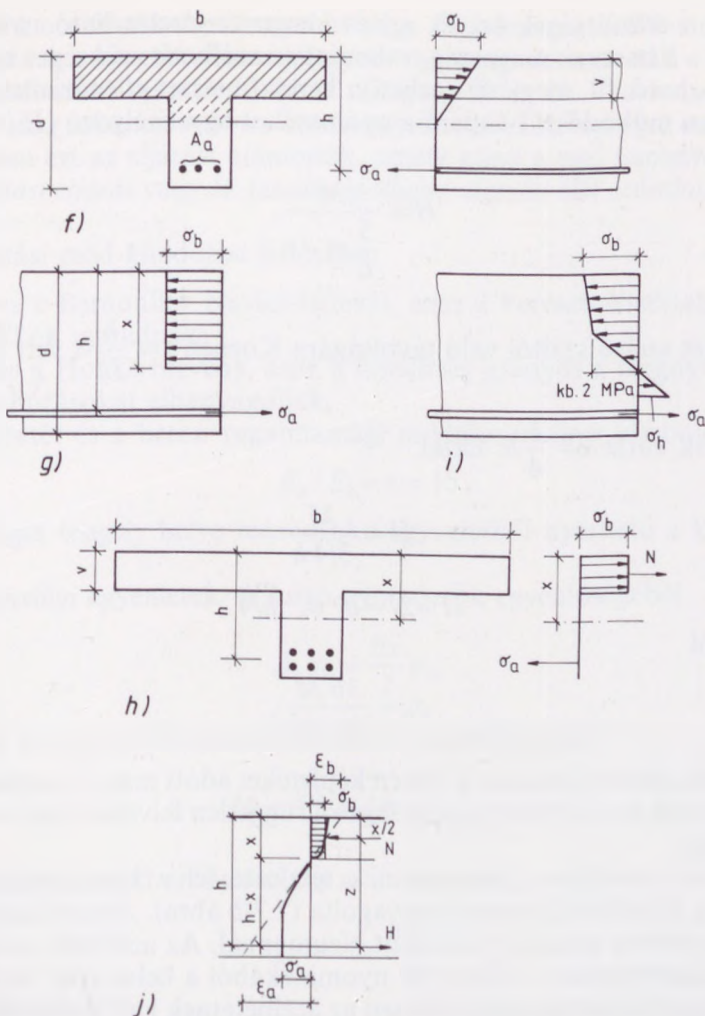
Barkhausen szintén a Considère szerinti (7.6/c ábra) javaslatból indult ki, de a beton húzószilárdságát 0,6 MPa-ra vette fel. A betonban a 4–5 MPa nyomó-, a vasban a 100, acélbetétben a 160 MPa húzófeszültséget is megengedhetőnek tartotta. Ez a számítási mód nem tért el lényegében a Considère szerintitől.

Haberkalt Considère kísérleti eredményeire alapította számítási eljárását. A feszültségeloszlást nála pontosabban vette fel (7.6/e ábra). A pontosság foko-

zásának így módon azonban a gyakorlat szempontjából nem sok értelme volt, mert az anyagjellemzőket úgyis önkényesen vették fel.

Ostenfeld Considère-hez hasonlóan vette fel a feszültségi ábrát, csak a húzófeszültségek ábrája bonyolultabb (7.6/f ábra).





7.7. ábra. Feszültségeloszlás-feltételezés tiszta hajlítás esetén (a beton húzási ellenállását elhanyagolták) a) Koenen szerint; b) Ritter szerint; c) Vauthier—Rabut szerint; d) gyakorlati számítási eljárás szerint; e) a semleges tengely helyének meghatározására szolgáló grafikon ellenőrzéskor; f) gyakorlati eljárás szerint a T alakú keresztmetszetben; g) Hennebique szerint négyszög keresztmetszetben; h) T-keresztmetszetben; i) Thullie szerint; j) Gebauer szerint feltételezett feszültségeloszlás [Beke J.—Richter K. (1906), Mihailich Gy.—Haviár Gy. (1966), Möller K.—Brzesky A. (1937)]

c) A beton húzási ellenállását elhanyagoló eljárások. Hajlított vasbeton tartó első méretezési eljárását M. Koenen dolgozta ki (Zentralblatt der Verwaltung, 1886, 462). Nem vette figyelembe az acél és a beton eltérő rugalmassági modulusát, tehát a vasbetont homogén anyagnak tekintette, de elhanyagolta a húzott betont. A homogén tartó feltételezésének megfelelően a semleges tengely helyét a tartó magasságának a felében tételezte fel (7.7/a ábra). A

megengedett feszültségek (σ_b és σ_a) és keresztmetszetre ható nyomaték ismeretében a h hasznos magasság, valamint az acélbetét szükséges mennyisége meghatározható, ill. meglévő vasbeton keresztmetszet ellenőrizhető volt. Az acélbetétben működő H húzóerő a nyomatékot egyensúlyozó (H , N) erőpárból számítva

$$H = \frac{M}{\frac{5}{6}m - t}$$

Az acélbetét szélső száltól való távolságára Koenen $t = \frac{h}{12}$ -t vett fel. Ezáltal

a belső erők karja $z = \frac{3}{4}h$. Ezzel

$$H = \frac{M}{3/4 h}$$

$$H = N = b \cdot \sigma_b \cdot h/4$$

egyenletből

$$\sigma_b = \frac{16 M}{3b \cdot h^2}$$

A méretezés egyszerűsítésére Koenen képleteket adott meg. Azonban a semleges tengelynek az acélbetét mennyiségétől független felvétele jelentős hibaforrás lehetett.

W. Ritter hasonlóan heterogénnek tételezte fel a keresztmetszetet és a betonban a húzófeszültséget elhanyagolta (7.7/b ábra). A feszültségeloszlás a hajlított tartóban hasonló volt, mint Neumannnál. Az acélbetét méreteit azon az alapon számította a külső erők nyomatékából a belső erők karjával való osztás útján, hogy a húzóerőt teljesen az acélbetétnek kell felvennie. A húzott acél és a nyomott beton igénybevételét más-más elvi alapon számította, így a belső erők egyensúlya nem volt biztosítva.

A W. Ritter-féle számítási módnak igen nagy jelentősége volt a vasbeton szerkezetek méretezése fejlődése szempontjából. *Beke J.—Richter K.* (1906) szerint a számítási mód elterjedését inkább köszönhette a szerző hírnevének, mint a számítási mód jóságának.

A *Vauthier—Rabut szerinti számítási módnál* a 7.7/c ábra szerinti feszültségi ábrát tételezték fel. A semleges tengely helyét derékszögű négyszög keresztmetszetnél becslés útján, T alakú keresztmetszetnél a lemez alsó szélénél vették fel. A belső erőket

$$H = N = \frac{M}{z}$$

képletből egyszerűen számíthatták. *Rabut* 2,5 MPa beton nyomófeszültséget

és 120 MPa acélfeszültséget engedett meg. Eljárását az acélbetét szükséges mennyiségének a megbecslésére jó, gyors módszernek tartották.

A századforduló után az ifjabb F. Coignet-től és N. Tedescótól 1894-ből származó ún. *gyakorlati méretszámítás* terjedt el. F. L. Emperger és E. Mörsch könyveikben ezt az eljárást ajánlották, amely mind a mai napig fennmaradt *n-es számítási eljárás* vagy *II. feszültségállapot alapján álló számítás* megnevezéssel.

E számítási mód kiindulási feltevései:

- érvényes a Bernoulli—Navier-feltevés, azaz a keresztmetszetek a hajlítás során síkok maradnak;
- érvényes a Hooke-törvény, azaz a feszültség arányos a megnyúlással;
- a betonhúzásokat elhanyagoljuk;
- az acélbetét és a beton rugalmassági modulusainak a viszonya állandó:

$$E_a : E_b = n = 15.$$

A semleges tengely helye másodfokú egyenletből nyerhető a következők szerint.

Az egyensúlyi egyenletek. A húzó-nyomóerők egyenlőségéből

$$A_a \sigma_a = \frac{bx}{2} \sigma_b \quad (1)$$

A külső és a belső erők nyomatékának az egyenlőségéből:

$$M = \frac{bx}{2} \sigma_b \left(h - \frac{x}{3} \right). \quad (2)$$

A feszültségek közötti arányosságot a

$$\sigma_a = n \cdot \sigma_b \frac{h-x}{x} \quad (3)$$

egyenlet fejezi ki.

Ezekből az egyenletekből mind a tervezés, mind az ellenőrzés elvégezhető. Ellenőrzés esetén az (1) és (3) egyenletet használjuk fel:

$$A_a n \frac{h-x}{x} = \frac{bx}{2},$$

ebből

$$x^2 + 2 \frac{A_a n x}{b} - \frac{2 A_a n h}{bh} = 0.$$

Ebből $\frac{x}{h} = \eta$ és $\frac{n A_a}{bh} = \varphi$ helyettesítéssel

$$\eta^2 + 2\varphi\eta - 2\varphi = 0$$

egyenletet kapjuk.

Az egyenlet megoldásához grafikonokat készítettek (7.7/e ábra).

A legtöbb szabályzat ezt a számítási módot írta elő.

A gyakorlati számítás szerint a T alakú keresztmetszet bordájában a nyomásokat is elhanyagolták azok kis hatása miatt. A porosz szabályzat szerint a nyomóerők eredőjét a trapéz alakú feszültségi ábra súlypontjában vették fel. Egyes esetekben megengedték, hogy a lemez felében legyen a nyomóerők súlypontja. Ha a semleges tengely a lemezbe esett, akkor természetesen négy-szög keresztmetszetnek tekintették (7.7/f ábra).

Hidak és egyéb pontosabb méretezést igénylő szerkezetek számításához $n=15$ -öt, $\sigma_b=3,5$ MPa és $\sigma_a=100$ MPa megengedett feszültséget írtak elő, egyéb szerkezetekre $\sigma_b=4,0$ MPa és $\sigma_a=110$ MPa értéket is megengedtek.

F. *Hennebique* a méretezés során a semleges tengely helyét abból az önkényes feltevésből határozta meg, hogy a külső erők nyomatókának felét a nyomófeszültségek eredője, másik felét a húzóerők eredője egyensúlyozza (7.7/g ábra):

$$\frac{M}{2} = N \frac{x}{2} (h-x).$$

Mivel $h-x$ rendszerint nem egyenlő $x/2$ -vel, ezért a húzóerő nem volt egyenlő a nyomóerővel. Ez a számítási mód már alkalmas volt tervezésre és elsősorban Franciaországban, Angliában és Belgiumban alkalmazták. Önkényesen tételezte fel, hogy a betonban és az acélban egyszerre léphet fel a megengedett feszültség, függetlenül a két anyag rugalmassági modulusának a viszonyától és a húzó- és nyomóerő egymástól mért távolságától, tehát az eredeti keresztmetszet hajlítás után nem maradt sík (Bernoulli—Navier-feltevés).

A 7.7/h ábra T alakú keresztmetszetet szemléltet. F. *Hennebique* nyomófeszültséget csakis a lemezben tételezett fel és a nyomóerőt a lemezmagasság felében működtette. A semleges tengely helyét az ábra jelöléseivel a következő egyenletből határozta meg:

$$\frac{M}{2} = N \left(x - \frac{v}{2} \right) = bv\sigma_b \left(x - \frac{v}{2} \right).$$

Az acélbetétekben fellépő húzóerőt a

$$H = \frac{M}{2(h-x)}$$

képletből határozta meg. A semleges tengelynek mindenképpen a bordába kellett esnie. Ha nem így jött ki a számításból, akkor *Hennebique* önkényesen $x=v+1$ cm-re vette fel.

Thullie (1896) a 7.7/i ábra szerinti feszültségeloszlást tételezte fel. Kisebb nyomó-igénybevételekre (kb. 20 kN-ig) $E_b=20$ GPa, ennél nagyobb feszültségnél pedig feleakkora rugalmassági modulusot vett fel. A húzó-igénybevételt is figyelembe vette a megengedett húzófeszültségig. Ez a számítási mód a gyakorlatban nem terjedt el.

Gebauer (7.7/j ábra) abból indult ki, hogy törés előtt a vasbeton gerendában nem háromszög alakú, hanem egyenletesen megoszló feszültségek alakulnak ki, mert a szélső szálak feszültségei már nem növekszenek a plasztikus folyás következtében. A törőnyomaték

$$M_1 = Nz = Hz$$

képletből, a belső erők

$$N = bx\sigma_{bt}$$

$$H = A_a\sigma_{af}$$

$$x = \frac{A_a\sigma_{af}}{b\sigma_{bt}}$$

$$z = h - \frac{x}{2}$$

képletből számíthatók. A képletben A_a az acél keresztmetszeti területe, σ_{af} az acél folyási határa, σ_{bt} a beton hasábszilárdsága.

Az így meghatározott törőnyomaték biztonsági tényezővel való osztását javasolták [*Möller K.—Brzesky A.* (1937)].

d) Az n-mentes méretezési mód [*Gábor P.—Menyhárd I.—Rózsa M.* (1951)]. A Szovjetunió volt az első, ahol a vasbeton alkotói, a beton és az acél képlékeny tulajdonságai kihasználására szabványba (1948) iktatták a törési elméleten alapuló, ún. n-mentes számítási módszert.

Itt jegyzem meg, hogy *Möller K.—Brzesky A.* (1937) a *Gebauer* szerinti méretezés továbbfejlesztésével javasolta az n-mentes eljárások bevezetését. Indoka az volt, hogy a tartósan terhelt vasbeton szerkezetekben a beton számításba vehető rugalmassági modulusa a lassú alakváltozási tényezővel

való osztás miatt idővel csökken (lásd 7.5. fejezet), tehát az $n = \frac{E_a}{E_b}$ kons-

tansnak nincs értelme.

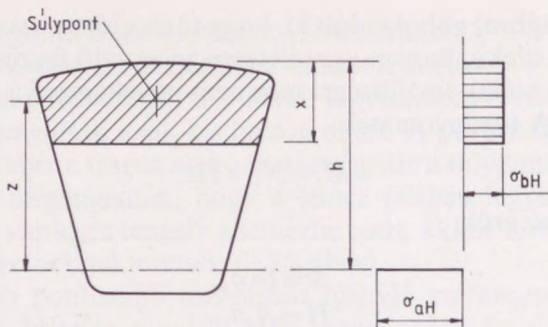
A magyar szabványokban ez 1950-ben következett be. Hajlított vasbeton gerenda határnyomatékát kellett a következők szerint meghatározni (7.8. ábra):

a) A keresztmetszet nyomott részében a határfeszültségnek megfelelő feszültségmegoszlást kellett feltételezni, továbbá, hogy a nyomott zóna szélső szálában a törési összenyomódás lép fel.

b) A húzott acélbetétekben a határfeszültséget, a nyomott acélbetétekben legfeljebb a beton határfeszültségének a negyvenszeresét, ill. az acél határfeszültségét volt szabad számításba venni. Az acélbetétet ideálisan rugalmas-képlékeny anyagnak tekintették.

c) A beton húzófeszültségeit elhanyagolták.

További számítási feltétel még, hogy érvényes a Bernoulli-feltétel, ami szerint a keresztmetszetek a törési határállapotban is síkok maradnak.



7.8. ábra. n-mentes méretezés

A semleges tengely (x) helyzetét a belső erők egyensúlyából lehet meghatározni. A semleges tengely határhelyzetét a betonacél és a betonminőség függvényében korlátozták. Határértéke $x_0 = 0,5 h$ volt, amely 75.55 KB jelű acél és B 400 jelű beton esetében 0,4-re csökkent. A csökkentéssel azt vették számításba, hogy minél nagyobb a betonszilárdság, annál jobban eltér a beton nyomási $\sigma - \varepsilon$ görbéje a derékszögű négyszögtől, ill., hogy a nagy szilárdságú acéloknak csak egyezményes folyási határa van.

T keresztmetszetű gerendákban a fejlemez csak akkor volt szabad számításba venni, ha a lemezzvastagság legalább 8 cm volt és nem volt kisebb a tartó dolgozó magasságának egyharmadánál. Ez a számítási mód — kisebb módosításokkal — napjainkban is érvényben van.

A méretezést és az ellenőrzést a számítási feltételek figyelembevételével az egyensúlyi egyenletekből végezzük el (derékszögű négyszög):

$$H = A_a \sigma_{aH} = N = b x \sigma_{bH}$$

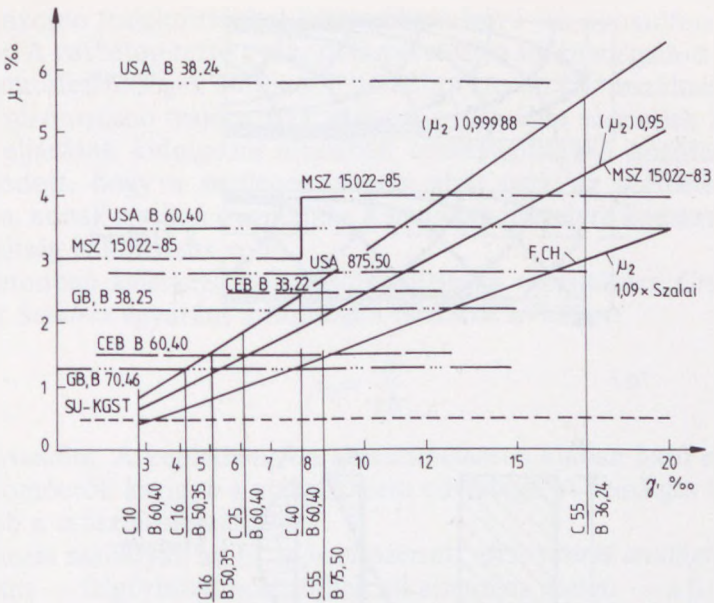
$$M = N z = b x \sigma_{bH} \left(h - \frac{x}{2} \right).$$

Dulácska Endre (1967) a beton $\sigma - \varepsilon$ diagramjára olyan törtkitevőjű hatványfüggvényt javasolt, amely folytonos és a határfeltételeket maradéktalanul kielégíti. Példákon mutatta be a javasolt összefüggés alkalmazását.

Juhász B. (1988) törésvonal-elmélet alapján vizsgálta vasbeton lemezek együttdolgozó szélességét koncentrált teherre.

Fehér M. (1990) az MSZ 15022/1-86 szerinti méretezési előírásokat elemezte és javaslatot tett a pontosításra.

Hajlított vasbeton tartók *minimális húzott acélbetéteinek* a mennyiségét az határozza meg, hogy a beton hajlításból származó húzószilárdsága kimerülése, azaz a beton megrepedése után a tartó ne menjen robbanásszerűen tönkre. Ezért a minimális vasalást a vasalás nélküli hajlított keresztmetszet hajlítóhúzószilárdságából (I. fesz. állapot) és a II. feszültségállapotban lévő minimális vasalású hajlított vasbeton tartó törőnyomatékának az egyenlőségéből kiindulva határozzák meg.



7.9. ábra. Különböző országok hajlított vasbeton tartó minimális húzott vasalásra vonatkozó előírásai [Mistéth E. (1988)]

Különböző országokban eltérő előírások születtek. A minimális vasalási előírások egy része szerint ((USA, CEB, Anglia) csak az acélbetét fajtájától, az MSZ 15022-85 szerint csak a beton minőségétől, más előírások szerint a beton és az acélbetét húzószilárdságának a hányadosától [Mistéth E. (1988)]

függ: azaz $\mu\% = \alpha \frac{\sigma_{hH}}{\sigma_{aH}}$.

Szalai K. (1987) szerint α 0,204, Mistéth E. (1988) tanulmánya szerint a 95%-os kvantilishez tartozó α értéke 0,3179.

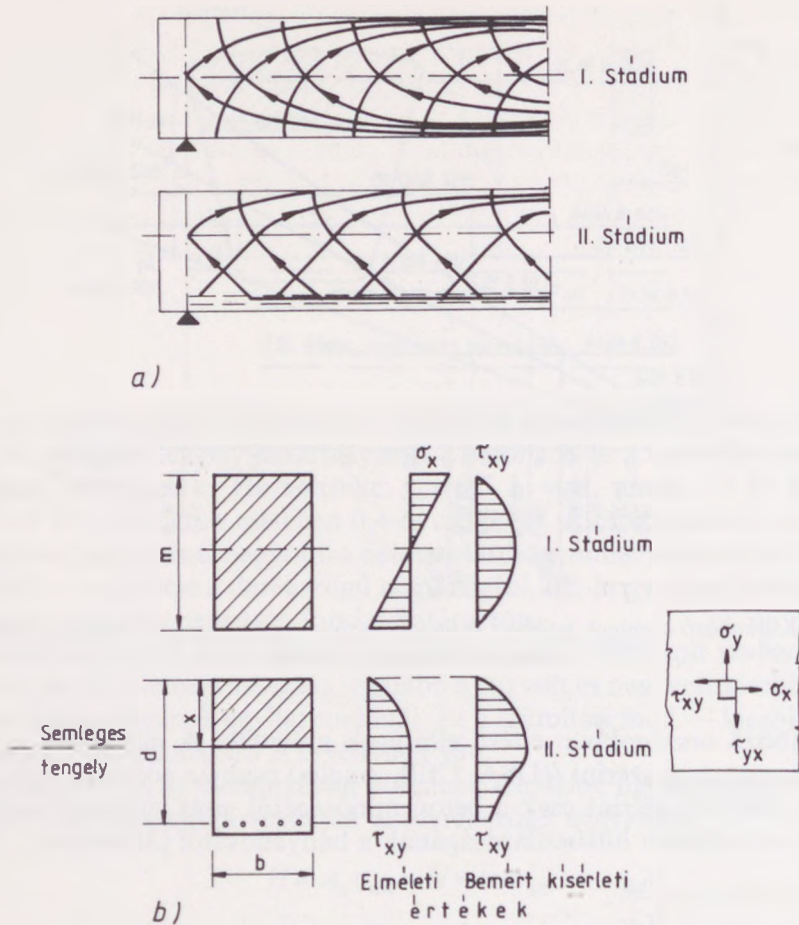
A képletben σ_{hH} a beton húzási határfejtészsége, σ_{aH} az acélbetét határfejtészsége. Ez a vasszázalék 0,65‰ és 2,1‰ között változik. Mistéth E. kimutatta, hogy az általa levezetett összefüggés a Szalai K. által levezetettnek 1,09-szeresével egyezik meg.

Mistéth E. (1988) különböző országok előírásait a minimális vasszázaléokra a 7.9. ábrában foglalta össze.

7.4.3. Méretezés nyíró- és csúsztatóerőkre

[Beke J.—Richter K. (1906), Mihailich Gy.—Haviár Gy. (1966)]

Már Beke J.—Richter K. rámutatott arra, hogy a betontartó keresztmetszete rendszerint akkora legyen, hogy a nyírófeszítés a megengedett feszítés alatt maradjon. A vízszintesen ható csúsztatófeszítések megbízható (empi-



7.10. ábra. Homogén anyagú tartó főfeszültségi trajektóriái és a nyírófeszültség változása az I. és II. feszültségi állapotban [Mihailich Gy.—Haviár Gy. (1966)]

rikus) számítása csak 10—15 évvel később alakult ki a nyomatékok felvételére vonatkozó eljárások után. Mihailich Gy. (1922) ezt azzal magyarázza, hogy a méretezésnél például szolgáló acélszerkezetekben a nyírófeszültségek rendszerint alárendelt jelentőségűek voltak.

Kezdetben a homogén anyagú tartókra levezetett képletből indultak ki, amely szerint a vízszintes csúsztatófeszültség:

$$\tau = \frac{RS}{I},$$

ahol R a keresztmetszet síkjában ható eredő erő, S az elcsúszni akaró rész statikai nyomtéka a semleges tengelyre, I pedig a keresztmetszet inercianyomatéka. A homogén anyagú gerendában a külső erő a 7.10/a ábrán feltüntette-

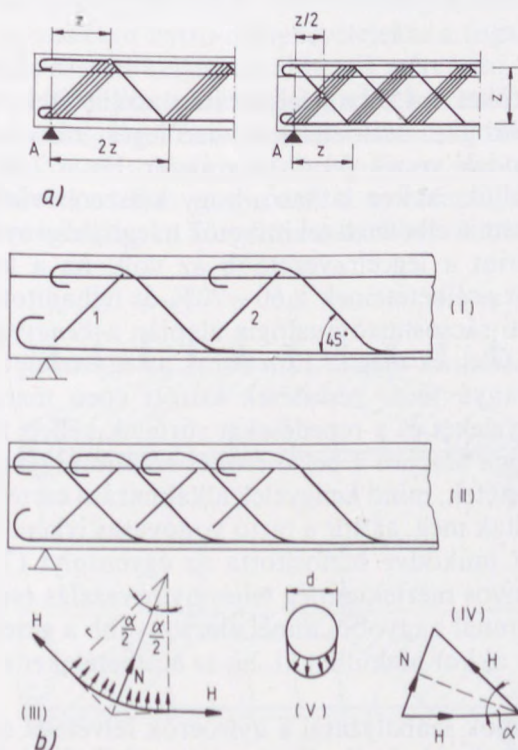
tett húzó-nyomó trajektóriákkal jellemezhető húzó- és nyomófeszültségeket hozza létre. A vasbeton tartó gyakorlati méretezése során megadott feltételekkel a csúsztatófeszültségek ábrája a 7.10/a ábra szerint (II. feszültségi állapot) alakul, a húzó-nyomó trajektóriák pedig a 7.10/b ábra szerinti lesznek. A számítási eljárások kidolgozói általában elhanyagolták a húzófeszültséget. Ebből adódott, hogy a semleges tengely alatt csak az acélbetétet vették számításba, annak statikai nyomatéka a semleges tengelyre konstans, és így a nyírófeszültség is konstans volt.

A vasbetonban keletkező csúsztatófeszültségek számítására *Cristophe, E. Mörsch* és *Sanders* egyaránt a homogén tartókra levezetett

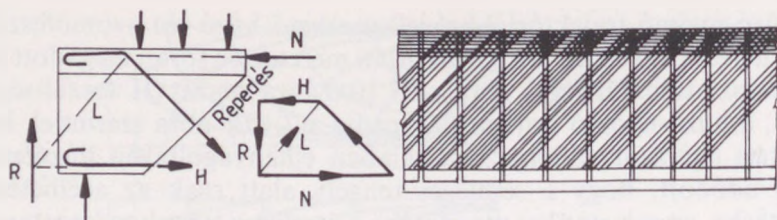
$$\tau_0 = \frac{R}{zb}$$

képletet javasolta. A képletben R a keresztmetszet síkjában ható eredőerő, z a húzó-nyomóerők karja, b a vizsgált elem szélessége. A semleges tengelyben legnagyobb a csúsztatófeszültség.

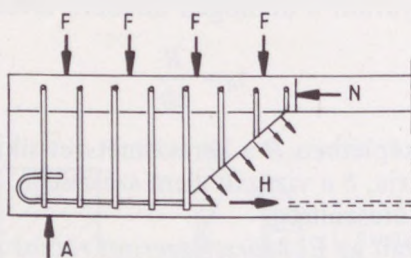
A méretezés szabályait az *E. Mörsch* szerinti *rácsos tartó analógiára* építették. Eszerint — felgömbített acélbetétek alkalmazása esetén — a húzófeszültség



7.11. ábra. A vasfelgömbítések szerepe a Mörsch szerinti rácsostartó analógia alapján (a ábra) egyszeres és kétszeres rácsozást feltételezve [Mihailich Gy.—Haviár Gy. (1966)] és a felgömbítések repedéssel összefüggő szerepe (b ábra) [Mihailich Gy. (1922)]



a)



b)

7.12. ábra. Felgöbítések és kengyelek szerepe az elrepedt tartón a rácsostartó analógia szerint (a ábra), a kengyelek szerepe a törés beállta előtt (b ábra) [Mihailich Gy.—Haviár Gy. (1966)]

ségnek megfelelő erőket a 45° -ban felgöbített acélbetétek, míg a nyomófezsültségeket a felgöbített acélbetétekre merőleges irányú betonrepedések között lévő betonrudak veszik fel (7.11/a ábra). Ha a 7.11/b ábra szerinti repedésképet vizsgáljuk, akkor látható, hogy kétszeres sűrűségű (kétszeres rácsosítású) felgöbített acélbetétek tekinthetők a leghatékonyabbnak. A stuttgarti kísérletek szerint a legcélravezetőbb az volt, ha a kéttámaszú tartó hajlításra méretezett acélbetéteinek a 60–70%-át felhajlították.

A Mörsch szerinti rácsostartó analógia alapján a *kengyelek* a rácsostartó húzott oszlopainak felelnek meg (7.12/a ábra), az egyensúlyt a húzófezsültségekre merőleges irányú ferde repedések között épen maradó betonsávok biztosítják. A kengyeleket és a repedéseket sűrűnek kellett feltételezni, hogy a rácsostartó analógia alapján a belső erőket számítani lehessen.

Mind ferde acélbetétek, mind kengyelek alkalmazása esetén, ha a rácsostartó feltételei nem voltak meg, akkor a tartó vonóvasas ívként (megoszló teher) vagy feszítőműként működve biztosította az egyensúlyt (7.13. ábra). Ez a vonórúdhatás bizonyos mértékig még teljes nyíróvasalás esetén is fennáll. A vonóvasalás azonban csak akkor alakulhat ki, ha az acélbetéteket a támasz felett jól lehorgonyozzák.

Különböző országok szabályzatai a nyíróerők felvételét a Mörsch szerinti rácsostartó analógia alapján írták elő. A svájci szabályzat és *Beke J.—Richter K.* (1906) a nyíróvasalás nélkül megengedett nyírófezsültséget 0,4 MPa-nak tekintették. Kezdetben csak az ennél nagyobb nyírófezsültségrést vették fel

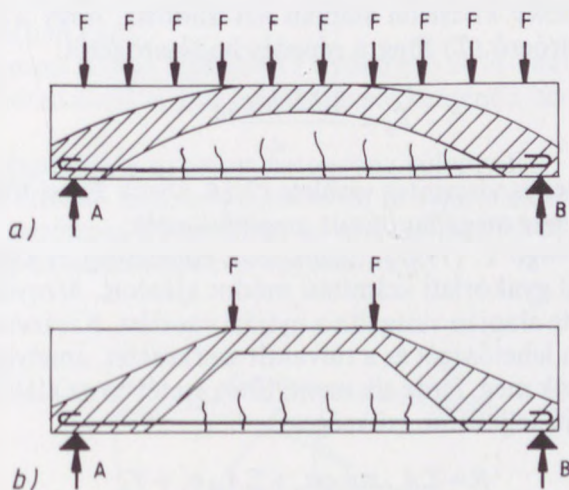
nyírási vasalással (felgömbített acélbetét, kengyel). A kengyeleket — a vízszintes csúsztatóerőre tekintettel — nyírásra és nem húzásra méretezték. A megengedett nyírófeszültség 80 MPa volt. A későbbi szabályzatok, ha a nyírófeszültség a megengedett feszültséget túllépte, akkor az összes és nem csak a megengedett feszültségen felüli nyírófeszültségek nyíróvasalással való felvételét írták elő. Továbbá előírtak egy felső határt, amelynél nagyobb nyírófeszültségeket még nyíróvasalással sem volt szabad felvenni. Ebben az esetben a betonkeresztmetszet növelésére volt szükség.

Már *Mihailich Gy.* (1922) hajlított gerendákkal végzett kísérletei is igazolták, hogy a Morsch szerinti nyírásvizsgálat alapján a vasbeton gerendákat túlméretezték. Az 1966-ban érvényben lévő szabályzatokban túlhaladottnak tekintette azt az előírást, hogy amennyiben a nyíróerőket a beton egyedül nem tudja felvenni, akkor az összes nyírófeszültséget nyíróvasalással kell ellensúlyozni.

A hajlítási-törési elméletet követően vizsgálták a hajlított gerendák viselkedését a nyírotöréssel szemben. A *nyírotörés* többféle lehet: nyíró-nyomó törés vagy ferde húzótörés alakulhat ki a gyenge gerincvasalású gerendákban; nyíró-húzó, ill. ferde húzótörés állhat elő az erősebb vasalású gerendákban; ezenkívül felléphet a tapadótörés is az acélbetétek megcsúszása által.

1952-ben szabályzatban (MNOSZ 15022-52) rögzítették az n-mentes méretezési eljárást. Ugyanakkor nyíró-igénybevételekre a rugalmasságtan alapján álló Morsch eljárás szerint kellett továbbra is méretezni.

Először *Garay L.* (1953) tette szóvá, hogy a két méretezési mód alkalmazása hibalehetőséget rejt magában és az egyenlő biztonság elvének a megsértését jelenti. Elméleti kutatásai során arra az eredményre jutott, hogy a képlékeny alakváltozások következtében megnövekszik a nyírófeszültségek, különösen a nyomatékra erősen igénybevett keresztmetszetekben. Emiatt az erősen kihasz-



7.13. ábra. Vonóvasas áthordás esete a megrepedt betongerendában. a) Gerendát helyettesítő iv; b) gerendát helyettesítő feszítőmű [*Mihailich Gy. — Haviár Gy.* (1966)]

nált keresztmetszetekben nagyobb nyíróvasalásra van szükség. A levezetések alapján a vízszintes csúsztató feszültségek számításakor a belső erők karja a szabályzatban előírt $h - \frac{x}{2}$ helyett $h - x$ lenne. Emiatt $x = \frac{h}{2}$ esetén 50%-kal több nyíróvasalásra lenne szükség. E levezetések kísérleti alátámasztást igényeltek.

Garay L. (1953) levezetései elvi helyességét más módon Dulácska E. (1954) is igazolta.

Dulácska E. (1957) képleteket vezetett le az n -es és n -mentes méretezési módra, állandó és változó vastagságú tartóra. A levezetett képletekkel fennáll a tartó belső erőinek az egyensúlya.

A levezetések szerint állandó vasalású és állandó keresztmetszetű tartó n -mentes módszerrel nem tárgyalható, mert határállapotban — egy rövid átmeneti szakasz kivételével — a nyírásra igénybe vett tartórész rugalmas feszültségállapotú.

Ha az állandó keresztmetszetű tartó nyírófeszültségeit a legnagyobb nyomaték helyén meghatározott belső erők karjával számoljuk, akkor ha a nyomatéki és nyíróerő maximumok nem esnek egybe, a biztonság javára hibázunk. Ellenben, ha a nyomatéki és nyíróerő maximumok helyei egybeesnek (pl. többtámaszú tartó közbenső támasza), akkor a biztonság kárára tévedünk, a hiba $x = 0,5 h$ esetén 50% lehet, ahogy Garay L. (1953) is kimutatta.

Vasbeton gerendák törési elméletével hazánkban is egyre többen foglalkoztak. A Szovjetunióban már az 1949. évi szabályzatokban M. Sz. Borisanszky elmélete alapján írták elő előregyártott vasbeton szerkezetek és hegesztett vasalással készített monolit vasbeton szerkezetek határállapotok jellemzőin alapuló nyírási vasalásának a méretezését. Az 1956. évi szabályzatokban ezt a módszert ajánlották minden vasbeton szerkezet nyírási vasalásának a számítására.

M. Sz. Borisanszky kísérletei alapján azt állította, hogy a nyomott zóna által felvehető nyíróerő (T) függ a repedés hajlásszögétől:

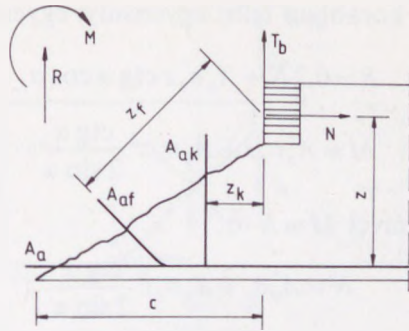
$$T_b = \frac{0,15bh^2\sigma_{bH}}{c},$$

ahol c a ferde repedés vízszintes vetülete (7.14. ábra). Ezzel több szerző nem értett egyet, míg más megállapításait megerősítették.

Hazánkban Gyengő T. (1957) foglalkozott elméletileg és kísérletileg e kérdéssel, Gábor Pál gyakorlati számítási módot ajánlott. Menyhárd I. (1959) a ferde törés elmélete alapján vizsgálta a nyírási vasalást. Kizárva az acélbetétek megcsúszásának a lehetőségét és a túlvasalt szerkezetet, amelyben töréskor az acélbetét nem folyik meg, ferde sík menti törés esetében az alábbi két egyensúlyi feltétel egyidejű teljesítése szükséges:

$$R = \Sigma A_{a1} \sigma_a \sin \varphi \sigma_a + \Sigma A_{a1} \sigma_a + T_b$$

$$M = A_a \sigma_a z + \Sigma A_{a1} \sigma_a z_1 + \Sigma A_{ak} \sigma_a z_k .$$



7.14. ábra. A belső erők a nyírási repedésben Borisanszky szerint [Menyhárd I. (1959)]

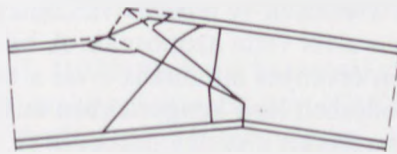
A képletekben A_{af} a repedési keresztmetszeten átmenő felgömbített acélbetétek, A_{ak} a kengyelek keresztmetszeti területe, T_b pedig a beton nyomott öve által felvett nyíróerő.

Fenti egyenletek érvényességéhez hozzátartozik, hogy a repedés megnyílásával a repedésben lévő acélbetétek megfolynak, könnyen alakíthatók és a repedés irányára merőlegesen görbülnek el (7.15. ábra).

Ezt feltételezik általában, így M. Sz. Borisanszky és Gyengő T. (1957), Menyhárd I. (1959), Gyengő T.—Menyhárd I. (1960) is. A beton nyomott zónája által felvehető nyíróerő a nyomóerőnek $1/5$ — $1/6$ -a. Menyhárd I. (1959) kutatásai szerint a Mohr törési elméletével is igazolható a kb. $1/6$ érték.

Menyhárd I. (1959) levezette azt a legkisebb nyírási vasalást, amely a ferde repedés menti törést meggátolja. A számítás egyszerűsítése céljából feltételezte a következőket:

- a vizsgált tartókeresztmetszetben mind a beton, mind az acélbetét hajlékony állapotban van;
- a beton nyomott zónája legfeljebb a nyomóerő 20% -ának megfelelő nyíróerőt tud felvenni anélkül, hogy a nyírás csökkentené a beton nyomószilárdságát;
- a repedés végpontja a nyomott betonzóna súlypontja;
- a repedésen átmenő ferde acélbetétekben és kengyelekben keletkező húzóerő iránya merőleges a repedésre, az alsó acélbetétekben fellépő húzóerő iránya pedig az acélbetétekével egyezik meg.



7.15. ábra. Menyhárd I. (1959) szerint a nyírási repedésre merőlegesen meggömbülnek

Eme feltevésekkel a korábban felírt egyensúlyi egyenletek a következőképpen alakulnak:

$$R = 0,2N + A_a \sigma_a z \operatorname{ctg} \alpha \cos \alpha$$

$$M = A_a^* \sigma_a z + A_a \sigma_a z^2 \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{2 \sin \alpha}.$$

A második egyenlet, mivel $M = N \cdot z$:

$$N = A_a^* \sigma_a + A_a \sigma_a z \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{2 \sin \alpha}$$

alakban írható fel. A képletekben A_a a nyírt vasalás fajlagos értéke, A_a^* a repedés végén lévő húzott acélbetétek keresztmetszeti területe.

Menyhárd I. (1959) kimutatta, hogy a törési elmélet szerint kevesebb nyírt acélbetét szükséges ott, ahol

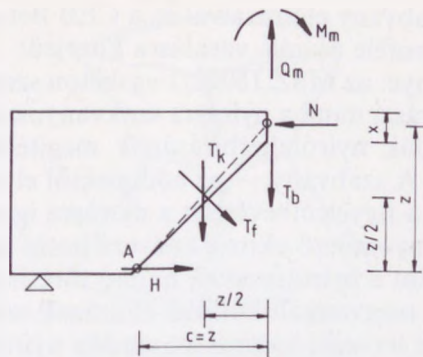
$$R < 0,4 \frac{M}{z} \quad (\text{felhajlított acélbetétek}),$$

$$R < 0,31 \frac{M}{z} \quad (\text{kengyelek}).$$

A törési elmélet kritikájaként megállapította, hogy a keresztmetszetben mindenütt határállapotot tételez fel. Ha azonban a keresztmetszetben túl sok a húzott acélbetét (pl. többtámaszú tartók nyomatóki zéruspontja körül, vagy a nyomóerő kicsi, tehát vagy az acélbetét, vagy a beton nincs képlékeny állapotban), akkor az elmélet túlzott acélbetétet ad. Általában többtámaszú tartók és keretek támasz feletti keresztmetszete körül ad megbízható eredményt. *Menyhárd* szerint a végleges megoldás a klasszikus és a ferde törés elméletének szerencsés szintézisétől várható. A mai nyírási előírások alapjait *F. Leonhardt* és *R. Walther* (1962) kísérletei képezik.

Dulácska E. (1954, 1957, 1983) hajlított vasbeton tartók nyírófeszültségeinek a számításával foglalkozott.

Dulácska E. (1962) *Gyengő T.* (1957) eljárásának gyakorlati célra használható egyszerűsítésére tett javaslatot. Feltételezte, hogy a nyomott betonöv a nyomóerő együtödének megfelelő nyíróerőt fel tud venni, amit *Gyengő T.* (1957) kísérletileg, *Menyhárd I.* (1959), *Goschy B.* és *Balázs Gy.* (1961), valamint *Dulácska E.* (1960), *Juhász B.* (1967) elméletileg is igazolt. Nem fogadta el *Menyhárd I.* (1959) kengyelek deformációjára vonatkozó feltevését. A nyomott övben a szabályzatokban megengedett x_0 értéknek legfeljebb 80%-ára vette fel x értékét. A repedés vízszintes vetületének a hosszát nem $c = h$ -val, hanem $c = z$ -vel vette azonosnak. A belső erők karját a legnagyobb nyomatók helyén érvényes minimális z -vel a tartón végig állandónak tekintette. Végül a repedésben lévő kengyelekben és felgörbített acélbetétekben ható erők eredője a repedés közepén működik (7.16. ábra). A vizsgálatot változó magasságú tartóra is elvégezte.



7.16. ábra. Az erők felvétele a nyírt keresztmetszetben *Dulácska E.* (1962) egyszerűsítő számítása szerint

Kimutatta, hogy az összes elméletileg szükséges acélmennyiség szempontjából közömbös, hogy kengyelt vagy 45°-os ferde nyírási vasalást alkalmazunk-e, mert a kétféle vasalással az összacélmennyiség azonos.

Dulácska E. (1962) a T keresztmetszetű hajlított vasbeton tartó elméleti nyírási vizsgálatát is elvégezte kétféle együttdolgozó lemezszélességgel és kétféle négyszögkeresztmetszettel (a négyszög magassága a T-tartó magasságával egyezett meg), előbbiekben ismertetett számítási feltevésekkel. Fontosabb megállapításai:

- a T keresztmetszetű tartó nyomott öve nagyobb nyíróerőt tud felvenni, mint a gerinccel azonos szélességű négyszög, de kisebbet, mint a befoglaló négyszög;
- gyakorlati számításokhoz megfelelő az a feltételezés, hogy a nyomott zónában a határnyíróerő (T_h) a nyomóerőnek (N) a 20%-a, azzal a szabályzati korlátozással, hogy a T-keresztmetszetbe csak annyi acélbetét helyezhető, mint a gerinccel teljes kihasználás esetén;
- pontosabb vizsgálatokhoz jól használható a

$$v = \frac{T_h}{N} = \alpha \left(1 - \frac{N}{N_{\max}} \right) \approx \alpha \left(1 - \frac{M}{M_{\max}} \right)$$

összefüggés, ahol $\alpha = 0,3-0,5$;

- bírálta *Gyengő T.—Egresi M.* (1960) nyírási kísérleteit amiatt, mert a gerendák nem nyírást, hanem a beton morzsolódása miatt mentek tönkre.

Holnapy D. (1960) szimmetrikus háromszögszelvényű tartók nyírási vizsgálatát mutatta be. *Garay L.* (1953) kritikai megjegyzéseket tett az új szabályzati előírásokra.

Bölskei E.—Kármán T. (1970) azokat a kutatásokat ismertette, amelyeket *Bölskei Elemér* irányításával egy kutatócsoport (*Gnädig Béla, Kármán Péter, Kármán Tamás, Knébel Jenő, Lenkei Péter*) végzett. Az MSZ 15022/1 szabvány előírásait vetették egybe az SZNP szovjet, az ACI (318—63) amerikai,

a DIN 1045 német szabvány előírásaival és a CEB Betonbizottság ajánlásaival. A vizsgálat mindenféle nyírési vasalásra kiterjedt.

A vizsgálat eredménye: az MSZ 15022/1 vasbeton szerkezetekre vonatkozó szabványtervezet előírásai mind a nyírásra szokványosan vasalt, mind nyírásra nem vasalt gerendák nyíróteherbírásának megítélésében megfelelnek a nemzetközi átlagnak. A szabvány — az eddigiektől eltérően — megengedi a nyomóerő 10%-ának a figyelembevételét a nyírásra igénybe vett keresztmetszetek számításánál a nyomóerő okozta kedvező hatás számításbavételénél. A szabványtervezet szerint a nyírótörésnek hajlító töréshez viszonyított biztonsága nagyobb, mint a megvizsgált külföldi előírások szerint. A ferde kengyelekkel vasalt gerendák tervezet szerinti maximális nyíróteherbírása nagyobb, mint a többi előírások szerint számított, de még így is lényegesen alatta marad a kísérletekkel igazolt eredményeknek.

Dulácska E. és Dulácskáné Szederjei I. (1972) előregyártott és helyszíni beton csatlakozásának nyíróteherhúzására adott meg értékeket. Dulácska E. és Tarnai T. (1972) vasbeton rudak csavarását ismertette.

7.4.4. Nyomásra igénybe vett vasbeton elemek méretezése

[*Beke J.—Richter K. (1906), Palotás L. (1956), Szalai K. (1957), Mihailich Gy.—Haviár Gy. (1966)*]

a) **Központos nyomásra** igénybe vett elemek méretezése során kezdetben többféle javaslat érvényesült.

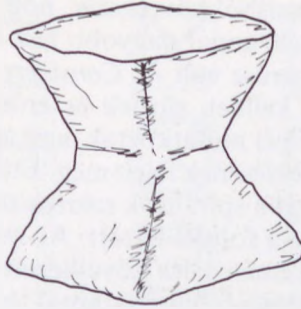
F. Hennebique nem vette figyelembe az acélbetét és a beton eltérő rugalmassági modulusát. A betonra 2,5—3,0 MPa, az acélbetétre 100—120 MPa volt a megengedett feszültség. A kihajlás veszélyének a megelőzésére az Euler-képletből kiindulva

$$I \geq 600 F l^2$$

értéket írtak elő, ahol I a legkisebb tehetetlenségi nyomaték (cm^4), F a nyomóerő (kN), l az oszlop hosszának háromnegyede (m). Ez a képlet kb. 8-szoros biztonságot adott kihajlásra.

W. Ritter már figyelembe vette a beton és az acél rugalmassági modulusa közötti eltérést, $n = E_a : E_b$ értékét kezdetben 10-re vette fel, később az $n = 20$ értéket is megengedhetőnek tartotta. *Beke J. és Richter K. (1906)* szerint $n = 15$ lett volna a megfelelőbb. A betonban a megengedett feszültség 3,0—4,0 MPa, az acélbetétben 60 MPa volt. *W. Ritter* a kihajlás veszélyének a figyelembevételére az oszlopra ható nyomóerő $1 + 0,0001 \frac{l^2}{i^2}$ -tel való növelését vagy a megengedett feszültség csökkentését ajánlotta (l a rúd hossz 3/4-e, i a legkisebb inerciasugár).

A porosz vasbetonszabályzat a kihajlás veszélyének vizsgálatára az Euler-képlet használatát írta elő, azaz



7.17. ábra. Kocka törésképe

$$F = \frac{\pi^2 E_b I}{n l^2}$$

A képletbe $E_b = 14000$ MPa, $n = 10$, I -t cm^4 -ben, l -t m-ben, F -et 10 kN-ban kellett behelyettesíteni.

A minimális inercianyomaték

$$I \geq 725 F l^2$$

értékre adódik, ami valamivel nagyobb a *Hennebique* által javasoltnál.

C. *Bach* kísérletei és F. E. *Emperger* felfogása szerint az acélbetét nem vesz részt a teherviselésben, csak azt segíti elő, hogy a nagyobb méretű oszlopban is a kisebb méretű próbakocka szilárdsága érvényesüljön.

Kialakult az a szabály, hogy a központos nyomásra igénybe vett oszlopban az acélbetét keresztmetszeti területe ne legyen kisebb az oszlopkérsztmetszet 1%-ánál és ne legyen több 2,5—3%-ánál. Továbbá a porosz miniszteri szabályzat szerint az oszlopban fellépő nyomófeszültség a beton kockaszilárdságának csak legfeljebb egytizede lehetett.

A. *Considère* spirális kengyelezésű, központosan nyomott vasbeton oszlopokkal kísérletezett és kísérletei alapján a teherbírás meghatározására az

$$F = 1,5 \sigma_b A'_b + \sigma_a (A_a + 2,4 A'_a)$$

képletet vezette le. A képletben σ_b a beton hasábszilárdsága, σ_a az acélbetét folyási határa, A'_b a beton keresztmetszeti területe a spirálkengyel súlyvonaláig mérve, A_a a hosszirányú, A'_a a spirális kengyelekkel azonos tömegű hosszirányú acélbetétek keresztmetszeti területe.

Considère kísérletei kihangsúlyozták a kengyelezés szerepét.

Ha betonkockát törővizsgálatnak vetünk alá, akkor a beton az erő irányában összenyomódik, míg az erő irányára merőlegesen megnyúlik. Mivel a súrlódás az acél nyomólapokon meggátolja a keresztirányú alakváltozást, ezért a keresztirányú nyúlás csak a nyomólapoktól távolodva alakulhat ki. Így alakul ki a 7.17. ábrán látható törésképe. A beton azáltal megy tönkre, hogy a keresztirányú nyúlása eléri nyúlóképeségét. A keresztirányú nyúlás pedig a hosszirányú nyúlás ν -szöröse (ν a Poisson-tényező).

Ebből a törési mechanizmusból következik, hogy minél jobban fékezzük a beton keresztirányú nyúlását, annál nagyobb lesz a beton teherbírása.

E jelenség kísérleti felismerése volt A. *Considère* érdeme.

Ha a spirális kengyelek kellően sűrűek és erősek voltak, akkor az első repedések kb. olyan terhelésnél mutatkoztak, ami az azonos anyagú közönséges vasbeton oszlop törőterhelésének felelt meg. Ettől az erőtől kezdve a külső betonháj levált és jelentkezett a spirálisok szerepe mindaddig, amíg a spirálisban a feszültség el nem érte a folyási határt. Az oszlop még ekkor sem esett szét, mert a spirálisban felkeményedés következett be, ami további erőnöveledést tett lehetővé. A. *Considère* a folyási határnál tételezte fel a törést. Kísérletei szerint (és ez a képletből is tükröződik) annál nagyobb a spirális okozta erőnövekedés, minél több és minél nagyobb szilárdságú a spirális vasalás. A. *Considère* a spirálkengyelek hatását azáltal vette figyelembe, hogy a beton hasábszilárdságát 1,5-szeresére, másrészt a spirálisokat helyettesítő A'_a -t 2,4-szeresére növelte.

A. *Considère* állította fel az első empirikus képletet spirálkengyelezésű vasbeton oszlopok méretezésére. Elméleti összefüggés felállítása továbbiakban is nehézségekbe ütközött, mivel háromtengelyű feszültségi állapotot, a rugalmassági modulus és a Poisson-tényező terheléstől függő változását kellett volna figyelembe venni.

Egyébként L. *Bach* kísérletei (Beton und Eisen, 1905. XII. füzet, 350. old. és 1906. I. füzet 14. old., II. füzet 38. old.) kimutatták, hogy azáltal is növelhető oszlop teherbírása, ha a beton keresztirányú nyúlását négyzet alakú kengyelekkel vagy keresztikötésekkel (7.18/a ábra) akadályozzák. Az a szabály alakult ki, hogy a hosszbetéteket körülvevő kengyelek, keresztikötések távolsága az oszlop szélességénél, ill. átmérőjénél kisebb legyen. Felismerték, hogy a kengyelek fontos feladata a hosszbetétek kihajlásának a meggátlása, mivel a hosszbetét csak kifelé tud kihajolni. A kengyelek távolsága tehát a hosszbetét átmérőjének is függvénye.

Az 1906. évi francia miniszteri rendelet magyarázó része szerint a kengyelek és spirálisok okozta szilárdságnövekedés $1 + m \frac{A'_a}{A_b}$ szorzótényezővel vehető számításba. Az m a keresztirányú vasalástól és annak sűrűségétől függő változó, éspedig kengyelek esetén 8—15, spirálisok esetén 15—32.

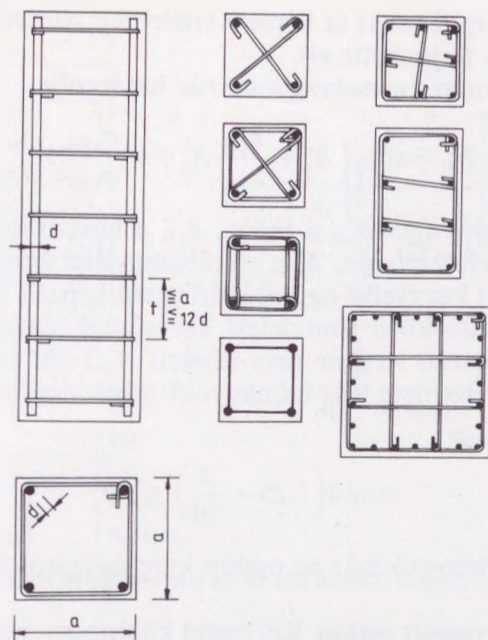
Ennek a figyelembevételével született E. *Mörsch* javaslata, amely szerint a konstans betonfeszültség és az F központosan ható terhelés közötti összefüggés az

$$F = \sigma_b A'_i$$

képletből számítható, ahol A'_i az oszlopszilárdságot meghatározó három tag függvénye:

$$F'_i = A'_b + n A_a + m A'_a .$$

m annál nagyobb, minél nagyobb a spirális folyási határa és minél kisebb a beton szilárdsága. E. *Mörsch* német és francia kísérletek szerint úgy ítélte meg, hogy ha a beton szilárdsága 12, 14, 16, ill. 18 MPa, akkor m értéke 66, 58, 44, ill. 36.



7.18. ábra. Oszlopok kengyelezése és keresztkötései [Mihailich Gy. (1922)]

A német vasbetonszabályzat $m=45$ értéket írt elő, a menetmagasságra pedig a spirálvasalás súlyvonala átmérőjének egyötödét, de legfeljebb 8 cm-t.

A spirális kengyelezésű oszlop akkor előnyös, ha terhelése központos. Ha az oszlop hajlítva van, akkor már hátrányos, mert a hosszanti vasalás nagy része az oszlop belsejébe esik [Mihailich Gy. (1922)].

A II. világháború után a törési elmélet alapján való méretezést írták elő [Gábory P.—Menyhárd I.—Rózsa M. (1951)].

Központosan nyomott rúd esetében a határerőt

$$N_H = \alpha \sigma_{bH} \left(A_b + \frac{\sigma_{aH}}{\sigma_{bH}} A_a \right)$$

képletből kellett számítani. A képletben σ_{bH} , ill. σ_{aH} a beton, ill. az acél határfeszültsége, A_b , ill. A_a a beton, ill. az acél keresztmetszeti területe,

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda}{70} \right)^2} \leq 0,8$$

a kihajlási veszélyt számításba vevő, $\lambda = l_0/i$ karcsúságtól függő tényező, ahol l_0 az oszlopnak a befogástól függő kihajlási hossza, i pedig a keresztmetszet legkisebb inerciasugara. Közönséges oszlopok karcsúsága 105-nél, falak vagy legalább $0,5 \text{ m}^2$ keresztmetszeti területű oszlopok karcsúsága

140-nél nagyobb nem lehetett (α képlete eredetileg *Navier-től* származik, *W. Ritter* és *E. Mörsch* terjesztette el).

Központosan nyomott csavarkengyeles rúd határerője

$$N_H = \alpha \sigma_{bH} \left(A'_b + \frac{\sigma_{aH}}{\sigma_{bH}} A_a + m \frac{\sigma'_{aH}}{\sigma_{bH}} A'_a \right)$$

képletből számítandó, ahol σ_{bH} a beton, σ_{aH} a hosszirányú acélbetét, σ'_{aH} a csavarkengyel határfeszültsége, A'_b a spirálkengyellel körülcsavart beton, A'_a a csavarvonal alakú kengyellel egyenlő térfogatú képzelt hosszirányú acélbetét területe, α az előzőekben ismertetett karcsúsági tényező. A hosszirányú acélbetét keresztmetszeti területe nem lehetett $A'_c/3$ -nál kisebb és a határerő acélbetétekre jutó része nem lehetett nagyobb a betonra jutó rész másfélszeresénél:

$$m = 4 \left(1,25 - \frac{\lambda}{70} \right) \leq 3,0.$$

Tehát az m növelőtényező már az oszlop karcsúságától is függött.

b) Külpontosan nyomott oszlop. Két esetet különböztettek meg. Ha az eredő erő a belső magon belül hatott (7.19/a ábra), akkor A. *Considère* a szélsőszál feszültségeit a betonban

$$\sigma_b = \frac{F}{A_b} + \frac{M}{K}$$

képlettel számította, ahol F a külső erő, M a külső erő nyomatéka a súlypontra, A_b a betonkeresztmetszet területe, K pedig keresztmetszeti modulus. A súlypont helyét a betonkeresztmetszet és az n -szeres acélkeresztmetszet figyelembevételével határozták meg.

Ha az erő a belső magon kívül hatott (7.19/b ábra), akkor a betonhúzásokat általában elhanyagolták. Derékszögű négyszög keresztmetszet esetében a semleges tengely helyét a beton és az acél rugalmassági modulusával harmadfokú egyenletből határozták meg. Az acélbetét és a beton feszültségeit az egyensúlyi egyenletekből számították.

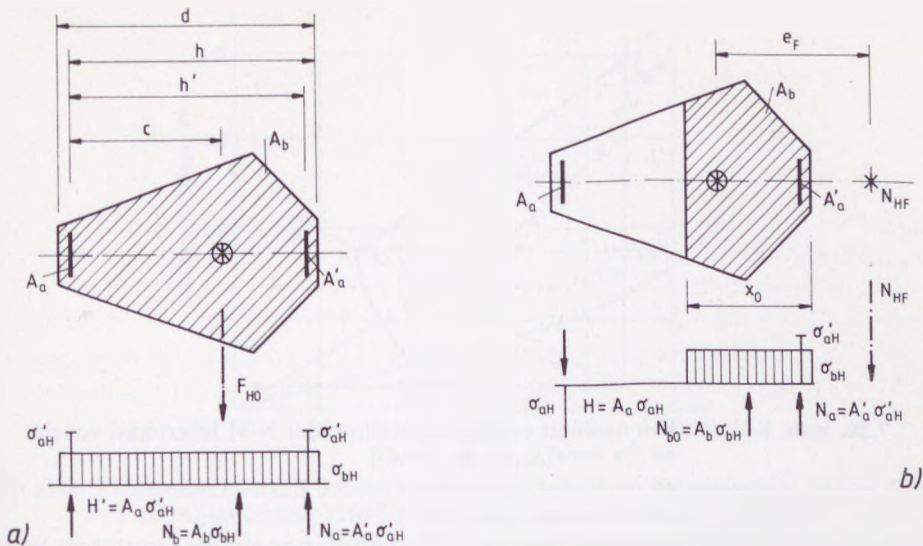
T alakú keresztmetszetben a bordanyomásokat általában elhanyagolták.

Nagy külpontosságú nyomóerővel terhelt, általános keresztmetszetű vasbeton oszlop méretezésére *Mihailich* Győző és *Mohr* grafikus eljárást dolgozott ki.

A második világháború után megjelent szabályzatok a törési elmélet alapján a határerő számítását írták elő [*Gábor* P.—*Menyhárd* I.—*Rózsa* M. (1951), *Gábor* P. (1951)].

Mértékadó nyomóerőnek a betonkeresztmetszet súlypontjára vonatkozó e külpontosságát a

$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma}} \left(\frac{\lambda}{70} \right)^2}$$



7.19. ábra. Külpontos nyomás esetei a) az erő a belső magon belül, b) kívül hat

tényezővel való szorzás útján meg kellett növelni, és a határerőt a megnövelt $e_0 = \psi \cdot e$ külpontság figyelembevételével kellett meghatározni. A képletben $\gamma = \frac{\sigma_{bH}}{\sigma'_b}$, ahol σ_{bH} a beton határfeszültsége, σ'_b pedig a mértékadó nyomóerőből az acélbetétek figyelembevétele nélkül számított betonfeszültség, λ a nyomott elem karcsúsága.

A határerőt a hajlításra megadott elvek szerint kellett számítani. Ha azonban a beton húzott és nyomott részét elválasztó határegyenes x távolsága x_0 -nál nagyobb volt, akkor a húzott acélbetétek határfeszültségét (σ_{aH}) le kellett csökkenteni (σ_{ar}) a következő képlet szerint:

$$\sigma_{ar} = \sigma_{aH} \frac{h-x}{h-x_0}$$

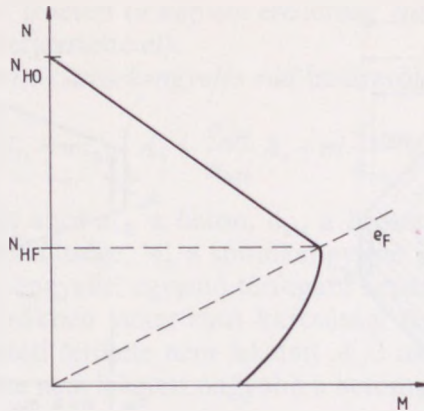
Dulácska E. (MÉ 1966, 138—139 o.) és Szalai K. (1966) egyszerűsített eljárást ismertetett kis külpontságú nyomott vasbeton oszlopok méretezésére. Ha a külpontság (e) a belső magnál kisebb, azaz $2e/d \leq 0,6$, akkor a határerő

$$N_H = N_{H0} \left(1 - \frac{2e}{6}\right)$$

képletből számítható. A képletben

$$N_{H0} = bh\sigma_{bH} + A_a\sigma_{aH}$$

a derékszögű négyszög keresztmetszetű oszlop kihajlás nélküli központos határerője. Az 1971. évi szabályzatban Szalai K. javaslatát fogadták el, ami azóta is érvényes.



7.20. ábra. Külpontosan nyomott vasbeton keresztmetszet N - M teherbírási vonala [Szalai K. (1966)]

Dulácska E. (MÉ 1966) és *Szalai K.* (1976) általános eljárást mutatott be kis külpontossággal nyomott vasbeton oszlopok méretezésére abból kiindulva, hogy a kis külpontossági tartományban az N - M teherbírési vonal egyenes (7.20. ábra).

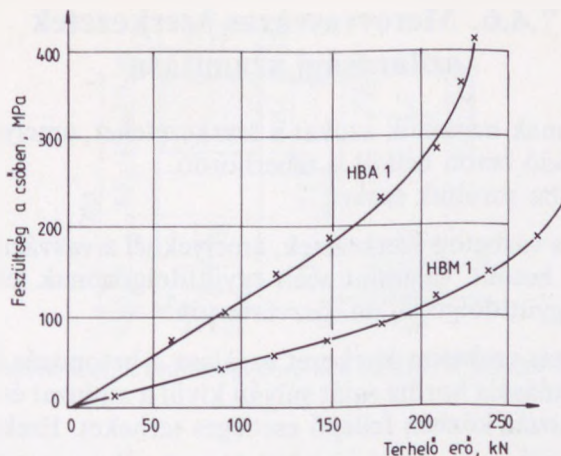
7.4.5. Nyomásra igénybe vett kibetonozott acélső méretezése

A kibetonozott acélsövek erőjátékával a törési elmélet alapján *Palotás L.* (1973) részletesen foglalkozott. Két alapesetet különböztetett meg: a teher a teljes keresztmetszeten, ill. csak a betonmagon működik.

Utóbbi esetben a teherátadást következőképpen tételezte fel. A teherátadás helyén az acélső feszültségmentes. Az erőátadás helyétől távolodva — a beton gátolt alakváltozása miatt — a beton az acélsőre nyomást ad át, abban gyűrűirányú feszültségek keletkeznek. A beton és az acélső közötti felületi kötés, valamint a belső betonnyomás miatti súrlódás hatására — távolodva az erőátadás helyétől — az acélsőben növekvő tengelyirányú nyomófeszültségek keletkeznek. Végeredményben mind a betonban, mind az acélsőben háromirányú feszültségek lépnek fel.

A BME Beton- és Vasbetonépítési Laboratóriumában B 430, B 200, B 60 jelű betonnal, ill. homokkal kitöltött acélsöveket vizsgáltak és sorrendben 4510 kN, 4130 kN, 3490 kNm, ill. 307 kN törőerőt kaptak. A törést *Palotás L.* azzal az erővel jellemezte, amelynél az acélsőben a redukált feszültség elérte a folyási határt. Az acélsőre a *Huber—Mises—Hencky* folyási feltételt, a betonra *Mohr* töréselméletét alkalmazva a törőerőre (az erő a betonmagot terhelte)

$$F_t = F_f = A_b \sigma_{bt} + 0,7 A_a \sigma_{af} + A'_s \sigma'_{af},$$



7.21. ábra. Központosan terhelt acélcső feszültségei a terhelőerő függvényében. Jelölés: HBA 1 köpenyen terhelt; HBM 1 betonmagon terhelt [Varga L. (1988)]

a határerőre

$$F_H = A_b \sigma_{bH} + 0,6 A_a \sigma_{aH} + A'_a \sigma'_{aH}$$

képletet kapta, amelyben A_b a beton, A_a az acélcső, A'_a a hosszirányú acélbetét keresztmetszeti területét jelenti, σ_{bt} , σ_{at} , σ'_{at} ugyanebben a sorrendben az acélcső, az acélbetét folyási határa, ill. ugyanezeknek a határfeszültsége.

A kibetonozott acélcső (vagy azbesztcement nyomócső) oszlop gyakori volt az 1950—1970 években. Az oszlopot rendszerint a betonmagon terhelték (pl. METRO gyalogaluljáró oszlopok). Az ilyen oszlopok méretezésére az 1971. és 1986. évi MSZ 15021/1 szabványok tartalmaztak előírásokat. A zsaluemeleléses LIFT-FORM technológia (lásd 6.6.1. fejezet) során a *födém terhét* az acélcső palástjára felhegesztett, *diafragmákkal merevített acélgallérokra adják át*. Bár a cső és a beton közötti erőátadásra a födémmagasságban kengyeleket hegesztenek a cső belső oldalára, valószínű, hogy az erőátadás a köpenyen következik be.

Az acélcső teherviselését általában kísérletekkel határozzák meg. Varga L. (1988) kísérletei során 15 kibetonozott, kettő homokkal töltött és 10 üres csövet terhelt meg. Azt az eredményt kapta, hogy a *köpenyen terhelt acélcsőben* azonos terhelőerőből sokkal nagyobb (2-3-szoros) feszültségek keletkeznek, mint a betonmagon terheltben (7.21. ábra).

A kísérlethez használt acélcső jellemzői: átmérője 76 mm, falvastagsága 2,9 mm, az acél jele 45.B, folyási határa 366 MPa. A beton jele C20-8/KK volt.

7.4.6. Merevasvázás szerkezetek szilárdsági számítása

Merevasvázásnak nevezzük azokat a szerkezeteket, amelyekben a vasváz a hozzá kapcsolódó beton nélkül is teherhordó.

Két fő csoportba soroljuk ezeket:

- merevasvázás vasbeton szerkezetek, amelyeknél a vasvázat teljesen bebetonozzák és a betont, valamint acélt együttdolgozónak tekintik;
- acéltartóval együttdolgozó, ún. öszvértartók.

A merevasvázás vasbeton szerkezet vasalása a betonozás előtt és utána a beton megszilárdulásáig hordja saját súlyán kívül a zsaluzat és a beton súlyát, valamint a betonozás közben fellépő esetleges terheket. Ezeket tehát

- az építés alatti állapotra, és
 - a végleges, használati állapotra
- kell méretezni.

Gyengő T.—Menyhárd I. (1960) könyvükben ismertették a merevasvázás szerkezet két fő csoportja szerkesztési szabályait és méretezési módját.

Hazánkban az 1951. évi Közúti Hídszabályzatban, majd az 1957. évi magasépítési szabályzatban (MSZ 15022/5) szabályozták először a merevasbetétes szerkezetek tervezését. A magasépítési szabvány előírásai olyan merevasbetétes vasbeton szerkezetekre vonatkoznak, amelyek húzott övében legalább 2%, de a teljes keresztmetszetben legfeljebb 8% a keresztmetszet térfogatára vonatkoztatott acélmennyiség. A tapasztalat szerint a nagyobb acéltartalmú szerkezetekben a törés közelében a beton és az acél elválik egymástól.

Csellár Ö. és Korda J. (1974) az új szabályzati előírásokat indokolták és bemutatták a szabvány előírásai szerinti számítást. A cikk a méretezés minden esetére kitért.

A 7.22. ábra szerinti hajlított tartó ellenőrzésének menete a méretekből és a feszültségi ábrából adódóan:

A semleges tengely helyét a belső erők egyensúlyából számítjuk:

$$N = H$$

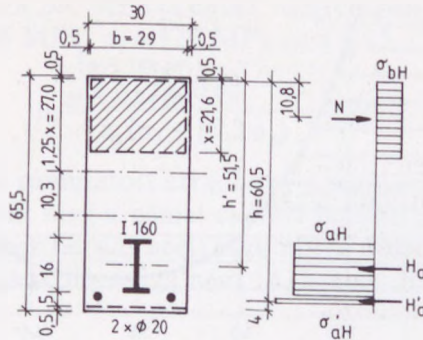
$$A_a \sigma_{aH} + A'_a \sigma'_{aH} = x b \sigma_{bH},$$

ebből

$$x = \frac{A_a \sigma_{aH} + A'_a \sigma'_{aH}}{b \sigma_{bH}}.$$

A keresztmetszetnek a nyomóerő súlypontjára felírt határnyomatéka az acél határerejéből számítva:

$$M_H = A_a \left(h' - \frac{x}{2} \right) \sigma_{aH} + A'_a \left(h - \frac{x}{2} \right) \sigma'_{aH}.$$



7.22. ábra. A keresztmetszet, a feszültségi ábra és a határerők [Csellár Ö.—Korda J. (1974)]

A képletekben szereplő A_a az I-160 jelű tartó, A'_a a húzott acélbetét keresztmetszeti területe, σ_{bH} a beton, σ_{aH} az I-tartó, σ'_{aH} az acélbetét határfeszültsége.

7.4.7. Vasbeton gerendák gazdaságos méretezése

1937-ben megjelent Möller K.—Brzesky A. „Beton és vasbeton” c. könyvének 2. kiadása, amely kitűnő gyakorlati segédkönyv.

A gazdaságos méretezésre két ábrát is megadtak. A 7.23/a ábra azt szemlélteti, hogy a költséggörbének van egy mélypontja, és akörül a görbe ellaposodik. Ez a körülmény azt mutatja, hogy különböző méretekkel vagy különböző betonszilárdságokkal közel azonos költséget lehet elérni.

Möller Károly a vasbeton gerendák gazdaságos méretezésére nomogramot szerkesztett (7.23/b ábra), amelyből a beton árából kiindulva a szükséges vasszázalékot (μ), betonminőséget (σ_b megengedett feszültségből kiszámítható) és a c_1 , c_2 állandót meg lehet határozni. A grafikon készítéséhez Bertalan Imre méretezési képleteit használta fel, következő jelölésekkel:

lemezénél:

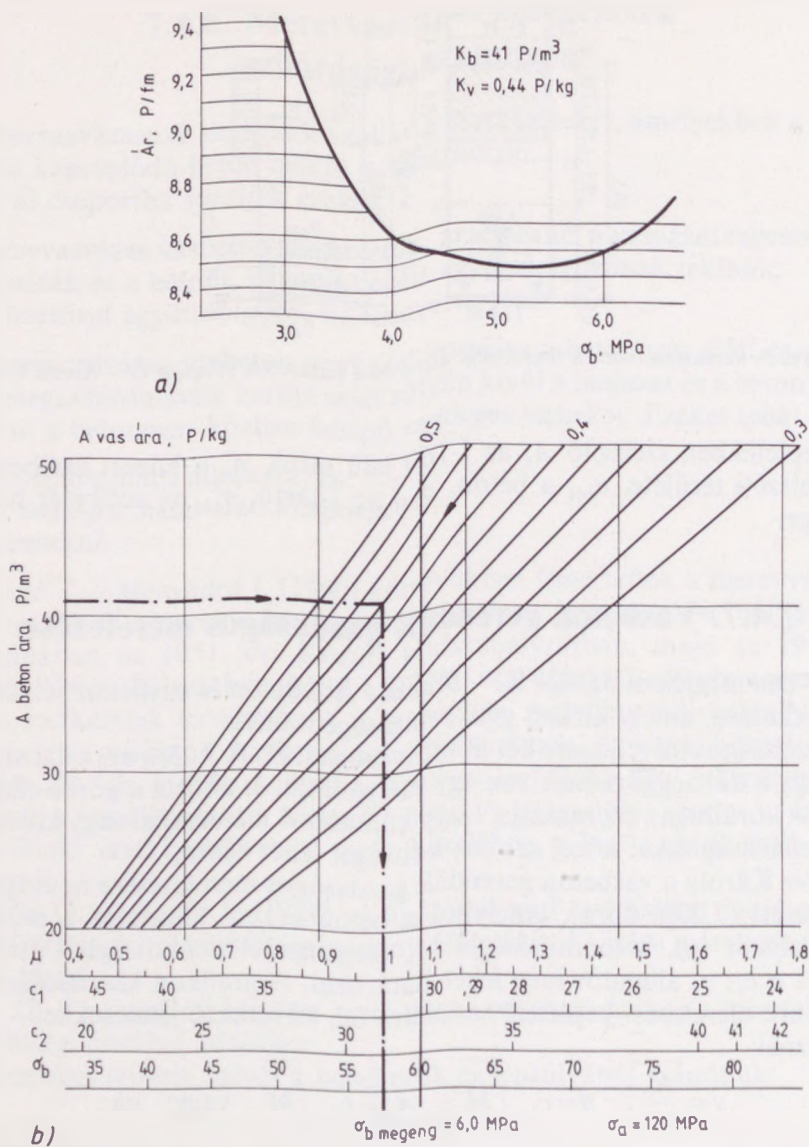
$$v = \frac{K_b}{K_a}; \quad d = c_1 \sqrt{M}; \quad A_a = c_2 \sqrt{M} \quad \text{vagy} \quad \mu h;$$

gerendánál:

$$d = c_1 \sqrt{\frac{M}{b}}; \quad A_a = c_2 b \sqrt{\frac{M}{b}} \quad \text{vagy} \quad \mu b h.$$

A képletekben K_b a beton, K_a az acél ára bármely pénznemben, M a terhelőerők nyomatéka mkg-ban (10 mN), b a gerenda szélessége, d a magassága cm-ben, μ a vasszázalék.

Möller Károly a betonozásban 5% ártöbbletet vett számításba a betonfedésre, a vasárban pedig 25%-ot vett figyelembe a kengyelezésre, kampókra, felhajlításra, hulladéokra.



7.23. ábra. Vasbeton gerendák gazdaságos méretezése. a) A vasbeton gerenda ára, mint a beton megengedett feszültségének a függvénye adott árarány esetén; b) méretezési nomogram ($P = \text{Péngő}$) [Möller K.—Brzesky A. (1937)]

Möller Károly rámutatott arra, hogy a kísérletek szerint a 0,8—1,2% vasalású vasbeton gerenda az acélbetét megnyúlása és nem a beton morzsolódása miatt megy tönkre. Emperger szerint az a vasalás, amely alatt a hordképességet kizárólag az acélbetét dönti el és a betont nem is kell ellenőrizni, a következőképpen számítható. Ha a beton habarccsilárdsága 14 MPa, az

acélbetét folyási határa 240 MPa és ennek megfelelően a megengedett feszültség sorrendben $\sigma_b = 6$ MPa, $\sigma_a = 120$ MPa és $n = 15$,

$$\mu_0 = \frac{1250 \sigma_b^2}{\alpha_a (\sigma_a + 19,3 \sigma_b)} = 1,59\%.$$

Möller Károly már rámutatott arra, hogy a nagy szilárdságú acélbetéteket (ebben az időben jelent meg a német csavart bordás acél és TOR-acél, valamint az amerikai keresztbordás acél) csak akkor lehet gazdaságosan kihasználni, ha a beton kockaszilárdsága nem 14, hanem 20 vagy inkább 30 MPa.

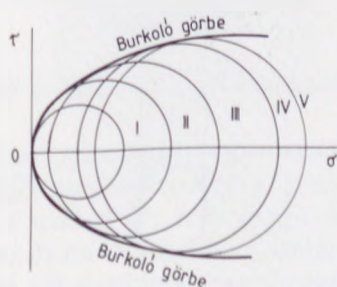
7.4.8. Mohr töréselmélete

Mohr 1882-ben állította fel töréselméletét, amelyet még ma is legjobbnak tartanak beton- és vasbeton szerkezetek törési határállapota leírására.

Mohr szilárdsági hipotézisének legfontosabb tétele, hogy a legnagyobb és a legkisebb főfeszültségekből megszerkeszthető, törést előidéző feszültségi állapotokra jellemző feszültségi köröknek burkológörbéje van (7.24. ábra). A törés tehát a normális (σ) és tangenciális (τ) feszültségektől függ, és ezt az összefüggést fejezi ki a burkológörbe.

Mohr szilárdsági elmélete eme tétele alapján magyarázható meg pl. *Mörschnek* a stuttgarti anyagvizsgáló intézetben csavarvonalkengyeles oszlopok törési vizsgálata során szerzett ama tapasztalata, hogy miután a spirálvasalás megfolyt, a kengyeleken kívül eső héj levált, a betonmag teljesen repedésmentes maradt, a beton képlékenyen viselkedett. A nyomóterhelés további növelésekor a spirálkengyelben a feszültségek a szilárdulási szakaszba jutottak, ezáltal a beton fajlagos megrövidülését fékeztek.

Ez a jelenség magyarázatot lel *Kármán* Tódor kísérletei alapján. *Kármán* körhenger alakú márványoszlopokat nyomásra vizsgált és egyidejűen a henger külső köpenyfelületét folyadéknyomással terhelte. A keresztirányú alakváltozást így meggátolta, ezáltal a henger nyomószilárdságát szinte korlátlanul növelni lehetett. A rideg márvány képlékeny alakváltozásra lett képes anélkül, hogy eltört volna. Közben a terhelés során az egytengelyű nyomásra igénybe vett márványoszlophoz képest többszörösére rövidült meg.



7.24. ábra. A törési állapotra jellemző feszültségi körök Mohr szerinti burkológörbéje

7.5. A lassú alakváltozás (kúszás) hatása vasbeton tartókra

7.5.1. A zsugorodás és lassú alakváltozás fogalma

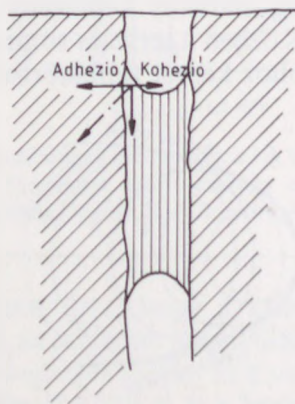
A betonnak van kétféle olyan időben végbemenő alakváltozása, amelyek abban hasonlítanak egymáshoz, hogy a beton kapillárisaiban lévő, kémiaileg le nem kötött víz eltávozásával függnek össze és mégis lényegesen eltérnek egymástól.

Az egyik jelenség a terheletlen beton *zsugorodása*. A zsugorodást kémiai és fizikai okokra vezették vissza. A kémiai zsugorodást elhanyagolják, úgyhogy a zsugorodás jelenségét következőképpen magyarázzák: A beton kapillárisait víz tölti ki. Ha a környező levegőnek kisebb a nedvességtartalma, és ez így van, ha a beton nincs vízben, akkor a betonból víz párolog el, a kapillárisokban konkáv felület alakul ki, a víz felületén húzófeszültségek keletkeznek, amelyek a betonra nyomást adnak át (7.25. ábra). A nyomás hatására a beton összenyomódik, zsugorodik. A zsugorodás mértéke függ a betonváz szilárdságától.

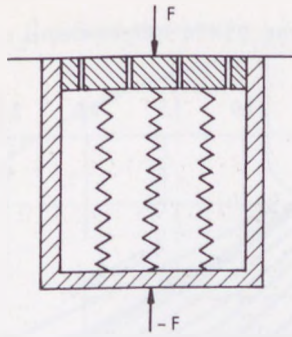
Ha az elkészített betont hagyjuk kiszáradni, akkor a váz gyenge, repedések keletkeznek. Ebben az esetben a zsugorodás jelentős része maradó. Ha viszont a betonváz szilárd a száradás kezdetén (pl. a betont 7 napig vízzel elárasztottuk), akkor a zsugorodás megfordítható, a beton nedvesítésével a zsugorodás csökken.

A zsugorodásra legjobban ható tényező a környező levegő relatív légnedvesség-tartalma.

A zsugorodás végértékét végül is a relatív légnedvesség-tartalom, a vastagság és a beton konzisztenciája függvényében adják meg (pl. MSZ 15022/1-86). Ezenkívül a vasalás csökkenti a zsugorodást.



7.25. ábra. A kapillárisban lévő víz a betonra nyomást fejt ki



7.26. ábra. A lassú alakváltozás folyamatának szemléltetése [Balázs Gy.—Kilián J. (1952)]

A *beton lassú alakváltozása* (kúszása) is a kapilláris pórusvíz feszültségállapotának a megváltozásával függ össze, de míg a zsugorodás esetén a beton száradásának a következménye, lassú alakváltozás a tartós terhelésnek a pórusvízre gyakorolt hatásától függ. A következőképpen magyarázzák: A betonra jutó tartós terhelés bármely keresztmetszetben a betonvázra és a pórusvízre oszlik meg. Mivel a szűk kapillárisok a víz áramlásának ellenállnak, a víz a nyomás elől csak lassan tud kitérni. A pórusvízre ható nyomásnövekedés következtében a víz egy része el is párolog és ez újabb csökkenést jelent. A vízszlop tehermentesülése következtében megnő a betonvázra ható nyomás, végül a terhelés teljes egészében a szilárd vázra támaszkodik, amelyik ennek a hatására alakváltozik.

A beton lassú alakváltozását agyagtalajok konszolidációjához hasonlítják. Nézzük meg a 7.26. ábrát. Egy henger alakú, vizet tartalmazó edényben pontosan becsiszolt dugót helyezünk el, melyet rugók támasztanak alá. Terheljük meg F erővel a dugattyút, amelyben a kapillárisokat helyettesítő szűk nyílások vannak. A terhelés a víz és a rugók között oszlik meg. A rugók a betont, a víz a pórusvizet helyettesíti. A terhelés hatására a dugattyún lévő pórusokon a víz átáramlik, a dugattyú lassan süllyed, a terhelést egyre inkább a rugók veszik fel, miközben összenyomódnak.

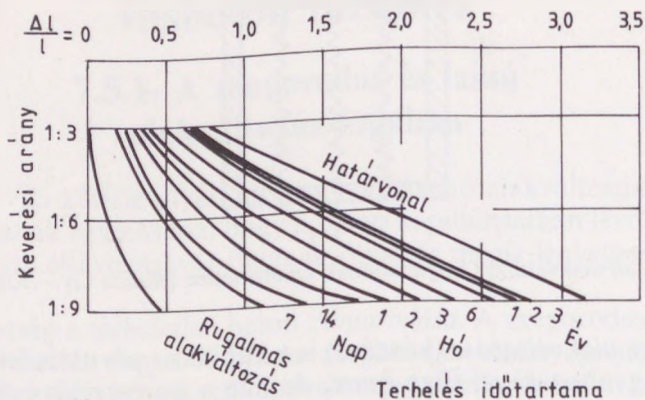
7.5.2. A lassú alakváltozást befolyásoló tényezők

A beton zsugorodásának és lassú alakváltozásának a jelentőségét E. Freysinet tisztázta.

Ahogy a lassú alakváltozás jelenségét megismerték, megkezdődtek a kísérletek a befolyásoló tényezők meghatározására. Ezek:

a) *A beton összetétele, a szilárd váz szilárdsága, kapilláris pórusrendszere.* Minél kevesebb a kapilláris és minél kisebb az átmérője, annál kisebb a lassú alakváltozás. Napjainkban azt mondjuk, hogy legkedvezőbb a minél kisebb víz—cement tényezőjű péptelített beton.

$$\text{Hosszváltozás } 0,1 \text{ MPa igénybevételnél} = 1 \frac{\Delta l}{l} 10^{-5}$$



7.27. ábra. A kor és a keverési arány hatása a beton lassú alakváltozására *Glanville és Thomas* kísérletei szerint [*Möller K.—Brzesky A.* (1937)]

Glanville és Thomas az angol Építésügyi Kutatóintézetben éveken át végzett kísérletei szerint (7.27. ábra) a lassú alakváltozás lényegesen függ a beton keverési arányától. De míg a beton zsugorodása annál nagyobb, minél kövőbb a beton, azaz minél kisebb a keverési aránya, lassú alakváltozása annál kisebb.

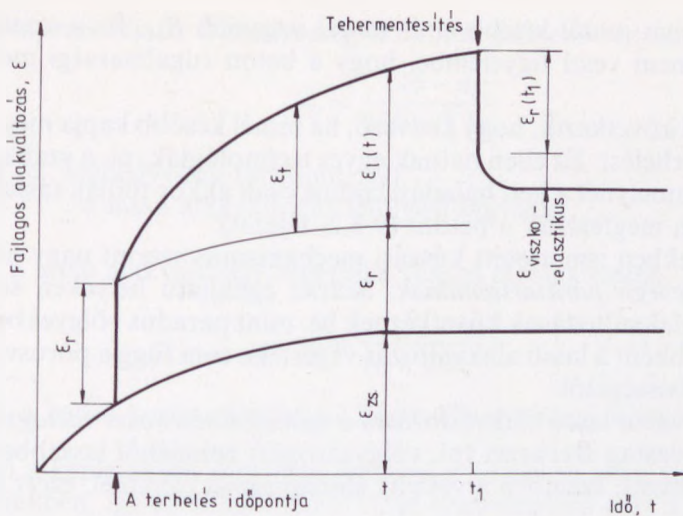
b) *A lassú alakváltozás időben lejátszódó folyamat*, amelyet a 7.28. ábra szemléltet. A vizsgált betonhasáb zsugorodni kezd. Adott időpontban megterheljük, ϵ_r rugalmas alakváltozás keletkezik. Majd megkezdődik az időben végbemenő lassú alakváltozás. Ha t_1 időpontban tehermentesítünk, akkor fellép a rugalmas alakváltozás, majd időben végbemenő rugalmas-viszkózus alakváltozás követi.

Möller K. és Brzesky A. (1937) könyve szerint már akkor tudták, hogy a lassú alakváltozás nem maradandó, mint a képlékeny alakváltozás, hanem nagy része megszűnik a tehermentesítés után. De csak később nevezték emiatt a betont *rugalmas-viszkózus anyagoknak*.

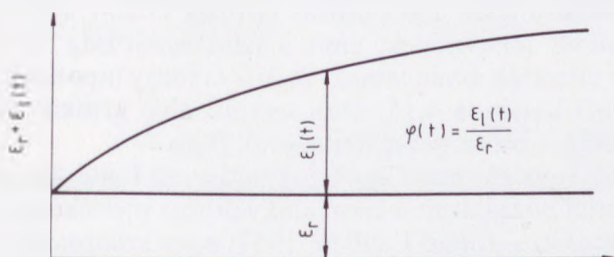
c) A lassú alakváltozás nagyságát a *lassú alakváltozási (kúszási) tényezővel* (φ) veszik számításba úgy, hogy a beton pillanatnyi rugalmassági modulusát $1 + \varphi$ -vel csökkentik:

$$E_{bt} = \frac{E_{bo}}{1 + \varphi(t)}$$

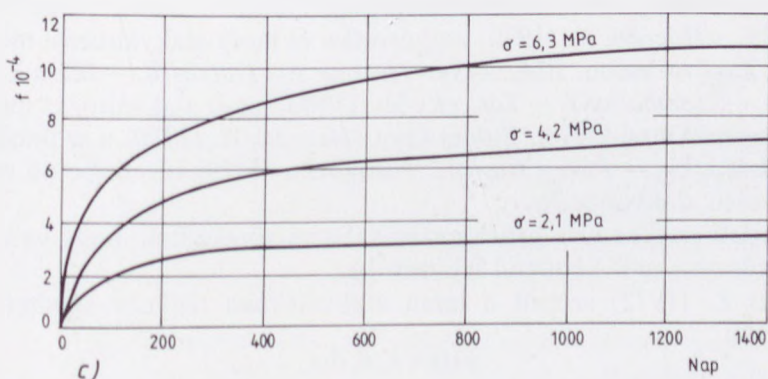
A képletben E_{bo} a beton rugalmassági modulusa a tartós terhelés felhordása időpontjában, $\varphi(t)$ a lassú alakváltozási tényező a vizsgált időpontban, $\varphi(t) = \frac{\epsilon_r}{\epsilon_{lt}}$ (7.28/b ábra). Az ábrából az is következik, hogy minél idősebb korban terheljük meg a betont, annál nagyobb E_{bo} és ϵ_r a megterhelés idő-



a)



b)



c)

7.28. ábra. A beton időbeli alakváltozása, ha tartós terhelés is hat (a ábra); a kúszási tényező értelmezése (b ábra) [Balázs Gy. (1984)]; a lineáris kúszás törvényének értelmezése (c ábra) Glanville és Davis kísérletei szerint [Möller K.—Brzesky A. (1937)]

pontjában, tehát annál kisebb φ_1 és annál nagyobb E_{bt} . Ez a számítás egyszerűsítés és nem veszi figyelembe, hogy a beton rugalmassági modulusa a korral nő.

Mindebből következik, hogy kedvező, ha minél később kapja meg a szerkezet a tartós terhelést. Ez ellen hatnak egyes technológiák, pl. a szabadzsuluzású hídépítés, amelynél a heti haladási ciklust csak akkor tudják tartani, ha 2-3 napos korban megfeszítik a betont (9.8.2. fejezet).

d) A fentiekben ismertetett kúszási mechanizmus szerint nagy hatása van a *környező levegő páratartalmának*. Száraz éghajlatú helyeken sokkal nagyobb lassú alakváltozások következnek be, mint páradús völgyekben, folyók mellett. Egyébként a lassú alakváltozás végértéke nem függ a pórusvíz elváltásának a sebességétől.

e) Hatása van a lassú alakváltozásra a *vasbeton szerkezet vastagságának* is, mert a víz a vastag szerkezet (pl. völgyzárógát) belsejéből lassabban távozik el (vagy sohasem), szemben a vékony előregyártott elemmel, ezért kúszása is kisebb.

f) *Glanville* és *Davis* idevágó kutatásainak igen fontos eredménye, hogy lassú alakváltozásra is érvényes a Hooke-törvény, azaz kétszer akkora tartós terheléshez kétszer akkora lassú alakváltozás tartozik (7.28/c ábra). Ezt nevezzük a *lineáris kúszás törvényének*, amit a hasábszilárdság 30–40%-át kitevő tartós teherre tartottak érvényesnek. *Balázs György* hipotézise alapján a lineáris kúszás felső határa a 4.15. ábra szerinti alsó kritikus feszültség függvénye, amely pedig a beton péptelítettségétől függ.

A II. sz. Hídépítési Tanszék, majd egyik jogutódja, az Építőanyagok Tanszéke néhány kísérlettel hozzájárult a lassú alakváltozás mértékének a tisztázásához. Ezek: *Balázs Gy.*—*Kilián J.* (1956, 1957) nagy szilárdságú betonok lassú alakváltozása és a lassú alakváltozás csökkentése (1959), a zúzott adalékanyag hatása a zsugorodásra és lassú alakváltozásra, *Balázs Gy.* (1960) a tartós terhelés hatása a beton törőszilárdságára és rugalmassági modulusára, *Balázs Gy.* (1960, 1971) a lemezvastagság hatása a beton zsugorodására, *Balázs Gy.*—*Horváth A.* (1970) zsugorodási és lassú alakváltozási mérések a szolnoki Zagyva-hídon, *Balázs Gy.*—*Borján J.*—*Gulyás K.*—*Józsa Zs.*—*Káoszonyi G.*—*Szombathy Z.*—*Tariczky Zs.* (1980) lassú alakváltozás mérések a győri Mosoni-Duna-hídon, *Balázs Gy.*—*Horváth A.* (1970) a szolnoki ártéri hídon, *Balázs Gy.*—*Rédey Nagyné, Faragó Zs.* (1989) lövellt beton zsugorodása és lassú alakváltozása.

A kísérleti eredmények gyarapodásával arra törekedtek, hogy valamennyi befolyásoló tényezőt képlettel fejezzék ki.

Palotás L. (1972) szerint a lassú alakváltozási tényező egy tetszőleges időpontban

$$\varphi(t) = k_0 k_r \delta \varphi_\infty$$

képletből számítható, ahol

k_0 az állandó teher szerkezetre kerülésének időpontját fejezi ki,

$$k_0 = 3,9 e^{-0,77 t},$$

k_r a környezet relatív légnedvesség-tartalmát kifejező tényező:

$$k_r = \frac{115 - n_r}{100 - 0,7n_r}$$

(n_r a rel. légnedvesség-tartalom, %),

$\delta = 1 - e^{-0,1 t}$, a lassú alakváltozás lefolyásfüggvénye,

$\varphi_\infty = \varrho^{\frac{-5}{4}}$, a lassú alakváltozás végértéke vegyes tárolás esetén,

$$\varrho = \frac{R_k}{R_k + 200},$$

és R_k a beton kockaszilárdsága 20 cm élhosszúságú kockán.

Ezekben a képletekben még nem szerepel a vasbeton elem vastagsága.

Későbbiekben, így az MSZ 15022—1/86 szabványban már a külföldi előírásokat vettük át.

A kúszási tényező végértéke a szilárdságtól függő alapérték, a terhelés fajtája (állandó, rendkívüli, nem tartós), a levegő páratartalma, a kezdőszilárdság, a szerkezet vastagsága, a beton konzisztenciája függvénye.

7.5.3. A lassú alakváltozás hatása beton- és vasbeton szerkezetek erőjátékára

Az első számítást F. Dischinger (1937) dolgozta ki elvileg és Pucher részleteiben. Bevezették az ideális rugalmassági modulus fogalmát:

$$E_{id} = \frac{E_{bo}}{1 + \varphi(t)},$$

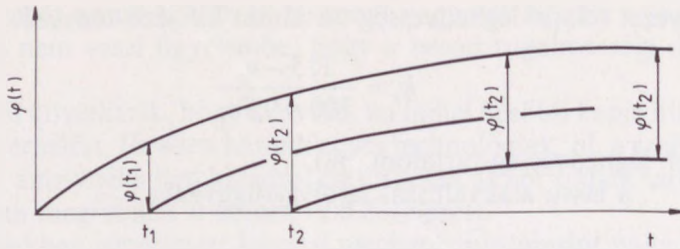
és

$$\varphi(t) = \varphi_\infty (1 - e^{-\alpha t}).$$

A képletben E_{bo} a beton rugalmassági modulusa, MPa, φ_∞ a kúszási tényező végértéke, $\varphi(t)$ a kúszási tényező a tartós terhelés kezdetétől számított t időpontban, α a kísérlettel meghatározott lefolyásfüggvény.

A tartósan terhelt vasbeton tartó alakváltozását úgy számították, hogy a beton valóságos rugalmassági modulusa helyett az ideális rugalmassági modulusal számoltak.

Withnesy kísérletei során arra a törvényszerűsége jött rá, hogy ha pl. t_0 időpontban megépített ívhídra t_1 , t_2 , t_n időpontban felhordjuk az oszlopokat, pályaszerkezetet, akkor az ív alakváltozásainak a számításakor érvényes az eredeti kúszási függvény, de a t_1 időpontban felhordott terhekre az eredeti függvényt $\varphi(t_1)$ -gyel csökkenteni kell (és így tovább) (7.29. ábra). Ezeket a kúszási függvényeket Withnesy szerinti ideális görbéknek nevezzük.



7.29. ábra. A Withnesy szerinti ideális görbék [Balázs Gy.—Kilián J. (1952)]

A következőkben figyelembe vették a beton rugalmassági modulusának időbeli változását.

Arra az esetre, ha a tartós terhelés folyamatosan változik, levezették a kúszás általános egyenletét:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma_{bo}}{E_{bo}} \frac{d\varphi(t)}{dt} + \frac{1}{E_b(t)} \frac{d\varphi}{dt}$$

A képletben új jelölések:

σ_{bo} a tartós feszültség a t_0 időpontban felhordott teherből, $E_b(t)$ a beton rugalmassági modulusa t időpontban.

A következő lépés H. Trost (1967) és W. Zerna (1969) munkája volt, akik kidolgozták a korrekt kúszásméleletet.

A gyakorlati esetek sokszor igen bonyolult számításokat igényelnek. Így pl. a szabadbetonozású hidépítésnél (9.8.2. fejezet) hetenként kell egy-egy új zömöt a meglévőhöz hozzáfeszíteni. Ezeket a feladatokat számítógéppel oldják meg.

Hazánkban Palotás L. foglalkozott legtöbbit beton- és vasbeton szerkezetek erőjátékának a változásával a lassú alakváltozás hatására [Palotás L. (1940, 1972, 1973)]. Kimutatta többek között azt is, hogy tartósan terhelt betonban az adalékanyag és a cementő közötti feszültségátrendeződés milyen törvényszerűséget követ.

Kollár L. (1968) kiindulva abból, hogy érvényes a lineáris kúszás törvénye, megvizsgálta időben változó tartós (σ) feszültség esetére a kúszás hatását szerkezetek kritikus terhére. Kiindulási egyenlete

$$\frac{d\varepsilon}{d\varphi} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{d\varphi} + \frac{\sigma}{E}$$

volt. Kimutatta, hogy a gyakorlatban szokásos számítási feltevésekhez képest, amikor is

$$E(t) = \frac{E_{bo}}{1 + \varphi(t)}$$

képletet használják, kisebb kritikus terhet kapnak, mint az általa ismertetett

pontosabb megoldásokkal. Az $E(t)$ -t használó módszer általában a biztonság javára tér el, de sokszor nagymértékben.

Azt már a 30-as években felismerték [Möller K.—Brzesky A. (1937)], hogy a lassú alakváltozások nem annyira veszélyesek, ahogy azt korábban hitték.

A vasbetonban erőátrendezőődés következik be. Egy vasbeton oszlopban — tartós terhelés hatására — az erő a betonról fokozatosan az acélra adódik át. Statikailag határozatlan vasbeton szerkezetekben a beton lassú alakváltozása a túlfeszültséget kiegyenlíti.

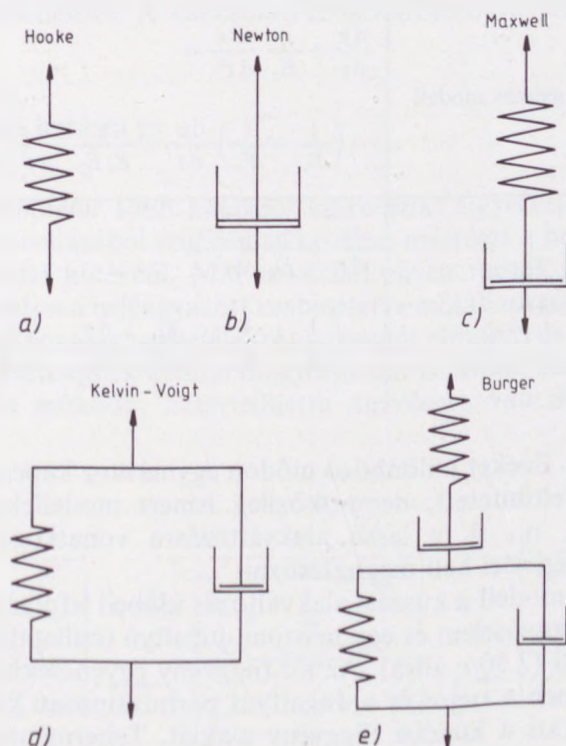
7.5.4. Alapvető viszkoelasztikus modellek

[Dulácska E. (1981), Kaliszky S. (1975), Balázs Gy. (1984), Kollár L. (1991)]

A betont, mivel feszültségi állapota az időtől is függ, *rugalmas-viszkózus anyagnak* tekintjük.

A kúszás hatását vasbeton szerkezetek stabilitására jól tanulmányozhatjuk a legegyszerűbb viszkoelasztikus modellekkel.

A viszkoelasztikus modellek két alapvető eleme a rugó és a dugattyú (7.30/a és b ábra). Az elsőt *Hooke*, a másodikat *Newton* vezette be. A dugattyú a 7.26.



7.30. ábra. Alapvető viszkoelasztikus modellek. a) Hooke; b) Newton; c) Maxwell; d) Kelvin—Voigt; e) Burger modellje

7.1. táblázat. A beton lassú alakváltozását figyelembe vevő modellek
[Dulácska E. (1981)]

Jel	Megnevezés	Egyenlet
a	Rugó (Hooke) (7.30a. ábra)	$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt}$
b	Dugattyú (Newton) (7.30b. ábra)	$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma}{\eta}$
c	Maxwell-modell (7.30c. ábra)	$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta}$
d	Norton-modell	$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta} \sigma^n$
e	Kelvin—Voigth-modell (7.30d. ábra)	$\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{\eta}{E} \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt}$
f	Kúszó rugalmas modell	$\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{\eta}{E_2} \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} =$ $= \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\eta}{E_1 E_2} \frac{d^2\sigma}{dt^2}$
g	Burger-modell (7.30e. ábra)	$\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{\eta_2}{E_2} \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} =$ $= \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{\eta_2}{\eta_1 E_2} \right) \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\eta_2}{E_1 E_2} \frac{d^2\sigma}{dt^2} + \frac{\sigma}{\eta_1}$

ábra modellje. Ezeket különböző módon egymáshoz kapcsolva kapjuk a 7.1. táblázatban feltüntetett, nemzetközileg ismert modelleket. Az E , E_1 , E_2 rugóállandók, η_1 , η_2 a lassú alakváltozásra vonatkozó anyagjellemzők, amelyeket kísérlettel kell meghatározni.

Mindegyik modell a kúszási alakváltozás időbeli lefolyását írja le. A Maxwell-modell a rugóelem és egy newtoni dugattyú (csillapító elem) sorba kapcsolását jelenti (7.30/c ábra). Az ε - t függvény egyenesekből áll. A Kelvin—Voigt-modellben a rugót és a dugattyút párhuzamosan kapcsolták. Ez már számításba veszi a kúszási függvény alakját. Tehermentesítés után a rugó csillapító hatása addig érvényesül, amíg a feszültség és az alakváltozás zérus nem lesz. A Burger-modell a Maxwell- és a Kelvin—Voigt-modell sorba

kapcsolása által jött létre. A kúszási alakváltozásokat mind a terhelés tartamán, mind a tehermentesítés után az előzőknél jobban modellezi.

Természetesen az alapmodellek más kombinációja is lehetséges. Ezért az elméleti kúszásvizsgálat kitűnő disszertációs téma volt eddig is és az lesz ezután is.

Dulácska E. (1981) azonkívül, hogy e modelleket táblázatban összefoglalta, vizsgálta a modellek felhasználásával a teherhordó vasbeton szerkezetek stabilitását.

7.6. Erőátadódás betonban

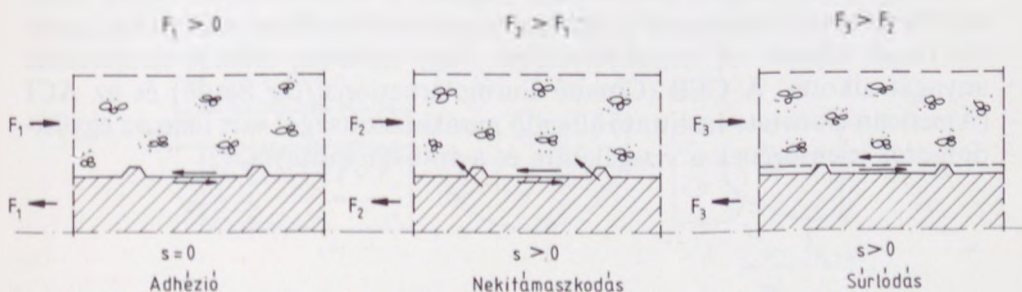
[Balázs L. Gy. (1991), Balázs Gy. (1984)]

7.6.1. Bevezetés

Vasbeton szerkezetek létezésének egyik legfontosabb feltétele, hogy a beton és az acélbetét együtt dolgozzék. Az együttműködés alapvetően befolyásolja a szerkezeti elem teherbírását és viselkedését a használati állapotban. Az együttműködést a két anyag közötti kapcsolati erő (nevezik tapadásnak, felületi kötésnek is) teszi lehetővé. A kapcsolati erők három okra vezethetők vissza (7.31. ábra):

- az adhézióra,
- a mechanikai hatásra és
- a súrlódásra.

Az *adhéziós kapcsolat* több hatásból származik. Egyrészt az acélbetétet övező beton zsugorodásából szilárdulás közben, másrészt a beton és az acélbetét közötti kémiai kötésből. Már a század elején tudták [*Mihailich Gy.* (1922)], hogy „a beton a beléagyazott vasbetétet nemcsak megvédi a rozsdásodás ellen, hanem a rozsdás vasbetétekről a rozsdát eltünteti és az fémfényűvé válik”. Ennek a jelenségnek kémiai magyarázatát is adták. Harmadsorban a molekulák között működő, határfelületre merőleges van der Waals-erők



7.31. ábra. Az együttműködés fázisai [Balázs L. Gy. (1991)]

hatásából. Mindezek együttes hatása nem nagy. Sima acélbetétek esetén sem több a kapcsolati erők 20%-ánál.

A terhelés növekedésével az acélbetétet övező beton alakváltozó képessége kimerül. A beton és az acélbetét között egyre nagyobb relatív elmozdulás jön létre. Az együttl dolgozást ez esetben a *mechanikai kapcsolati erő* biztosítja, amely sima betonacél esetén a meleghengerlés okozta felületi egyenetlenségek-ből, bordás acélbetétek esetén a bordák betonfogaknak támaszkodásából adódik. Természetesen a bordás acélbetétek kapcsolati erő felvétele ebben a fázisban sokkal nagyobb, mint a sima acélbetéteké. A betonban, az acélbetétek bordáinak húzás irányú homlokl felületénél a beton nyomószilárdságát jóval meghaladó betonfeszültségek keletkezhetnek, mivel a kis betonfogak alakváltozását a környező beton gátolja.

A terhelés további növelése az acélbetétek bordái közé benyúló betonfogak elnyiródását okozza. Az együttl dolgozás a továbbiakban *súrlódás* révén jön létre. Ennek a nagysága főként az acélbetét tengelyére merőleges erők nagyságától függ.

Jóllehet a vasbeton születési éveként az 1849. évet, a vasalt virágcserep feltalálását tekintjük, a vasbeton kutatása az 1900. évi Párizsi Világkiállítás után indult meg. A vasbeton alkalmazását M. Koenen (1886), F. Emperger (1896), E. Mörsch (1902, 1908, 1920), R. Saliger (1906), C. Bach (1907), hazánkban Beke J.—Richter R. (1906), Mihailich Gy. (1922) század elején megjelent könyvei alapozták meg.

A beton és az acélbetét kapcsolata terén kezdetben két kérdés okozott vitát. Az egyik az acélfelület szerepe, a másik az acélfelület korróziója. Elsőre először Riedl K. (1906), a rozsdásodás szerepére a Rajna—Herne-csatorna építésénél 1912-ben végzett kutatások alapján Lampl H.—Sajó E. (1914) mutatott rá (7.2. fejezet).

Bár E. Thatcher már 1894-ben kimutatta, hogy a beton és az acélbetét közötti kapcsolat növelhető a betonacél bordázása által, Németországban csak 1928-ban vezették be az ISTEg-acélt, 1930-ban a csavart acélt, 1936-ban a TOR-acélt. Hazánkban pedig csak a II. világháború után kezdték gyártani a melegen hengerelt bordás betonacélokat. A bordás betonacélok rohamos elterjedését a nagy szilárdságú betonacélok elterjedése indokolta, amihez később hozzájárult a repedéskorlátozásra való méretezés igénye.

Az együttl dolgozással kapcsolatos hatások a 60-as években vettek nagy lendületet és napjainkban is a vasbetonismerettel foglalkozó szakcikkék jelentős részét képezik. A témakör részben vagy egészben számos konferencia anyagát alkotta. A CEB (Comité Eurointernational du Béton) és az ACI (American Concrete Institute) állandó munkabizottságot tart fenn az együttl dolgozás jelenségének a vizsgálatára és a szabványosításra.

7.6.2. Az együttdolgozás kialakulása és tönkremeneteli módjai

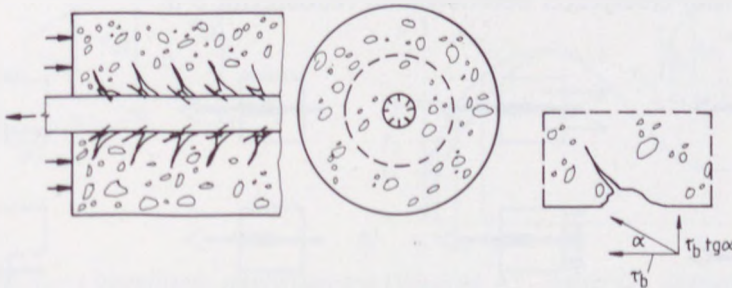
[Balázs L. Gy. (1991)]

Kiállványozatlan vasbeton szerkezetekben az acélbetét felületét csupán az szugorodásból és egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból származó feszültségek terhelik.

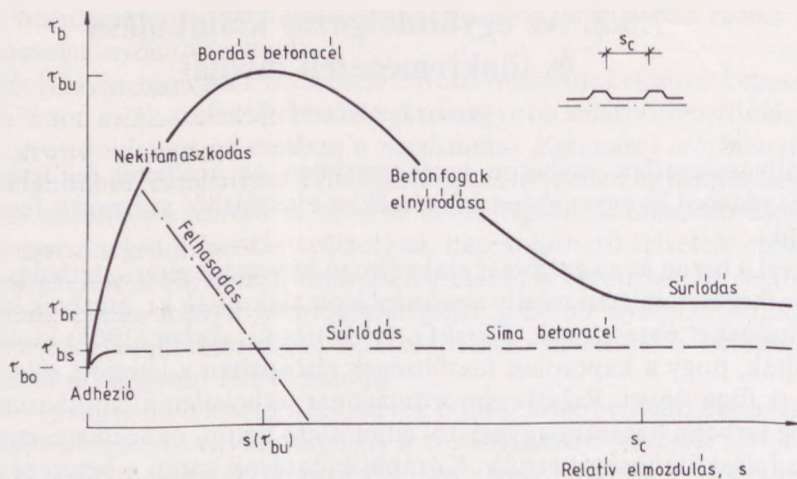
Mivel a beton és az acélbetét alakváltozó képessége eltérő, terhelés hatására az érintkezési felületen relatív elmozdulások alakulnak ki, amelyek kapcsolati feszültségeket ébresztenek. Tassi G. (1956) és G. Rehm (1961) kísérletileg is igazolták, hogy a kapcsolati feszültségek elsősorban a létrejött *relatív elmozdulások* függvényei. Relatív elmozduláson a terheletlen állapotban egy síkba eső, de terhelés hatására egymástól eltávolodó beton- és acélkeresztmetszetek elmozduláskülönbségét értjük. Korábbi kutatások során a beton és acélbetét kapcsolatát elmozdulásmentesnek tételezték fel.

Csak bizonyos terhelés (kapcsolati feszültség) elérésekor lép fel relatív elmozdulás, ami nem jelenti a kapcsolat tönkremenetelét, csak belső mikrorepedések (7.32. ábra) [Y. Goto (1965), Y. Goto—K. Otsuka (1971)] és helyi belső tönkremenetek [E. Giuriani (1982)] létrejöttét. Ebben a fázisban a bordás acélbetét erőfelvétele sokkal nagyobb, mint a sima acélbetété.

A bordák közé benyúló betonfogra az acélbetét tengelyével szöget bezáró erő hat, amelynek a sugárirányú összetevője a környező betont sugárirányban nyomja. Ez a nyomás a betonban gyűrűirányú húzófeszültséget hoz létre, amely a betonfedés hosszirányú felhasadását eredményezheti. Ha a keresztirányú alakváltozás nincs megakadályozva, akkor a felhasadás a kapcsolat tönkremenetelét is jelenti. Ha viszont a felhasadás nem következik be, akkor a teher a kapcsolati szilárdságig növelhető. Sima acélbetét esetén a kapcsolati szilárdság már kb. 0,01 mm relatív elmozdulásnál bekövetkezhet, és ezután az együttdolgozást csak a súrlódás biztosítja. Bordás acélbetétekkel ez a kapcsolati szilárdság általában 1,0 mm-nél nagyobb relatív elmozdulásnál következik be. Ezt követően a betonfogak elnyíródnak, miközben a kapcsolati feszültség csökken. A betonfogak teljes elnyíródása után csak a súrlódásos kapcsolat marad fenn. Az ilyen tönkremenetelt *kihúzódásos tönkremenetelnek*



7.32. ábra. Mikrorepedések a bordáknál [Balázs L. Gy. (1991)]



7.33. ábra. A kapcsolati feszültség — relatív elmozdulási ábra [Balázs L. Gy. (1991)]

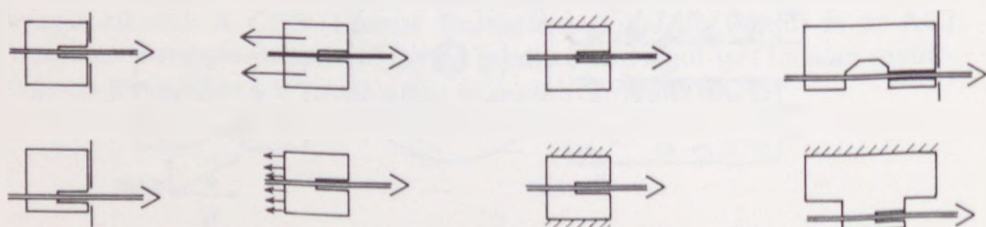
tekintjük. Súrlódásos kapcsolat a bordák közé nyúló betonfogak tömörét meghaladó relatív elmozdulások esetén várható. Ez a súrlódásos kapcsolati feszültség a sima acélbetétének kb. 1,5-szerese. Az erőátadási folyamatot a 7.33. ábra szemlélteti [Windisch A.—Balázs L. Gy. (1984), Balázs L. Gy. (1986)].

A kapcsolati feszültség (τ_b) és a relatív elmozdulás (s) közötti összefüggést kísérletekkel határozták meg.

A τ_b — s összefüggés meghatározásának a RILEM, a CEB és a FIP által is ajánlott módja a *kihúzó kísérlet*. A próbatest lehetséges megtámasztási módjait a 7.34. ábra szemlélteti. Kihúzó kísérlettel meghatározzuk a terheletlen oldalon egy rövid szakaszon a betonba ágyazott acélbetét relatív elmozdulásait (s) a terhelőerő (F) függvényében, majd az ábra ordinátáit osztjuk az acélbetét és a beton érintkezési hengerfelületével:

$$\tau_b(s) = \frac{F(s)}{d \cdot \pi \cdot l_b}$$

A képletben a d az acélbetét átmérője és l_b a bebetonozott hossz, amely központosan elhelyezett betonacélban rendszerint 5 d .



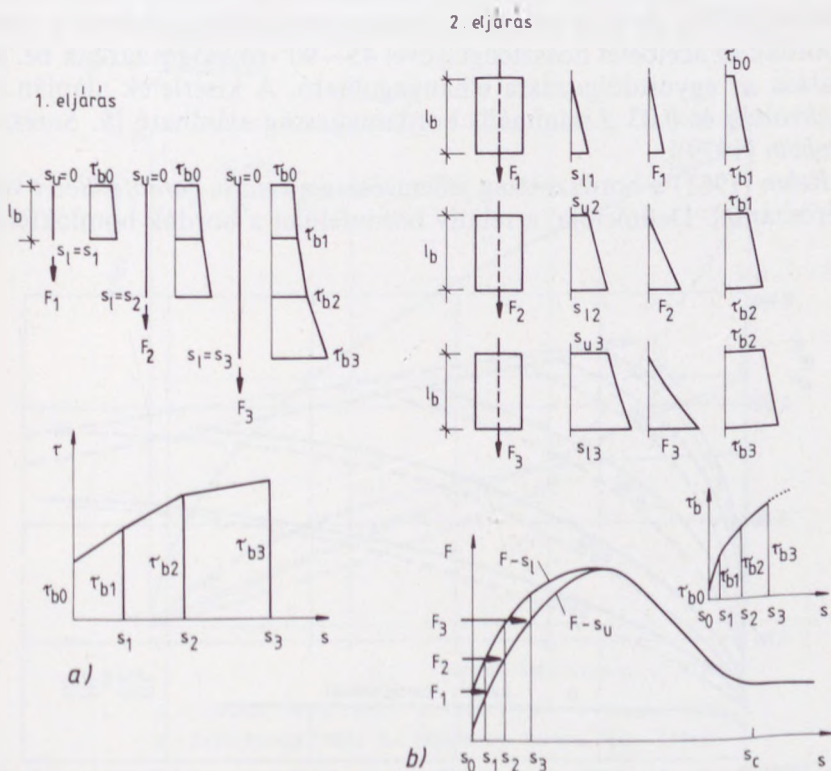
7.34. ábra. Kihúzó kísérleteknél a próbatest és a terhelés lehetőségei [Balázs L. Gy. (1991)]

E módszer hátránya, hogy nem veszi számításba a kapcsolati feszültségek változását az l_b hosszön. A kihúzó kísérlet mellett szokásos a gerendakísérlet is, amelynél az acélbetét a támasz környékén $10 d$ hosszön van bebetonozva.

Windisch A. és Balázs L. Gy. (1984) két kiértékelési eljárást is kidolgoztak, amelyekkel a kapcsolati feszültség változását figyelembe veszik. Mindkét eljáráshoz szükség van mind a terhelt, mind a terheletlen oldali relatív elmozdulás mérésére.

Az első eljárásnál szisztematikusan növelt bebetonozási hossz esetén (l_b , $2l_b$, $3l_b$ és $4l_b$) határozták meg azt az erőt, amelynél a terheletlen oldalon éppen fellépett a relatív elmozdulás és meghatározták az ehhez tartozó relatív elmozdulást a terhelt oldalon. Korábbi kísérletek alapján felvették a τ_{b0} adhéziós kapcsolati feszültséget, majd az l_b bebetonozási hosszú próbatesten mért F_1 erőből numerikus deriválással határozták meg az $s_1 = s_1$ relatív elmozduláshoz tartozó τ_{b1} kapcsolati feszültséget.

Továbbá feltételezve, hogy $2l_b$ bebetonozási hossz terheletlen oldali l_b szakaszán ugyanolyan $\tau_b - s$ összefüggés érvényes, mint amelyet az l_b bebetonozási hosszön határoztak meg. Amikor a $2l_b$ bebetonozási hosszú pró-



7.35. ábra. A $\tau_b - s$ összefüggés meghatározása [Windisch A.—Balázs Gy. (1984)] a) szisztematikusan növekvő bebetonozási hosszön; b) állandó bebetonozási hosszön

batest terheletlen oldalán éppen megkezdődik a relatív elmozdulás, akkor a terhelt oldali l_b hosszon $F_2 - F_1$ erő adódik át. Ebből meghatározták az s_2 relatív elmozduláshoz rendelt τ_{b2} kapcsolati feszültséget. Ez a módszer addig folytatható, amíg az l_b hossz növelésekor a terheletlen oldalon már nem lép fel relatív elmozdulás, mert az acélbetét megfolyik. Ezzel az eljárással a $\tau_b - s$ összefüggésnek a kezdeti szakasza határozható meg (7.35/a ábra).

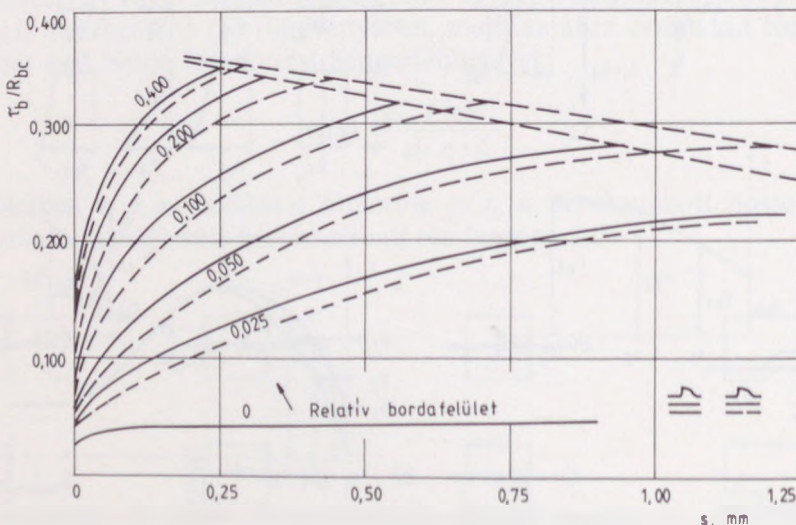
A második eljárás alkalmazása során az l_b hosszat 3 d -re vagy 5 d -re választották, és kísérlettel meghatározták a terhelt ($F - s_1$), valamint a terheletlen ($F - s_u$) oldalon a húzóerő-elmozdulási ábrákat (7.35/b ábra). A τ_{bo} adhéziós kapcsolati feszültséget az előzőek szerint vették fel. A számítás menetét a 7.35/b ábra szemlélteti.

7.6.3. A $\tau_b - s$ összefüggést befolyásoló tényezők vasbetonban

[Balázs L. Gy. (1991)]

Az együttdolgozásra ható legfontosabb tényező az *acélbetét felületi kialakítása*. A bordázottság növelésével nő a kapcsolati teherbírás [G. Rehm (1961), H. Martin (1973)], de nő a betonfedés hosszirányú felhasadásának a veszélye is. A bordák az acélbetét hossz tengelyével 45–90°-os szöget zárnak be. Alakjuk hatása az együttdolgozásra elhanyagolható. A kísérletek alapján 0,3 d bordatávolság és 0,03 d minimális bordamagasság ajánlható [S. Soretz—H. Hölzenbein (1979)].

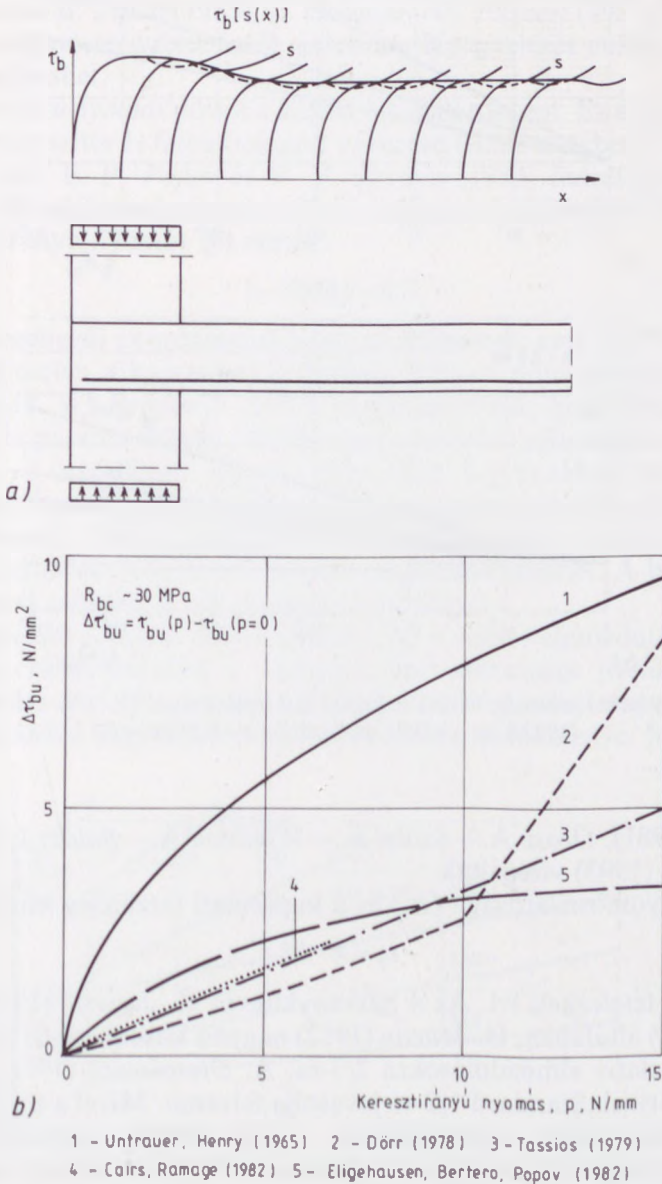
G. Rehm (1961) a bordázottság jellemzésére a *relatív bordafelület* vezette be mérőszámul. Definíciója: a relatív bordafelület a bordák homlokfelületé-



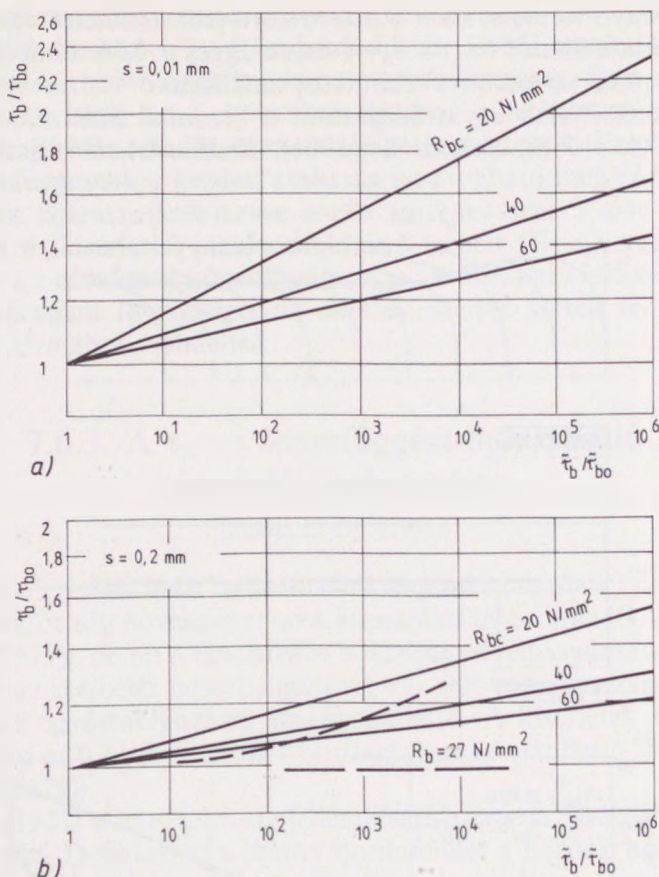
7.36. ábra. A relatív bordafelület hatása a $\tau_b - s$ összefüggésre [G. Rehm (1961)]

nek tengelyirányú vetülete, a két borda közötti palástfelületre vonatkoztatva. A relatív bordafelülettől (α_{sb}) a τ_b — s összefüggés a 7.36. ábra szerint függ. A $0,05 < \alpha_{sb} < 0,08$ tartományt tekintik optimálisnak.

Hazai betonacéljaink együttdolgozását a betonnal Schwertner A. (1935, 1942), Tassi G. (1956), Palotás L. (1961), Erdélyi L. (1981), Balogh T. és



7.37. ábra. Harántirányú nyomás hatása az együttdolgozásra [Balázs L. Gy. (1991)]. a) Kapcsolati feszültségek növekedése támasznál; b) a kapcsolati szilárdság növekedése a harántirányú nyomás függvényében [R. Eligehausen—E. P. Popov—V. V. Bertero (1983)]



7.38. ábra. A terhelési sebesség hatása a kapcsolati szilárdságra [E. Vos—H. W. Reinhardt (1982)]. a) $s = 0,01$ mm-nél; b) $s = 0,2$ mm-nél

Szőnyi É. (1981), Orosz Á.—Szalai K.—Windisch A.—Balázs L. Gy. (1983) és Balogh T. (1993) vizsgálták.

A beton nyomószilárdsága (R_b) és a kapcsolati feszültség között

$$\tau_b = k \cdot R_b^n$$

összefüggést tételeznek fel. Az n hatványkitevőt K. Janovič (1979), P. Noakowski (1985) általában, H. Martin (1982) nagyon kicsi ($s < 0,01$ mm) és nagy ($s > 1$ mm) relatív elmozdulásokra $2/3$ -ra, A. Olesniewicz (1975), J. A. Uijl (1983) és a British Standard $1/2$ -re javasolja felvenni. Mivel a nyírószilárdság húzószilárdság jellegű anyagjellemző, $n = 2/3$ látszik valószínűbbnek. A víz—cement tényező, a cementtartalom és a kor hatása is benne van a nyomószilárdságban.

Mivel a kapcsolati erő sugárirányú komponense gyűrűirányú húzófeszültségeket hoz létre a környező betonban, ezért a *betonfedés* növelésével nő a

kapcsolati szilárdság, és csökken a hosszirányú felhasadás veszélye [G. Rehm (1961), R. Tefpers (1979)]. R. Eligehausen, H. Kreller és P. Langer (1989) azt tapasztalták, hogy 15%-kal nőtt a kapcsolati szilárdság, ha a betonfedést 1 d -ről 2 d -re, ill. 2 d -ről 3 d -re növelték.

A kengyelezés elsősorban a felhasadt betonfedés alakváltozásait és ezáltal a relatív elmozdulásokat korlátozza [P. Gambarova—C. Karakoc (1982), P. Gambarova—B. Zasso (1985), E. Giuriani—G. Plizzari (1985)]. Bordás betonacélok kengyelezése feltétlenül ajánlatos. Kengyelezés nélkül a felhasadt betonelem széteshet.

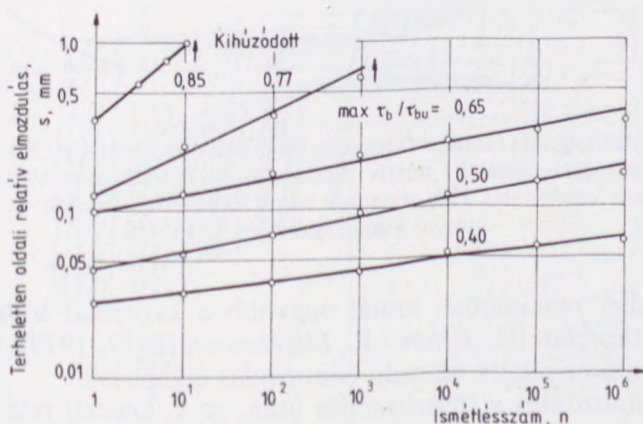
A harántirányú nyomás növeli a kapcsolati szilárdságot. Ez az eset áll elő pl. keresztirányú feszítés és falba befogott vasbeton lemez esetében (7.37/a ábra). R. Eligehausen, E. P. Popov és V. V. Bertero (1983) összefoglalta az erre vonatkozó kutatási eredményeket (7.37/b ábra). A CEB-FIP Model Code 1990 harántirányú nyomás (p) esetén

$$1 - 0,04p > 0,7$$

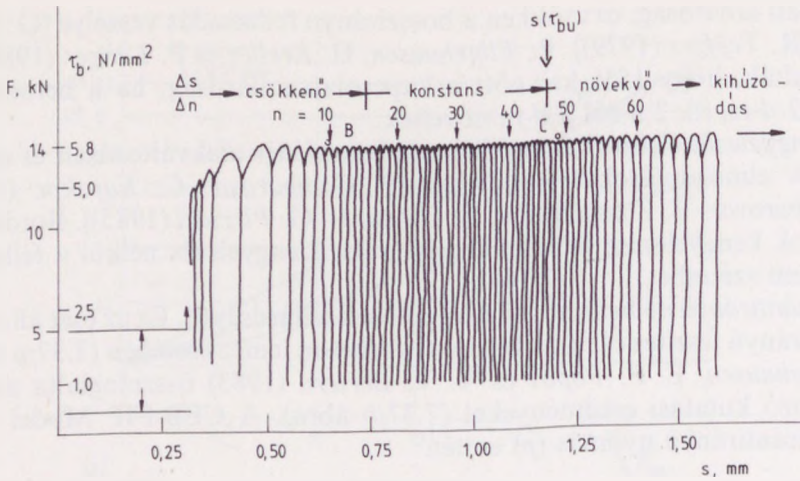
arányban megengedi az erőátadási hossz csökkentését, ami 5 MPa keresztirányú nyomás esetén a kapcsolati szilárdság 20%-os növekedését tételezi fel.

E. Vos és H. W. Reinhardt (1982) megállapították, hogy sima acélbetét, feszítőbetét és pázsma esetén 100 000-szeres terhelési sebességnövekedés sem okozza a τ_b — s összefüggés jelentős változását. Ugyanakkor jelentős a terhelési sebesség hatása a bordás acélbetétek kapcsolati szilárdságára. E. Vos és H. W. Reinhardt (1982) kísérletei szerint a kapcsolati szilárdság 20 MPa szilárdságú betonban lökészerű teherre megkétszereződhet. A betonszilárdság növelésével csökken a növekmény (7.38. ábra).

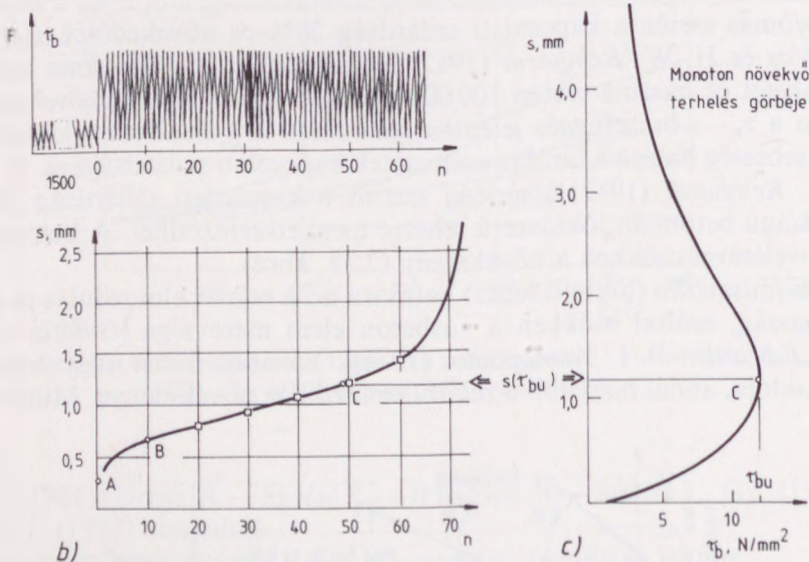
Terhelésméltés (lüktető teher) hatására nő a relatív elmozdulás és a repesztágasság, ezáltal csökken a vasbeton elem merevsége [Goldfair (1971), A. D. Edwards—P. J. Yannopoulos (1978)]. Továbbá minél nagyobb a teher amplitúdója, annál nagyobb a relatív elmozdulás növekménye. Minél kisebb



7.39. ábra. A relatív elmozdulás növekedése ismételt (fárasztó) teher hatására [G. Rehm—R. Eligehausen (1979)] $d = 14$ mm, $l_b = 3d$, $R_{bc} = 5$ MPa



a)



b)

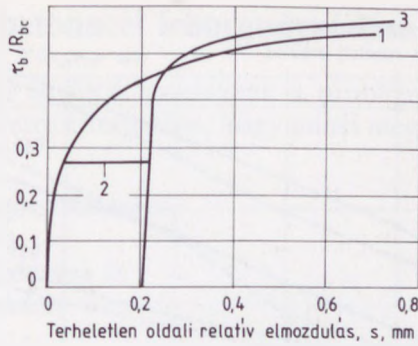
c)

7.40. ábra. Az egyútdolgozás fáradási folyamata [Balázs L. Gy. (1991)]. a) Kapcsolati feszültség — relatív elmozdulás ábra; b) relatív elmozdulás — ismétlésszám ábra; c) kapcsolati feszültség — relatív elmozdulás ábra monoton növekvő terheléssel. Adatok: acél jele B 60.40. átmérő 8 mm, beton jele C 16

az ismételt teher maximuma, annál nagyobb a kapcsolat tönkremenetelét előidéző ismétlésszám [G. Rehm—R. Eligehausen (1977, 1979)] (7.39. ábra). Tehermentesítéskor relatív maradó elmozdulás észlelhető.

A relatív elmozdulás n teherismétlés után, az s_0 kezdeti relatív elmozduláshoz viszonyítva

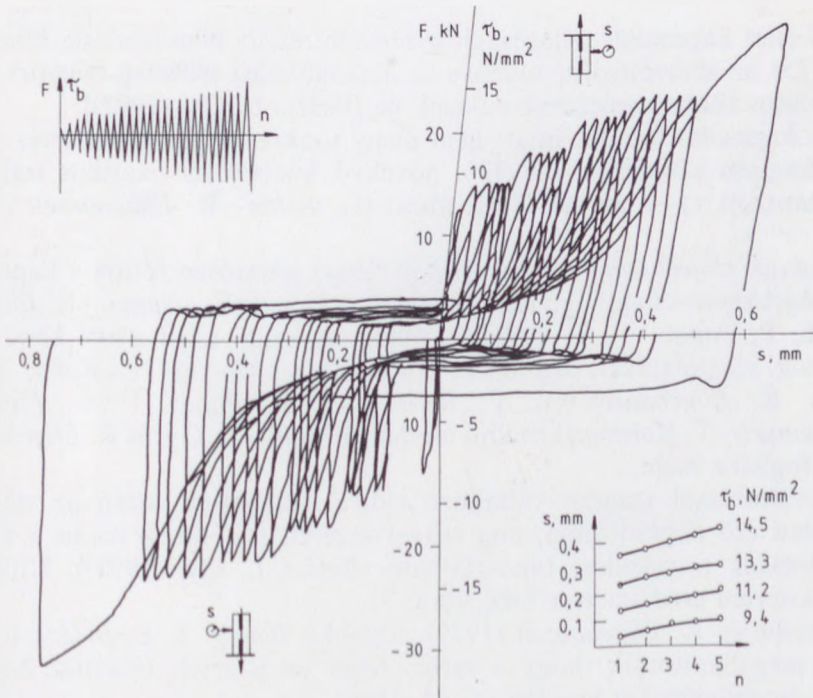
$$\text{ahol } k_n = (1 + n)^{0,107} - 1. \quad s_n = s_0(1 + k_n),$$



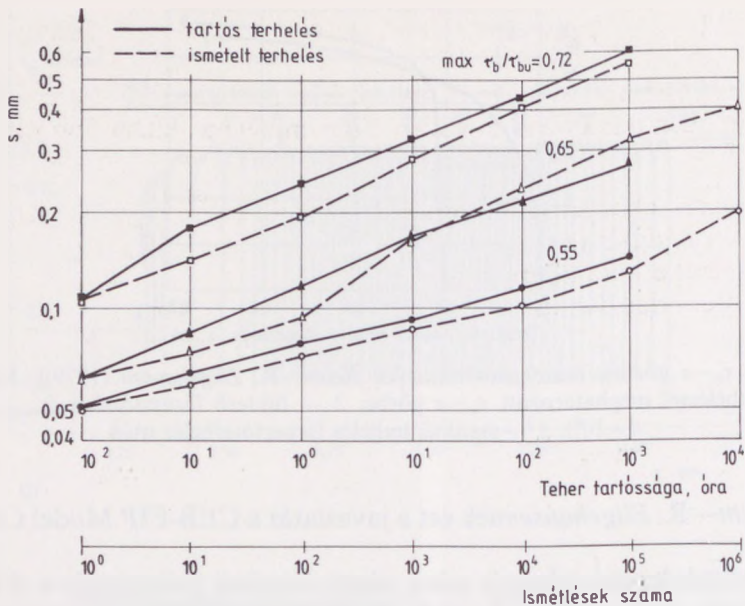
7.41. ábra. τ_b — s görbék összehasonlítása [G. Rehm—R. Eligehausen (1979)]. Jelölés: 1 — statikus terheléssel meghatározott τ_b — s görbe; 2 — lüktető fárasztóteher ($\tau_{bmax} : \tau_{bu} = 0,5; n = 10^6$); 3 — statikus terhelés fárasztóterhelés után

G. Rehm—R. Eligehausennek ezt a javaslatát a CEB-FIP Model Code 1990 is átvette.

Az együttdolgozás ismételt teher alatti fáradási folyamatát a 7.40. ábra foglalja össze. Az ismétlések kezdetén a relatív elmozdulás növekménye csökkenő tendenciájú, majd a relatív elmozdulási sebesség a monoton növekvő



7.42. ábra. Erővel vezérelt, váltakozó előjelű teherismétlések. Adatok: acél jele B 60.40, átmérője 16 mm; beton jele C 20 [Balázs L. Gy. (1991)]



7.43. ábra. Tartós és fásztóterhelés hatása a relatív elmozdulásokra [G. Rehm—R. Eligehausen (1979)]. Adatok: $d = 14$ mm, $l_b = 3d$, $R_{bc} = 48$ MPa

teherrel elért kapcsolati szilárdsághoz tartozó relatív elmozdulásig közel állandó. Ezt az alakváltozást túllépve az alakváltozási sebesség felgyorsul, és kihúzódasos tönkremenetel következik be [Balázs L. Gy. (1991)].

Ha a kapcsolat fáradás miatt nem megy tönkre, akkor a fásztás utáni τ_b — s diagram közelítően követi a növekvő húzóerővel (statikus terhelés) meghatározott τ_b — s görbét (7.41. ábra) [G. Rehm—R. Eligehausen (1977, 1979)].

Váltakozó előjelű ismételt teher (lengő teher) jelentősen rontja a kapcsolat merevségét azonos nagyságú lüktető teherhez képest [V. Ciampi—R. Eligehausen—E. P. Popov—V. V. Bertero (1982)]. A lengő teher alatti kapcsolati szilárdság vizsgálatával foglalkozó kutatók [S. Morita—T. Kaku, T. P. Tassios, R. Eligehausen—V. V. Bertero—E. P. Popov, F. C. Filippou, S. Pochanart—T. Harmon] közelítő modelljeit Balázs L. Gy. és R. Eligehausen (1991) foglalta össze.

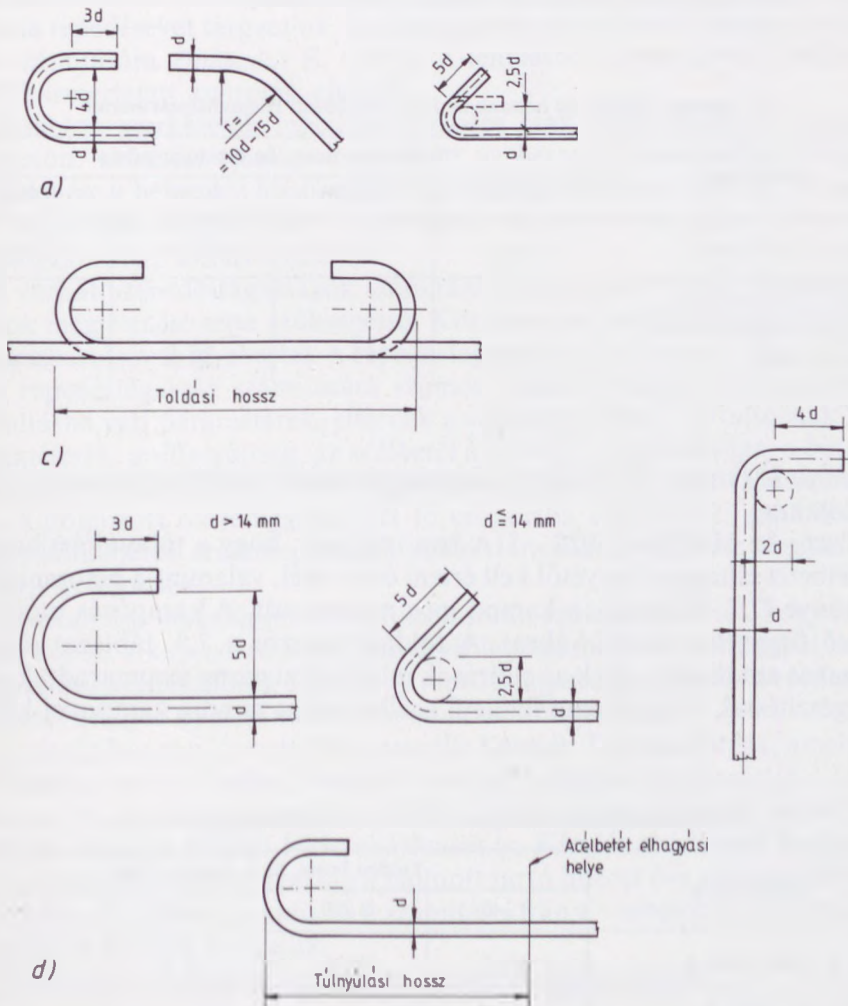
Alakváltozással vezérelt váltakozó előjelű ismétlések során az elérhető kapcsolati erő degradációja, míg erővel vezérelt ismétlések során a relatív elmozdulások növekedése tapasztalható [Balázs L. Gy. (1991)]. Utóbbira mutat kísérleti eredményt a 7.42. ábra.

G. Rehm és R. Eligehausen (1979), továbbá Balogh T. és Balázs L. Gy. (1988) megállapították, hogy a tartós teher az ismételt teherhez hasonló relatív elmozdulásokat hoz létre (7.43. ábra).

7.6.4. A betonacél lehorgonyzódása és toldása

A beton és az acél együttműködésének a problémakörét azért tanulmányozzák minden részletre kiterjedően, hogy minél megbízhatóbb választ kapjanak.

- a betonacél lehorgonyzódására,
- átfedéses toldására,
- feszítőbetét erőátadására és
- a repedéskorlátozásra.



7.44. ábra. Acélbetétek lehorgonyzása és toldása. a) Az 1951. évi vasbetonszabályzat szerinti kampók; b) Considère-kampók; c) átfedéses toldás; d) kampózás és toldás a II. világháború utáni szabályzatokban

Amióta van vasbeton, azóta fontos kérdésnek tekintik a lehorgonyzódást és a toldást.

Az 1931. évi vasbetonszabályzat egyértelműen előírta, hogy a húzott acélbetétnek kampóban kell végződnie (7.44/a ábra). A húzott acélbetétek toldását kerülendőnek tartották. Ha nem volt elkerülhető, akkor az acélbetéteket toldani átfogással, szakszerű hegesztéssel vagy ellenmenetes csavarhüvelyekkel lehetett. Az átfogásra az acélbetét átmérőjének legalább a 40-szeresét írták elő, és az acélbetétnek kampóban kellett végződnie (7.44/c ábra). Egészen 1950-ig csak sima, kör keresztmetszetű, 240 MPa folyási határú acélbetétet gyártottak.

Mihailich Gy. (1922) még megemlítette a felgörbített acélbetétek kampóját, amelyet Considère-kampónak neveztek (7.44/b ábra).

7.2. táblázat. Túlnyújtási hosszak az 1956. évi Közúti Hídszabályzat szerint

Acélminőség	Túlnyújtási hossz, ha a betonminőség			
	B 140	B 200	B 280	B 400
A 36.24.12 és 35.24 S	30 d	25 d	20 d	15 d
A 50.35.12, 50.35 S és hidegen szilárdított acél (csavart acél)	40 d	35 d	30 d	25 d

Palotás L. (szerk. 1947) könyve még ugyanezeket a szerkesztési szabályokat tartalmazza.

Először az MNOSz 15022—51A-ban írták elő, hogy a túlnyújtási hosszát az acélbetét elhagyási helyétől kell érteni és az acél, valamint a betonminőség függvénye (7.2. táblázat), a kampó még megmaradt. A kampózás módja az átmérő függvénye (7.44/d ábra). A toldási hosszra a 7.3. táblázat szerinti hosszakat adták meg. Ezek az előírások mind a mai napig megmaradtak azzal a kiegészítéssel, hogy a sima felületű acélbetéteket mindig kampózni kell. A

7.3. táblázat. Toldási hosszak az 1956. évi Közúti Hídszabályzat szerint

Acélminőség	Toldási hossz, ha a betonminőség			
	B 140	B 200	B 280	B 400
A 36.24.12 és 36.24 S	40 d	35 d	30 d	25 d
A 50.35.12, 50.35 S és hidegen szilárdított acél (csavart acél)	50 d	45 d	40 d	35 d

toldási és túlnyújtási hosszát a mindenkori beton- és acélminőségek függvényében adták meg, és tartalmazták az előírások azokat az eseteket is, amikor a kámpótól el lehetett tekinteni.

7.6.5. Repedéstágasság számítása

Vasbeton szerkezetekben terhelés nélkül is keletkezhetnek repedések a bedolgozást követően a beton ülepedéséből, ezt követően a beton zsugorodása, a hidratáció hő okozta egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás (kéreg- és átmenő repedések), évek múlva az alkáli-adalékanyag reakció, valamint az acél rozsdásodása okozta duzzadás miatt stb. Továbbiakban azonban csak a terhelés okozta repedéseket tárgyaljuk. Zsugorodásból és lehülésből származó repedések számítására *Dulácska E.* (1980), a lehülésből származóból *Balázs Gy.* (1987) ismertetett számítási eljárást.

Vasbeton szerkezetek repedésmentessége csak teljes feszítéssel érhető el. Vasbeton, valamint részlegesen feszített vasbeton szerkezetekben a repedés megjelenése a beton kis húzószilárdsága miatt természetes jelenség. A repedések tágasságát napjainkban a korróziós veszély és esztétikai okok miatt szabályzatokban korlátozzák.

A várható repedéstágasságok számítását a nagyszilárdságú, bordás beton-acélok megjelenése tette szükségessé. Korábban az acélfeszültségek alacsony szinten tartásával igyekeztek a repedéstágasságot korlátozni.

A repedéstágasság számítására számos elmélet született. Mivel eltérők a számításba vett paraméterek, eltérők a végeredmények is. Fontosnak látszó paraméterek: acélfeszültség, az acélbetét átmérője, bordázottsága, a betonszilárdság, az acélbetét és a beton rugalmassági modulusa és a vasszálalék.

A kidolgozott összefüggések két fő csoportba sorolhatók: analitikus, ill. nagyszámú mérési eredmény matematikai statisztikai értékelése alapján nyert empirikus képletek.

Az *analitikus összefüggések* felállítása során szokásos feltétel, hogy a repedések között a kapcsolati feszültség egyenletesen megoszló, amelyből lineáris megoszlású acélfeszültség adódik. A repedéstágasság a repedéstávolság és az acélbetét átlagos nyúlásának a szorzataként számítható.

Az analitikus módszerek közé tartozik *Kármán Tamás* eljárása, amely már számításba veszi a húzott betonöv merevítő hatását is [*Szalai K.* (1988), *Fazekas M.* és *Fórián Szabó P.* (1975)]. Újabb szabályzataink, beleértve az 1993-ban készülő Közúti Hídszabályzatot is, *Kármán* módszerét használják.

A mértékadó repedéstágasság a hajlított tartó húzott öve szélső acélbetéteinek a súlyvonalában értendő, és a számítás során a vasbetont a II. feszültségállapotban lévőknek tekintjük.

A mértékadó repedéstágasság (a_M) számításának képlete:

$$a_M = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{aII}^2}{\sigma_{bI}} \frac{a}{\alpha} \frac{\Phi}{E_a},$$

ahol α a tapadási tényező, mely sima acélbetét esetén $\alpha = 1,0$, periodikus vagy csoportosan vezetett acélbetéteknél $\alpha = 2,0$; σ_{aII} a húzott szélső, hosszacélbetétben a II. (rugalmas, berepedt) feszültségi állapotban számított feszültség; σ_{bI} a beton húzott oldali szélső szálában az I. feszültségi állapot feltételezésével számított fiktív húzófeszültség, tekintet nélkül a húzási határfeszültség túllépésére; $\frac{d}{\alpha}$ a hosszacélbetét átmérőjének és a tapadási tényezőjének hányadosa, amelyet különböző átmérőjű és felületű acélbetétek együttes alkalmazása esetében a

$$\frac{\sum d_i^2}{\sum d_i \alpha_i}$$

hányadossal kell helyettesíteni.

$$\Phi = 2(1 - \vartheta) (1 - 0,5\vartheta) \left[1 - \frac{1,5(1 - \vartheta)}{(1 - 0,5\vartheta)} \right];$$

$$\vartheta = \frac{\sigma_{aI}}{\sigma_{aII}} \quad \text{és} \quad \delta = \frac{\sigma_{bI}}{\sigma_{bH}};$$

$$\sigma_{aI} = n \sigma_{bI};$$

σ_{bI}^{α} mint a σ_{bI} , de az acélbetétek súlyvonalában; Φ — helyettesíthető ψ -vel; $\psi = 1 - \frac{\alpha}{3} \frac{\sigma_{bH}}{\sigma_{bI}} \geq 0,5$, amely tényező csak a húzott beton merevítő hatását veszi figyelembe; $\psi = 1$ gyakran ismétlődő tehernél (hasznos tehernél).

Ugyancsak analitikus összefüggés a *CEB-FIP Model Code 1978* képlete:

$$a_M = 1,7 a_m,$$

a_m átlagos repedéstágasság, $a_m = s_m \varepsilon_{am}$;

s_m átlagos repedéstávolság;

ε_{am} az acélbetét átlagos nyúlása a repedések között,

$$s_m = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + \kappa_1 \kappa_2 \frac{d}{\mu_c};$$

$s \leq 15d$ a hosszacélbetétek egymástól mért távolsága;

$\kappa_1 = 0,4$ bordás betonacélokra;

$\kappa_1 = 0,8$ sima betonacélokra;

$\kappa_2 = 0,125$ hajlítás esete;

$\kappa_2 = 0,25$ húzás esete;

$\kappa_2 = 0,25 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2 \varepsilon_1}$ külpontos húzás esete;

d az acélbetét névleges átmérője;

μ_c vasszázalék a hatékony húzott betonfelületre vonatkoztatva;

c acélbetétek távolsága a betonszéltől;

$$\varepsilon_{am} = \frac{\sigma_{all}}{E_a} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{ar}}{\sigma_{all}} \right)^2 \right] 0,4 \frac{\sigma_{all}}{E_a};$$

$$\beta_1 = 1/(2,5\kappa_1),$$

$\beta_2 = 1$ első terheléskor,

$= 0,5$ ismételt vagy tartós teher alatt.

P. Gergely—L. A. Lutz (1968) statisztikai alapon nyugvó képletet dolgozott ki:

$$a_M = 0,011 \beta \sigma_{sII} \sqrt[3]{d_c A} \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = (d-x)/(h-c) \cong 1,2,$$

$$d_c = 2(d-h),$$

$$A = A_{cc}/n,$$

d = a teljes tartómagasság,

h = a hasznos magasság,

x = nyomott öv magasság,

A_{cc} = acélbetétekkel együttdolgozó húzott betonöv,

n = az acélbetétek száma.

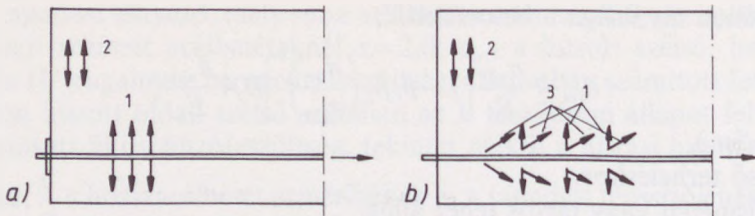
Hazánkban is többen foglalkoztak a repedéstágasság számításával [Szépe F. (1954), Tassi G. (1988), Tamás F. (1985), Dulácskáné Szederjei I. (1970), Fazekas M.—Fórián Szabó P. (1975), Gergely S. (1981), Körmöczi E. (1979)]. Hegedűs I. (1980) gyakorlati célokra egyszerű képleteket vezetett le. Ezek részben bekerültek a szabályzatokba. Körmöczi E. (1979), majd Jankó L. (1987) elemezte az ajánlott képletek érvényességi tartományait, majd Jankó a Kármán-képletek használatát javasolta. Szabadon szerelt vasbeton hídstruktúrák repedésbiztonságát Farkas J. (1988), feszített tartók repedéstágasságára ható paramétereket Tassi G. (1972) elemezte, Balázs L. Gy. (1988) a repedéstágasságot a nem-lineáris kapcsolati törvénnyel vizsgálta.

7.6.6. Tartóvég vizsgálata

Tartóvégnek a feszített tartó végének azt a szakaszát tekintjük, amelyben még nem érvényes a keresztmetszetek hajlítás után is sík voltának (Bernoulli—Navier-feltevés) a feltételezése. Hosszát a de Saint-Venant-elv szerint a tartó magasságával azonosnak szokás feltételezni.

Utófeszített tartóknál a feszítőerő a lehorgonyzóelem közvetítésével koncentráltan, nyomás formájában adódik át a tartóvégre, míg előfeszített tartókban a feszítőhuzalok és a beton együttdolgozása révén közel koncentráltan.

Az erőátadás utófeszített tartókban két, előfeszített tartókban a fellépő kapcsolati feszültségek miatt még egy harmadikfajta keresztirányú húzófeszültséget ébreszt [A. Magnel (1948), Y. Guyon (1951), FIP Report 1978, CEB Bulletin (1982)]. Jóllehet az ezekből eredő húzóerő a feszítőerőnek csupán néhány százaléka, a legnagyobb húzófeszültség helyén a tartóvéget felrepeztheti.



7.45. ábra. Tartóvégén ébredő keresztirányú feszültségek: a) utófeszített tartó, b) előfeszített tartó. 1 — hasítófeszültség, 2 — beékelődési feszültség, 3 — együttdolgozásból származó kapcsolati erő [CEB—FIB Model Code 1990]

A feszítőerő hatására a feszítőerő környezetében a beton összenyomódik, miközben a véglap megnyúlik. A keresztirányú húzófeszültséget *beékelődési feszültségnek* (angolul: spalling stress) nevezzük. A nyomási trajektóriavonalak görbületváltozása a feszítőbetét tengelyében *hasítófeszültséget* (angolul: bursting stress) hoz létre. Ebből eredő keresztirányú húzófeszültség legnagyobb értéke az erőátadási hossz tartóvégtől számított kétharmadában lép fel. (7.45. ábra). Az erőátadási hossz mentén a kapcsolati erőrendszer gyűrűirányú összetevője a feszítőbetét környezetében húzófeszültséget ébreszt, amit *kapcsolati erőből származó hasítófeszültségnek* nevezünk (angolul: splitting stress). Ez előfeszített tartónál fordul elő (7.45/b ábra).

A gyakorlati tapasztalatok alapján a feszített tartóvég vizsgálata kezdettől fogva izgatta a kutatókat. Kezdetben elsősorban az utófeszített tartó vizsgálatával foglalkoztak.

Hazánkban feszített tartókat csak a II. világháború után készítettünk. Ettől az időtől kezdődött a kísérleti és elméleti munka, amely a mai napig tart.

A tartóvég vizsgálatával már *Böröcz I.* (1953) könyve foglalkozott. Az utófeszített tartóvég vizsgálatát *Haviár Gy.* (1958) elemezte. *Garay L.* (1974) kihúzó kísérleteket végzett, és a tartóvég feszültségállapotát „nyírt hártya” modellel vizsgálta. Megállapította, hogy előfeszített tartóvégén a legkisebb haránt irányú húzófeszültségek akkor lépnek fel, ha a feszítő elemek hossza arányos a tartómagassággal. *Garay L.—Kármán T.* (1961) dolgozatukban foglalkoztak azzal, hogy az előfeszített tartó végén az erőtől mentesített huzalvég duzzadása miatt fellépő gyűrűirányú feszültség okozta káros repedések mikor kerülhetnek el. *Gimesy Mária* elméleti vizsgálatai szerint ez akkor következik be, ha a huzalok egymástól mért távolsága nagyobb, mint

$$t = \frac{\mu_a \sigma_{a0}}{E_a \epsilon_{bh}} d.$$

A képletben μ_a a huzal Poisson-tényezője, σ_{a0} a hatásos feszítőfeszültség, E_a a huzal rugalmassági modulusa, d a huzalátmérő, ϵ_{bh} a beton szakadási nyúlása.

Dulácska E. (1989) elő- és utófeszített tartóvég felhasadásvizsgálatát elemezte. Előfeszített tartóvégen l lehorgonyzási hossza az

$$l = \frac{A_p \sigma_a}{d \pi \tau_{hH}}$$

képletet vezette le, ahol A_p a d átmérőjű pászma keresztmetszeti területe, σ_a a feszítőfeszültség a pászmaiban, $\tau_{hH} = \alpha \sigma_{hH}$ tapadási határfeszültség a σ_{hH} húzó határfeszültségből leszarmaztatva, $\alpha = 1,0$ sima huzal és $\alpha = 1,6$ rovátkolt huzal és sodrott pászma esetén.

Balázs L. Gy. (1990) héteres pászma erőátadási hosszának várható értékére (l_t)

$$l_t = 3,5 \sigma_a / \sqrt{R_b \sqrt{S}}$$

vagy

$$l_t = 111 S^{0,625} / R_b^{0,15} \varepsilon_{po}^{0,4}$$

képleteket vezette le. A képletekben σ_a a pászma kezdeti feszítési feszültsége, R_b a beton nyomószilárdsága a feszítőerő ráengedésekor, S a behúzó-dás, ε_{po} a pászma kezdeti fajlagos nyúlása.

A képletek levezetések nemlineáris kapcsolati feszültség—relatív elmozdulás függvényt vett figyelembe.

További cikkeiben (1991, 2 cikk) előregyártott hidgerendák gerincében fellépő repedések erőtani okait vizsgálta és a beékelődési feszültségek, valamint beékelődési repedések tágasságának a számítására vezetett le képleteket.

A feszített tartóvég vizsgálatát részletesen tárgyalta Bölcskei E.—Tassi G. (1970). A merev acélbetétes tartóvégét Almási J. (1988).

7.7. Vasbeton szerkezetek viselkedése dinamikus teherre

Rendkívül széles területet ölel fel. Foglalkoztak a problémával többen általában, pl. Szmodits K. (1972), Goschy B. (1990). Különösen ki kell emelnem Paulay Tamás Új-Zélandban kifejtett, nemzetközileg is elismert munkáját, nevezetesen kidolgozta a kapacitásmérési elvet, amelyet nálunk is használunk.

Továbbiakban csak kiragadott példákat ismertetek.

7.7.1. Egy londoni toronyház sarokrészének összeomlása

[Csonka P. (1970), Goschy B. (1971)]

1968. május 16-án reggel 3/4 6 órakor London keleti részén, a newhami városnegyedben — a Roman Point nevű épület 18. emeletén — gázrobbanás történt, aminek a hatására az épület sarokrésze 22 emelet magasságban összeomlott. A robbanásnak 4 halálos áldozata és 17 sérültje volt.

Az épület első két szintje monolit betonból épült, míg az afölötti 22 emelet dán Larsen—Nielsen-rendszerű panelos épület volt. A toronyépület keresztmetszetét a 7.46/a ábra gázrobbanás előtti és vázlatos rajzát a 7.46/b—d ábra szemlélteti.

Az angol építésügyi minisztérium bizottságot küldött ki a szerencsétlenség körülményeinek a kivizsgálására, amely nyomtatásban tette közzé megállapításait.

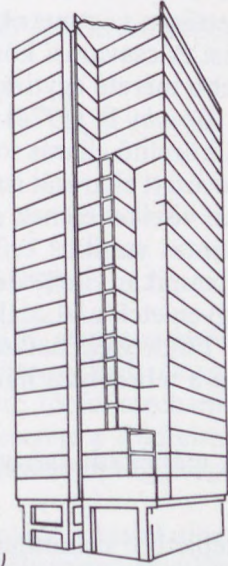
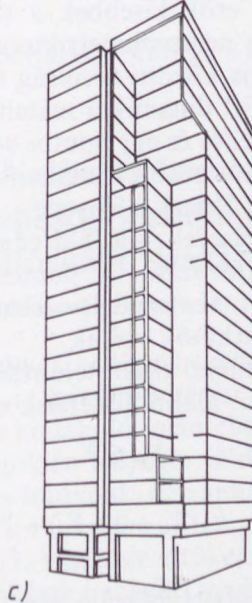
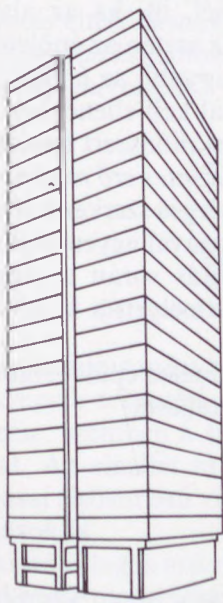
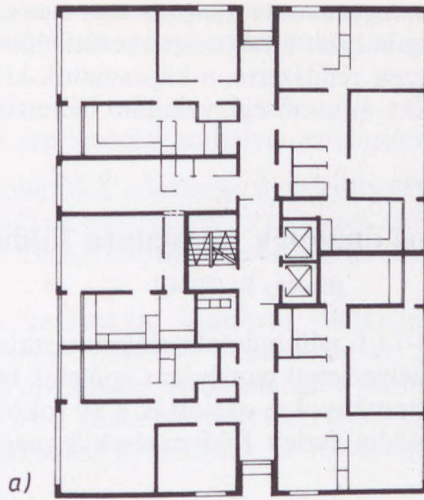
Kétségen kívül megállapították, hogy gázszivárgás okozta a gázrobbanást, amely kidöntötte a 18. emeleti saroklakás nappali szobájának falpaneljét, valamint a nappali és hálószoba szélső harántfalpaneljeit, ledöntötte a mellék-helyiségek válaszfalait és megrongálta a konyha homlokzati falpaneljét. A 9. emeleti szélső harántfalpanelek leomlása maga után vont a rátámaszkodó harántfalpanelek és az azokon nyugvó felsőbb emeleti határoló falpanelek leszakadását. Az összeomlás hatására leomlottak a 18. emeleti lakrészek haránt- és födémpaneljei egészen a monolitikus alsó szintekig. A felső négy emelet függőleges homlokzati fala függve maradt (7.46/b ábra), vele a tetőfödém és a tetőpárkány is. Ezeket később lebontották.

Csonka Pál szerint több jelenség tisztázatlan maradt. Szerinte a robbanás nem lehetett nagy erejű, mert annak a lakásnak a bérlője életben maradt, ahol a robbanás történt, nem érzett gázzagot, a légnyomás miatt nem sérült meg a dobhártyája, a konyhai traktus szerkezeti falai, ahol a robbanás történt, nem sérültek meg.

A szerkezeti rendszer és alaprajzi elrendezés egyik hibája az volt, hogy a vázrendszer nyitott volt. A homlokzati falakat csak felfüggesztették a harántfalak kiálló végeire és nem alkottak a vázrendszerrel dobozszerű szerkezetet. A másik hiba volt, hogy az összes menekülési útvonalak (lépcsők, felvonók) egy csoportba voltak összpontosítva, s az alsóbb emeleteken keletkező tűz a menekülést gyakorlatilag lehetetlenné tette volna.

A londoni katasztrófa megdöbbentette a gyakorlati és elméleti szakembereket, mert megengedhetetlen az, hogy az épületben bekövetkező gázrobbanás, tűz, földrengés *láncolatos vagy progresszív összeomlást* vonjon maga után. A vizsgálatok arra is rámutattak, hogy a láncolatos összeomlást meg lehet előzni a megfelelő szerkezeti és alaprajzi tervezéssel.

A londoni katasztrófa után idehaza is megtették a szükséges intézkedéseket. A panelos épületek méretezésére vonatkozó ME 95-67 jelű műszaki előírást az ÉVM 10/1970 utasításában közzétett Műszaki Irányelvekkel egészítették ki,



7.46. ábra. A London—Newham-i lakótelep toronyépületei alaprajza (a ábra); a Roman Point nevű épület vázlatos rajza [Csonka P. (1970)]; b) összeomlás előtt; c) összeomlás után; d) a leszakadással fenyegető részek eltávolítása után

amelyet *Gilyén Jenő* és *Somogyi László* irányításával működő szakértő bizottság dolgozott ki. Az új szabályzat általános tervezési előírásokon túlmenően az alépítményre, a szerkezeti rendszerre, a kapcsolatok kialakítására, a szerkesztésre adott szabályokat, és minőségi, valamint mérettűrési követelményeket adott meg.

7.7.2. Panelos épületek vizsgálata földrengésre

[*Goschy B.* (1974)]

Hazánkban az ME 95-72/I. jelű műszaki előírás tartalmazza a földrengés okozta hatások által veszélyeztetett panelvázas épületek tervezési irányelveit. Hazánkat szeizmikus tartományokra osztották a 10 fokozatú Mercalli-skála szerint. Hazánkban az eddig észlelt földrengések legnagyobb erőssége 8-9 Mercalli-fok volt.

Az irányelvek szerint nem kell a földrengés hatásával számolni, ha az emeletek száma legfeljebb 5, ha a Mercalli-skála szerinti erősség legfeljebb 5, ha a számított szeizmikus erők kisebbek a szélernél, ill. ha az alaprajz kettősen szimmetrikus, vagy nemszimmetrikus alaprajz esetén az épület hajlítási és csavarási középpontja közötti távolság nem nagyobb az épület legkisebb mérete egytizedénél. Ezt dinamikai számításokkal kell ellenőrizni.

Goschy B. (1974) egy közelítő és egy pontos számítási módszert ismertetett. A közelítő eljárás során a nemzetközi irodalomban *vízszintes erő módszerének* nevezett eljárását ismertette. Ennek a lényege — a tényleges szerkezet dinamikai viselkedésének a mellőzésével — a földrengés hatásával egyenértékű vízszintes statikus erő meghatározása. A pontos számítás során a szerkezet dinamikai viselkedését folytonos modellen elemezte, amelyen a kinematikai egyenletek zárt alakban felírhatók voltak.

Földrengés hatásával szemben akkor tekinthető a panelos épület stabilnak, ha a teherbírási határállapot alábbi feltételek szerint teljesül:

$$Y_M \leq Y_H.$$

A mértékadó igénybevétel

$$k_a(Y_a + 0,5 Y_e) + Y_f$$

képletből számítható, ahol

Y_a az állandó teher (önsúly + stabilizáló vízszintes erő); Y_e az MSZ 15021 szerinti esetleges teher (a szélterhet a földrengéssel egyidejűen nem kell figyelembe venni); $k_a = 0,9$, ill. $1,1$ szórási tényező közül a kedvezőtlenebb.

A belső erőket a rugalmasságtan szerint határozzák meg.

Az Y_H határ-igénybevétel számítása során az anyagok határfeszültségeit a szokásos méretezéshez képest lényegesen megnövelt értékükkel veszik számításba:

betonra	$\sigma_{bH} = 0,7 R_{c28}$
acélra	$\sigma_{aH} = \sigma_f$
talajra	$\sigma_{tHd} = 1,33 \sigma_{tHs}$

A képletekben R_{c28} a beton 28 napos kockaszilárdsága, σ_f az acél folyási határa, σ_{tHd} a dinamikus igénybevétel miatt megnövelt statikus határfe-
szültség (σ_{tHs}).

Panelos épületek szerkesztési szabályai az elmélettel összhangban:

1. A hazai gyártóbázisok adottsága figyelembevételével a földrengésveszélyes területeken a *földrengésállóságot az emeletek számának csökkentésével, az alapozás megfelelő kialakításával, szimmetrikus alaprajzok tervezésével kell elérni.*

2. A szeizmikus hatásokkal szembeni viselkedés *lényegesen javítható a csomópontok folytonos (átmenő) vasalásával és a vasalás duktilitásának (nyújthatóságának) javításával.* A duktilitást a csomóponti acélbetétek alakváltozási munkája ($\sigma-\varepsilon$ görbe alatti terület) fejezi ki, amely akkor megfelelő, ha az acélbetét szakadási nyúlásának és folyási nyúlásának a hányadosa legalább 4.

3. A *dilatációs hézagokat* a lengési amplitúdók figyelembevételével kell kialakítani, azaz legalább kétszerese legyen a szélerő okozta legnagyobb vízszintes eltolódásnak.

4. A *szabad konzolok, parapetfalak bekötését a földrengés okozta erő kétszeresére kell méretezni.*

7.7.3. Vasbeton keretvázak képlékeny csuklói (laboratóriumi vizsgálatok)

[B. Csák (1982), B. Csák—L. Havady—Gy. Visnovitz (1982)]

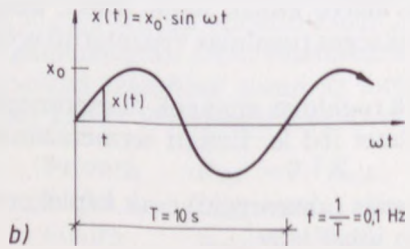
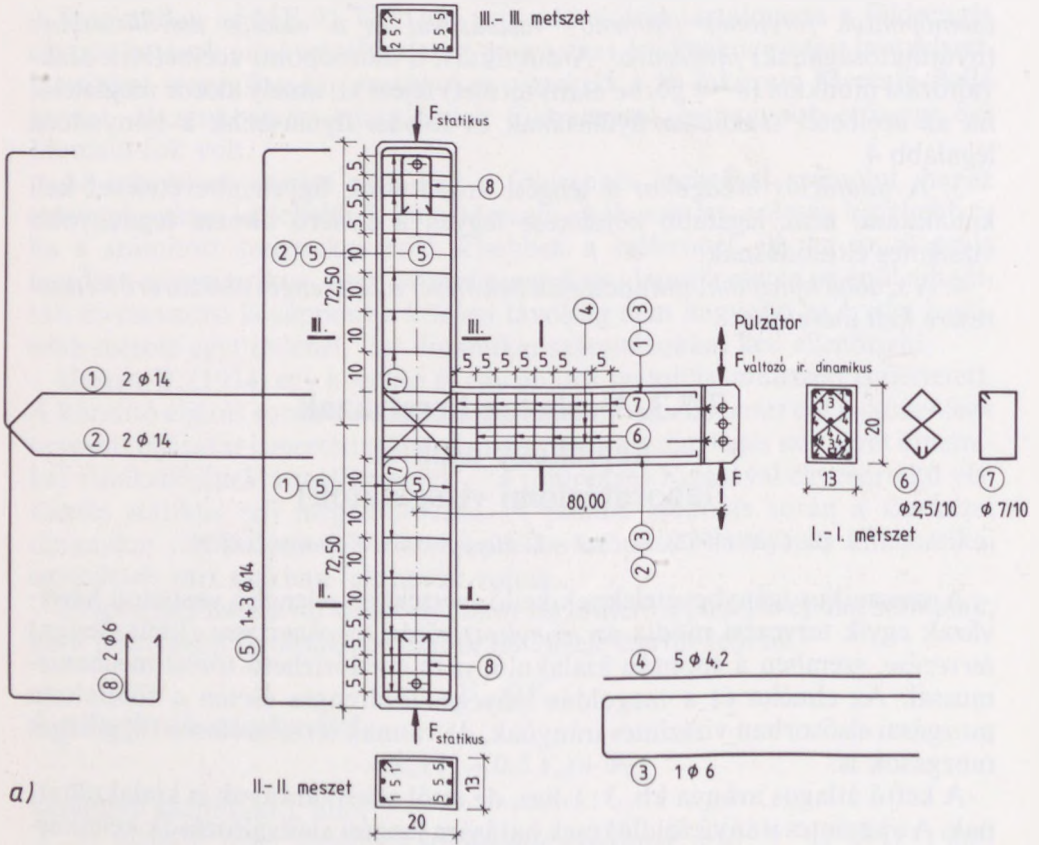
A szeizmikus igénybevételeknek kellő mértékben ellenálló vasbeton keretvázak egyik tervezési módja az *irányított törési mechanizmus* (limit design) *tervezése*, szemben a spontán kialakuló, nem ellenőrizhető törési mechanizmussal. Az elmélet és a megoldás lényege: földrengés esetén a földfelszín mozgásai elsősorban vízszintes irányúak, de vannak természetesen függőleges mozgások is.

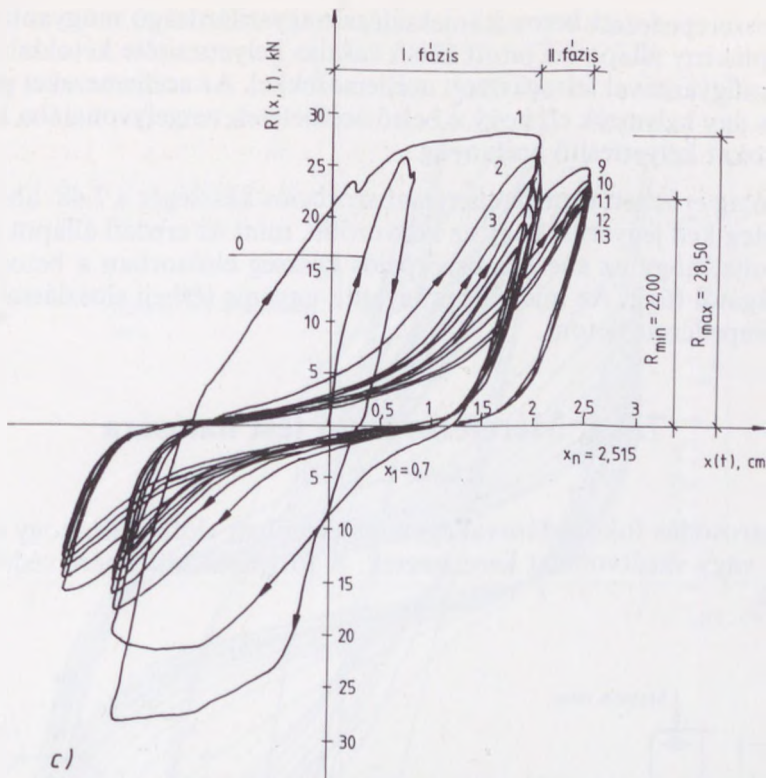
A kettő átlagos aránya kb. 3 : 1-hez, de ettől eltérő arányok is kialakulhatnak. A vízszintes irányú földlökések hatására lengési alakváltozások keletkeznek a szerkezeten. Szabályos lengőmozgásról természetesen csak addig lehet szó, amíg a szerkezet, illetve annak azon részei, elsősorban az oszlopok, amelyek a lengéshez szükséges rugalmas visszatérítő erőt képviselik, rugalmas állapotban maradnak.

Ismert viszont, hogy a rugalmas anyagok hiszterézisgörbéje (energiaelnyelő képesség) igen kis területet fed le. Emiatt természetesen a csillapítás is igen kicsi.

Nagyobb energiaelnyelés (abszorpció) csak képlékeny alakváltozás (duktilitás) kialakulása esetén jöhet létre.

Egy vázszerkezet esetén ilyen energiaelnyelő helyek képezhetők ki a vízszintes gerenda és a függőleges oszlopok csatlakozási helyein (7.47. ábra). Itt lehet kialakítani olyan képlékeny csuklókat, amelyek kellő mértékű energiaelnyelést biztosítanak olyan alakváltozás (alternáló alakváltozás) kialakulásához, amelynél az oszlopok még rugalmas állapotban maradnak. A gerendavégeket kell tehát úgy kialakítani, hogy a képlékeny csuklók itt jöjjenek létre és alternáló nyomatékok, illetve nyírőerők hatására se menjenek tönkre. Biztosí-





7.47. ábra. A csomóponti kengyelezés hatása az energiaabszorpciós diagramokra (3. kísérlet) [B. Csák (1982)]. Beton jele C 30; $E_b = 30$ GPa; acél jele B 45.30, $E_a = 210$ GPa. a) a kísérleti elem vasalása; b) terhelési diagram; c) erő—elmozdulás diagram. Jelölés: O — statikus erő—elmozdulás diagram, $R_y = 27,5$ kN az acél folyási határa; 1—9 ciklus erő—elmozdulási diagramok az I. fázisban, amit 2 cm-es konstans ismétlődő elmozdulás jellemezett; 10—17 ciklus erő—elmozdulási diagramok a II. fázisban, amit 3 cm-es konstans ismétlődő elmozdulás jellemezett. Az ellenállás: $R_{max} = 22,5$ kN, $R_{min} = 13,0$ kN

tani kell tehát egy várható földrengés teljes időtartamára a képlékeny határnyomatékok kialakulását és a nyíróerőkkel szembeni ellenállást.

Mind az elméleti kutatások, mind a laboratóriumi vizsgálatok azt igazolják, hogy a vasalási rendszer — elsősorban a kengyelezés — kialakításával jó hatásokkal lehet a képlékeny csuklók ellenállását (energiaabszorpciós készségét) fokozni.

Igen előnyös a térbeli és sűrű, kis átmérőjű kengyelezés, amely jelentős mértékben meg tudja akadályozni a nyomott beton elmozsolódását.

A mellékelt ábrákon mutatva be az elvi alkalmazás sémáját: Csák Béla és munkatársainak a BME laboratóriumában végzett kísérletei alapján az energiaabszorpciós diagramokat. Foglalkoztak ezen túlmenően a sérült képlékeny csuklók kétféle utólagos megerősítésével is kétféle módon:

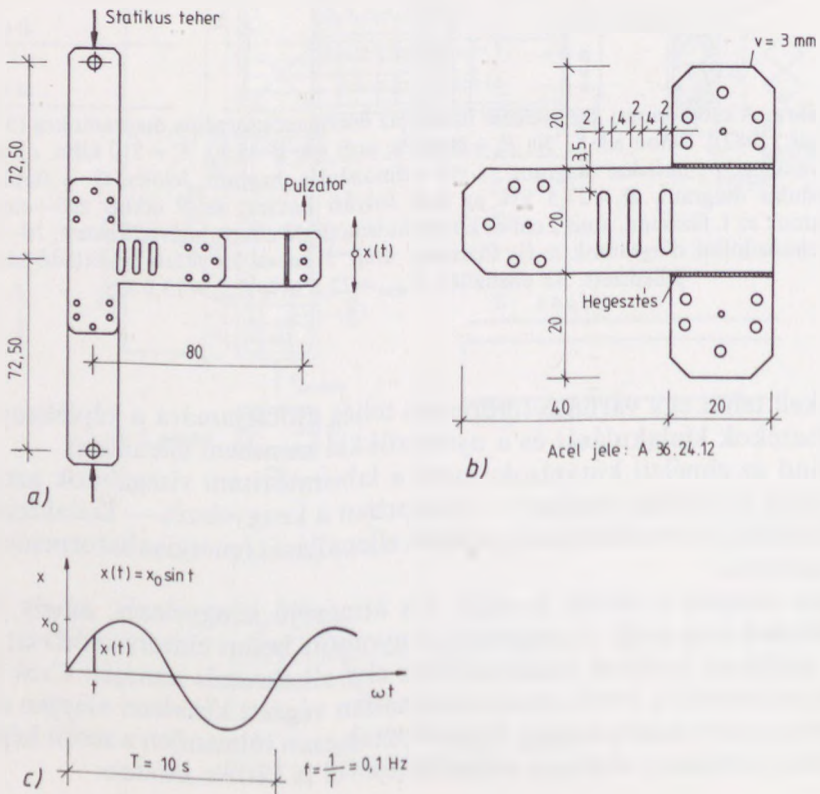
- a) Az összeropendezett beton kiinjektálása nagyszilárdságú műgyantával.
 b) A képlékeny állapotba jutott belső vasalás helyettesítése kétoldalt ugyan-
 csak műgyantával felragasztott acéllemezekkel. Az acéllemezeket perforál-
 ták és úgy helyezték el, hogy a belső acélbetétek tengelyvonalába kerüljön
 az azokat helyettesítő acélszálak.

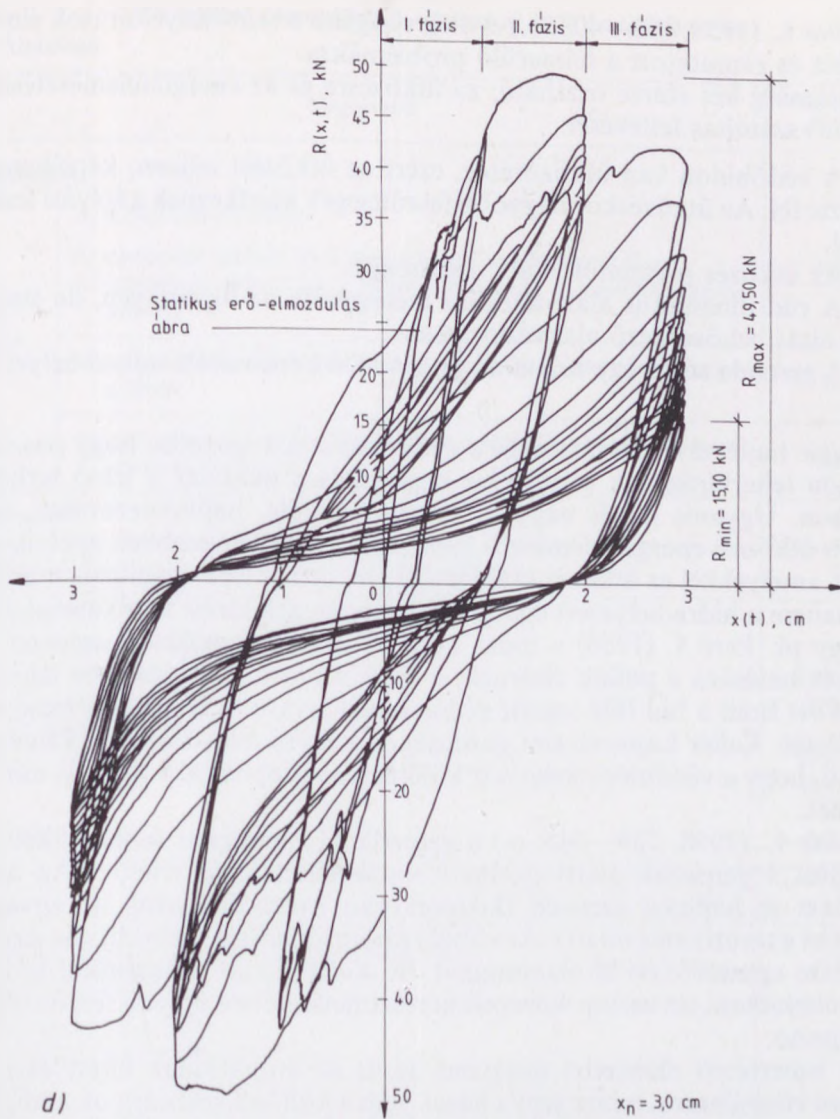
Az utólag erősített elemek energiaabszorpciós készségét a 7.48. ábra szem-
 lélteti. Meg kell jegyezni, hogy ez kedvezőbb, mint az eredeti állapot volt. Ez
 azt igazolja, hogy az energiaabszorpciós készség elsősorban a beton térbeli
 szilárdságától függ. Az injektált műgyanta ugyanis térbeli eloszlással tölti ki
 az összeropendezett betont.

7.7.4. Méretezés leeső test hatására

[Kollár L. (1958)]

Az iparosodás fokozódásával egyre gyakrabban előfordult, hogy kötélpá-
 lyák út- vagy vasútvonalat kereszteltek. A forgalom védelmére védőhidakat
 építettek.





7.48. ábra. Képlékeny állapotba jutott vasalás helyettesítése kétoldalt műgyantával felragasztott acéllemezekkel (3. kísérlet) [B. Csák—L. Havady—Gy. Visnovitz (1982)]. a) A repedéseket epoxigyantával kiinjektálták, és az eredeti, megfolyt vasalás helyett kétoldalt epoxigyantával acéllemezeket ragasztottak fel; b) a 3 mm-es lemez felnagyítva; c) terhelési diagram; d) erő—elmozdulás diagramok. Az I. fázist 1 cm, a II. fázist 2 cm, a III. fázist $x_n = 3$ cm konstans ismétlődő elmozdulás jellemezte

A kötélpályák tervezésére vonatkozó MSZ 6748 szabvány egyszerű közelítő számítási módszert adott annak az egyenértékű statikus erőnek a meghatározására, amely ugyanakkora igénybevételeket okoz a hajlított tartóban, mint a leeső test.

Kollár L. (1958, 402—408. o.) elvileg vizsgálta a szabványelőírások elméleti hátterét és rámutatott a felmerülő problémákra.

A jelenség két részre osztható: az ütközésre és az energiafelemésztésre. A közelítő számítás feltevései:

1. A védőhídon van ütközőréteg, ezért az ütközést teljesen képlékenynek tételezte fel. Az ütközéskor nagyobb feszültségek keletkeznek a folyási feszültségénél.

2. Az ütközés pillanatok alatt végbemegy.

3. A rúd dinamikus alakváltozása megegyezik az ugyanilyen, de statikus teher alatt bekövetkező alakváltozással.

4. A gerenda súlya egy súlytalan tartón lévő koncentrált súllyal helyettesíthető.

Kollár Lajos elvi vizsgálatai és a gyakorlat is azt igazolta, hogy pusztán a gerenda teherbírásának a növelése nem hatásos módszer a leeső terhekkel szemben. Ugyanis minél nagyobb a tartó mérete, hajlítómerevsége, annál kisebb ütközési energiafelemésztő képessége. Eredményesebbek azok az eljárások, amelyekkel az ütközés utáni lendületet nem a tartó rugalmas munkájával, hanem a hidra helyezett energiaemésztő rétegek törési munkájával veszik fel. Így pl. *Verő I.* (1955) a hidra könnyű vasbeton pallósort tervezett. Az ütközés hatására a pallók eltörnek, a csille a hidra közel statikus teherként hat. *Kövi Emil* a híd fölé szerelt védőhálóval javasolta felvenni a leeső csille lendületét. *Kollár Lajos* szerint gazdaságos az esési magasság csökkentése pl. azáltal, hogy a védőhidra helyezett kötélpályaoszlopokkal a belógás minimális lehet.

Kollár L. (1958, 539—545. o.) a gerendánál ismertetett feltételekkel megvizsgálta a gerendák alatti *oszlopok* viselkedését leeső teherre. Az oszlop nyomást és hajlítást szenved (központosan nyomott oszlop az anyagi és készítési excentricitás miatt). Az ebből származó kétféle alakváltozás rendszerint nem egyszerre éri el maximumát, de *Kollár Lajos* a biztonság kedvéért ettől eltekintett, az oszlop középső keresztmetszetében ébredő feszültségeket összegezte.

Az ismertetett elmélettel módszert adott az ütőhatásnak kitett oszlopok erőtanai vizsgálatára, amire sem a hazai, sem a külföldi szabványok addig nem tértek ki.

7.8. A vasbetonismeret fejlődése a szabályozásban

Az anyagok, a beton- és építéstechnológia, valamint a vasbetonismeret fejlődése tükröződik a vasbetonszabályzatokban. Ezt a fejlődést *Szalai K.* (1990) foglalta össze.

Bár a századforduló előtt is voltak szabályozási törekvések [*Csonka P.* (1981)], az első vasbetonszabályzat kiadására 1909-ben, a vasbeton rohamos

7.4. táblázat. Megengedett feszültségek az 1909. évi szabályzatban

A) Általában

Megnevezés		kg/cm ² = = 10 MPa
<i>A betonban</i>		
Nyomásra	a) a hajlított tartóban	45
	b) oszlopban akkor, ha a megterhelése valóban centrikus	
	c) oszlopban akkor, ha a mérekszámításban a hajlítást számba vesszük	
	d) az oszlopban akkor, ha a mérekszámításban a hajlítást elhanyagoljuk	36
	e) oszlopban akkor, ha az egyszerre működhető hatásokat mind számításba vesszük	50
Nyírásra		5
Felületi kötésre vas és beton között hajlítás esetében		6
<i>A vasban</i>		
a) Folyasztott vasban	húzásra	1200
	nyírásra	950
b) Hegesztett vasban	húzásra	1100
	nyírásra	850

B) Oszlop esetén

$m : v =$	≤ 15	20	25	30
Az oszlop betonjára megengedhető legnagyobb nyomófeszültség kg-ban cm ² -enként	σ_b	$0,8\sigma_b$	$0,6\sigma_b$	$0,5\sigma_b$

m = az oszlop magassága,

v = a keresztmetszet kisebbik mérete

térhódítása után került sor [Szabályzat..., 1909]. A szabályzat vasbeton szerkezetek méretezését a II. feszültségi állapot feltételezésével, a megengedett feszültségek elve alapján írta elő. Egy egységes biztonsági tényezőt használtak. A megengedett feszültségeket a min. 14 MPa átlagos kockaszilárdságú betonra a 7.4. táblázat szemlélteti. A szerkezetet indokolt esetben (pl. ha a támaszköz 8 m-nél nagyobb volt) próbaterheléssel kellett átvenni. A próbaterhelés után a maradó lehajlás nem lehetett nagyobb a teljes lehajlás harmadánál. Az olyan szerkezet teherbírását, amelyet számítással nem lehetett megbízhatóan igazolni, törésig tartó próbaterheléssel kellett ellenőrizni.

Az 1931. évi vasbetonszabályzat [Mihailich Gy.—Álgyay-Hubert P.—Kazinczy G. (1931)] szerint is a II. feszültségi állapot alapján kellett méretezni,

$n = 15$ értéket ($n = E_{\text{acél}} : E_{\text{beton}}$) véve fel. Alakváltozás számításakor $n = 10$ volt használható. A betonismeret növekedését jelzi, hogy a megengedett feszültségeket a 28 napos kockaszilárdság függvényében adták meg. Pl. hajlításból származó nyomásra 40—45%-át, központos nyomásra oszlopban 30%-át, acélbetétre a folyási határ 30%-át.

Az 1931. évi szabályzatot kisebb mértékben kiegészítették a „szigma csavart vas” forgalmazása miatt.

Az 1949. évi szabályzat [Gyengő T.—Palotás L.—Schwertner A.—Szmodits K.—Vajda P. (1949)] már „Országos Magasépítési Méretezési Szabályzat” elnevezéssel jelent meg jelezve, hogy külön Közúti, ill. Vasúti Hídszabályzatot is kiadtak. Mivel a három szabályzat között alapelveiben lényegében egyezés

7.5. táblázat. Határfeszültség az 1951. évi szabályzatban

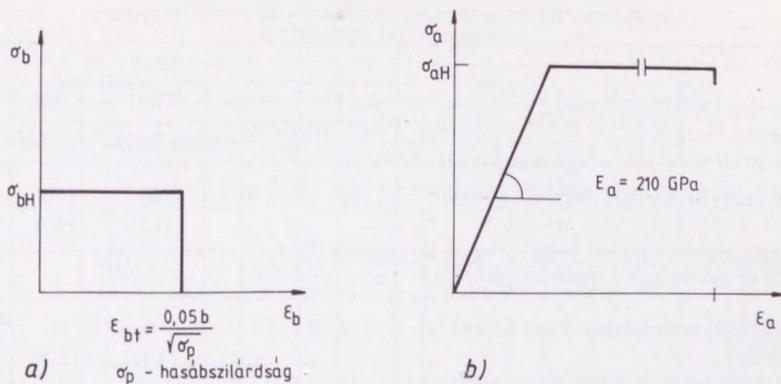
A) Beton határfeszültségek

Igénybevételi mód	Betonminőség			
	B 140	B 220	B 300	B 400
	Határfeszültség kg/cm ² = 10 MPa			
Bármilyen igénybevételből származó nyomásra*	70	100	125	150
Hajlításból és csavarásból származó ferde húzásra: a) vasbetétek számításba vétele nélkül (alsó határérték)	8	10	12	11
b) ha a kengyelek és felgörbített vasbetétek a húzóerőt felveszik (felső határérték)	20	25	30	35

* Központos nyomás esetén a feszültségi értékek alapján kiadódó nyomóerőt α , ill. α' módosító tényezővel megszorozva kell számításba venni

B) Betonacél határfeszültségek

Betonacél	Ø mm	Határfeszültség kg/cm ² = 10 MPa
36.24 B	5,5—40	2000
50.30 B	22—40	2500
50.35 B és 50.35 B csavart vasvasbeton szerkezetekben idomtest födémeiben	7—20	2800 2500
75.55 KB (csak előregyártott vasbeton szerkezetekben) B 400-as beton használatánál B 300-as beton használatánál	5,5—12	4400 3800



7.49. ábra. Az anyagok idealizált $\sigma-\varepsilon$ diagramja az 1951. évi vasbetonszabályzatban, a) betonra; b) acélra

volt, helyszűke miatt csak a magasépítési szabályzat lényeges elvi részeit ismertetem.

Az 1949. évi szabványmódosítás előírásai alapján a szerkezet viselkedését a rugalmasságtan elvei szerint kellett vizsgálni. A szilárdságtani számítást $n = 15$ feltételezésével kellett elvégezni, éspedig vasbeton szerkezetek esetén a II., feszített vasbeton tartó esetén az I. feszültségállapot feltételezésével.

Az 1951. évi vasbetonszabályzat elveiben tért el az előző szabályzatoktól [Gábor P.—Menyhárd I.—Rózsa M. (1951)].

Az igénybevételek számításánál bevezették az osztott biztonsági tényező fogalmát.

A szilárdsági számítást a törési állapotot tükröző III. feszültségi állapot alapján kellett elvégezni (n -mentes számítás). Azt kellett az ellenőrzés során kimutatni, hogy a tartó terv szerinti méretei és a határfeszültségek alapulvételeivel számított határigénybevétel (Y_H) nagyobb a mértékadó igénybevétele-nél (Y_M).

A szabályzat a határfeszültségeket a beton-, ill. az acélminőség (7.5. táblázat) függvényében adta meg. Az n -mentes számításhoz idealizált $\sigma-\varepsilon$ diagramokat kellett feltételezni (7.49. ábra). A semleges tengely (x) határhelyzetét (x_0) a hasznos tartómagasság felében korlátozták. Előírták a minimális vasszázalékot.

Az 1957. évi szabványmódosítás csak annyi változást hozott, hogy bevezet-tek a $\sqrt{2}$ -szörös lépcsőnek megfelelő betonszilárdsági osztályokat, bővült az acélbetétek kínálata, a határfeszültség jelölésére bevezették a H betűt, a lemezek számítását a törésvonal elmélet alapján írták elő, bevezették a repe-déskorlátozásra való méretezést, a nagyobb betonszilárdsági osztályokban növelték a határfeszültséget (7.6. és 7.7. táblázat).

Az 1971. évi vasbetonszabvány előírásaiban lényeges változtatásra került sor. Bevezették a minősítési érték fogalmát, amelyen már nem az átlagszilárdságot, hanem az 5%-os alulmaradási küszöbszilárdságot értették. Tengelyirá-

7.6. táblázat. Határfeszültségek az MSZ 15022-57 szabványban

Igénybevételi mód	Beton				
	B 140 ²	B 140	B 200	B 280	B 400
	Határfeszültség kg/cm ² = 10 MPa				
Bármilyen igénybevételből származó nyomásra	55	70	100 (115)	130 (150)	170 (190)
Hajlításból és csavarásból származó ferde húzásra					
a) acélbetétek számításba vétele nélkül (alsó határ)	6	7	9 (10)	11 (12,5)	13 (15)
b) ha a kengyelek, a felgörbített acélbetétek a húzóerőt felveszik (felső határ)	15	17,5	22,5 (25)	27,5 (31)	32,5 (37,5)
A repedésmentesség követelménye esetében húzásra:					
a) központos húzás esetében és külpontos húzásnál a húzott zónában átlagérték: fokozott biztonságú repedésmentesség követelménye esetében	—	—	9 (10)	11 (12,5)	13 (15)
mérsékelt biztonságú repedésmentesség követelménye esetén	—	—	18 (20)	22 (25)	26 (30)
b) hajlítás, külpontos húzás, ill. nyomás esetében a szélső szálban: fokozott biztonságú repedésmentesség követelménye esetében	—	—	18 (20)	22 (25)	26 (30)
mérsékelt biztonságú repedésmentesség követelménye esetén	—	—	36 (40)	44 (50)	52 (60)

MEGJEGYZÉS: ()-ben lévő értékek előregyártás esetén
 1 = központos nyomás esetén csökkenő tényező használandó
 2 = nem jelentős építési helyen

nyú igénybevételek vizsgálatára a feszültségi állapottól függő idealizált diagramokat vezettek be (7.50. ábra). A 7.50/a ábra általános esetre, a b ábra az I., c ábra a II., d ábra a III. feszültségállapotra, az e ábra a feszített betonra vonatkozik. A betonacél idealizált $\sigma - \varepsilon$ diagramját rugalmas—képlékeny anyagmodell szerint adták meg.

Az alakíthatóság vizsgálatát szilárdsági vizsgálatra vezették vissza a mértékadó külpontosság megadásával [Szalai K. (1988)]:

$$e_M = \frac{M_M}{N_M} + \Delta e_0 \cdot \Delta e_1,$$

ahol

$$\Delta e_0 = 0,03h + 0,01 \left(\frac{l_0}{10h} \right) h \text{ — a véletlen jellegű kezdeti,}$$

$$\Delta e_1 = 0,04 \left(\frac{l_0}{10h} \right) h \text{ — a külpontosság növekménye,}$$

7.7. táblázat. Határfeszültségek az 1957. évi szabványban.
Betonacélok határfeszültségei

Acél (MSZ 339)			Beton				Az acél MSZ 499 szerinti színjele
Acélbetét jele	A hengerelt felület	Átmérő M mm	B 140	B 220	B 280	B 400	
			Határfeszültség kg/cm ² = 10 MPa				
34.21 B	Sima Bordás	5,5—8 10—28	1800	1800	1800	—	Rózsaszín
50.35 Bm 50.35 BmK	Sima	7—20	2800	2800	2800	2800	Lila Lila-rózsaszín
50.35 Bm 50.35 BmK	Periodikus	7—40					Lila Lila-rózsaszín
Csavart acél	Sima Bordás	7—8 10—20					Rózsaszín
50.35 Bm 50.35 BmK	Sima	22—40	2500	2800	2800	2800	Lila Lila-rózsaszín
Csavart acél	Bordás	22—28					Rózsaszín
60.42 Bm	Sima Periodikus	7—20 7—40	2800 3200	3400	3400	3400	Kék-zöld-barna
60.42	Sima	22—40	2500	3200	3400	3400	Kék-zöld-barna
75.50 Bm	Sima	7—16	—	3400	4000	4000	Ezüst
	Periodikus	7—16	—	4000	4000	4000	

l_0 = helyettesítő kihajlási hossz,

h = dolgozó magasság a feltételezett kihajlási síkban.

Hajlított tartó nyomott övében fel lehet tételezni, hogy a nyomóerő 10%-ának megfelelő nyíróerőt a nyomott zóna felveszi.

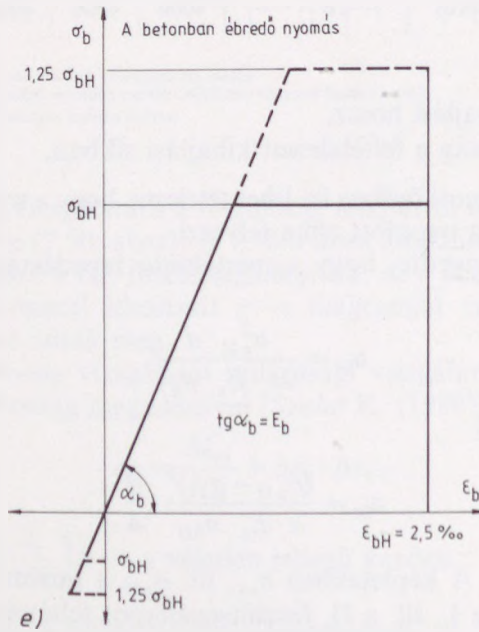
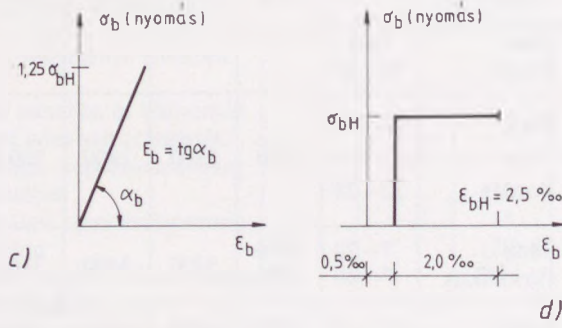
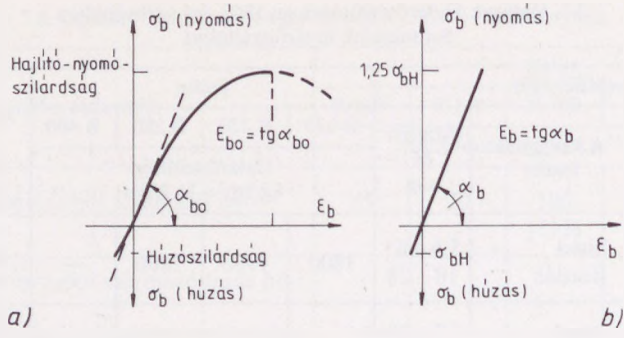
A szabvány megengedte, hogy a mértékadó repedéstágasságot vasbeton tartó esetén

$$a_M = \frac{\sigma_{aII}^2 \cdot d}{2\alpha \cdot E_a \cdot \sigma_{bI}},$$

feszített beton esetén

$$a_M = \frac{(\sigma_{aII} - \sigma_{aI})^2 \cdot d}{\alpha \cdot E_a \cdot \sigma_{hH} \cdot 4}$$

képlettel számolják. A képletekben σ_{aI} , ill. σ_{aII} a húzott acélbetétben számítható feszültség az I., ill. a II. feszültségállapot feltételezésével, σ_{bI} a húzott szélső szálbán az I. feszültségállapotban számított betonfeszültség, d az



7.50. ábra. A beton anyagtvénye az 1971. évi szabvány szerint

acélbetét átmérője, α a beton és acél közötti felületi kötés tényezője, és pedig $\alpha = 1,0$ sima, $\alpha = 1,6$ bordás betonacéla.

A határ-repedéstágasságot a környezeti feltételektől függően 0,1—0,3 mm-re írták elő.

Az alakváltozás vizsgálata során a húzott betonöv hajlító-merevségnövelő hatását a húzott betonacél rugalmassági modulusának a módosításával vehették számításba.

Az előírt minimális acélhányad

a gerenda húzott övében	0,2%,
nyomott övében	0,05%,
gerincében	0,05%,
oszlopban	0,6%,
a lemez húzott övében	0,2%,
héjszerkezetben	0,6%

a teljes betonkeresztmetszetre vonatkoztatva.

Az anyagjellemzőket a 7.8. és 7.9. táblázat tartalmazza.

Az 1982. évi szabványban a nemzetközi szervezetekben (CEB, RILEM, KGST) ajánlott módosításokat vezették be. Ezek:

- áttérünk az SI-mértérendszerre;
- a szabványos próbatest az angolszász területen addig is használt $\varnothing 15/30$

7.8. táblázat. Az anyagok határfeszültségei és egyéb jellemzői az MSZ 15022/1-71 szabvány szerint.
A beton jellemzői

A beton szilárdsági jele	B 140	B 200	B 280	B 400	B 560
Az MSZ 4720 szerinti minősítési érték kp/cm^2	100	140	200	280	400
Nyomó határfeszültség σ_{bh} kp/cm^2	70	100	140	200	280
Húzó határfeszültség σ_{hh} kp/cm^2	7	10	13	17	23
E_{bo} kp/cm^2	180 000	230 000	280 000	320 000	360 000
φ (kúszási tényező)	2,0	1,7	1,4	1,1	0,8
Csak rövid idejű terhek esetében E_{br} kp/cm^2	120 000	160 000	200 000	250 000	300 000
Csak tartós terhek esetén E_{bt} kp/cm^2	60 000	80 000	110 000	150 000	200 000

MEGJEGYZÉS: $10 \text{ kp/cm}^2 \approx 1 \text{ MPa}$

7.9. táblázat. Az anyagok határfeszültségei és egyéb jellemzői az 1971. évi szabvány szerint

A) Betonacél jellemzői

A betonacél jele	B 38.24	B 45.30	B 50.36	B 60.40	B 75.50
A σ_{amin} minősítési érték kp/cm ²	2400	3000	3600	4000	5000
A k biztonsági tényező	1,15	1,10	1,20	1,20	1,20
Húzó határfeszültség σ_{aH} kp/cm ²	2100	2700	3000	3400	4200
Nyomó határfeszültség σ'_{aH} kp/cm ²	2100	2700	3000	3400	3400

B) A feszítőhuzal határfeszültségei

Az acél jele	180.30 180.30 R	165.50 165.50 R	150.60 150.60 R	145.70 145.70 R
Húzó határfeszültség σ_{aH} kp/cm ²	13 500	12 300	11 200	10 800
Maximálisan számításba ve- hető nyomófeszültség σ'_{aH} kp/cm ²	3400	3400	3400	3400

MEGJEGYZÉS: R = a rovátkolás jele
10 kp/cm² = 1 MPa

7.10. táblázat. Az acél jellemzői az 1982. évi szabványmódosítás szerint

Az acél jele	Minősítési érték $\sigma_{a, min}$ MPa	Húzó- és nyomó- feszültség $\sigma_{aH} = \sigma'_{aH}$ MPa	ϵ_{aH} határnyúlás ‰
B 38.24 (a, b) B 38.24 B (b)	235	210	25
B 50.36 (a, b)	350	310	25
B 55.40 (d)	390	350	15
B 75.50 (d)	490	420	15
C 15 H	550	410	15

JELMAGYARÁZAT:

- a = Kézi ivhegesztésre előmelegítés nélkül, ponthegesztésre utóhőkezelés nélkül alkalmas acél
- b = Kézi ivhegesztésre az átmérőtől függően előmelegítéssel vagy anélkül, ponthegesztésre utóhőkezelés nélkül alkalmas acél
- c = Leolvasztó tompa hegesztésre is alkalmas acél
- d = Hegesztésre nem ajánlott acél

7.11. táblázat. A minimális vasszázalék az 1983. évi szabványosítás szerint

A beton szilárdsági jele	C10	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55
Húzott öv (μ_{\min} %)	0,08	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36
Nyomott öv (μ'_{\min})	0,05%										
Gerenda gerincében kengyel	0,05%										
Nyomott elem	$2\mu_{\min}$										
Héjszerkezetben	0,2%										

MEGJEGYZÉS: a μ_{\min} értékei a teljes betonkeresztmetszetre vonatkoznak

7.12. táblázat. Acéljellemzők az MSZ 15022/1-86 szerint

A betonacél jele	Húzási és nyomási határfeszültség $\sigma_{aH} = \sigma'_{aH}$ N/mm ²	Határnyúlás ϵ_H ‰	Tapadási tényező α	Hegeszthetőségi besorolás
B 38.24	210	25	1,0	a, c
B 38.24.B	210	25	1,0	a, c
B 50.36	310	25	2,0	a, c
B 55.40	350	25	2,0	b, c
B 60.40	350	15	2,0	d
B 60.50	420	25	2,0	a, c
B.60.50.S	420	15	1,0	a, c
BHS 60.50	420	15	1,0	a
BHB 60.50	420	15	2,0	a
B 75.50	420	15	2,0	d
C 15	410	15	1,0	b

A táblázatban a hegeszthetőségi besorolás:

a = Kézi ivhegesztésre előmelegítés nélkül, ponthegesztésre utóhőkezelés nélkül alkalmas acél

b = Kézi ivhegesztésre az átmérőtől függően előmelegítéssel vagy anélkül, ponthegesztésre utóhőkezelés nélkül alkalmas acél

c = Leolvasztó tompa hegesztésre is alkalmas acél

d = Hegesztésre nem ajánlott acél

cm méretű henger lett, ehhez adták meg a beton jellemzőit (7.13. táblázat), míg külön megengedték a 15 cm élhosszú kockák használatát. Módosult a betonacél határfeszültsége (7.10. táblázat);

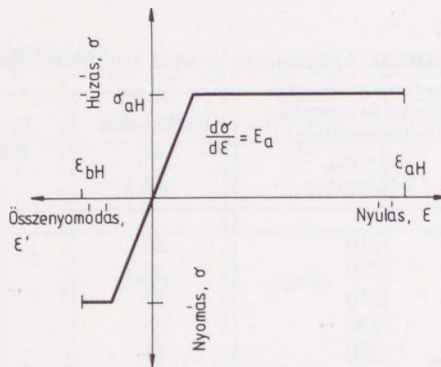
— bevezetésre került a hegesztett háló;

— módosították (1983-ban) a szerkesztési szabályokat, csökkentették a minimális acélbetét hányadot (7.11. táblázat).

Az 1986. évi vashetonszabvány az acélbetétek határfeszültségét a 7.12. táblázat szerint adta meg, és az acélfajtákat hegeszthetőségi csoportba sorolta. Az

7.13. táblázat. A beton jellemzői az

A beton szilárdsági jele		C 10	C 12	C 16	C 20
$R_{k, nom}$	MPa	10	12	16	20
Nyomó határfeszültség, σ_{bH}	MPa	8,0	9,0	13,0	16,0
Húzó határfeszültség, σ_{hH}	MPa	0,75	0,9	1,2	1,4
E_{bo}	GPa	25,5	26,3	27,8	29,2
φ_{100} (kúszási tényező)		2,0	1,84	1,60	1,40

7.51. ábra. Az acélbetét idealizált σ — ε diagramja az 1986. évi szabvány szerint

7.14. táblázat. A beton jellemzői az MSZ 15022/1-86 szerint

A beton szilárdsági jele	C 10	C 12	C 16	C 20	C 25	C 30	C 35	C 40	C 45	C 50	C 55
Rugalmissági tényező, E_{bo} kN/mm ²	24,9	25,8	27,4	28,8	30,5	31,9	33,3	34,5	35,7	36,8	37,8
A kúszási tényező közepes végértéke, φ_0	2,5	2,35	2,1	1,9	1,7	1,55	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
Alakváltozási tényező a tartós teherhez, E_b kN/mm ²	7,1	7,7	8,8	9,9	11,3	12,5	13,9	15,0	16,2	17,5	18,9
Alakváltozási tényező a nem tartós teherhez E_b kN/mm ²	15,3	16,3	18,0	19,5	21,4	23,0	24,7	26,0	27,5	28,9	30,2

C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55
25	30	35	40	45	50	55
19,0	22,0	25,0	29,0	32,0	35,0	38,0
1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
30,8	32,3	33,7	35,0	36,2	37,3	38,4
1,20	1,05	0,91	0,80	0,70	0,60	0,52

acélbetétet a 7.51. ábra szerinti, ideálisan rugalmas—képlékeny anyagnak kellett tekinteni. A beton szilárdsági és alakváltozási jellemzőit a 7.14. táblázat szerint kellett felvenni. A beton — feszültségi állapottól függő — idealizált $\sigma - \varepsilon$ diagram (7.52. ábra) szerint kell számításba venni. Az *a* ábra I., a *b* II., a *c* ábra a III. feszültségi állapot közelítését jelenti.

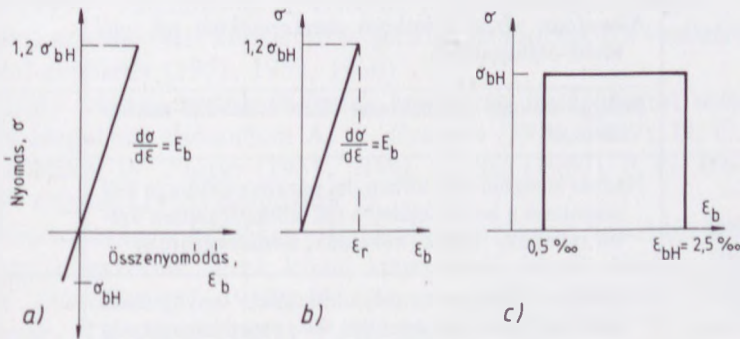
A beton határfeszültségét a 7.15. táblázat szerint írták elő.

A szabvány vasbeton szerkezetek erőtanai számítása során az alábbi határállapotok vizsgálatát írta elő:

— Teherbírási határállapot, azaz $Y_H \geq Y_M$ (ahogy az 1951. évi előírások ismertetésénél bemutattuk).

— A tartóssági határállapotot akkor kell vizsgálni, ha van olyan teher vagy teherrés, amelynek ismétlődési száma várhatóan nagyobb 100 000-nél az épület tervezett élettartamán. Ez a vizsgálat épületeknél ritkán fordul elő.

— A merevségi határállapot vizsgálatával azt kell kimutatni, hogy a mértékadó alakváltozás nem nagyobb az MSZ 15021/2 szerinti alakváltozási határértéknél.



7.52. ábra. A beton idealizált $\sigma - \varepsilon$ diagramjai az 1986. évi szabvány szerint

7.15. táblázat. A beton határfeszültsége az MSZ 15022/1-86 szerint

A beton szilárdsági jele	C 10	C 12	C 16	C 20	C 25	C 30	C 35	C 40	C 45	C 50	C 55
A nyomószilárdság minősítési értéke, R_{bn} N/mm ²	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55
Nyomási határfeszültség, σ_{bH} N/mm ²	7,5	9	11,5	14,5	17,5	20,5	23,5	26	29	32	35
Húzási határfeszültség, σ_{hH} N/mm ²	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7

7.16. táblázat. A repedéstágasság határértékei az MSZ 15022/1-86 szerint

A repedéskorlátozás célja		A számított repedéstágasság határértéke a_H (mm)
A kedvezőtlen esztétikai—pszichikai hatás elkerülése burkolatlan szerkezeteknél		0,3
A vízzárás biztosítása	általános esetben	0,2
	nyomott öv nélküli keresztmetszetben	0,1
Az acélbetétek általános védelme	Általános légnedvességű közegben, azaz 65%-nál tartósan nem magasabb relatív páratartalmú térben (irodák, lakások helyiségeiben, beleértve a vizes helyiségeket is)	0,4
	Nedves közegben, azaz szabadban és 65%-nál tartósan magasabb relatív páratartalmú térben, ha a beton felületén a pára lecsapódására nem kell számítani (pl. nedves levegőjű klimatizált üzemekben)	0,2
	Állandóan vízzel érintkező szerkezeteknél (pl. víz alatti oszlopoknál)	0,2
	Talajjal és/vagy időszakosan vízzel érintkező szerkezeteknél	0,1
Az acélbetétek védelme agresszív környezetben	Nedves levegőjű zárt térben, ha páralecsapódásra kell számítani a beton felületén (pl. klimatizálatlan üzemi mosdók, fürdők, mosodák, konzervgyárak)	0,1
	Agresszív gázokkal, folyadékokkal, anyagokkal érintkező szerkezet esetében, ha a repedésmentesség nincs előírva	0,1

— A repedéskorlátozás vizsgálata során azt kell kimutatni, hogy a repedés-korlátozás célja szerinti repedéstágassági határértéket (7.16. táblázat) a számított repedéstágasság nem lépi túl.

Az Eurocode-2 eurosszabvány magyarországi előzményeit és tapasztalatait Szalai K. és Lenkei P. (1993) foglalta össze.

7.9. Vasbeton szerkezetek töréselmélete

7.9.1. Történeti áttekintés

[Kaliszky S. (1967), Palotás L. (1962)]

A vasbeton két fő alkotója a rugalmas-viszkózus beton és a rugalmas-képlékeny acél. Normálisan vasalt vasbeton szerkezetben a törési határállapot az acélbetét folyása miatt következik be, amit nagy alakváltozások kíséretében a beton összemorzsolódása követ. Azonban a beton kis nyúlóképessége miatt már a törőteher kis részénél a húzott betonban repedések keletkeznek, amelyek fokozatosan megnyílnak. Ezekből a törés közelében a vasbeton szerkezet elegendő számú kitüntetett helyén véges nagyságú képlékeny zónák keletkeznek. A rúdszerkezet eme helyeit *Kazinczy G.* (1914) *plasztikus csuklónak* nevezte el, amelyet lemezszerkezetben és héjakban *törésvonalnak*, *plasztikus élnek* nevezünk. Ebből a gondolatból született meg a *vasbeton szerkezetek teherbírás-számításának plasztikus eljárása*, az ún. *törési elmélet*.

A törési elmélet úttörőjéül a nemzetközi irodalom is *Kazinczy G.-t* (1914) ismeri el. Befalazott acéltartókkal végzett kísérletei alapján vezette be a *plasztikus csukló* fogalmát. Kutatásai során fontos alapelveket dolgozott ki és azokat kísérleteivel is alátámasztotta [*Kazinczy G.* (1933, 1942)]. E téren tehát magyar tudós végzett úttörő munkát.

Ezenkívül — többek között — *E. Mörsch* (1916), *C. Bach* és *O. Graf* (1920, 1923, 1926) végeztek kísérleteket a vasbeton lemezek teherbírásának a meghatározására. Az első elméleti dolgozatot *A. Ingerslev* (1921, 1923), *K. W. Johansen* (1932), valamint *A. A. Gvozdev* (1926) jelentette meg. *K. W. Johansen* elméleti eredményeit kísérlettel is igazolta és kidolgozta vasbeton lemezek törésvonal-elméletét (1951, 1952, 1960).

Képlékeny anyagú tartók és testek képlékeny határállapot vizsgálatának tételeit és alapelveit elsősorban *A. A. Gvozdev* (1936, 1949), *D. C. Drucker*, *H. J. Greenberg*, *W. Prager* (1951, 1959), *R. Hill* (1950), *P. G. Hodge* (1959, 1963), *W. Olszak* (1958) dolgozták ki.

Továbbiak során a képlékeny határállapot tételeit továbbfejlesztették és kísérletileg is igazolták. Ezek közül kiemelendő *M. P. Nielsen* (1962, 1963, 1964), *W. Olszak* (1957, 1958), *H. Craemer* (1951, 1955), *Th. Jäger* (1962), *A. Sawczuk*—*Th. Jäger* (1963), *P. B. Morice* (1955), *W. S. Morris* (1964), *A. J. Ockleston* (1955).

Megjelentek összefoglaló művek is, mint például A. M. *Dubinszkij* (1961), H. *Haase* (1962), P. G. *Hodge* (1959), K. W. *Johansen* (1962), L. L. *Jones* (1962), M. P. *Nielsen* (1964), *Rzsanicin* (1954), A. *Sawczuk*—Th. *Jäger* (1963), Z. *Sobotka* (1954), R. H. *Wood* (1961). Ezek az irodalmak megtalálhatók *Kaliszky S.* (1967) könyvében. Az elméleti és kísérleti kutatás azóta is folyik, de a képlékeny határállapotról alkotott kép alapvetően nem változott meg.

Hazánkban *Kazinczy* Gábort követően *Menyhárd I.* (1952, 1954) dolgozott ki új elméleti megoldásokat és gyakorlati eljárásokat. Kiemelkedő szerepe van abban, hogy a törésvonal-elméletet bevezették az 1951. évi Magasépítési Szabályzatba [*Gábor P.*—*Menyhárd I.*—*Rózsa M.* (1951)] és hogy az hamarosan elterjedt a tervezői gyakorlatban. *Palotás L.* (1961, 1962) a gombafödémek elméleti és kísérleti vizsgálata terén, *Halász O.* (1956) a törésvonal-elmélet elméleti fejlesztése, *Szmodits K.* (1959) a gombafödémek kísérleti vizsgálata, *Juhász B.* (1963) a koncentrált erővel terhelt lemezek, *Lenkei P.* (1965) a törési határfeltételek, *Németh F.* (1956) ferde lemezek számítása terén értek el új eredményeket.

A legtöbb elméleti eredményt *Kaliszky Sándor* érte el, aki a képlékenyen ágyazott lemezek számítására dolgozott ki új eljárást (1952, 1959, 1962, 1963, 1964, 1967, 1975), és anyagtakarékos szerkezeteket eredményező számítások terén vitte előre az ismereteket (1965, 3 cikk).

Különösen ki kell emelnem *Kaliszky S.* (1967) „Vasbetonszerkezetek méretezése a képlékenységtan szerint” c. könyvét, amelyről a könyv lektora, *Menyhárd István* írta az előszóban: „a könyvet tartalmában és felépítésében nemzetközi vonatkozásban is úttörőnek tartom, mert hasonló felépítésű könyvet a vasbeton lemezek képlékenységtan elveire alapuló méretezése területén a világirodalomban nem találtam”. Életműnek is tekinthető *Kaliszky S.* (1975) „Képlékenységtan” c. könyve.

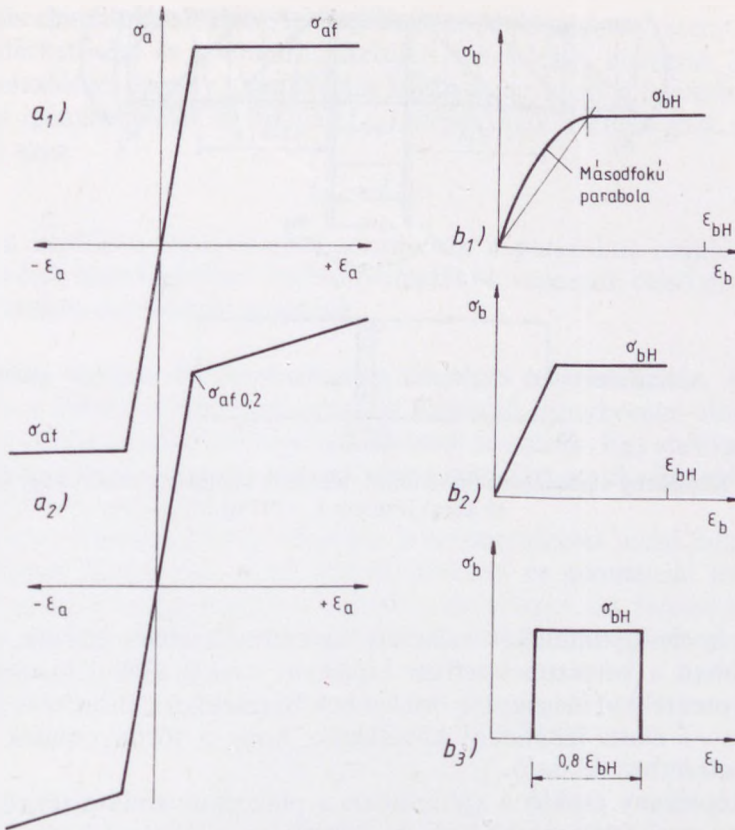
A vasbeton szerkezetek képlékeny határállapot szerinti vizsgálata odaadó terjesztője *Palotás László* volt szakmérnöki jegyzeteiben (1962, 1966), tankönyvében (1967) és a vasbetonelméletről írott könyvében (1973). Vasbeton lemezek képlékeny határállapot szerinti elmélete röviden megtalálható *Gyengő T.*—*Menyhárd I.* (1960) szakkönyvében és *Szalai K.* (1988) tankönyvében.

7.9.2. Feltevések az anyagokra és a terhekre

[*Palotás L.* (1973), *Kaliszky S.* (1967)]

Vasbeton szerkezetek képlékeny határállapot-vizsgálata (törésemélete) során az anyagra és a terhekre az alábbi feltevéseket használják:

a) Az EUROCODE a vasbeton anyagaira a 7.53. ábra szerinti idealizált δ — ε diagramokat engedi meg. Hazánkban a 7.53/a₁ és a 7.53/b₃ ábrát szokás feltételezni. Ezt a feltevést a határozott folyási határú acél igen jól kielégíti. A betonok annál jobban teljesítik ezt a feltevést, minél kisebb szilárdságúak, mivel a kisebb szilárdságú beton tudja követni — bizonyos határon belül



7.53. ábra. A törésemélet idealizált σ — ϵ diagramjai. a_1 — folytácél; a_2 — határozott folyási határ nélküli acél; b_1 — beton a DIN szerint; b_2 — beton, ideálisan rugalmas-képlékeny; b_3 — beton, merev-képlékeny (Eurocode 20)

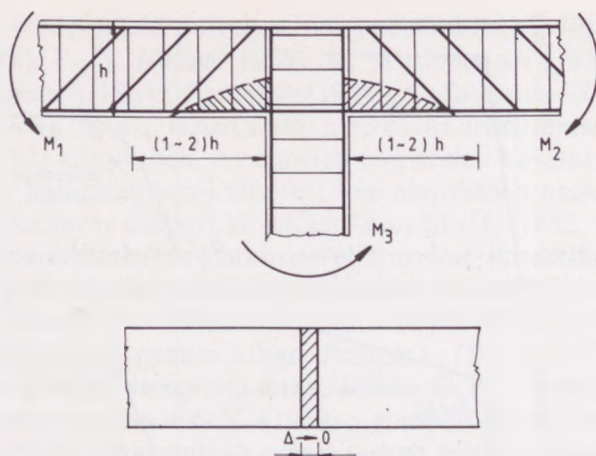
— a képlékeny határállapot elérése után az acébetét folyása miatt bekövetkező elfordulást morzsolódás nélkül, ami a rúdszerkezetekben a plasztikus pont (képlékeny csukló), lemezekben a plasztikus él (képlékeny csukló) kialakulásának a feltétele. A beton alakváltozó képességére célszerű korlátot felállítani.

A képlékeny határállapot-vizsgálat elmélete nem érvényes az igen nagy szilárdságú betonból és acélból készített feszített betonszerkezetekre, amelyeknél fennáll a ridegtörés veszélye.

b) Az alakváltozások kicsik, ezért hatásukat az erőjátékra elhanyagoljuk. Tehát az eredeti tartóméretekkel számolunk.

c) A képlékeny csuklók, ill. élek kialakulásánál csak a hajlítónyomatékok hatását vizsgáljuk, a nyíró-, nyomóerő és a csavarónyomaték hatását általában elhanyagoljuk.

d) Rúdszerkezetek törési állapotának a vizsgálatára nem alkalmazható a szuperpozíció elve. Többparaméteres terhelőerőket vagy erőcsoportokat különböző kombinációkban vizsgáljuk.



7.54. ábra. Képlékeny vasbetoncsukló (a ábra), ideálisan képlékeny csukló vagy képlékeny él (b ábra) [Palotás L. (1973)]

e) Ha a törőnyomatékot valamely keresztmetszetben elértük, abban és csakis abban a keresztmetszetben *képlékeny csukló* alakul ki, amelyben a hajlítónyomatékkal megegyező értelemben bármekkora elfordulás létrejöhet. Az a) és c) alatti feltételből következik, hogy a törőnyomaték az adott keresztmetszetben állandó.

f) A képlékeny csukló a valóságban a plasztikus zónára terjed ki (7.54. ábra), de a gyakorlati számítások egyszerűsítése céljából a *képlékeny szakaszt pontszerűnek tételezzük fel*.

7.9.3. A képlékeny határállapot jellemzése

[Kaliszky S. (1967)]

A törőintenzitás. Ha a terhelési folyamat során az egyes erők helyzete és nagyságuk aránya nem változik, akkor a terhet *egyparaméteres tehernek* nevezzük. Ha a szerkezet terhelése több olyan egyidejűleg ható egyparaméteres teherből áll, amelyek intenzitása egymástól függetlenül változhat (pl. hasznos teher, szélteher), akkor *többparaméteres tehernek* nevezzük.

Ha egyparaméteres teher esetén az ideálisan képlékeny anyagú vasbeton szerkezetek terhelése eléri a törőterhet, akkor a terhelés és a szerkezet jellegétől függően — abban elegendő helyen — képlékeny csukló (rúdszerkezetekben), ill. plasztikus él, plasztikus csukló (lemez-, ill. héjszerkezetekben) alakul ki (7.55. ábra). Ezáltal a szerkezet vagy legalább egy része labilis alakzattá, folyási (törési) mechanizmussá alakul át. Ennek az állapotnak az eléréséhez szükséges terhet *törőintenzitásnak* nevezzük.

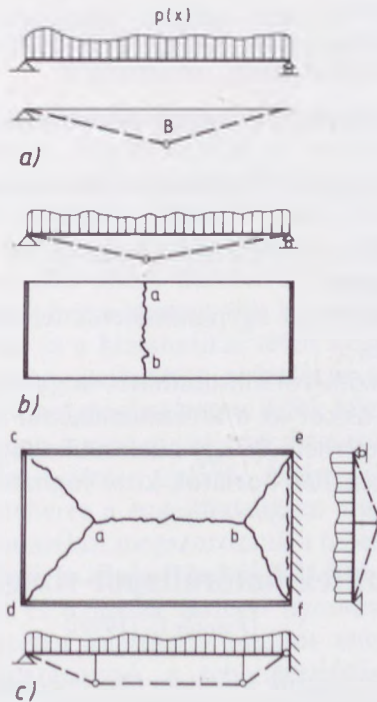
Virtuális elmozdulások elve. A virtuális elmozdulások elve szerint a szerkezet összeférhetőségi és geometriai kerületi feltételeket kielégítő, különben teljesen tetszőleges kicsiny elmozdulása során az egyensúlyi feltételeket kielégítő belső igénybevételek munkája (L_{bp}) megegyezik a külső erők munkájával (L_{kp}), azaz

$$L_{bp} = L_{kp}.$$

Mivel a képlékeny határállapot során csak a plasztikus csuklóknban, ill. plasztikus élek mentén fellépő hajlítónyomatékok végeznek belső munkát, ezt belső plasztikus munkának nevezzük.

Statikailag elérhető és kinematikailag elégséges teherintenzitás. A statikai kerületi és a folyási feltételeket egyaránt kielégítő igénybevétel-eloszlásokat statikailag elérhető igénybevétel-eloszlásoknak nevezzük. Egy statikailag elérhető igénybevétel-eloszláshoz tartozó teherintenzitást statikailag elérhető teherintenzitásnak nevezzük.

A szerkezet kinematikailag elégséges teherintenzitását azzal jellemezzük, hogy található hozzá egy olyan összeférhetőségi és geometriai feltételeket kielégítő, kinematikailag elégséges alakváltozási állapot, ún. *folyási mechanizmus*, amely mozgása közben a külső erők munkája eléri vagy meghaladja az igénybevételek munkáját.



7.55. ábra. Plasztikus csukló (a ábra), plasztikus él (b ábra), plasztikus törésvonalak (c ábra) kialakulása [Palotás L. (1973)]

7.9.4. A képlékenységtan szélsőérték-tételei

[Kaliszky S. (1975)]

Az *állandó feszültségek tétele* szerint képlékeny határállapotban a feszültségek nem változnak meg alakváltozások és elmozdulások közben, tehát a feszültségek változása a test valamennyi pontjában zérus. E tételből, valamint az általános Hooke-törvényből következően képlékeny határállapotban a feszültségeken kívül a rugalmas alakváltozások sem változnak. Ebből következik, hogy

- a) a képlékeny határállapot és a törőterhelés vizsgálatakor a testet merev—tökéletesen képlékeny anyagnak tekinthetjük;
- b) a képlékeny határállapotra a megelőző állapotok nincsenek hatással;
- c) képlékeny határállapotban a szerkezet változatlan eloszlású, arányosan növekvő képlékeny alakváltozásokat és eltolódásokat végez.

A szerkezetek méretezéséhez, ill. teherbírásának ellenőrzéséhez két szélsőérték-tételt használunk fel.

Az alsó korlátot a *statikai tétel* mondja ki, amely szerint a teher törőintenzitása nagyobb a statikailag elérhető teherintenzitásnál vagy legfeljebb egyenlő azzal.

A felső korlátot a *kinematikai tétel* adja meg, amely szerint a teher törőintenzitása kisebb bármelyik kinematikailag elégséges teherintenzitásnál vagy legfeljebb egyenlő azzal.

A képlékenységtanban a két extrémumtételeknek igen fontos szerepe van. Belőlük az alábbi következtetések vonhatók le:

a) A törőintenzitás egyenlő a legnagyobb statikailag elérhető teherintenzitással.

b) A törőintenzitás egyenlő a legkisebb kinematikailag elégséges teherintenzitással.

Mivel a törőintenzitás egy abszolút minimum, ill. abszolút maximum keresésének eredménye, ezért

c) adott test, ill. szerkezet egyparaméteres terhelésének egy és csakis egy törőintenzitása van, és

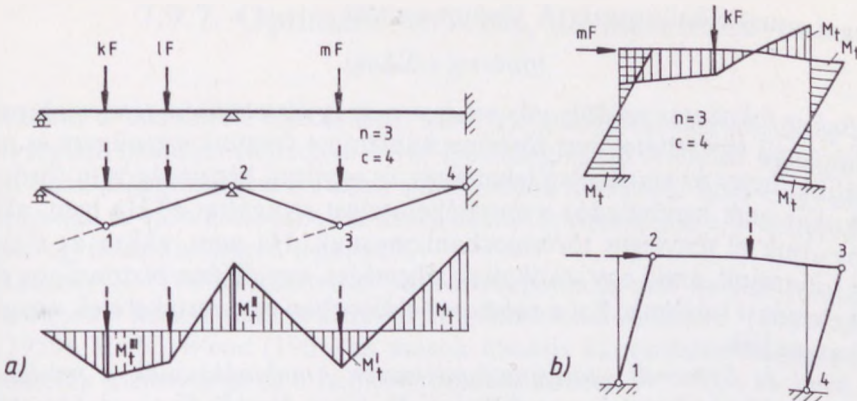
d) ha egy törőintenzitásról kimutatható, hogy statikailag elérhető és kinematikailag elégséges, akkor az a törőintenzitással azonos.

e) Egy statikailag elérhető és egy kinematikailag elégséges teherintenzitás ismeretében a törőintenzitás korlátok közé fogható.

7.9.5. Rúdszerkezetek határállapot-vizsgálata (törésmélete)

[Palotás L. (1973)]

Teljes törésmechanizmusnak az olyan törésmechanizmust nevezzük, amelyben éppen eggyel több a képlékeny csukló (c), mint amennyi a statikus határozottság foka (n). Tehát



7.56. ábra. Példák a teljes törésmechanizmusra: a) gerendatartó; b) kerettartó [Palotás L. (1973)]

$$c = n + 1.$$

A teljes törésmechanizmusra a 7.56. ábra két példát szemléltet.

A kényszererők száma n , a keresett $n+1$ -edik ismeretlen M_i törőnyomaték vagy F_i törőerő adja, s ezáltal a törési mechanizmus statikailag egyértelműen megoldható. Ebben az esetben a szerkezet teljes tönkremenetele valóban bekövetkezik.

Ha a szerkezetben a képlékeny csuklók elegendő számban nem tudnak kialakulni, akkor nem lehet teljes a törésmechanizmus, így *részleges törésmechanizmusnak* nevezzük.

Statikailag határozott szerkezetek fenti alapelvek felhasználásával minden további nélkül tervezhetők. A feladat kétféle: a) Adott alapterher és törőnyomaték ismeretében megkeresendő a legkisebb törőintenzitás (m_i, γ_i). Ha a csuklók helye azonnal felismerhető, akkor a feladat mint szélsőérték keresése a virtuális munkák tétele segítségével megoldható. b) Adott teherhez keresendő a mértékadó törőnyomaték abból kiindulva, hogy az adott teherre az a reális töréskép áll elő, amelyhez a legnagyobb törőnyomaték tartozik. Ezekben az esetekben a statikai és a kinematikai tételt kell kielégíteni.

A statikailag határozatlan szerkezetek erőjátékát a törésmélet alapján különböző módszerekkel lehet meghatározni. Ezek közül a legfontosabbakat Palotás L. (1973) részletesen ismerteti, itt csak felsorolom azokat.

1. *A törési mechanizmus elérése lépésről lépésre történő vizsgálattal.* A nyomatéki ábrát az alapterherre a rugalmasságtan alapján határozzuk meg. Ezután a legnagyobb nyomatékot megszorozzuk a teherintenzitás első alapértékével és egyenlővé tesszük a törőnyomatékkal. Ebből megkapjuk a tartó m_i rugalmas teherbírását és a hozzá tartozó nyomatékeloszlást. Ezután a legnagyobb nyomaték helyén képlékeny csuklót tételezünk fel, és az így kapott szerkezeten meghatározzuk a teherintenzitás ama többletértékét (Δm_i), amelynek megfelelő teher hatására a szerkezeten a következő képlékeny csukló létrejön. Ezt az eljárást addig folytatjuk, amíg a tényleges törési

mechanizmust előállítottuk. A törőintenzitás:

$$m_i = m_r + \Sigma \Delta m_i.$$

2. *Baker fokozatos próbálgatás módszere az egyértelműségi tétel*en alapszik. Az eljárásnál egy feltételezett törésmechanizmust veszünk szemügyre és megvizsgáljuk, hogy az statikailag lehetséges, és egyúttal biztonságos (a törőnyomatékokat nem meghaladó) nyomatékeloszlást szolgáltat-e? Ha igen, akkor ezt fogadjuk el tényleges törésmechanizmusnak. Ha nem, akkor az eljárást addig folytatjuk, amíg egy statikailag lehetséges, egyidejűen biztonságos nyomatékeloszlást találunk. Ezt a módszert elsősorban egyszerű keretek vizsgálataira használják.

3. *Neal és Symonds „törésmechanizmusok kombinálásának a módszere”* komplikáltabb szerkezetek megoldására alkalmas. Neal és Symonds kimutatta, hogy adott tartó és tehercsoport esetében az összes lehetséges törési mechanizmus — a szerkezet és a teher által determinált — kisszámú független mechanizmus kombinációjaként állítható elő. E módszer lényege tehát az, hogy a független mechanizmusok olyan összetételét kell előállítani, amelynek eredménye lehetséges törésmechanizmus és amely a legnagyobb törőintenzitást adja.

4. A rúdszerkezet vizsgálható az általánosan ismert *véges elem módszerével* is.

7.9.6. A tartó beállása

[Kaliszky S. (1975)]

A gyakorlatban a tartókat rendszerint nem egy meghatározott tartományban változó egyparaméteres teher, hanem egymástól független csoportokból álló többparaméteres teher terheli.

A többparaméteres terhek esetén az egyes tehercsoportok törőintenzitásig való növelését általában nem engedhetjük meg, mert akkor a terhek ismétlődése hatására korlátlanul halmozódó képlékeny alakváltozások jönnének létre. Ezért többparaméteres terhelés esetén a terheknek a törőintenzitásnál olyan kisebb korlátot kell megadni, amely lehetővé teszi, hogy a képlékeny alakváltozások csak meghatározott mértékig növekedjenek. Ilyen esetben a tartóban — bizonyos teherismétlődés után — olyan sajátigénybevétel-állapot alakul ki, amely biztosítja azt, hogy a továbbiakban a tartó csak rugalmasan viselkedjék. Ezt nevezik a tartó beállításának. A beállási tételt Kaliszky S. (1975) példákön szemléltette.

A törőnyomaték. Vasbeton rúd vagy lemez egyirányú tiszta hajlítása esetében azt a hajlítónyomatékokot, amelynek a hatására a relatív elfordulás tetszőleges nagyra nőhet, *törőnyomatéknak* nevezük. A törőnyomatékokot, ha kísérletek eredményeit értékeljük ki, akkor a törőfeszültségek alapján (acélbetét folyási határa, beton hasábszilárdsága) határozzuk meg. Ha azonban méretezünk, akkor az acél (σ_{aH}) és a beton (σ_{bH}) határfeszültségével számolunk.

7.9.7. Optimális tervezés, ill. méretezés

[Kaliszky S. (1967)]

Azokat a méretezési eljárásokat, amelyek a rugalmasságtan, ill. a képlékenységtan szokásos feltételein kívül gazdaságossági felételek kielégítését is célul tűzik ki, optimális méretezési eljárásoknak nevezzük. Így pl. egy állandó vastagságú és vasalású vasbeton lemez akkor optimális, ha a beépített acél és beton együttes költsége a legkisebb.

Kaliszky S. (1967) ismerteti a pontos megoldást, ami helyett rendszerint közelítéseket használnak. A közelítő megoldásoknál Pelikán J. (1957), Peredy J. (1959), R. H. Wood (1961) és mások lineáris kapcsolatot tételtek fel a vasbetétek mennyisége és a hajlítónyomaték között:

$$f_v = f_o + A |M|.$$

Kaliszky S. (1965, 1965—66) hatványfüggvényt javasolt:

$$f_v = f_{v0} + BM^2,$$

és ennek alapján arra az eredményre jutott, hogy bizonyos feltételek teljesülése esetén az optimális megoldást egy speciális rugalmas megoldás adja meg. A képletekben f_v az acélbetétek szükséges mennyisége, M a hajlítónyomaték, f_o , f_{v0} , A és B állandók.

Az optimális tervezési feladatok minimumkeresési feladatok, amelyek rendszerint a *lineáris és nemlineáris programozás* alkalmazásával oldhatók meg [Kaliszky S. (1975)].

7.9.8. Vasbeton lemezek méretezése a képlékenységtan szerint

[Kaliszky S. (1967)]

Fogalmak és feltevések. Ha a lemez alsó és felső síkjában, két egymásra merőleges irányban azonos mennyiségű acélbetétet helyezünk el, akkor acélbetétek keresztvezéséből adódó hasznos magasság eltérésétől eltekintve a lemez nyomaték bírása minden irányban azonos lesz. Ezt a lemezt *izotrop lemeznek* nevezzük. Minden más esetben *ortotrop lemezről* beszélünk.

Továbbiakban törő-igénybevételről és törőteherről beszélünk. A szabályzatok azonban ezek helyett határ-igénybevételeket és határterheket adnak meg és a vasbeton lemezeket ezekre kell méretezni, ill. ellenőrizni.

A törésvonal-elmélet feltételezi, hogy a képlékeny tartományok általában egyenes (esetleg egyenesekkel helyettesíthető görbe) vonalak (7.55/b ábra). Ezeket képlékeny éleknek vagy törésvonalaknak nevezzük.

A képlékeny él mentén csatlakozó lemezdarabok a terhelés növelésekor tetszőlegesen elfordulhatnak, és tehermentesítéskor az él nem teszi lehetővé az elfordulást.

A lemez egy törésképén belül általában többféle törésvonalat különböztünk meg. *Rögzített törésvonalnak* nevezzük, ha a törésvonal valamilyen geometriai kényszer (pl. befogás, közbenső alátámasztás) hatására keletkezik. Ha a törésvonalat e folyási mechanizmus geometriai feltételei nem határozzák meg, akkor *szabad törésvonalnak* nevezzük. *Optimális törésvonalak* azok, amelyeknek a helyzetét a teherintenzitás minimumának a feltételéből határozzuk meg.

A törőintenzitás meghatározása. A töréskép ismeretlen paramétereit és a hozzá tartozó teherintenzitást energia módszerrel és egyensúlyi (statikai) módszerrel lehet meghatározni.

Az *energia módszer* a kinematikai tételen alapszik.

Mivel a lemez alakváltozásai csak a törésvonalaknál jelennek meg, és ezek mentén a hajlítónyomaték a törőnyomatékkal azonos, ezért a kinematikailag elégséges teherintenzitás a belső és a külső munka hányadosaként határozható meg. Ha a töréskép ismeretlen paramétereit e hányados minimumának feltétele alapján határozzuk meg, akkor megkapjuk a törőintenzitás legkisebb felső korlátját (esetleg pontos értékét).

Az *egyensúlyi módszer* is a törési határállapot-vizsgálat kinematikai módszerén alapszik. A módszer alap gondolata az, hogy a törésvonalak és a lemez szegélye által határolt egyes lemezdarabok egyensúlyát külön-külön vizsgálja. Ha feltételezzük, hogy a szabad törésvonalak optimális helyzetűek (ez a gyakorlati esetek többsége), akkor a nyíróerő a törésvonal mentén zérus, és az egyensúlyi egyenletekből a töréskép ismeretlen paramétereit és a kinematikailag elégséges teherintenzitást meghatározhatók.

Irodalomjegyzék

Rövidítések:

- MÉ = Magyar Építőipar
MSz = Mélyépítéstudományi Szemle
KMSz = Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle
MMÉEK = Magyar Mérnök és Építész Egylet Közlönye

- Abrams, D. A.*: Effect of time of mixing on the strength of concrete. — *The Canadian Engineer*, 1918. Jul. 25., Aug. 1. és 8.
- Abrams, D. A.*: Design of Concrete Mixtures. — *Bull. 1. Structural Materials Research, Laboratory, Lewis Inst. Chicago*, 111. 1918
- Abrams, D. A.*: Design of concrete mixtures. — *Structural Material Research Laboratory, Bull. 1. Chicago*, 1925.
- Almási József*: Merevacélbetétes tartóvég vizsgálata. — *KMSz* 1988, 4, 167—172.
- Andorka Péter—Lenkei Péter*: A dinamikus beállítás feltételei vasbetonszerkezetekben. — *KMSz* 1988, 9, 420—423
- Armuth András*: A beton vákuumozási eljárás elmélete és alkalmazása (1960 kézirat). Különleges technológiával előállított vákuumbetonok technológiája. — *ÉTI kut. jelentés* 1962.
- Armuth András*: Tapasztalatok a beton vákuumozásával. — *MÉ* 1963, 6, 271—276
- Ágh Ernő*: Korszerű betonszállítás. — *MSz* 1956, 6, 284—286
- Bach, C.*: Versuche mit einbetoniertem Tachereisen. — *Berlin*, 1907
- Badian, A.*: Über die Beziehungen zwischen dem Abramsschen Feinheitsmodul, der Hummelschen F-Fläche und den Spindelschen Siebnummern. — *Beton und Eisen* 1938, 19, 305—307
- Badian, A.*: Grafische Ermittlung der Anteile von Kiesen mit bekannten Siebkurven im Zuschlag mit gewünschten Feinheitsgrad. — *Beton und Eisen* 1938, 11, 191—192
- Balázs György*: A tartós terhelés hatása a beton törőszilárdságára és rugalmassági modulusára. — *Minőségi Beton Konferencia* 1960, 257—261
- Balázs György*: Betonszilárdítás a gőzölés és a kalcium-klorid együttes alkalmazásával. — *Kandidátusi értekezés*, 1963
- Balázs György*: A beton szilárdulása a gőzölés után. — *MÉ* 1964, 10, 583—589
- Balázs György*: Betonszilárdítás a gőzölés és kalcium-klorid együttes alkalmazásával. — *MTI* 4379. sz. jegyzet, 1965
- Balázs György*: A betonszilárdulás gyorsítása a cement őrlési finomságának növelése útján. — *MÉ* 1969, 3, 169—172
- Balázs György*: A betonszilárdulás gyorsítása a cement őrlési finomságának növelése és a gőzölés együttes alkalmazása révén. — *MÉ* 1969, 11—12, 639—646
- Balázs György*: A lemezvastagság hatása a beton zsugorodására. — *Építési kutatásfejlesztés* 1971, 7—8, 66—75
- Balázs György*: A betonstruktúra elemzése a betontechnológiával szemben támasztott korszerű követelmények szempontjából. — *Építőanyagok Tanszék Tud. Közl.* 34. k. KÖZDOK 1982

- Balázs György*: A betonstruktúra elemzése. — Akadémiai doktori értekezés, 1983
- Balázs György*: Építőanyagok és kémia. — Tankönyvkiadó V., Bp. 1984
- Balázs György*: A betonismeret múltja, jelene és jövője. — BME Építőanyagok Tanszék Tud. Közl. 36. k. KÖZDOK, 1985, 13—66
- Balázs, Gy.*: Der Zementsättigungswert als eine wichtige Kenngröße der Betonstruktur. — Baustoffe 1985, 5—6, Bauverlag
- Balázs György*: Energiatakarékos betonszilárdítás. — Műszaki Könyvkiadó Bp. 1987
- Balázs György*: A péptelítettség mint struktúrajellemző. — Építőanyag 1988, 4, 125—128
- Balázs György*: Betontulajdonságok a betonstruktúra függvényében. — BME Építőanyagok Tanszék Tud. Közl. 36. k. I. rész, KÖZDOK, 1988, 81—125
- Balázs György—Kilián József (Haviár Győző előadása alapján)*: Válogatott fejezetek a vasbetonépítés köréből. — Tankönyvkiadó jegyzetszorosítója, Bp. 1952
- Balázs György—Kilián József*: Habarcsok és betonok szilárdságának a növelése nedves örléssel. — MSz 1953, 3, 8—9, 406—409
- Balázs György—Kilián József*: Habarcsok és betonok szilárdságának a növelése nedves örléssel. — MTI 2695. sz. jegyzet, 1954, 1—32
- Balázs György—Kilián József*: Nagyszilárdságú betonok lassú alakváltozása. — ÉKME Tud. Közl. II. k. 1956, 2, 1—18
- Balázs György—Kilián József*: Nagyszilárdságú betonok lassú alakváltozása és tömörödése, a kis lassú alakváltozású beton. — MSz 1957, 1—2, 52—64
- Balázs György—Kilián József*: Zúzott adalékanyagú beton zsugorodása és lassú alakváltozása. — MSz 1959, 9, 423—431
- Balázs György—Tamás Ferenc*: Investigations into mechanism of calcium chloride effect in case of natural and steam curing conditions. — RILEM Konferencia, Moszkva, 1964, 1—16
- Balázs György—Kunszt György*: A gőzölt betonszerkezetek romlásának okai. — MÉ 1965, 9, 543—549
- Balázs György—Kunszt György*: A betonszilárdítás terén elért legújabb eredmények. — MÉ 1965, 12, 701—709
- Balázs György—Erdélyi Attila—Szűcs Ferenc*: A beton gőzölésének egyes kérdései. — MSz 1966, 4, 154—160
- Balázs György—Erdélyi Attila*: A feszített vasúti aljak minőségi tartalékai. — MSz 1966, 5, 218—227
- Balázs György—Zimonyi Gyula—Zobel Lajos*: Előregyártott beton egyenlőtlen hőmérsékleteloszlás okozta feszültségei és repedései. — MSz 1967, 6, 252—256
- Balázs György—Erdélyi Attila*: Útbetonkísérletek. — BME Építőanyagok Tanszék Tud. Közl. I. k. KÖZDOK, 1970
- Balázs, Gy.—Horváth, A.*: Kriech- und Schwindmessungen an nachträglich gespannten Stahlbeton Tragwerken. — IVBH Symposium Madrid, 1970, 133—140
- Balázs György—Boros Jánosné—Majer János*: A betonfelület karbonátosodása trasz jelenlétében. — Építőanyag 1972, 6, 212—220
- Balázs György—Berényi Miklós—Szentiványi Béla*: Hőmérsékleti feszültségek a gőzölt betonban. — BME Építőanyagok Tanszék Tud. Közl. 5. k. KÖZDOK, 1972
- Balázs György—Borján József*: Nagyszilárdságú kavicsbetonok. — BME Építőanyagok Tanszék Tud. Közl. 14. k. KÖZDOK, 1974
- Balázs György—Fogarasi Gyula*: Vasbetonlemezek kapcsolatai. — Műszaki Könyvkiadó Bp. 1977
- Balázs György—Kovács Károly*: Az impregnálás hatása a beton szilárdságára. — Építőanyag 1979, 12, 466—476
- Balázs György—Borján József—Gulyás Kálmán—Józsa Zsuzsa—Kászonyi Gábor—Szombathy Zoltán—Tarcizky Zsuzsa*: A győri Kis-Duna hid építésével kapcsolatos kísérletek. MSz 1980, 7, 296—304
- Balázs György—Zsigovics István—Ostermann Lajos*: Heterogén cementek hidegérzékenysége. — Építőanyag 1980, 7, 255—262

- Balázs György—Arany Piroska—Ostermann Lajos:* Heterogén cementek gőzölhetősége. — *Építőanyag* 1981, 9, 343—352
- Balázs György—Tóth János:* Igen nagy szilárdságú betonok előállításának elvi kérdései. — *Építőanyag* 1989, 3, 89—95
- Balázs György—Tóth János:* Igen nagy szilárdságú betonok előállítási technológiái. — *Építőanyag* 1989, 4, 138—148
- Balázs György—Kolostori János—Székely István:* Nagy és különlegesen nagyszilárdságú cementek (550 pc) felhasználásában rejlő lehetőségek. — *MÉ* 1989, 4, 171—178
- Balázs, Gy.—Zsigovics I.:* Beitrag zur struktur-orientierten Betonplanung. — *Baustoffe-Forschung-Anwendung, Bewahrung.* Baustoffinstitut der Technische Universität München, 1989, 26—33
- Balázs György—Rédey Nagyné, Faragó Zsuzsa:* A lövelt beton bányabiztosítás alkalmazhatóságának vizsgálata. — *KMSz* 1989, 11, 415—421
- Balázs L. György:* Az elcsúszó kapcsolat differenciálegyenletének megoldási lehetőségei vasbetonszerkezetek esetén. — *Mérnöki Matematika Szakmérnöki dolgozat, BME, 1986*
- Balázs L. György:* Repedéstágasság számítása nem-lineáris kapcsolati törvény felhasználásával. — *KMSz* 1988, 4, 191—197
- Balázs L. György:* Feszítőbetét erőátadási hossza a behúzóadás és a feszítési feszültség függvényében. — *KMSz* 1990, 12, 465—469
- Balázs L. György:* Erőátadódás betonban. — *Kandidátusi értekezés, 1991*
- Balázs L. György:* Előrefeszített vasbeton hidgerendák gerincében fellépő horizontális repedések erőtani okai és tágasságának számítása. — *KMSz* 1991, 2, 55—62
- Balázs L. György:* Példák és tanulságok a beékelődési feszültségek és beékelődési repedések tágasságának számítására. — *KMSz* 1991, 3, 110—112
- Balázs L. György—Thanh, N. H.:* Nervi nyomában. — *MÉ* 1990, 11, 513—517
- Balázs G. L.—Eligenhausen, R.:* Behaviour and Analysis of Reinforced Concrete Structures Under Alternate Actions Including Inelastic Response — Chapter 4: Bond Between Concrete and Steel. — *CEB Bulletin d'Information No 210, July 1991, 119—160*
- Balogh Tamás:* A beton és a betonacél együttdolgozásának hatása a vasbetonszerkezetek teherbírására. — *Kandidátusi értekezés, 1993*
- Balogh Tamás—Szőnyi Éva:* Hazai acélbetétek együttdolgozásának vizsgálata. — *BME diplomamunka, 1981*
- Balogh Tamás—Balázs L. György:* A beton és a betonacél együttdolgozásának viselkedése tartós terhelés hatására. — *KMSz* 1988, 9, 400—405
- Baranyai Horváth Miklós:* A rovatkolás hatása a feszítőhuzalok tapadására és lehorgonyzódására. *MSz* 1974, 1, 37—40
- Barkóczy György:* Korszerű, fém alapanyagú zsaluzatokkal kivitelezett épületek szerelhető, elemes homlokzati megoldásai. — *Egyetemi doktori értekezés, 1976*
- Beke József—Richter Károly:* Vasbetétes betonszerkezetek. 1906
- Bereczky Endre—Reichard Ernő:* A magyar cementipar története. — *SZIKKTI és Cement- és Mészművek kiadásában a Révai Nyomdában készült, 1960*
- Berkovitch, I.:* Sprayed concrete reviewed. — *Civil Engineering, 1984 Oct., 35—38*
- Béres Lajos:* A terhelte beton makrostrukturális változásainak vizsgálati módszerei. — *Építési Kutatás, Fejlesztés 1968 szept.—okt., 6—8*
- Béres Lajos:* A betonok terhelés hatására bekövetkező strukturális változásai. — *Feszítettbeton Konferencia 1968, 86—90*
- Bleier Sándor:* A beton szilárdságának alakulása. — *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl. 1955, XV. k. 1—4, 179—207*
- Bogdán György:* A No-fines technológia bevezetése a szövetkezeti építőiparban (tanulmány)
- Bojtár, I.—Bagi, K.:* Numerical analysis of state-changing process in granular assemblies. — *Periodica Polytechnica Civil Engineering Hung. Akadémiai Kiadó, Bp. 1989*
- Bolomey, J.:* Module de finesse d'Abrams et calcul de l'eau de gachage des betons. — *Festschrift 1880—1930 der EMPA, Zürich, 1930, 3—14*

- Bolomey, J.*: Die Bestimmung der Druckfestigkeit von Mörtel und Beton. — Schweizerische Bauzeitung Bd. 88, 1926, No. 1, 41—46
- Bölcseki Elemér*: Rugalmas anyagú, nyomott rúd határteherbírása. — MSz 1955, 8, 365—369
- Bölcseki Elemér*: A bauxitbeton építményekről. — MÉ, Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények, 1967, 3—17
- Bölcseki Elemér—Szalai Kálmán*: A bauxitbeton építményekről. — MÉ 1958, 7, 474—477
- Bölcseki Elemér—Tassi Géza*: Vasbetonszerkezetek. Feszített tartók. — Tankönyvkiadó, Bp. 1970
- Bölcseki Elemér—Kármán Tamás*: Vasbeton szerkezetek nyírási teherbírása. — MÉ 1970, 8, 449—457
- Böröcz Imre* (szerk.): Feszített betonszerkezetek. — Közlekedési Kiadó, I. k. 1952, II. k. 1953
- Brunauer, S.—Emmett, P. H.—Teller, E.*: Absorption of gases in multimolecular layers. — Journal of the American Chemical Society, 1938
- Brux, G.—Linder, R.—Ruffert, G.*: Spritzbeton, Spritzputz. Herstellung, Prüfung und Ausführung. — Verlagsgesellschaft R. Müller, Köln-Braunsfeld, 1981
- Buday Tibor*: Új utak a betontechnológiában. — MÉ 1978, 9—10, 567—572
- Buday Tibor—Horovitz János*: Adalékszerek a habarcs- és betontechnológiában. — ÉTK 1980
- Burkus Ferenc*: Központi betongyárak. — Építéstechnika 1967, 3, 5—7
- Burkus Ferenc*: 60 m³/h teljesítményű útbetongyár. — UVATERV Közlemények 1969, 15—18
- Burkus Ferenc*: UVAMIX rendszerű betonkeverő. — II. Budapesti Nemzetközi Útügyi Konferencia, 1969, 156—160
- Burkus Ferenc*: Az intenzív keverési technológia meghatározása egy fokozott homogenitású és szilárdságú beton előállítására alkalmas keverőberendezés létrehozása céljából. — Kandidátusi értekezés, 1982
- Burkus Ferenc*: Újabb irányzatok a betonkeverő gépek fejlesztésében és alkalmazásában. — Építéstechnika 1982, 3, 4—6
- Burkus Ferenc*: Betonkeverési eljárások. — Építéstechnika 1982, 4—5, 5—7
- Butt, Yu. M.—Kolbasov, V. M.—Timashev V. V.*: High temperature curing of concrete under atmospheric pressure. — Session III-4b 5th Int. Symp. Chemistry of Cement, Tokyo, 1969
- Büttner, O.*: Emelő eljárások a magasépítésben. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1974
- Caquot, A.*: Rôle des matériaux inertes dans le béton. — Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France. Fascicule no. 4, 1937, júl.—aug.
- Caquot, A.—Faury, J.*: Plasticité de mise en oeuvre du béton en construction de béton armé. Influence des principaux facteurs en jeu. — Annales de l'ITBTP No. 9—10, 1937
- CEB Bulletin d'Information No. 181: Anchorage Zones of Prestressed Concrete Members. — Comité Euro-International du Béton, April 1982
- Cementek vegyi összetételének befolyása lekötésük idejére és szilárdságukra. — MMÉE 1898, 356—358
- Ciampi, V.—Eligehausen, B.—Bertero, V. V.—Popov E. P.*: Analytical Model for Concrete Anchorages of Reinforcing Bars Under Generalized Excitations. — Report No RERC 82—83, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Dec. 1982
- Consolidation of Concrete. — Report of the ACI Committee 609, Journal of the ACI, Apr. 1960, 985—1002
- Czeglédi Gyula—Erdélyi Attila*: Feszítőhuzalok reológiai jelenségeinek extrapolációjára alkalmas függvények vizsgálata. — MSz 1974, 2, 68—71
- Csák, B.*: Analysis of reinforced concrete frameworks under seismic effect... — Proc. of Seventh European Conf. on Earthquake Engineering, Sept. 20—25. 1982, Athens-Greece, Vol. 3, 593—604
- Csák, B.—Havady, L.—Visnovitz, Gy.*: Ulterior strengthening of reinforced concrete frameworks damaged in earthquakes. — Proc. of Seventh European Conf. on Earthquakes Engineering, Sept. 20—25. 1982, Athens-Greece, Vol. 5, 321—329
- Csellár Ödön—Korda János*: Merevvasbetétes vasbetonszerkezetek méretezése. — MÉ 1974, 2, 104—110

- Csonka Pál*: Egy londoni toronyház sarokrészének összeomlása. — MÉ 1970, 10, 619—624
- Csonka Pál*: Fővárosunk első építési szabályzatai. — MÉ 1981, 5, 309—310
- Csuha Pál*: Betonelemgyártás. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1973
- Csutor János*: A beton tömörítése. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1967
- Dahl, H.*: Betonzuschlagmischung unter Verwendung unestetiger Sieblinien. — Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Bauwesen Cottbus, 1959/60. H. 2.
- Danyushevsky, V. S.—Djabarov, K. A.*: Interrelation between pore structure and properties of hydrated cement pastes. — Int. Symposium RILEM/IUPAC, 1963, Preliminary Report
- Dávid János*: Kísérleti öntötházak Csepelen. — MÉ 1959, 12, 525—532
- Dávid János—Szenes Ervin—Vass Tibor*: Középmagas kohósalakbeton öntött lakóházak építése. — MÉ 1962, 12, 529—548
- Deák György*: A tartószerkezetek hazai méretezési előírásainak fejlődése. — MÉ 1969, 4, 219—229
- Desideri, F.—iffj. Nervi, P. L.—Positano, G.*: Pier Luigi Nervi. Serie die Architettura 15, Ranichelli Editore, Bologna, 1983
- Dezsényi István*: Építőelemek üvegszállal erősített cementből. — MÉ 1980, 10, 607—612
- Dezsényi István*: A POLITON-szál hatékonysági vizsgálata. — MTA Természettudományi Kutatólaboratóriumai, Alkalmazástechnológiai és Koordinációs Iroda. Kutatási Jelentés, 1988
- Dischinger, F.*: Untersuchungen über die Knicksicherheit die elastische Verformung und des Kriechen des Betons bei Bogenbrücken. — Bauingenieur 1937, 47
- Dolezsai Károly—Kelemen János*: Duzzadócementek. — Építőanyag 1957, 6, 196—208
- Dolezsai Károly—Révay Miklós*: Alumínátcement kezdőszilárdságának előrebecslése. — Építőanyag 1964, 8, 284
- Dolezsai Károly—Révay Miklós*: Az alumínátcementek kalcium-alumínátjaiból keletkező hidratációs termékek stabilitásának és stabilizálási lehetőségeinek vizsgálata. — Építőanyag 1966, 6, 206—211
- Dombi J.*: Nagyszilárdságú, repedésérzékeny vasbeton elemek energiatakarékos hőerlelési technológiájának a kidolgozása. — SZIKKTI 3-49-III. sz. kutatási jelentés, 1980
- Dombi József*: Nagy szilárdságú, repedésérzékeny vasbeton elemek energiatakarékos hőerlelése és kísérletek az üzemi hőenergia felhasználása csökkentésére. — SZIKKTI kutatási jelentés, 1982
- Drögsler, O.*: Zur Technologie des Spritzbetons. — Sonderdruck aus Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 1961, 5/6, 176—184
- Dulácska Endre*: Vasbetontartó nyírófeszültségeinek meghatározása. — MÉ 1954, 5, 170
- Dulácska Endre*: Hajlított vasbetontartók nyírófeszültségei. — MSZ 1957, 5—6, 201—203
- Dulácska Endre*: Hajlított vasbetontartó megrepedt keresztmetszetének nyírási teherbírása. — MSz 1960, 10, 472—473
- Dulácska Endre*: A hajlított vasbetontartók nyírási méretezéséről. — MÉ 1962, 10, 483—485
- Dulácska Endre*: Egyszerűsített eljárás kis külpontossággal nyomott vasbeton oszlopok méretezésére. — MÉ 1966, 2—3, 138—141
- Dulácska Endre*: A beton σ — ε diagramjáról. — Építés és Közl. Tud. Közl. 1967, 1, 33—39
- Dulácska Endre*: A vasbetonszerkezetek repedései a beton zsugorodásának és lehűlésének a hatására. — MSz 1980, 11, 502—503
- Dulácska Endre*: A kúszás hatása a szerkezetek stabilitására. — MSz 1981, 6, 240—243
- Dulácska Endre*: Feszített vasbetontartók lehorgonyzási végének felhasadásvizsgálata. — KMSz 1989, 4, 134—139
- Dulácska Endre*: Monolit vasbetonépítés. — MÉ 1989, 11, 514—517
- Dulácska Endre—Tarnai Tibor*: Vasbeton rudak gátolt csavarásáról. — MSz 1972, 6, 265—270
- Dulácska Endre—Dulácskáné Szederjei Ilona*: Az előregyártott és a helyszíni beton csatlakozási felületének nyíróteherbírása. — MSz 1972, 8, 375—377
- Dulácskáné Szederjei Ilona*: Hálós vasalású vasbetonlemezrek repedéstágassága. — MSz 1970, 9, 408—414

- Edwards, A. D.—Yannopoulos, P. S.: Local bond stress-slip relationship under repeated loading. — Magazine of Concrete Research, June 1978, 66—72
- Eligehausen, R.—Popov, E. P.—Bertero, V. V.: Local Bond Stress-Slip Relationships of Deformed Bars Under Generalized Excitations. — Report No. UCB/EERC 82—83, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, Oct. 1983
- Eligehausen, R.—Kreller, H.—Langer, F.: Untersuchungen zum Verbundverhalten gerippter Bewehrungsstäbe mit praxisüblicher Betondeckung. — Report, Univ. Stuttgart IWB, 1989, 5
- Erdélyi Attila: Feszítőhuzalok reológiai vizsgálatának újabb eredményei. — MSz 1966, 6, 276—281
- Erdélyi Attila: Feszítőhuzalok minősítése reológiai szempontból. — MSz 1967, 4—5, 162—168
- Erdélyi Attila: Feszítőhuzalok relaxációjának extrapolálása 100 ezer órás vizsgálatokból és a kohászati tényezők hatása a relaxációra. — BME Építőanyagok Tanszék Tud. Közl. 2. k. 1970, 82—102
- Erdélyi Attila: Összefüggés a feszítőhuzalok relaxációjának extrapolálhatósága és a gyártástechnológiai jellemzők között. — MSz 1971, 1, 24—31
- Erdélyi Attila: A feszítőhuzalok reológiai viselkedésének extrapolálhatósága. — Egyetemi doktori értekezés, 1972
- Erdélyi Attila: A betongőzölés okozta relaxáció várható értékei. — Építési Kutatási Fejlesztés 1973, 4—6 sz. 26—37
- Erdélyi Attila: A beton gőzölése okozta feszítési veszteségek. — MSz 1978, 3, 97—104
- Erdélyi, A.: Report on Prestressing Steel 3. Losses of prestress in tendons due to steam curing of concrete pp 42. (FIP 5/5 1978 Sept.) — Cement and Concrete Association, Wexham Springs, Slough SL 3 6 PL, ISBN 0 7210 11160
- Erdélyi Attila: Feszítőhuzalbetétek tartóssága. Intézkedések a váratlan korróziós törések lehetőségének kiküszöbölésére. — MSz 1981, 7, 305—309
- Erdélyi Attila: A relaxációs veszteségek számítási értékei. — BME Építőanyagok Tanszék Tud. Közl. 34. k. KÖZDOK 1982, 128—143
- Erdélyi Attila: Beton- és habarcskiegészítő anyagok. (Balázs: Építőanyagok praktikum 4.3. fej.) — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1983
- Erdélyi Attila: Feszítőbetétek relaxációjának számítási értékei. — Kandidátusi értekezés, 1984
- Erdélyi Attila: A miskolci Dec. 4. Drótművek betonfeszítő pászmái. — MSz 1986, 2, 77—84
- Erdélyi Attila—Czeglédi Gyula: A feszítőhuzalok betongőzölés okozta relaxációjának várható értékei. — MSz 1973, 7, 316—325
- Erdélyi Attila—Czeglédi Gyula: A beton gőzölési hőmérsékletének hatása a feszítőhuzal relaxációjára és a várható értékek extrapolációjára. — „Előregyártás a mélyépítésben” Konferencia, KÖZDOK, 1973, 23—33
- Erdélyi Attila—Valtynyi Dániel: Légpórusos (időjárásálló) beton és a buborekképző anyagok fejlődése. — Világszínvonal felmérő tanulmány, ÉTK VS 75/1976
- Erdélyi Attila—Kovács Károly: Betonok párazáró utókezelő szereinek alkalmassága. — MSz 1978, 2, 57—63
- Erdélyi, Attila—Madarász, László—Takács, Sándor: Situation and characteristics of prestressing wire and strand production in Hungary. — A Magyar Építőipar különszáma a hamburgi XI. FIP kongresszusra, 1990, 55—59
- Erdélyi László: A beton és az acélbetét együttdolgozásának elmélete és kísérleti vizsgálata. — BME doktori értekezés, 1981
- Erdélyi László—Kiss Rita: Üvegszálás feszítőkábel alkalmazása a hidépítésben. — KMSz 1992, 4, 150—155
- Erdős Ferenc: A hidraulikus habarcsok összetételéről. — MMÉEK 1898, 310—311
- Építési munkák télen. I. A téli betonozás. — Építőipari Könyv és Lapkiadó V., 1951
- Érdi Tamás—Huszár Zoltán: Vakolatmentes építési technika I. — MÉ 1974, 3, 182—192
- Fagerlund, G.: Strength and porosity of concrete. — Int. Symposium RILEM/IUPAC Prague, 1973, Preliminary Report II. D. 51—73
- Farkas János: Szabadon szerelt folytatólagos vasbeton hidszerkezetek repedésbiztonsága. — KMSz 1988, 3, 97—101

- Farran, J.*: Contribution minérale à l'étude de l'adhérence entre les constituants hydratés des ciments et les matériaux enrobés. — *Revue des Matériaux de Construction*, 491/1956, 155—172 és 492/1956, 191—209
- Fauray, J.*: *Lé beton*. 3. kiadás. Dunod, Párizs, 1958
- Fazekas M.*—*Főrián Szabó Péter*: Vasbetonszerkezetek méretezése repedezettségi határállapotban. — *Műszaki Tervezés* 1975, 9, 1—8
- Fehér Miklós*: Hajlított vasbetonszerkezet MSZ 15022/1—86 szerinti méretezésének néhány problémája. — *KMSz* 1990, 6, 211—216
- Fekete Tibor*: Acélszál erősítésű betonszerkezetek szilárdsági vizsgálata. — *BME Közlekedésmérnöki Kar Mechanika Tanszék tanulmánya*, 1973
- Feret, R.*: Sur la compacité des mortiers hydrauliques. — *Annales des Pont et Chaussées*, Paris, 1892, 1—184
- FIP Report on Prestressing Steel 2: Anchorage and Application of 7-wire Strand. — FIP 5/4 June 1978
- Fischer György*: Kilencemeletes öntötházak építésének betontechnológiai tapasztalatai. — *MÉ* 1963, 3, 107—114
- Fischer György*: Könnyűbeton falszerkezet készítése csúszószalagban. — *MÉ* I. rész 1965, 13, 603—624, II. rész 1965, 14, 733—751
- Fourie, M. T.*—*Rabot, R.*: Az alumínátcementekben bekövetkező káros átalakulások okai és azok megszüntetése. — *Építőanyag* 1973, 4, 129—141
- Freyssinet, E.*: New ideas and methods. — *Travaux* 1933, 1—17
- Freyssinet, E.*: A revolution in technique of concrete. — *Struct. Eng.* 1936, 242—259 és 259—262
- Freytag Ferenc*: A vámentes kikötő gabonatarházak építése különös tekintettel az öntött betonra. — *MMÉEK* 1931, 21—37
- Fuller, R.*—*Thompson, S.*: The Law of Proportioning Concrete. — *Translation ASCE* 1907 Dec. 67—143
- Gaal Adorján*: Keverő arányok betonépítkezéseknél. — *MMÉEK* 1897, 244
- Gaal Adorján*: A cementek vegyi összetételének befolyása lekötésük idejére és szilárdságukra. — *MMÉEK* 1898, 356—358
- Gaal Adorján*: A cementek látszólagos és valóságos húzószilárdsága. — *MMÉEK* 1898, 438—440
- Gambarova, P.*—*Karakoc, C.*: Shear-confinement interaction at the bar-to-concrete interface. — *Bond in Concrete*, Proc. Applied Science Publishers London, 1982, 82—96
- Gambarova, P.*—*Zasso B.*: Gli effetti della fessurazione longitudinale sull'aderenza fra armatura e calcestruzzo in presenza di contenimento trasversale. — *Technical Report*, No. I, 1985, Politecnico di Milano
- Garay Lajos*: Nyírófeszültségek meghatározása (kritikai megjegyzések az új vasbetonszabályzathoz). — *MÉ* 1953, 5, 151—158
- Garay Lajos*—*Kármán Tamás*: A feszítőbetétek erőátadásáról. — *MÉ* 1961, 11, 514—516
- Garay Lajos*: Előfeszített tartóvég méretezése. — *ÉTI* 1974
- Gábory Pál*: Külpontosan nyomott, rugalmasan befogott egyenestengelyű vasbetontartók méretezése a kihajlás figyelembevételével. — *Építéstudományi Közlemények*, 1951, 5. füzet
- Gábory Pál*—*Menyhárd István*—*Rózsa Mihály*: Vasbetonszerkezetek új méretezési módja. A biztonsági tényezőknél és a törési elméleten alapuló új számítási módszer. — *Építőipari Könyv- és Lapkiadó V. Bp.* 1951
- Gedeon Tihamér*: Bauxitcement alkalmazása tűzálló beton készítésénél. — *Bányászati és Kohászati Lapok* 1937, 5
- Gedeon Tihamér*: Bauxitcement elbomlása vízben. — *M. Chem. Folyóirat* 1938, 30—35
- Gergely Sándor*: Hajlított vasbetontartók repedéstágassági vizsgálata. — *MÉ* 1981, 10, 608—610
- Giuriani, E.*: On the effective stiffness of a bar in cracked concrete, *Bond in Concrete*, Proc., Applied Science Publishers London, 1982, 107—125

- Giuriani, E.—Plizzari, G.*: Legami locali dell'adrenza in presenza di fessure di splitting. Studi e Ricerche, Corso di Perfezionamento per le Costruzioni in Cemento Armato. — Politecnico di Milano, 1985, 7, 57—118
- Gnädig Béla*: A feszített beton előregyártása. — MSz 1955, 4, 217—224
- Goldfain, B. S.*: Yielding of reinforcement grout at high cycle loading (in Russian). — Bond between steell and concrete syposium Cheliabinsk, USSR, 1971
- Gonda Imre—Niederhauser Emil*: A Habsburgok. — Gondolat, Bp. 1977
- Goschy Béla*: Nagypanelos épületek progresszív összeomlása. — MÉ 1971, 10—11, 513—519
- Goschy Béla*: Panelos épületek vizsgálata földrengés hatására. — MÉ 1974, 4—5, 256—260
- Goschy, B.*: Design of Building to withstand abnormal loading. — Butterworths, London, 1990
- Goschy, B.—Balázs, Gy.*: Grenzzustand der auf Biegung und auf gleichzeitigen Schub beanspruchten Stahlbeton Querschnitte. — Acta Technica Hung. 1961, 1—2, 55—69
- Goschy, B.—Balázs, Gy.*: Berechnung der Schubsicherheit von Spannbetonbalken. — Acta Technica Hung. 1961, 3—4, 275—300
- Goto, Y.*: Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars. — ACI Journal, Jan. 1965, 71—93
- Goto, Y.—Otsuka, K.*: Studies on Internal Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars. — ACI Journal, April 1971, 244—251
- Graf, O.—Walz, K.*: Vergleiche Prüfungen von Strassenbauementen in der Versuchsanstalt und in der Strasse. — Zement 1939, 28. és 29. szám, 445, 461, 475, 491 és 505
- Grandet, J.—Ollivier, J. F.*: Orientation des hydrates au contact des granulats. — 7th International Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980, VII. 63—68
- Griffith, A. A.*: The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. Philos. — Royal Soc. of London, Series A. 221. 1920, 163—178
- Guyon, Y.*: Beton précontraint. — Eyrolles Paris, 1951
- Gyengő Tibor*: Vasbetontartók nyírási vasálásának számítása a törési határállapot alapján. — Építési és Közlekedéstudományi Közlemények I. k. 1957, 1—2, 43—67
- Gyengő Tibor—Palotás László—Schwertner Antal—Szmodits Kázmér—Vajda Pál*: Vasbetonszabályzat. Országos Magasépítési Mérétezési Szabályzat. — ÉM 1949, Egyetemi Könyvkiadó Nemzeti Vállalat
- Gyengő Tibor—Menyhárd István*: Vasbetonszerkezetek elmélete, méretezése és szerkezeti kialakítása. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1960
- Gyengő Tibor—Menyhárd István*: Vasbetonszerkezetek. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1960
- Gyengő Tibor—Egresi Mátyás*: A vasbeton T-tartók nyírási szilárdságáról. — MÉ 1960, 10—11, 518—520
- Gyengő Tibor—Kovács József*: Előregyártás a vasbetonépítésben. — MÉ. 1989, 11, 500—508
- Haegermann, G.*: Vom Caementum zum Spannbeton. Beitrage zur Geschichte des Betons. Band I. Teil A. Vom Caementum zum Zement. — Bauverlag GmbH Wiesbaden, Berlin, 1964
- Hajnal Lajos*: Természetes szemszerkezetű betonadalékanyagok nemesítése. — Egyetemi doktori értekezés, 1982
- Hajnal Lajos—Udvardy János*: A betonadalékanyag agyagszennyeződéscinek eltávolítása. I—III. — SZIKKTI kutatási jelentés, 1968—71
- Halász Ottó*: Vasbetonlemezek határegyensúlyáról. — MTA Műsz. Oszt. Közleményei 1956, 19. k.
- Hász Sándor*: A magyarországi betonutak. — Magyarország üzügyi évkönyve 1934, 29—46
- Haviár Győző*: Utófeszített betontartóvég vizsgálata. — MSz 1958, 4—5, 165—170
- Hegedűs István*: Egyszerűsített képletek négyszögkeresztmetszetű hajlított vasbeton gerenda mértékadó repedéstágasságának számítására. — MÉ 1980, 6—7, 427—428
- Holnapy Dezső*: Szimmetrikus háromszög-szelvényű vasbetontartók nyírási vizsgálata. — MSz 1960, 1, 41—43
- Homonnai Tamás*: Hengeres hűtőtorony építése csúszózszaluzással. MÉ 1955, 1, 21—28
- Horovitz János*: Kísérletek betonfolyósítóval. — Építőanyag 1977, 10, 428—430
- Horváth Bors Ernő*: Nagy hajlítóbázisú szilárdságú betonok. — ÉTI jelentés, 1963

- Horváth János:* Házgyári előregyártási technológiák és az automatizálási szint növelése a termékek előállításánál felhasznált nyersanyag és energiacsökkentés érdekében. I—II. rész. — ÉTK 1982
- Hönsch Vilmos:* Wunsch betonkeverőgépe és nagyobb betonozáshoz való alkalmazása. — MMÉEK 1894, 87—92
- Hsu, T. T. C.—Slate, F. C.:* Tensile bond strength between aggregate and cement paste or mortar. — Journal ACI April 1963, 465—486
- Hubai Zsigmond—Huszár Lajosné:* A melegbeton. — MÉ 1973, 6—7, 316—320
- Hummel, A.:* Die Auswertung von Siebanalysen und der Abramssche Feinheitsmodul. — Zement 1930, 15, 335—364
- Hummel, A.:* Grenzsieblinien und Feinheitsmodul. Zement 1932, 672
- Hummel, A.:* Von der stetigen und unstetigen Kornabstufung der Strassenbetonzuschläge. — Die Strasse 1936, 5, 150—152.
- Idorn, G. W.:* Hydration of portland cement paste at high temperature under atmospheric pressure. — Principal paper — Session III-4a 5th Int. Symph. Chemistry of Cement, Tokyo, 1969
- Jankó László:* Repedéstágassági számítási eljárások összehasonlítása. — KMSz 1987, 1, 34—37
- Janovic, K.:* Bericht über den neuen konsolenförmigen Ausziehenkörper als Vorschlag für ein allgemeingültiges Verbundprüfverfahren. — Report, Lehrstuhl für Massivbau T. U. München, 1979
- Janzó József:* A Dywidag-féle feszítési eljárás hazai alkalmazása. — MSz 1978, 11, 496—504
- Jewett:* Versuche des Meliorationsbauamtes der amerikanischen Bundesregierung mit Betonmaterialien. — Mitteilungen des int. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, VI. Kongress, New York, 1912, II. köt. 13. sz.
- Johansen, K. W.:* Bruchmomente der kreuzweise bewehrten Platten. Abhandlungen. — Int. Ver. für Brücken und Hochbau, 1932, 277—296
- Joisel, A.:* Composition des béton hydrauliques. — Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 1952 Oct.
- Juhász Bertalan:* Koncentrált erővel terhelt ferde vasbeton lemezek teherbírásának számítása a törési elmélet alapján. — Egyetemi doktori értekezés, 1963
- Juhász Bertalan:* Hajlított vasbetontartók nyírási teherbírásának néhány kérdése. — Kandidátusi értekezés, 1967
- Juhász Bertalan:* Egyirányban teherrel vasbeton lemezek együttdolgozó szélessége. — KMSz 1988, 4, 155—160
- Kaliszky, S.:* Load Carrying Capacity of Plastic Beams and Plates on Plastic Foundation. — Polska Akad. Nauk. Archivum Insinierii Ladowej, 1952, Tom. VIII. 19—38
- Kaliszky Sándor:* Képlékeny ágyazású és anyagú gerendák és lemezek teherbírásának számítása. — ÉKME Tud. Közl. 1959, V. k, 6. sz.
- Kaliszky, S.:* Berechnung der Tragfähigkeit von plastischen Balken und Platten auf plastischer Unterlage. — Bull. Akad. Polonaise Ser. Sci. Tech. 1962, Vol. X. No. 4.
- Kaliszky, S.:* Problems of Plastic Analysis and Design of Reinforced Concrete Slabs. — ÉKME Tud. Közl. 1963, IX. k. 5. sz.
- Kaliszky Sándor—Tamássy Tamás:* Talajon fekvő vasbeton burkolatok tervezése a képlékenységtan szerint. — MÉ 1964, 10, 554—564
- Kaliszky, S.:* Optimum Limit Design for Reinforced Concrete Structures. — Report. The University Southampton 1965
- Kaliszky Sándor:* Henger alakú vasbetontartályok optimális tervezése. — MSz 1965, 9, 449—456
- Kaliszky, S.:* Economic Design by the Ultimate Load Method. — Concrete and Constructional Engineering 1965 okt.—1966 márc. (Vol. XL és XLI)
- Kaliszky Sándor:* Vasbetonlemeztek méretezése a képlékenységtan szerint. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1967
- Kaliszky Sándor:* Képlékenységtan. — Akadémiai Kiadó, Bp. 1975

- Karácson Sándor—Valiskó János—Liebhauser József:* Tájékoztató alagútszaluzatos technológiával készülő épületek tervezéséhez. — BME Magasépítési Tanszék, 1973
- Karsay Ferenc—Batiz Zoltánné:* A csoportos földemelés és zsaluelemelés-süllyedéses építés geodéziai, mérés technikai munkálatai. — Építésügyi Tájékoztatói Központ, 1981
- Kausay Tibor:* Betontervezés és szemszerkezetjavítás nomogrammal. — MSz 1965, 1, 42—44
- Kausay Tibor:* Az adalékanyag jellemzése szemcsealak szerint. — MSz 1966, 6, 290—296
- Kausay Tibor:* Az adalékanyag szemcsealak szerinti jellemzése. — Műszaki doktori értekezés, Bp. 1967
- Kausay Tibor:* A szemcsealak hatása a betonszilárdságra. — SZIK TI Tudományos Közleményei 21. sz. 1967
- Kausay Tibor:* Szemszerkezet javításának megtervezése grafikus úton. — MSz 1968, 3, 127—130
- Kausay Tibor:* Összefüggés a zúzottkő és kavics termékek szemalakja és Los Angeles vizsgálat szerinti aprózódási vesztesége között. — Építőanyag 1971, 7, 248—254 és 8, 288—297
- Kausay Tibor:* Halmazgeometriai jellemzők a szemalak függvényében. — Építőanyag 1971, 11, 422—427
- Kausay Tibor:* Betontervezési nomogram. — Építőanyag 1976, 8, 281—290
- Kausay Tibor:* A betonadalékanyagok szemszerkezeti tulajdonságai és a szemszerkezet komplex jellemzőmódja. — Kandidátusi értekezés, 1976
- Kazinczy Gábor:* Kísérletek befalazott tartókkal. — Betonszemle 1914, 4—6
- Kazinczy, Gábor:* Die Plastizität des Eisenbetons. — Beton und Eisen 1933, V., 74—80
- Kazinczy Gábor:* Az anyagok képlékenységének jelentősége a tartószerkezetek teherbírása szempontjából I.—II. — Mérnökto vábbképző Intézet, 1942
- Kilián József:* Nagyszilárdságú autoklávbetonok. — Kandidátusi értekezés, 1963
- Kilián József—Székely István:* Vizsgálatok a DCM portland- és kohósalakportland-cementjeinek gőzölhetőségéről. — Építőanyag 1965, 10, 371—379
- Kilián József—Székely István:* A cementkő gőzölés közben kialakuló szerkezetének néhány problémája. — Építőanyag 1967, 2, 41—48
- Kiss Jenő:* A MÁV laboratóriumában végzett bauxitcement vizsgálatokról. — MMÉEK 1929, 93—101
- Kollár Lajos:* Gerenda méretezése ütésterhelésre. — MSz 1958, 8—9, 402—408
- Kollár Lajos:* Oszlop méretezése leeső test hatására. — MSz 1958, 12, 539—545
- Kollár Lajos:* A küszás hatása a szerkezetek kritikus terhére. — MSz 1968, 10, 472—479
- Kollár Lajos (szerk.):* A mérnöki stabilitáselmélet különleges problémái. — Akadémiai Kiadó, Bp. 1991
- Kondo, R.—Daimon, M.:* Phases composition of hardened cement paste. — A principal paper. The VI. Int. Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, Sept. 1974, II-3.
- Korányi Imre:* A szerkezetek biztonsága. — Magyar Közlekedés, Mély- és Vízépítés 1949, 2, 76—85
- Korda István:* Az előfeszített beton fejlődésének irányai. — MSz 1954, 10, 545—552
- Kossalka János:* A betonszerkezetek elméletéről. — MMÉEK 1898, 75—83
- Kossalka János:* A vas védeése betonnal rozsdá és tűz ellen. — MMÉEK 1902, 535—536
- Kovács Béla—Ódor Péter:* A feszítőerő meghatározása alakváltozási adatokból. — KMSz 1988, 4, 177—179
- Kovács József:* Új gyártósor épült Vácott. — Építőanyag 1993, 4—5, 153—157
- Kovács Kálmán:* Működésben az első hazai automatikus betongyár. — MÉ 1966, 2—3, 108—113
- Kovács házy Frigyes:* Budapesti rakpartok és partfalak. — MSz 1956, 7—8, 335—342
- Körmöczy Ernő:* Vasbetontartók repedéstágasság számításának pontosabb módszere. — MÉ 1979, 7, 422—423
- Közlemények a „CITODUR” védjegyű tatai bauxitcementről.* — MÁK kiadvány, 1928
- Krenner Vilmos:* A hidraulikus és portlandi meszek szilárdsági próbáiról. — MMÉEK 1887, 332—347
- Kunszt, Gy.:* Results of preliminary tests on frost resistance of steam-cured concrete. — Int. Symp. Durability of Concrete (Preliminary Report), Prága, 1961, 249—265

- Kunszt Gy.*: Supplementary remarks on the durability of steam-cured and blast-furnace slag cement concretes. — Int. Symp. Prague, 1962, 419—421
- Kunszt György*: Külső tényezők hatása a gőzöléssel szilárdított betonra. — *Építőanyag* 1962, 11, 393—396
- Kurczyk, H. G.—Schwiete, H. E.*: Elektronmikroskopische und thermomechanische Untersuchungen über die Hydratation der Calciumsilikate $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ und $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, und den Einfluss von Calciumchlorid und Gips auf die Hydratationsvorgang. — *Tonindustrie-Zeitung und Keramische Rundschau* 1960, 585—589
- Kühl, H.*: Zement-Chemie. — VEB Verlag Technik Berlin, I. k. 1956, II. k. 1958, III. k. 1961
- Lakatos Ottó—Lipták Andor*: 7-szálas stabilizált beton feszítőpáaszma gyártása a „December 4” Drótművekben. — *MSz* 1985, 6, 280—283
- Lambotte, H.—Herberghen, P.—Acker, A.—Nieuwenberg, D.*: Etude des parties de precontrainte par relaxation de l'acier sous l'influence d'une cycle d'etuvage. (Rijksuniversiteit to Gent) FIP Congress, 1974 (Paper on research in French)
- Lampl Hugó—Sajó Elemér*: A beton. — *Patria Irodalmi V. és Nyomdai Rt. Bp.* 1914
- Lenkei Péter*: Törési határfeltételek vizsgálata vasbetonlemezek törésvonalai mentén. — *ÉTI kut. kijelentés*, 1965
- Leonhardt, F.—Walther, R.*: Schubversuche an einfeldrigen Stahlbetonbalken mit und ohne Schubbewehrung. — *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton*, Berlin, 1962
- Leviati, I.*: A Graphical Method for Concrete Proportioning. — *Civil Engineering*, London, Oct. 1966, 1256—1260
- Liebhauser József—Valiskó János*: Alagút-szaluzatos épületek tervezési kérdései. — *MÉ* 1973, 8—9, 444—450
- Locher, F. W.—Richartz, W.*: Study on the hydration mechanism of cement. — A principal paper. The VI. Int. Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, Sept. 1974, II.-2b
- Lógó János*: Vasbeton keretszerkezetek optimális tervezése matematikai programozással. — *KMSz* 1988, 6, 270—273
- Lőrincz Béla*: Betonok energiatakarékos gőzérlelése. — Egyetemi doktori értekezés, 1985
- Magas épületek és építmények építése csúszószaluzattal. OMF 10-702-K koncepció, 1970
- Magnel, A.*: La béton précontraint. — *Fecheyr*, Band 1948
- Magyar Béla*: Fémművezál építőipari kutatás összefoglaló részjelentése, 1986
- Major Sándor*: Mély- és vízépítőipari előregyártás. — *MSz* 1951, 7, 359—362
- Makay István*: Alumíniumcement viselkedése vastag falazatban. — (*Revue Générale de Chemins de Fer*, 1926, X.) *MMÉEK* 1927, 273—274
- Malina Gyula*: A partburkolatok. — *MMÉEK* 1910, 36—47
- Mankher György—Mankher Lajos*: A feszítő betonacélhuzal folyáshatárral kapcsolatos kérdései. — *MSz* 1962, 6, 278—286
- Mankher Lajos*: A feszített betonacél huzal. — *MSz* 1958, 8—9, 370—380
- Marjalaki Sándor*: Csúszó- és kúszószaluzatos építési mód és alkalmazási területe. — *MTI* 3611, 1956
- Marssó László*: Beszámoló az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szövetségének 1931. évben Zürichben tartott kongresszusáról. — *Anyagvizsgálók Közlönye*, 1933, 109—132
- Marssó László*: A beton szilárdságának előzetes meghatározása. — *Magyarország Útügyi Évkönyve* 1934, 130—135
- Martin, H.*: Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschaffenheit, Verbund und Springwirkung von Bewehrungsstählen unten Kurzzeitbelastungen. — *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton*, H. 228. 1973
- Martin, H.*: Bond performance of ribbed bars (pull-out-tests): Influence of concrete composition and consistency. — *Bond in Concrete*, Proceedings, Applied Science Publishers, London, 1982, 282—299
- Maso, I. C.*: The bond between aggregates and hydrated cement paste. — 7th Int. Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980, VII. 1—15
- Massazza, F.—Pezzuoli, M.*: Cement paste — quartz bond in autoclaved concretes. — 7th Int. Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980, VII. 16—21

- Menyhárd István:* Vasbetonlemezek méretezése a képlékenységtan elvei szerint. — Mérnöki Továbbképző Intézet, 1954
- Menyhárd István:* Kétirányban teherbíró vasbetonlemezek méretezése a képlékenységtan elvei szerint. — MTA VI. Osztály Közleményei 1952, 315—323
- Menyhárd István:* Vasbetongerendák nyírási vasalásának számítása a ferde törés elmélete alapján. — MÉ 1959, 5, 265—270
- Mester István:* Csúszózszaluzás készítése. — MÉ 1953, 7, 201—210
- Mihailich Győző:* Vasbetonszerkezetek I. — Németh J. Technikai Könyvkiadóvállalata, 1922
- Mihailich Győző:* Vasbetonszerkezetek II. — Németh J. Technikai Könyvkiadóvállalata, Bp. 1922
- Mihailich Győző:* A beton- és vasbetonépítés újabb fejlődése. — Mérnöki Továbbképző Intézet 1942, 14. füzet, Királyi Magyar Egyetemi Nyomda
- Mihailich Győző—Álgyai Hubert Pál—Kazinczy Gábor:* A MMÉE Vasbetonszabályzata 1931. — Királyi Magyar Egyetemi Nyomda
- Mihailich Győző:* Összehasonlító kísérletek folytvas- és acélbetétes, portlandcementtel és bautcementtel készült T-keresztmetszetű gerendákkal. — Anyagvizsgálók Közlönye, 1934, 177—208
- Mihailich Győző—Schwertner Antal—Gyengő Tibor:* Vasbetonszerkezetek elmélete és számítása. — Németh József Technikai Kiadóvállalata, 1946
- Mihailich Győző—Palotás László:* Vasbetonépítéstan. — Tankönyvkiadó, 1964
- Mihailich Győző—Haviár Győző:* A vasbetonépítés kezdete és első létesítményei Magyarországon. — Akadémiai Kiadó, Bp. 1966
- Mihálik, J.:* Praktische Anleitung zum Beton-Bau. — Berlin, 1860
- Mironov, Sz. A.:* A téli betonozás elmélete és módszerei. — ÉM Építőipari Könyv és Lapkiadó V. Bp. 1953
- Mistéth Endre:* A korszerű méretezés szabályainak elvi alapjai. — ME 1969, 9—10, 505—508
- Mistéth Endre:* Teherhordó szerkezetek élettartamának elemzése. — KMSz 1987, 9, 313—325
- Mistéth Endre:* Adalékok a minimális vasalású hajlított vasbeton gerendatartókhoz. — KMSz 1988, 2, 41—45
- Mistéth Endre:* Teherbírás időbeni változása. — KMSz 1989, 1, 15—23
- Mohácsi László:* Korszerű zszaluzási módszerek. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1962
- Möller Károly—Brzesky Adolf:* Beton és vasbeton. — Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Bp. 1937
- Mörsch, E.:* Der Eisenbetonbau und seine Anwendungen. — Verlag von Konrad Wittwer, Stuttgart, 1902, 1908, 1920
- Munkácsy Nándor:* Toronydaruk a magyar építőiparban. — MÉ 1961, 7, 564—570
- Munkánk és eredményeink 1973-ban. — MÉLYÉPTERV Közlemények 1974, 30
- Nagy Dezső:* Észrevételek a „Pozsonyi állandó Dunahíd” című értekezésben megvizsgált cementek szakítási szilárdságára vonatkozólag közölt adatokról. — MMÉEK 1891, 167
- Nagy Pál:* A beton szállítása és fogadása. — MÉ 1974, 3, 153—162
- Nagy Pál:* Építéstechnológia I. — Tankönyvkiadó (egyetemi jegyzet), 1990
- National Academy of Sciences: Ferrocement, Applications in developing countries. — Washington, 1973 febr., 93
- Náday Gábor—Weisz Gyula:* Vékonyfalú vasalt cementhabarcs szerkezetek. — MÉ 1964, 5, 297—303 o.
- Nádory Nándor:* A cs. és kir. hadi tengerészet számára Polában épített nagy száraz-dock. — MMÉEK 1870, 174—191
- Nádory Nándor:* A fumei kikötő építésénél használt szantorin zömök leírása. — MMÉEK 1880, 275—292
- Nádory Nándor:* A vízálló habarcsok viselkedése tengervízben. — MMÉEK 1898, 194—202
- Nendtvich, G.:* A hidraulikus kötőanyagok és a hazai cementek és cementgyárak. — MMÉEK 1889, 3—19, 89—105 és 288—308
- Neville, A. M.:* High Alumina Cement Concrete. — J. Wiley, New York, 1976
- Németh Ferenc:* Ferde vasalású vasbetonlemez számítása. — KPM részére készített kutatási jelentés, 1956

- Nippold János*: A beton minőségének ellenőrzése munkahelyi laboratóriumban. — Mérnöki Továbbképző Intézet, Felsőoktatási Jegyzetellátó V., 1955
- Novakowski, P.*: Verbundorientierte, kontinuierliche Theorie zur Ermittlung der Rissbreite. — Beton- und Stahlbetonbau 1985, 7, 185—190 és 8, 215—221
- Ócsvár Rezső*: Építőipari téli munkák szervezési problémái, különös tekintettel a betonozásra. — Közlekedési Kiadó, 1952
- Olesniewicz, A.*: Statistical Evaluation of Transmission Length of Strands. — Report, Research and Design Center for Industrial Building Bistyp, Varsó, 1975
- Opotzky Ludmilla*: A kohósalak hidraulikus tulajdonságainak jobb kihasználása nedves örléssel. — Építőanyag, 1965, 7, 274—279
- Orosz Árpád*: A hazai vasbetonépítés múltja, jelene és jövője. — BME Építőanyagok Tanszéke Tud. Közl. 35. k. KÖZDOK, 1985, 67—103
- Orosz Árpád—Szalai Kálmán—Windisch Andor—Balázs L. György*: A beton és az acélbetét közötti együttlőgozást jellemző fajlagos kapcsolati erő—relatív elmozdulás összefüggés meghatározásáról. — BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke kutatási jelentés, 1983
- Ottmár Béla—Petró Bálint*: A monolitfalas öntöttbeton építésmód magyarországi fejlődése. — ÉKME Tud. Közleményei XIII. k. 1968, 6, 47—82
- Palotás László*: Az Abrams-féle finomsági modulus gyakorlati jelentősége. — Anyagvizsgálók Közlönye, 1933, 9—10. szám
- Palotás, L.*: Gültigkeitsgrenzen des Abrams'schen Feinheitsmodul. — Zement, 1933, 5
- Palotás, László*: Vergleich der verschiedenen Formeln zur Vorausbestimmung der Würfel Festigkeit von Beton. — Zement, 1935, H. 36—37
- Palotás László*: A beton kockaszilárdságának előrebecslése. — Anyagvizsgálók Közlönye 1936, 4, 82—87
- Palotás, L.*: Verfahren zur Verbesserung der Betonzuschlagstoffe. — Zement 1936, H. 18.
- Palotás László*: Vasbetonszerkezetek erőjátéka a tartós alakváltozások figyelembevételével. — Anyagvizsgálók Közlönye, 1940, 3. sz.
- Palotás László* (szerk.): A vasbeton. — Magyar Építőmesterek Egyesülete, 1947
- Palotás László*: Minőségi beton. — Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Könyv- és Folyóiratkiadó V., Bp. 1952
- Palotás László*: Vasbeton rúdszerkezetek stabilitási kérdései. — ÉKME Tud. Közl. 1956, II. k., 6. sz.
- Palotás László*: Építőanyagok I.—II. — Akadémiai Kiadó, Bp. 1961
- Palotás, L.*: Stahlbetonplatten-Versuch und die Bruchtheorie. — Zement und Beton 1961
- Palotás, L.*: Versuche mit Stahlbetonplatten und Pilzdecken und Ihre Auswertung auf Grund der Bruchtheorie. — Wissenschaftliche Zeitschrift des Hochschule für Bauwesen Cottbus 1962, H. 3/4.
- Palotás László*: Vasbetonstatika II. Rúdszerkezetek törésmélete. — Mérnöki Továbbképző Intézet M 39 kiadványa. Tankönyvkiadó, 1962
- Palotás László*: Vasbetonstatika I. Lemezes szerkezetek. — Mérnöki Továbbképző Intézet M 21 kiadványa. Tankönyvkiadó, 1962
- Palotás László*: Vasbetonszerkezetek törésmélete. — Mérnöki Továbbképző Intézet M 141. kiadványa, Tankönyvkiadó, 1966
- Palotás László*: Vasbetonépítéstan. Magasépítési szerkezetek. — Tankönyvkiadó, Bp. 1967
- Palotás László*: Lassú alakváltozás okozta feszültségátrendeződés. — MSz 1972
- Palotás László*: A vasbeton elmélete. — Akadémiai Kiadó, Bp. 1973
- Palotás László—Szabó Iván*: Az acélszálerősítésű beton szálceloszlása. — MSz, 1975, 11, 484—490
- Palotás László*: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 1. Általános anyagismeret. — Akadémiai Kiadó, Bp. 1979
- Palotás László* (szerk.): Mérnöki kézikönyv 2. — Műszaki Könyvkiadó, 1984
- Palotás László—Juhász Bertalan*: Vasbetonlemezek törésmélete. — Mérnöki Továbbképző Intézet 3991. sz. kiadv. Felsőoktatási Jegyzetellátó V. 1962

- Palotás László—Kilián József—Balázs György*: Betonszilárdítás. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1968
- Palotás László—Balázs György*: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton — habarcs — kerámia — műanyag. — Akadémiai Kiadó, Bp. 1980
- Pál Károly—Lichtmanegger Oszkár—Cséfalvy János*: Előkészítő tanulmány a melegbeton technológia hazai bevezetésére. — Témaszám: 0.364, 1977
- Pál Károly*: Javaslatok az MI-04.19 gőzölésre vonatkozó ajánlásainak átdolgozásához. — ÉTI 1.813/a sz. kutatási jelentés, 1982
- Pásztor Rezső*: A löttbeton. — ÉMI kiadványsorozat 45. ÉTK 1980
- Pásztor Rezső*: A löttbeton technológiája. — Egyetemi doktori értekezés, 1981
- Pázmány Margit—Korda János*: Központi Állami Kórház rekonstrukciója. — MÉ 1980, 1—2, 48—52
- Pelikán, J.*: Theory of Highly Economical Reinforced Concrete Beams. — Acta Technica, Acad. Sci. Hung. 1957, XVII. 1—2
- Peredy, J.*: Über eine Minimaufgabe der technischen Festigkeitslehre. — Acta Technica, Acad. Sci. Hung. 1959, XXIV, 3—4
- Pesky János*: A traszról. — MMÉEK 1921, 327—328
- Pesky János*: A cement-trasz habarcsról. — MMÉEK 1923, 98—100
- Pesky János*: Újabb útépitések hidraulikus adalékanyagokkal. — Magyarország Útügyi Évkönyve 1934, 98—109
- Pintér Sándor*: A magyar cementipari társaságok bemutatkoznak. A Dunai Cement és Mészmű Kft. — Építőanyag 1993, 4—5, 136—137
- Popovics Sándor*: Eljárások a betonadalék szemszerkezetének elbírálására. — Mérnöki Továbbképző Intézet M. 3. füzet, 1952
- Popovics Sándor*: A betonadalék szemszerkezetének számszerű jellemzéséről. — MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei VII. évf. 1—3, 1952, 45—75
- Popovics, S.*: Zahlenmäßige Bewertung der Kornzusammensetzung von Betonzuschlagstoffen. — Acta Technica, Bp. Tom. XIII, 1955, 93—114
- Popovics Sándor*: Feladatok a betontervezés köréből. — MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei 1955, XV. k. 1—4, 261—277
- Popovics Sándor*: A betonadalék szemszerkezet javítására vonatkozó számítások háromszögű koordinátarendszerben. — ÉTI Tudományos Közlemények 1956
- Powers, T. C.—Brownyard, T. L.*: Studies of the physical properties of hardened portland cement paste. — ACI Journal, Vol. 18, 1946—1947, No. 2—8., Proc. Vol. 43. 101—132, 249—342, 469—504, 549—595, 669—712, 845—880, 933—992
- Powers, T. C.*: The physical structure and engineering properties of concrete. — Portland Cement Association Research Department Bull. 90., Chicago, 1958 July
- Powers, T. C.*: Structure and physical properties of hardened portland cement pastes. — Journal Am. Cesam. Soc. 1958 Jan, 1—6
- Prokopecz, L.*: Gültigkeitsgrenzen des Abrams'schen Feinheitsmoduls. — Zement 1933, H. 5.
- Quervain, F.*: Über die Klassifizierung des Gesteinsmaterials im Strassenbau. — Strasse und Verkehr 1950, 297—301
- Recommendations for Placing Concrete by Vibration. — Report of the ACI Committee 609, Journal of the ACI March—April 1936, 445—457
- Recommended Practice and Standard Specifications for Concrete and Reinforced Concrete. — Joint Committee on Standard Specifications for Concrete and Reinforced Concrete, 1940, June
- Rehm, G.*: Über die Grundlagen des Verbundes zwischen Stahl und Beton. — Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, H. 138. 1961
- Rehm, G.—Franke, L.*: Kunstharzgebundene Glasfaserstäbe als Bewehrung im Betonbau. — Bautechnik 1974, 4, 115—120
- Rehm, G.—Zimbelmann, R.*: Untersuchung der Kontaktzone zwischen Zuschlag und Zementmatrix massgebenden Faktoren. — Stuttgart, 1976

- Rehm, G.—Eligehausen, R.*: Einfluss einer nicht ruhenden Belastung auf das Verbundverhalten von Rippenstäben. — *Betonwerk Fertigteile-Technik*, H. 6. 1977
- Rehm, G.—Franke, L.*: Verhalten von kunstharzgebundenen Glasfaserstäben bei unterschiedlichen Beanspruchungszuständen. — *Bautechnik* 1977, H. 4. 132—138
- Rehm, G.—Eligehausen, R.*: Bond of Ribbed Bars Under High-Cycle Repeated Loads. — *ACI Journal* 1979, 297—309
- Reichard Ernő*: A cementkémia fejlődésének története. — *Építőanyag* 1967, 6, 224—230
- Reznák László*: A zúzalékszemek alakját jellemző vizsgálati módszerek és előírások. — *MSz* 1967, 8, 355—363
- Reznák László*: A zúzalékszemek alakjának hatása a zúzalékalmazok egyes tulajdonságaira. — *Építőanyag* 1967, 8, 294—300
- Révay Miklós*: Aluminátcement. — *Szilikáttechnika* 1965, 5, 72
- Révay Miklós*: Aluminátcement felhasználása különleges célokra. — *Szilikáttechnika* 1966, 3, 49
- Révay Miklós*: A cement összetételének és fizikai állapotának hatása a gőzölhetőségre. — *SZIKKTI* 27. 02. 51. 02. témaszámú kutatási zárójelentése, 1967
- Révay Miklós*: Javaslat a cementek gőzölhetőségének a vizsgálatára. — *Építőanyag* 1967, 8, 287—293
- Révay Miklós*: Magyarországon előállított timföldcement gyártási technológiája és tulajdonságai. — *Építőanyag* 1968, 3, 106—111
- Révay Miklós*: Az aluminátcementeknél tapasztalható szilárdságváltozások elméleti alapjainak vizsgálata. — *SZIKKTI Tudományos közlemények* 1979
- Révay Miklós—Dolezsai Károly*: Aluminátcementek (bauxitcementek és tűzálló timföldcementek) új, hazai gyártástechnológiájának kidolgozása és megvalósítása. — *SZIKKTI* 20—1 —III/448 témaszámú kutatási jelentése, 1989
- Richartz, W.—Locher, F. W.*: Ein Beitrag zur Morphologie und Wasserbindung von Kalziumsilikathydraten und zum Gefüge des Zementsteins. — *Zement-Kalk-Gips* 1965, 449—459
- Richartz, W.*: Über die Gefüge- und Festigkeitsentwicklung des Zementsteins. — *Beton-technische Berichte*, *Beton* 5, 1969, 203—205
- Riedl Károly*: Portlandcement-habarc tapadása a kovácsvashoz. — *MMÉEK*, 1906, 236—237
- Riesz Lajos*: Cement- és mészgyártási kézikönyv. — *ÉTK*, 1989
- Romualdi, J. P.—Batson, G. B.*: Behavior of Reinforced Concrete Beams with Closely Spaced Reinforcement. — *ACI Journal* 1963, 775—790
- Rothfuchs, G.*: Betonfibel. — *VEB Verlag Technik*, Berlin — *Bauverlag GmbH*, Wiesbaden, 1958
- Roy, D. M.—Gouda, G. R.*: Optimization of Strength in Cement Pastes. — *VI. Int. Congress on the Chemistry of Cement*, Moscow, 1974
- Rüsch, H.*: Physical Problems in Testing of Concrete. — *Zement-Kalk-Gips* 1959, 12, 1—9
- Saliger, R.*: *Der Eisenbeton*. 1906
- Saliger, R.*: *Die neue Theorie des Stahlbetons*. 1947
- Sarlós János*: 100 éves a Cement és Mészművek Lábattani Gyára. — *Műszaki Könyvkiadó*, 1968 (48 oldal)
- Sasse, H. R.*: Zum Problem des Buchverhaltens betonähnlicher Zweistoffsysteme. — *Dissertation T. H. Aachen*, 1969
- Schäffler, H.*: Beurteilung der Kornzusammensetzung nach einer Körnungsziffer. — *Betonsteinzeitung* 1956, 1, 27—30
- Schustler József*: Új cementbeton-vasszerkezet. — *MMÉEK*, 1891, 570—576
- Schustler József*: A cementnek hajlítás útján való kipróbálására vonatkozó összehasonlító vizsgálatok. (Abbst. *Hermann E.—Morrison Edwin J.*: *Engineering News*, 1893 30. köt. 50. sz. 466—471 o.) — *MMÉEK* 1894, 165—169
- Schustler József* (ref.): A portlandcement szilárdulása (Tonind. *Zeitung*. 1895. 12, 177—179 o.) — *MMÉEK* 1895, 129
- Schustler József*: Kövek, habarcsok, fal- és betontestek nyomásszilárdságára vonatkozó kísérletek. *MMÉEK* 1895, 469—471

- Schustler József*: A mésznek, gipsznek és cementnek hatása a vasra. — MMÉEK 1895, 131
- Schustler József*: A habarcskészítésre használt adalékok hézagainak meghatározása. — MMÉEK, 1897, 143—144
- Schustler József*: Cement- és betonpróbák. — MMÉEK 1899, 369—370
- Schustler József*: A hazai portland- és románcementek szaporasága. MMÉEK 1902, 390—397
- Schwertner Antal*: A vas és a beton közötti tapadás és a vasbetonelmélet. — *Anyagvizsgálók Közlönye* 1935, 81—122
- Schwertner Antal*: A beton és a vas közötti tapadás befolyása a vasbetongerenda biztonságára. — *Anyagvizsgálók Közlönye* 1942, 125—130
- Schwertner Antal*: A vas és a beton közötti tapadás és a vasbetonelmélet. — *Anyagvizsgálók Közlönye* 1942, 125—130
- Sinn, B. H.*: Und machten Staub zu Stein. Die faszinierende Archäologie des Betons von Mesopotamien bis Manhattan. — Beton Verlag GmbH Düsseldorf, 1973
- Skalny, J.—Young, J. F.*: Mechanisms of Portland Cement Hydration. — 7th Int. Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980, Sub-Theme II. 1.
- Somogyi László*: Betonadalékként használt nemeszúalék lemezességének és hosszúkás voltának a vizsgálata. — ÉAKKI kutatási jelentés, 1963. Témaszám: 135/61
- Soretz, S.—Hölzenbein, H.*: Influence of Rib Dimensions of Reinforcing Bars on Bond and Bendability. — *ACI Journal*, Jan. 1979, 111—128
- Spindel, M.*: Zeichnerische Darstellung der Zusammensetzung von Beton und Betonzuschlagstoffen im Vierstoffparallelogramm. *Beton und Eisen* 1931, 18—21, 32—37
- Stein Sándor*: Cementgyártás forgókemencében. — MMÉEK 1903, 455—456
- Stern, O.*: Vorschlag für eine Norm: Kornpotenz, feinheitsmodulloser Haufwerke. — *Sparwirtschaft* 1932, 4, 125
- Stroeven, P.*: Some aspects of the micromechanics of concrete. — *Stevin Laboratory, Technological Univ. of Delft*, 1973
- Stubs, R. C.*: Vibrolithic Concrete Pavements. — *Journal ACI*, Vol. 9, 1913
- Sturz Antal*: Cementtakarékosság beton- és habarcsadalékszerekkel. — *Építéstechnika* 1991, 5, 208—212
- Sunson, J.*: Druckfestigkeit, Dichtigkeit und Wasserzement-Verhältnis von Beton und Mörtel. *Beton und Eisen* 1929, 397—402
- Svastics Géza* (szerk.): Alagútszalus építés. — *Technikus tanfolyami jegyzet, ÉTK* 1974
- Szabályzat: Vasbetétes betonszerkezetek tervezése és építése tárgyában. — Kiadta a Magyar Mérnök és Építész Egylet, Első kiadás 1909. nov. Bp.
- Szabó Iván*: Acélhajbeton. — *Műszaki Könyvkiadó, Bp.* 1976
- Szalai Kálmán*: A nyomott vasbeton rúd teherbírása. — *MSz* 1957, 6, 241—251
- Szalai Kálmán*: Általános eljárás a kis külpontossággal nyomott beton- és vasbetonoszlopok méretezésére. — *MÉ* 1966, 7, 409—411
- Szalai Kálmán*: Vasbeton oszlopok méretszámítása az egyszerűsített P-M teherbírasi vonal segítségével. — *MSz* 1976, 12, 555—561
- Szalai Kálmán* (szerk.): A beton minőségellenőrzése. — *Szabványkiadó*, 1982
- Szalai Kálmán*: Gyengén vasalt vasbetonszerkezet és a számítás alapelve. — *KMSz* 1987, 8, 341—344
- Szalai Kálmán*: A biztonsági tényezők meghatározása teherhordó szerkezeteknél. — *KMSz* 1988, 4, 142—147
- Szalai Kálmán*: Vasbetonszerkezetek. Vasbeton-szilárdságtan. — *Tankönyvkiadó, Bp.* 1988
- Szalai Kálmán*: A hazai vasbetonépítési szabályzatok története. — *KMSz* 1990, 1, 19—28
- Szalai Kálmán—Deák György—Lenkei Péter*: Vasbetonszerkezetek mechanikájával foglalkozó hazai kutatás eredményei és feladatai. — *Műszaki Tudomány* 1977, 247—267
- Szalai Kálmán—Lenkei Péter*: A vasbetonszerkezetek méretezésére vonatkozó EURO-CODE—2 euro-szabvány magyarországi előzményei és a szabályozás tapasztalatai. — *KMSz* 1993, 5, 179—185
- Székely Ádám*: Cementhabarcs és beton szén-dioxidos kezelése. — *Kandidátusi értekezés*, 1961
- Székely, H.*: Das erste Turmhaus in Budapest. — *Beton und Eisen* 1932, 37—42

- Szépe Ferenc*: Vasbetonszerkezetek repedéskorlátozó méretezése. — MSZ 1954, 7—8, 371—380
- Szikszay Gerő*: Energiatakarékos betonérlelés. — Szilikáttechnika 1982, 4—5, 105—117
- Szívós Gyula*: A homok befolyása a habarcs szilárdságára. — Építő Ipar 1913, 1—2, 119—120, 133—134
- Szizov, V. H.*: Téli építési munkák. — Építésügyi Kiadó, Bp. 1955
- Szmodits Kázmér*: Gombafödém törési kísérlet. — ÉTI kutatási jelentés, 1959
- Szumrák Pál*: Jegyzetek a Magyarhonban előforduló Trass-Cementekről. — MMÉEK 1867, 228—233
- Szumrák Pál* jelentése a szegi-lónyi transzcementről. — MMÉEK 1869, 357—360
- Talabér József*: Az aluminátcementek és azok kötésénél és szilárdulásánál lejátszódó fiziko-kémiai folyamatok I.—IV. — Építőanyag 1956, 5—9, 161—174, 202—213, 295—308, 349—356
- Talabér József*: Az aluminátcement-beton. — Építőanyag 1962, 3, 90—101; 4, 120—121
- Talabér József* (szerk.): Cementipari kézikönyv. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1966
- Talabér József*: Hosszú időre kiterjesztett vizsgálatok aluminátcementekkel. — Építőanyag 1967, 1, 1—8
- Talabér József*: Az aluminátcement-betonok tartóssága. — Akadémiai doktori értekezés, 1991
- Talabér József—Révay Miklós*: Aluminátcementek transzformációja utáni szilárdság vizsgálata. — A SZIKKTI Y—19823/89. sz. kutatási jelentése
- Tamás Ferenc*: Kutatások a cementszilárdulás kémiajának a területén. — SZIKKTI Tudományos Közlemények 17. köt. 1966
- Tamás Ferenc*: A cementszilárdulás mint szilikát-oligomerizációs folyamat. — Akadémiai doktori értekezés, 1977
- Tamás Ferenc*: Eljárás vasbetonkeresztmetszet repedezettségi határállapot (MSZ 15227—80) alapján történő tervezésében. — MSZ 1985, 8, 350—354
- Tassi Géza*: A lehorgonyzódás jelensége feszített betonban. — Kandidátusi értekezés, 1956
- Tassi Géza*: Feszített betét betonban való lehorgonyzásának elmélete. — ÉKME Tud. Köz. 1959, 1—2.
- Tassi Géza*: Feszített vasbetontartók számítása repedéskorlátozásra és a repedéstágasságra ható paraméterek. — MSZ 1972, 9, 438—448
- Tassi Géza*: Adalék hajlított vasbetontartók repedéstágasságának számításához. — MÉ 1983, 6, 334—335
- Tassi, G.—Ódor, P.*: The strengthening and rehabilitation of a tower-like bauxite. — FIP Symposium 1992, Proceedings Vol. I. 443—450
- Taylor, H. F. W.*: The chemistry of cementhydration. — VII. SILICONF, Bp. 1963
- Taylor, H. F. W.*: The chemistry of cement. — Vol. I: Chapter II, Academic Press London and New York, 1964, 417—431
- Taylor, H. F. W.*: The Chemistry of Cements. — Moszkva, 1972
- Temesvári Jenő*: Járműfejlesztés az építőipari szállítás szolgálatában. — MÉ 1974, 7, 427—439
- Tepfers, R.*: Cracking of concrete cover along anchored deformed reinforcing bars. — Magazine of Concrete Research, Vol. 31. No. 106. March 1979, 8—11
- Thanh, N. H.*: Ferrocement-Armocement. — MSZ 1985, 4, 171—177
- Thanh, N. H.*: Ferrocement betonjának tervezése. — Kandidátusi értekezés, 1986
- Thanh, N. H.*: A ferrocement mint építőanyag és építésmód. — Építőanyag 1987, 2, 60—64
- Thanh, N. H.*: Ferrocement betonjának tervezése. — Építőanyag 1988, 4, 151—153
- Thoma József—Söpkéz Gusztáv*: A Dunamenti Höerörmű 200 m magas vasbeton kéményének tervezése és kivitelezése. — Műszaki Tervezés, 1963, 8, 4—11
- Thoma József—Söpkéz Gusztáv*: Csúszózszaluzással épült 200 m-es vasbeton kémény. — MÉ 1964, 6, 357—370
- Thoma József—Söpkéz Gusztáv*: A SVETHO-rendszerű csúszózszaluzat hazai kísérleti programja. — Műszaki Tervezés, 1970, 9, 5—8
- Tomei-Finkenwalde*: A p. c. szilárdulása. — Tonindustrie Zeitung 1895, 12, 171—179 o. (Ref. MMÉEK 1895, 29, 17)
- Tóth Ferenc*: Szilárdsági kísérletek csavart betonacélokkal. — MSZ 1952, 8, 414—420

- Trost, H.*: Auswirkungen des Superpositionsprinzips auf Kriech- und Relaxationsprobleme bei Beton und Spannbeton. — Beton und Stahlbetonbau 1967, 230—238 és 261—269
- Tűzálló cementek nagyüzemi gyártási kísérlete. — Szilikástechnika 1966, 2, 48
- Ujtl, J. A.*: Tensile stresses in the transmission zones of hollow-core slabs prestressed with pretensioned strands. — Delft Univ. of Technology, Report 1983
- Újhelyi János* (szerk.): Beton- és habarcsztechnológiai zsebkönyv. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1963
- Újhelyi János*: Betontechnológia. — MTI jegyzet (É23). Tankönyvkiadó V., Bp. 1964
- Újhelyi János*: Nyersbeton (látszóbeton) felületek készítési technológiájának a kutatása. — ÉTI kut. jelentés, 1966
- Újhelyi János*: A látszó betonok készítésének néhány problémája. — MÉ 1966, 12, 738—741
- Újhelyi János*: A könnyűadalékos betonok összetételének tervezése és szilárdságának előrebecslése. — Kandidátusi értekezés, 1967
- Újhelyi János* (szerk.): Beton- és habarcsztechnológiai zsebkönyv. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1973
- Újhelyi János*: Az új szabványnak megfelelő cementek betontechnológiai vizsgálata. — ÉTI kutatási jelentés, 1973
- Újhelyi János*: A betonok szilárdsági szórása és gyakorisági eloszlása. — ÉTI kut. jelentés, 1978. nov.
- Újhelyi János*: Betontervezés. Építőanyag praktikum c. könyv 4.4. fejezete. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1983
- Újhelyi János*: A betonkeverék vízszükséglete. — Építőanyag 1988, 2, 54—62
- Újhelyi János*: Az adalékanyag tömörsége és pépigénye. — Építőanyag 1988, 3, 81—90
- Újhelyi János*: A beton struktúrájának és nyomószilárdságának a tervezése. — Akadémiai doktori értekezés, 1989
- Újhelyi János*: A beton nyomószilárdságának előrebecslése és összetételének tervezése, I.—IV. — Építőanyag 1989, 4, 149—154; 5, 180—187; 6, 20—213; 1990, 1, 1—9
- Újhelyi, J.*: Discussion of Paper of S. Popovics. — ACI Materials Journal 1991, July—August, 442—444
- Újhelyi János*: A betonstruktúra vizsgálatának módszerei és kritikája. A betonstruktúra tervezése. — Építőanyag 1992, 4, 123—129
- Újhelyi János—Armuth András*: A beton. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1967
- Vajda Béla*: Prepekt beton. — MSz 1956, 9, 396—404
- Vajda Pál*: Előfeszített távvezetékoszlopok. — MSz 1956, 1, 27—36
- Valette, R.*: Manuel de composition des bétons. — Eyrolles, Paris, 1963
- Vandewalle, M.*: Dramix Tunneling the World. — N. V. Bekaert S. A. 1990
- Varga László*: Köpenyen terhelt kibetonozott acélcsooszlop erőjátéka. — MSz 1988, 4, 184—186
- Váradi György*: A duzzadó-cement. — Építőanyag 1951, 5—6, 91—97
- Vastagh Gábor*: Milyen kötőanyagot használtak a rómaiak a pannóniai erőd-építéseknel? — MMÉEK 1943, 193—195
- Vavřin, F.*: Effect of Chemical Additions on Hydration Processes And Hardening of Cement. — A principal paper. VI. Int. Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, Sept. 1974, II-6
- Veress Sándor*: A hazai 5 mm-es különleges betonacél relaxációs jelenségei. — ÉKME Tud. Közl. II. 2., Bp., 1956
- Verő Imre*: Védőhidak (védőtetők). — Tervezési Irányelvek, UVATERV, 1955
- Vénuat, M.*: Effect of elevated temperature and pressures on the hydration and hardening of cement. — A principal paper. The VI. Int. Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, Sept. 1974, II—8
- Vidor Pál*: Adatok a magyarországi nagyolvasztósalakok cementipari értékesítéséhez. — MMÉEK 1914, 424—430
- Vos, E.—Reinhardt, H. W.*: Bond stress-slip behaviour of deformed bars, plain bars and strands under impact loading. — Bond in Concrete, Proceedings Applied Science Publishers, London, 1982, 173—182

- Wahdan, E. H.*: Zur Übertragung bruchmechanischer Erkenntnisse auf Beton. — Dissertation T. H. Aachen, 1974
- Weiss György*: A beton hőszilárdítása. — Népszava Kiadó, Bp. 1952
- Weiss György*: A betonozás technológiája. — Közlekedési Kiadó, Bp., 1952
- Weiss György*: A vákuumbeton. — MÉLYÉPTERV Műszaki Közl., 1952
- Weiss György*: A beton tömörítése. — Mérnöki Továbbképző Intézet, 1954
- Weiss György*: A betontervezés módszerei. — ÉTI kiadvány, Bp., 1963
- Weiss György*: Az adalékanyag szemnagyságának a hatása. — ÉTI kiadvány, Bp. 1965
- Wesche, K. H.*: Baustoffe für tragende Bauteile 2. — Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1974
- Windisch Andor—Balázs L. György*: A beton és a betonacél együttdolgozásának jellemzése a fajlagos kapcsolati erő — relatív elmozdulás összefüggéssel. — MSz 1984, 6, 265—271
- Wood, R. H.*: Plastic and Elastic Design of Slabs and Plates. — London, Thames and Hudson, 1961
- Zámbó Ernő—Pálkás Béla*: Korszerű építésmód alkalmazása budapesti foghijbeépítéseknél. — MÉ 1980, 8, 463—468
- Zerna, W.*: Spannungs-Dehnungs-Beziehung für Beton bei einachsiger Beanspruchung. In: Aus Theorie und Praxis des Stahlbetonbaues. — W. Ernst u. Sohn, Berlin—München, 1969
- Zielinski Szilárd*: A román- és portlandcementek szilárdulása pépben, habarcsban és betonban. (Anyagvizsgálók Nemzetközi Egyesületének Kopenhágai Kongresszusa anyaga, 1909.) — Pátria Kiadó, Bp. 1909, 2, 52
- Zielinski Szilárd—Zhuk József*: A románcementek összehasonlító vizsgálata és a gyakorlatban való felhasználásuk ellenőrzése. — Kilián Kiadó, Bp. 1901, 33 o.
- Zielinski Szilárd—Zhuk József*: Vasvázás beton és az architektúra. — MMÉEK 1906, 103—104
- Zimbelmann, R.*: Zur Frage der Festigkeitssteigerung bei Beton. — Betonwerk + Fertigteil-Technik 1978, 2, 89—96
- Zoltánka Viktor*: Transzportbeton — a betonszállítás és fogadás korszerű eszközei. — MÉ 1966, 10, 588—595
- Zsigovics István*: A próbatestalak és -méret hatása a beton nyomószilárdságára. — Egyetemi doktori értekezés, 1984
- Young, Ed. J. F.*: Very high Strength Cement-Based Materials. — Symposium 1984. nov. 27—28. Boston, Materials Research Society, Symposia Proceedings, 1985

Névmutató

- Abrams, D. A. 94, 96, 97, 99, 101, 104, 106
Adamkovics Sándor IX, 188
Ágh Ernő 182
Akeley, C. E. 212
Álgyay-Hubert Pál 393
Almási József 88, 383
Andrejko Gyula 59
Arany Piroska 194
Armuth András 152, 154, 180, 197, 237, 255
Aspdin, J. 17
Asszonyi Csaba 215
- Bach, C. 64, 323, 345, 366, 405
Baczynski Gábor IX, 174
Badian, A. 102
Bagi K. 125
Bakonyi Iván 175
Baksa István 88
Balázs György 25, 27, 28, 83, 92, 107, 108, 109, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 124, 125, 152, 191, 193, 194, 195, 196, 197, 203, 222, 242, 246, 247, 255, 342, 357, 359, 360, 362, 365, 379
Balázs L. György IX. 208, 365, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 374, 375, 376, 381, 382, 383
Bálint Júlia 206
Bálint Tibor 102
Balogh Tamás 371, 376
Bán Kálmán 297
Bándy János 85
Baranyai Horváth Miklós 237, 238
Barkhausen 327
Barkóczy György 293
Batiz Zoltánné 305
Batson, G. B. 203
Beke József 322, 323, 324, 327, 329, 330, 335, 338, 344, 366
Beluzsár János IX
Benko Károly 36
Benkő József 295
- Bényei Andrásné X
Bényei Károly 38
Bereczky Endre 15, 18, 23, 24, 30, 31, 32, 36, 37, 52, 59, 70, 73, 84
Berényi Miklós 194
Béres Lajos 123
Bergman Ernő 74
Berkovitch, I. 212
Bertalan Imre 353
Bertero, V. V. 371, 373, 376
Bese Sándor 59
Bied, J. 72
Bleier Sándor 115
Bogdán György 115
Bogdánffy Géza 86
Bojtár Imre 125
Bolomey, J. 94, 96, 97, 101, 103
Borisanszky, M. Sz. 340, 341
Borján József 124, 191, 360
Boros Jánosné 28
Böleskei Elemér 85, 87, 88, 343, 382, 383
Böröcz Imre 224, 225, 382
Brassányi Pál 215
Breymann Gusztáv 316
Brownyard, T. L. 113, 117
Brunauer, S. 110, 116
Brux, G. 213
Bruzsa László 293
Brzesky Adolf 329, 333, 353, 354, 358, 359, 363
Bubb Zsuzsanna X
Buday Tibor 152, 220
Burai Sándor 89
Burbach, E. 212
Burkus Ferenc 166, 179, 186
Butt, Yu. M. 111, 120, 121
Büttner, O. 305
- Caquot, A. 106
Chikán János 59

- Christophe, P. 308, 323, 337
 Ciampi, V. 376
 Clark Ádám 30
 Coignet, F. 312, 331
 Considère, A. 308, 326, 327, 345, 346, 348
 Craemer, H. 405
 Czeglédi Gyula 239
- Csák Béla 387, 389, 391
 Csánk Elemér 89
 Csellár Ödön 352, 353
 Cserhalmi Sándor 47
 Cséfalvy János 196
 Cséri Miklós 86
 Csonka Pál 88, 89, 384, 385, 392
 Csuha Pál 173, 233, 237, 250, 256, 257
 Csutor János 173, 202, 203, 250
- Dahl, H. 99
 Daimon, M. 111
 Dalmy Dénes 228, 229
 Dancs László 189
 Danyushevsky, V. S. 117
 Dávid János 284
 Deák György 321, 322
 Deák Hunor 307
 Deményi Ernőné 189
 Desideri, F. 207, 208
 Dezsényi István 205, 206, 207
 Dischinger, F. 225, 361
 Dittler Ferenc 89
 Djabarov, K. A. 117
 Dobbs, E. 16
 Dobossy A. 197
 Doehring, 224
 Dóka Sándor 89
 Dolezsai Károly 76, 77, 90, 91
 Dombi József 194
 Drögsler, O. 212
 Dubinszkij, A. M. 406
 Dudás János 89
 Dulácska Endre IX, 291, 334, 340, 342, 343, 344, 349, 350, 363, 364, 365, 379, 383
 Dulácskáné, Szederjei Ilona 344, 381
 Duscheck Aurél 323
 Dyckerhoff, R. 62
 Dyckerhoff, W. G. 19, 313, 315
- Echart, V. 45
 Edöcs Ottó 88, 89
 Edwards, A. D. 373
 Egresi Mátyás 343
 Eligehausen, R. 371, 373, 374, 375, 376
 Emmett, P. H. 116
- Emperger, F. E. 323, 331, 345, 366
 Erdélyi Attila X, 27, 152, 194, 219, 239, 240, 241, 242
 Erdélyi László 88, 242, 371
 Erdélyi Zoltánné X
 Érdi Tamás 286, 289
 Erdős Ferenc 153
- Fagerlund, G. 117
 Farkas György 228, 229
 Farkas János 381
 Farran, J. 120
 Faury, J. 106
 Fazekas M. 379, 381
 Fehér Miklós 334
 Fekete Tibor 203
 Feret, R. 19, 94, 95, 97, 103, 106
 Ferrari, F. 23
 Filippou, F. C. 376
 Finkenwalde 94, 119
 Finsterwalder, 225
 Fischer György 295, 296
 Fogarasi Gyula 222
 Fórián Szabó Péter 379, 381
 Fourie, M. T. 80
 Föppl, A. O. 64
 Franke, L. 241
 Freyssinet, E. 172, 224, 225, 226, 357
 Freytag Ferenc 167, 168, 295
 Frühling, H. 63
 Fuller, R. 99
- Gaál Adorján 64, 94
 Gabellini, C. 309
 Gábory Pál 320, 333, 340, 347, 348, 395, 406
 Gácsi István 194
 Gambarova, P. 373
 Garay Lajos 339, 340, 343, 382
 Gáspár Géza 23, 128, 224
 Gebauer 333
 Gedeon Tihámér 84, 90
 Gergely P. 381
 Gergely Sándor 381
 Geszler József 147
 Gilyén Jenő 386
 Gimesy Mária 382
 Gittinger Pál 149
 Giuriani, E. 367, 373
 Glanville 358, 359, 360
 Gnädig Béla 194, 225, 343
 Goda János 59
 Góczán Ferenc 89
 Goldfair 373
 Gonda Imre 30

- Goschy Béla 383, 384, 386
 Goto, Y. 367
 Gottlieb István 24, 25
 Gouda, G. R. 117
 Graf, O. 27, 101, 102, 405
 Grandet, J. 120
 Greenberg, H. J. 405
 Griffith A. A. 125
 Grofcsik János 66
 Gruber Mária X
 Gulyás Kálmán 191, 360
 Guyon, Y. 381
 Guzmics János 206
 Gvozdev, A. A. 405

 Gyengő Tibor 282, 283, 321, 340, 341, 342,
 343, 352, 394, 406
 Györkéné, Horváth Mária 218

 Haberkalt 327
 Haegermann, G. 11, 18, 62, 311
 Hajnal Lajos IX, 135, 136, 137, 138, 139, 141,
 142, 178
 Halász Ottó, 406
 Hámori Vilmos 215
 Hamvas József 149
 Hannig Miksa 31
 Harmon, T. 376
 Hász Sándor 70, 82
 Hatschek, L. 58
 Hauenschild, A. 37
 Hauszmann Sándor 64, 153
 Havady, L. 387, 391
 Havas Judit 179
 Haviár Győző 72, 322, 329, 335, 336, 337, 338,
 339, 344, 382
 Hegedűs István 381
 Hennebique, F. 313, 324, 332, 344, 345
 Herrmann 101
 Heusinger 21
 Hikisch Lóránt 219
 Hill, R. 405
 Hodge, P. G. 405, 406
 Holecz Balázs 59
 Hollenzer Béla 49, 51
 Holnapy Dezső 343
 Holtzspach, A. 32, 64, 153
 Homonnai Tamás 296
 Horovitz János 152
 Horváth A. 360
 Horváth Bors Ernő 103, 104
 Horváth János 195
 Horváth József 296
 Hotop, E. 45

 Hölzenbein, H. 370
 Hönsch Vilmos 157, 159
 Hsu T. T. C. 120
 Hubai Zsigmond 196
 Hugyák László 28
 Hummel, A. 99, 101, 102
 Huszár Lajosné 196
 Huszár Zoltán 286, 289

 Idorn, G. M. III
 Ingerslev, A. 405

 Jáborszki Géza 194
 Jackson 224
 Jakab Dezső 86
 Jankó László 381
 Janovich, K. 372
 Janzó József 229, 231
 Jäger, Th. 405, 406
 Jewett 93
 Johansen, K. W. 405, 406
 John, J. F. 17
 Johnson, I. Ch. 17
 Joisel, A. 106
 Jónás Sándor 152
 Jones, L. L. 406
 Józsa Zsuzsa 191, 360
 Juhász Bertalan 334, 342, 406
 Jurcsek Viktor 175

 Kaku, T. 376
 Kaliszky Sándor IX, 363, 405, 406, 408, 410,
 412, 413
 Karácson Sándor 292, 293
 Karakoc, C. 373
 Karcos Elemér 189
 Karikás György 179, 219
 Kármán Péter 343
 Kármán Tamás 322, 343, 379, 381, 382
 Kármán Tódor 355
 Karsay Ferenc 305
 Kászonyi Gábor 191, 219, 360
 Kausay Tibor 102, 103, 104, 128
 Kazinczy Gábor 84, 393, 405, 406
 Kelemen János 91
 Kilián József 25, 112, 152, 194, 197, 357, 360,
 362
 Kiss Jenő 72, 74, 76, 277
 Kiss Rita 206, 241, 242
 Klausz István 215
 Kmetty István 215
 Knébel Jenő 343
 Kocsis Ferenc IX
 Koenen, M. 224, 315, 323, 329, 366

- Kofranek Vendel 280
 Kolbasov, V. M. 111, 120, 121
 Kolbenheyer Frigyes 36
 Kollár Lajos IX, 293, 362, 363, 390, 392
 Kolostori János 28, 191
 Komor János 86
 Kondo, R. 111
 Konkoly Thege Balázs 31, 32
 Korda István 226
 Korda János 89, 352, 353
 Kormányos József X
 Kormos Zsolt 219
 Kossalka János 314
 Kotra Mihály 57
 Kovács Béla 88
 Kovács József 53, 55
 Kovács Kálmán 114, 194
 Kovács Károly 152, 184, 185
 Kovács Róbert 26
 Kovácsházy Frigyes 281, 282
 Körmöczy Ernő 381
 Kövi Emil 392
 König, G. 206
 Kreiten József 74
 Kreller, H. 373
 Krenner Vilmos 19
 Kunszt György 194, 220
 Kurczyk, H. G. 112
 Kurucz István IX
 Kühn, H. 110
- Lakatos Ottó 241
 Lambot, J. L. 309, 322
 Lampl Hugó 13, 52, 92, 93, 153, 154, 155, 162, 163, 165, 166, 170, 171, 172, 176, 278, 279, 280, 315, 366
 Langen, E. 18, 21
 Langer, P. 373
 Langsteiner András 197
 Lányi Jenő 233
 László György 259, 268
 Lázár Jenő 102
 Le Chatelier, H. 20, 120
 Lenkei Péter 322, 343, 405, 406
 Leonhardt, F. 342
 Leviant, I. 103
 Lichnowszky Ferenc 31
 Lichtmanegger Oszkár 196
 Liebhauser József 290, 292, 293
 Linder, R. 213
 Liptai Vilmos 89
 Liptay András IX, 220
 Lipták Andor 241
- Lipták János 194
 Locher, F. W. 112, 113
 Loewentritt, H. 38
 Lossier, H. 26
 Lőrinc Béla 195
 Lutz, L. A. 381
- Madarász László 241
 Maguel, A. 381
 Magyarai Béla 206, 207
 Maholányi Ernő 297
 Máhr Géza 189, 220
 Majer János 28
 Major Sándor 282
 Makay István 81, 82
 Malina Gyula 276, 277
 Mandl, J. 224
 Mankher György 238
 Mankher Lajos 235, 238
 Marjalaki Sándor 295, 296
 Marssó László 83, 126
 Martin, H. 370, 372
 Márton István IX
 Maso, I. C. 120
 Massazza, F. 120
 Meitzen Nándor IX, 214, 215
 Melan 326
 Menyhárd István 320, 321, 333, 340, 341, 342, 347, 348, 352, 395, 406
 Mérei László 302
 Mester István 295
 Michaelis, W. 18, 19, 20, 21, 63
 Mihailich Győző 70, 72, 83, 84, 102, 167, 321, 322, 325, 329, 335, 336, 337, 338, 339, 344, 347, 348, 365, 366, 378, 393
 Mihálik, J. 11, 30, 92, 154, 156
 Mironov, Sz. A. 196
 Miskolczy László 59
 Mistéth Endre 322, 335
 Mohácsi László 296
 Mohr 348, 350, 355
 Mók László 232, 233
 Molnár István 89
 Monier, J. 308, 310, 311, 316, 322, 324
 Monti Gábor 189
 Moricem P. B. 405
 Morita, S. 376
 Morris, W. S. 405
 Möller Károly 329, 333, 353, 354, 355, 358, 359, 363
 Mörsch, E. 225, 323, 331, 337, 346, 348, 355, 366, 405
 Munkácsy Nándor 171
 Müller, J. 12

- Nacsa János 263, 264, 268, 275
 Náday Gábor 207, 208, 209, 211
 Nádor Ottó IX, 149
 Nádory Nándor 13, 19, 155, 157
 Nagy Árpád IX, 264, 265
 Nagy Dezső 30
 Nagy István IX, 305
 Nagy Mihály 49
 Nagy Pál IX, 89, 140, 141, 143, 144, 145, 160,
 161, 162, 163, 164, 179, 181, 182, 183, 285,
 286, 287, 288, 292, 305
 Nagy Tibor X
 Németh Ferenc 88, 406
 Nendtvich, G. 11, 12, 13, 15, 19, 30, 31, 33, 36,
 37, 62, 65, 93, 94, 153
 Nervi, P. L., ifj. 207, 208, 309
 Neumann 326
 Neville, A. M. 77
 Niederhauser Emil 30
 Nielsen, M. P. 405, 406
 Noakowski, P. 372
- Oberritter Miklós IX
 Ockleston, A. J. 405
 Ócsvár Rezső 196
 Ódor Péter 86, 87, 88, 89
 Olesniewicz, A. 372
 Ollivier, J. F. 120
 Olszak, W. 405
 Opotzky Ludmilla IX, 25, 26, 28, 29, 58
 Orosz Árpád VIII, IX. 87, 88, 324, 372
 Ostendorf 328
 Ostermann Lajos 194
 Ottmár Béla 284
 Otuska, K. 367
 Ozvári György 194, 253, 258, 263, 268, 273
- Pájer Péter 275
 Pál Balázs 188
 Pál Károly 193, 194, 196
 Pálinkás Béla 305, 306
 Pálinkás János 275
 Palotás László 83, 99, 101, 102, 104, 106, 114,
 126, 127, 152, 154, 175, 194, 197, 203, 312,
 319, 321, 344, 350, 360, 362, 371, 378, 394,
 405, 406, 408, 409, 410, 411
 Papanek Zsolt IX
 Papp Aladár 174
 Parker, J. 16, 314
 Passow 22
 Pásztor Rezső 213, 215, 293
 Paulay Tamás 383
 Pázmándi Margit 89
 Pelikán, J. 413
- Pelle József 290
 Penkala Tibor 196
 Peregy, J. 413
 Pesky János 13, 14, 15
 Petró Bálint 284
 Pettenkofer 18
 Pezzuoli, M. 120
 Pintér Sándor IX, 53
 Plizzari, G. 373
 Pochanart, S. 376
 Polgár László IX
 Popov, E. P. 371, 373, 376
 Popovics Sándor 99, 102, 104, 106, 116, 220
 Positano, G. 207, 208
 Powers, T. C. 20, 94, 95, 97, 113, 117
 Prager, W. 405
 Prási Lajos 275
 Prieszol József IX
 Prokopecz, L. 99
 Prüssing, G. 18
 Pucher 361
- Quervain, F. 102
- Rabot, R. 80
 Rác Kornélia IX
 Radler László 74
 Rajnay Frigyes 166
 Rauschler Vilmos 36
 Rehm, G. 120, 241, 367, 370, 373, 374, 375,
 376
 Reichard Ernő 15, 18, 23, 24, 30, 31, 32, 36,
 37, 52, 73, 84
 Reinhardt, H. W. 372, 373
 Reznák László 102, 103
 Rédey Nagyné, Faragó Zsuzsa 360
 Révay Miklós IX, 26, 27, 29, 72, 73, 76, 77, 78,
 79, 90, 194
 Richartz, W. 112, 113, 123
 Richter Károly 322, 323, 324, 327, 329, 330,
 335, 338, 344, 366
 Richter Richárd 215
 Riedl K. 314, 366
 Riesz Lajos 31
 Ritter, W. 330, 344, 348
 Romualdi, J. P. 203
 Roon, W. 32
 Rothfuchs, G. 99, 102
 Roy, D. M. 117
 Rózsa Mihály 320, 333, 347, 348, 395, 406
 Rudelof 63
 Ruffert, G. 213
 Rüsck, H. 122
 Rzsanicin 406

- Sajó Elemér 13, 52, 92, 93, 153, 154, 155, 162, 163, 165, 166, 170, 171, 172, 176, 278, 279, 280, 315, 366
- Saliger, R. 323, 324, 366
- Sántha Béla IX
- Sarlós János 31
- Sasse, H. R. 123, 124
- Sátori M. 37
- Sávoly Pál 89
- Sawczuk, A. 405, 406
- Scharle Péter 219
- Schäffer, H. 99
- Scholz, W. 104
- Schreiber József 293
- Schulze, K. 102
- Schustler József 64, 92, 94, 276, 277, 314, 318, 319
- Schwertner Antal 371, 394
- Schwiete, H. E. 112
- Sellei János IX, 216
- Siklós Ferenc 59
- Simon Gyula IX
- Sindelyes Gábor 219
- Sinn, B. H. 11, 15, 17, 18, 62
- Skalny, J. 111
- Slate, F. C. 120
- Smeaton, J. 15, 16
- Sobotka, Z. 406
- Solti Miklós 89
- Sólyom László IX
- Somogyi László 102, 386
- Soretz, S. 370
- Sós Aladár 86
- Söpkéz Gusztáv 296, 297, 299, 302
- Spindel, M. 99
- Sréder Mihály 219
- Stein Sándor 31
- Stern, O. 99
- Stroeven, P. 125
- Stubs, R. C. 172
- Sturz Antal 152
- Sugár Zsigmond X
- Suenson, J. 103
- Svenson, Sven E. 299
- Szabó Gellért 215
- Szabó István 45
- Szabó Iván 203, 204
- Szabó János 89
- Szabó Kálmán 293
- Szabó Miklós 189
- Szalai Kálmán IX, 85, 87, 88, 321, 322, 335, 344, 349, 350, 372, 379, 392, 396, 405, 406
- Szathmáry István 302
- Szávuly Lajos 293
- Széchenyi István 30
- Széchy Károly 194
- Székely Ádám 193
- Székely Hugó 86, 87
- Székely István 28, 112, 191, 194
- Székely K. 45
- Szeles Ernő 215
- Szemesy István 88
- Szenes Ervin 284
- Szentiványi Béla 194
- Szépe Ferenc 381
- Szijártó Lajos 222
- Sziklai Ferenc 88
- Szikszay Gerő 195
- Szirbik Sándor 194
- Szivós Gyula 93
- Szizov, V. H. 196
- Szmodits Kázmér 383, 394, 406
- Szokolai Lajos 275
- Szombathy Zoltán 191, 360
- Szőke Dezső 293
- Szőnyi Éva 372
- Szumrák Pál 12, 13
- Szücs Ferenc 194
- Tacher, E. 315
- Takács Győző 316, 318
- Takács Sándor IX, 241
- Talabér József VIII, IX, 30, 31, 59, 60, 72, 73, 77, 78, 79, 84, 85
- Tamás Ferenc IX, 20, 110, 112, 113, 381
- Tamás László 189
- Tápai Antal IX
- Tariczky Zsuzsa 191, 360
- Tarnai Tibor 344
- Tasi István 166
- Tassi Géza IX, 86, 87, 88, 89, 225, 232, 233, 367, 371, 381, 382, 383
- Tassios, T. P. 376
- Tatcher, E. 366
- Taylor, H. F. W. 78, 110, 111
- Tedescó, N. 331
- Teller, E. 116
- Temesvári Jenő 182
- Tepfers, R. 373
- Tetmajer, L. 18, 19, 21, 63
- Tevan Zsófia 179
- Thanh, N. H. 124, 207, 208, 209, 210, 211
- Thoma József 225, 296, 297, 299, 302
- Thompson, S. 99
- Thullie 332
- Timashev, V. V. 111, 120, 121
- Tomci 94, 119

- Tompa Tiborné X
 Tóth Ferenc 234
 Tóth János 124, 193, 203
 Törnebohm 20
 Trost, H. 362
- Udvardy, J. 139
 Ujil, J. A. 372
 Újhelyi János VIII, IX, 94, 95, 97, 98, 103,
 104, 105, 106, 107, 115, 116, 117, 126, 128,
 129, 152, 154, 193, 196, 197, 220, 237, 255
- Vajda Béla 175, 194
 Vajda László 102
 Vajda Pál 268, 269, 270, 271, 394
 Valette, R. 106
 Valiskó János 290, 292, 293
 Valkó Ödön 296
 Valtinyi Dániel 152
 Vandewalle, M. 212, 213, 214
 Váradi György 26
 Varga Imre 268
 Varga István 290
 Varga János 175, 182
 Varga József 66, 74, 84
 Varga László 85, 201, 351
 Vass Tibor 284
 Vastagh Gábor 12
 Vavrin, F. 112
 Veress Sándor 239
 Verő Imre 392
 Vénuat, M. 111
 Vicat, L. 62
 Visnovitz, Gy. 387, 391
 Vitruvius 12
 Vizvárdy István 302
 Vladár János 293
 Vos, E. 373
- Wahdan, E. H. 123, 124
- Walther, R. 342
 Walz, K. 27
 Watzek Miklós 297
 Wayss, A. G. 316
 Weber, C. 212
 Weichinger Károly 88
 Weisenbacher Endre 32
 Weiss György 102, 127, 128, 154, 173, 195,
 197
 Weisskopf, A. 45
 Weisz Gyula 207, 208, 209, 211
 Wendland Károly 32
 Wesche, K. H. 108, 109
 Wessely Károly 41
 White, G. F. 313
 Wilkinson, W. B. 313
 Windisch Andor 88, 368, 369, 372
 Withnesy 361
 Wood, R. H. 406, 413
 Wünsch Róbert 157, 158, 159, 160, 318,
 319
- Zasso, B. 373
 Zambó Ernő 305, 306
 Zeitler Vilmos 89
 Zerna, W. 362
 Zhuk József 94, 96
 Zielinski Szilárd 64, 92, 94, 96, 172, 278, 320,
 324
 Zimbelmann, R. 120
 Zimonyi Gyula 194
 Zobel Lajos 194
 Zoltánka Viktor 179, 180
- Zsigmondy Béla 278
 Zsigovics István 115, 124, 194
- Yannopoulos, P. S. 373
 Ybl Miklós 13
 Young, J. F. 111

Tárgymutató

- acélszál 204
- adalékanyag
 - adagolása és mérése 146
 - agyag- és iszaptalanítás 138
 - aprítás 138
 - halmazszilárdsága 103
 - nedvességtartalom mérése 141
 - osztályozás 139
 - pépigénye 106
 - termelés 135
 - tömörsége 106
 - vízigénye 103
 - víztelenítése 141
- adalékanyag osztályozás
 - hidraulikus 140
 - mechanikus 139
- adalékmintás betonfelület 254
- adalékszerek
 - folyósító 150
 - hatásmechanizmusa 152
 - képlékenyítő 147
 - kötésgyorsító 147
 - kötéskeleltető 151
 - légpórusképző 151
 - tömítő 151
- alagútzsaluzat
 - felhasználás 290
 - rendszerek 290
 - tételhatároló szerkezetei 293
- alkálhidrolízis 79
- aprózódási veszteség 103
- autokláválás 193
- bauxitcement
 - anyagai 72
 - feltalálása 72
 - gyártása 72
 - karrierje és bukása 80
 - romlása 77
 - tulajdonságai 72
- bauxitcement tűzálló 90
- beton
 - adalékszerek 146
 - bedolgozása 171
 - felületi kezelőszerek 146
 - gyár 177, 184, 188
 - hidrátszerkezete 115
 - keverése 154
 - készítés másodlagos nyersanyagból 218
 - készre kevert 177
 - lassú alakváltozása 357
 - lövellt 211
 - öntött 167
 - pórusszerkezet 113
 - pörgetett 202
 - struktúra 107
 - szálerősítésű 203
 - szállítása 166
 - szilárdítás 190
 - szilárdság előrebecslése 95
 - szilárdság és pórusszerkezet 117
 - szivattyú 170
 - technológia 131
 - technológia szabályozása 220
 - tervezés Feret-képlettel 126
 - tervezés Palotás szerint 126
 - tervezés Újhelyi szerint 128
 - tervezési segédletek 127
 - torkrét 211
 - törési mechanizmusa 121
 - transzport 179, 189
 - utókezelése 176
 - vákuumozott 197
 - zsugorodása 356
- betonacél 234
 - együttdolgozása betonnal 365
 - háló 235
 - lechorgonyzása és toldása 377
- beton bedolgozása
 - döngöléssel 171

- beton bedolgozás kolkrét eljárással 173
 - prepakt eljárással 173
 - vibrálással 172
- Beton- és Vasbetonipari Művek 273
- betonkeverő gépek
 - Eirich-rendszerű 166
 - folytonos üzemű 160
 - Jäger-rendszerű 163
 - kényszerkeverők 165
 - kihordókanalas 164
 - Mihálik 156
 - Nádory 157
 - Smith-rendszerű 163
 - Sonthofen-típusú 166
 - szabadon ejtő 162
 - visszafogatással ürítő 164
 - Vögele-rendszerű 164
 - Wunsch 159
- betonszállítás
 - agitátor kocssal 180
 - betonszivattyúval 170, 182
 - billenőplátós teherkocsival 180
 - daruval 171
 - kézi eszközökkel 166
 - mixerkocsival 181
 - öntéssel 167
 - szállítószalaggal 170
- betonszilárdítás
 - autoklávólással 193
 - elektromosan 196
 - hidratációhővel 193
 - hőkezeléssel 194
 - kombináltan 196
 - melegbetonnal 196
 - nagy kezdőszilárdságú cementtel 191
 - sugárzó hővel 196
 - szilikaporrall 191
 - tömörség fokozásával 191
 - vegyi úton 193
- Budapesti Transzportbeton Társaság 186
- cement
 - alit 24
 - bacillus 23
 - bauxit 72
 - Citodur 49
 - duzzadó 26, 91
 - fehér 23, 111
 - fokozott szulfátállóságú 28
 - gipszkömentes 29
 - gyártás 31
 - heterogén 23
 - kohósalakportland 24
 - kő 108, 110
- cement kőműves 46
 - litofil 29
 - mérsékelt C_3A tartalmú 26
 - nagyolvasztó 22
 - portland 15, 17, 30
 - 550 pc 27
 - román 16
 - salak 21
 - S54 jelű 23
 - szabványos 63, 66, 67, 68, 69, 71
 - szállítás 134
 - szállító gépkocsi 134
 - szigma 24
 - termelés 61
 - többcélú 27
 - traszportland 24
 - tűzálló 90
 - út 27
 - üstökös 22
 - vasportland 22
 - vizsgálat 62
- cementgyárak 59
 - beremendi 38
 - bélapátfalvai 41
 - hejőcsabai 45
 - lábatlani 31
 - nyergesújfalui 36
 - selypi 52
 - tatabányai 49
 - újlaki 37
- cementkő
 - és a tapadás 119
 - fogalma 108
 - hidrátszerkezete 110, 116
 - pórusszerkezete 116
- cementszilárdulás
 - kolloid elmélete 20
 - kristályelmélete 20
 - oligomerizációs folyamat 20
- Chem-Beton Kft. 152
- csillagdeponia 144
- csúszózsálas építéstechnológia 245
 - alapberendezései 297
 - előnyei 296
 - hazai és külföldi példái 302
 - hátrányai 296
 - segédberendezései 303
- Deval-érték 103
- DOLANIT-szál 206
- egyenlőtlenségi együttható 102, 106
- előregyártás, helyszíni 221, 276

- előregyártás, üzemi 221, 251
előregyártott elemek
— formázása 245
— gőzölése 245
— gyártása 249
— szállítása és tárolása 248
előregyártott elemek gyártása
— blokkyszerű elemek 250
— előrefeszített födémgerenda 255
— feszített födémfalló 258
— födémgerenda 251
— házelem 253
— járdalap 250
— mozaiklap 249
— távvezetékoszlop 259
emelőgépek
— Concretor-Prometo elektrohidraulikus emelőszáj 298
— elektromechanikus „Robot” emelőszáj 299
— kétkamrás elektromechanikus emelőszáj 297
— különleges csúszózsalszalag 298
— nagy teherbírású emelő—süllyesztő rendszerű 298
— SVETHO-rendszerű csúszózsalszalag be-
rendezés 299
energiafelszabadítási ráta 125
építéstechnológiák 221
Építőkémi Kft. 149
Eternit Művek 57
fémüveg 207
ferdetörés elmélete 340
ferrocement 207
feszítés
— elő 224
— utó 224
feszítési rendszerek
— DYWIDAG 229
— Freyssinet 226
— Hoyer 225
— MO-TA-LA 231
feszítőhuzal 235
— feszültségvesztése 240
— hullámosított 237
— nemesített 235
— patentozott 235
— rovátkolt 238
feszítőpálya 241
finomsági modulus 99
folyamatirányítás 57
folyósító adalékszer 114
földnedves habarcsvizsgálat 62
Freyssinet-puska 228
gépkocsira szerelt betonszivattyú 183
gőzölés 111, 246
gőzölési rendszer
— gőzölőaknás 247
— gőzölőalagutás 248
— gőzölőkamrás 247
— padlófűtéses 246
— sablonfűtéses 247
határigénybevétel 321
helyszíni előregyártás
— magasépítésben 283
— mélyépítésben 276
— üsztatott szerény 282
heterogén cement 23
hézagelmélet 93
hidraulikus pótlék 11, 18
Hoffmann-kemence 47
hőcserélő torony 40
Huber—Mises—Henczky folyási feltétele 350
ideális szemmegoszlási görbe 99
impregnálás 114, 119
irányított törési mechanizmus 387
kapcsolati erők vasbetonban
— adhéziós kapcsolat 365
— befolyásoló tényezők 370
— kihúzóadásos tönkremenetel 367
— kihúzó kísérlet 368
— mechanikai kapcsolat 366
kapillaris pórus 113
KEMIKÁL Építőanyagipari Rt. 149
képlékeny csukló 408
képlékeny habarcsvizsgálat 70
képlékeny határállapot 408
képlékenyítő adalékszer 114
képlékenységtan szélsőérték tételei 410
keverési arány 94, 152
kohósalak
— granulált 18
KONKRÉT Betonlövő és Szerkezeterősítő
Kft. 218
kőműves cement 15
kötésgyorsító adalékszer 112
kötésidő szabályozása 17
Központi Állami Kórház 89
kritikus feszültség 122, 125
küszöbérték 7
lassú alakváltozás (kúszás)
— befolyásoló tényezői 357

- lassú alakváltozás (kúszás), fogalma 357
 — lineáris kúszás törvénye 360
 — tényezője 360
- látszólagos porozitás 113
 légpórus 115
 — képző adalékszer 115
- LIFT-FORM zsaluemeléses—süllyesztéses technológia 305
- LIFT-SLAB födémemeléses technológia 306
- londoni toronyház összeomlása gázrobbanásra 384
- lövellt beton
 — hazai alkalmazása 214
 — készítő gépek 216
 — nedves eljárású 212
 — önosztályozódás 214
 — szálerősítésű 214
 — száraz eljárású 212
- magnéziaduzzadás 19
- Magyar Építőanyagipari Szövetség 189
- Magyar Transzportbeton Egyesülés 187
- másodlagos nyersanyag 218
- melegbeton 196
- méretezési eljárások
 — betonhúzást figyelembe vevő 326
 — Borisánszki szerint 340
 — I. feszültségi állapot szerint 324
 — gazdaságos 353
 — határállapotra 320
 — kibetonozott acélső nyomásra 350
 — külpontos nyomásra 348
 — merev vasvázas szerkezetek 352
 — Menyhárd módszere 341
 — méretezés nyíró- és csúszató erőkre 325
 — minimális húzott vasalással 334
 — n-es számítás 331
 — n-mentes számítás 333
 — tiszta hajlításra 322
- mértékadó igénybevétel 321
- mész
 — hidraulikus 11
 — hidraulizált 11, 12
 — kövér 11
- mészhidrátpor 11, 13
- Mihalik betonkeverője 156
- Mohr törésmélete 350, 355
- Monier-rendszer 316
- monolit vasbeton 312
- munkahézag 175
- nagyolvasztócement 22
- Nádory betonkeverője 157
- osztott biztonsági tényező 320
- OTI-torony 86
- öntőtorony 169
- panelos épületek vizsgálata földrengésre 386
- PANNON—FREYSSINET Kft. 229
- PENGEBETON Kiszövetkezet 216
- péptelítettség 115, 119
- plasztikus csukló 405
- polimerrel impregnált beton 312
- polipropilén szál 205
- POLITON-szál 205
- POLYSTAL üvegszálás feszítőkábel 241
- portlandcement feltalálása 17
- pörgetett beton 203
- premix eljárás 205
- progresszív összeomlás 384
- puzzolán cement 11, 12
- rácsostartó analógia 337
- repedés
 — húzási típusú tapadási 119
 — nyírási típusú tapadási 119
- repedéstágasság számítása 379
- rendeltetési tényező 322
- Rheax osztályozó 142
- románcement 16
- salakcement 21
- Schwing-szivattyú 183
- Sika Hungária Kft. 149
- spray-eljárás 205
- szálerősítésű beton 203
- szemalak 102
- szemmegoszlási görbe
 — határgörbe 101
 — ideális 99
 — lépcsős 101
- szilárdságbecslő függvények 97
- szipernit lemez 58
- tapadás 109
 — acélhoz 315
 — fokozása 120
 — kémiai 119
 — mechanikai 119
- tartó beállása 412
- tartóvég vizsgálata 381
- térfogatállandóság vizsgálata 20
- törésmechanizmus
 — részleges 411
 — teljes 410

- törési mechanizmus meghatározása 122
- akusztikai módszerekkel 123
 - elméleti módszerekkel 125
 - empirikus módszerekkel 122
 - térfogatváltozási függvénnyel 123
- törőintenzitás 408
- meghatározása egyensúlyi módszerrel 414
 - meghatározása energia módszerrel 414
- törésvonal 405
- optimális 414
 - rögzített 414
 - szabad 414
- trasz 13, 14, 154
- Transbeton Kft. 189
- TREMIX-eljárás 198
- Trief-eljárás 25
- üvegszál 206
- üvegszálás feszítőkábel 241
- üzemben előregyártott termékek 243
- beton burkolólap 264
 - cölöp 262
 - előfeszített távvezetékoszlop 268
 - gépkocsitároló 268
 - közműalagút elem 264
 - közmű védőcsatorna 263
 - közvilágítási lámpaoszlop 272
 - mederelem 264
 - MIRABET-cső 263
 - oszlopgyám 290
 - sarokfeszítő oszlop 271
 - útpályaelem 264
 - útszegélyelem 266
- üzemi előregyártás
- aggregát rendszerű 234, 251, 257
 - csúszózsalsal 256
 - konvektor rendszerű 234
 - stand rendszerű 223, 251, 258, 259
 - Stasa rendszerű 259
 - Weiler eljárás 259
- vákuumozás 198
- Vámmentes Kikötő gabonatarháza 167
- vasalt csónak 309
- vasalt virágcserep 308
- vasbeton
- elmélet 315
 - méretezése hasításra 319
 - rozsdásodása 313
 - szabályozása 392
 - tapadása 314
 - törésmélete 405
 - tűzállósága 314
- vasbeton szabályzat
- 1909. évi 131
 - 1931. évi 131
 - 1950. évi ideiglenes Közúti Hídszabályzat 132
 - 1956. évi Közúti Hídszabályzat 132
 - 1960. évi Közúti Hídszabályzat 133
 - 1988. évi Közúti Hídszabályzat 133
- vasbeton keretvázak képlékeny csuklói 387
- vasbeton méretezése hajlításra a betonhúzások elhanyagolásával 329
- vasbeton méretezése hajlításra a betonhúzások figyelembevételével 326
- vasbeton méretezése központos nyomásra 344
- vasbeton méretezése leeső testre 390
- vasportlandcement 22
- virtuális elmozdulások elve 409
- viszkoelasztikus modellek 363
- Withnesy szerinti ideális görbék 361
- Wünsch betonkeverője 157
- Wünsch-rendszerű merevvasvázás szerkezet 318
- zsaluzati rendszerek (sik és táblás) 283
- asztalzsalsal 286
 - BATIMETAL 286
 - DOKA 286
 - ÉTI DOTTRÓD 284
 - HÜNNEBECK 286
 - NOE 286
 - OUTINORD 286
 - PERI 286
 - SCAN-FORM 286
 - síkzsalsal 286
- zsgorodás 356



7910/94

Hazánkban ez az első könyv, amely átfogóan tárgyalja a beton és a vasbeton történetét, amelyet az anyag, a technológia és az ismeretek fejlődése kölcsönhatásának tekint.

Az *első kötet*, melyet az olvasó a kezében tart, a beton és a vasbeton alapjainak a fejlődéstörténetét ismerteti. Ezek: a portlandcement, a bauxitcement, a betonismeret, a betontechnológia, az építéstechnológia és a vasbetonismeret.

A *második kötet* a mélyépítési beton- és vasbeton szerkezetek történetét tartalmazza. Ezek: útépitési betonok, közúti hidak, vasút vasbeton szerkezetei, földalatti vasút, vízellátás és csatornázás, zsilipek, duzzasztók beton- és vasbeton szerkezetei.

A *harmadik kötet* a magasépítési vasbeton szerkezetek: házak, ipari és mezőgazdasági szerkezetek, középületek vasbeton szerkezetei fejlődésének a történetét mutatja be.

699210



BALÁZS

BENJON VASBENTON I.