

120 C°-ON 1 AT TÚLNYOMÁSSAL VÉGZETT BETON- GŐZÖLÉSI KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

1. A kísérletek előzményei

Az épületelemgyárak létesítésével a magyar építőipar rátért a gőzölési eljárás alkalmazására, s ezzel a magyar építőipari kutatás is szembekerült a betongőzölés különböző kérdéseivel. Tisztázandó volt, hogy a külföldön általánosan használt gőzölési eljárások minő feltételekkel alkalmazhatók nálunk is és minő eredmények várhatók a magyar cementek esetében. Felvetődött az a kérdés is, milyen módon lehet az elemek gőzkezelésének időtartamát lényegesen lerövidíteni.

Az utóbbi kérdés vizsgálatára az Építéstudományi Intézet 1954 óta számos kísérletet végzett. Ezekben az ún. *gyorsgőzölési kísérletekben* — melyek folytatólagos eredményeiről szakfolyóiratokban már három közlemény számolt be [1—3] — meggyőződünk arról, hogy rövid ideig tartó gőzöléssel is lehet kedvező eredményeket elérni. Ennek az a módja, hogy — a szakirodalom eltérő figyelmeztetéseivel ellentétben [4—6], azonban néhány feltétel betartásával — az általánosan alkalmazott (70 C° körüli) izotermikus érlelési hőfoknál számottevően (20—25 C°-kal) magasabbat alkalmazunk.

Gyorsgőzölési kísérleteink után, 1955-ben R. L'HERMITE egyik tanulmányában érdekes megjegyzést tett a 120 C°-on, 1 at túlnyomással végzett gyorsgőzölés kedvező hatására vonatkozóan. A nagyobb (6—12 at) túlnyomás alkalmazásával járó előnyöket saját kísérleteinkből magunk is jól ismertük, a csekély túlnyomás használatának szorgalmazására azonban a L'Hermite-féle tanulmány hívta fel a figyelmet. Minthogy ő az általa javasolt érlelési módra vonatkozóan nem közölt részletesebb adatokat, indokoltnak láttuk, hogy a szóban forgó érlelési mód vizsgálatára magunk végezzünk kísérleteket.

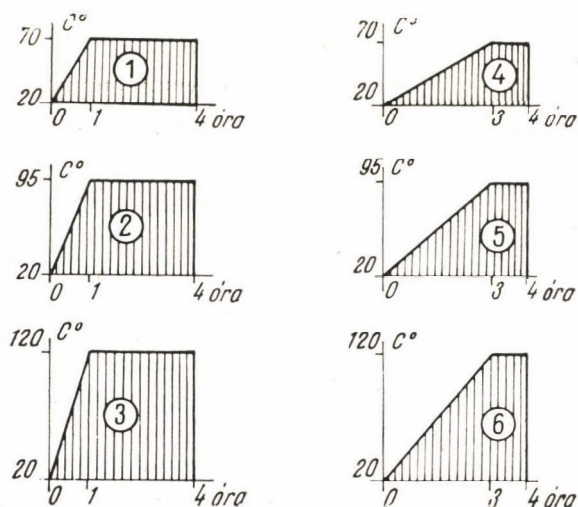
2. A végzett kísérletek ismertetése

A felmerülő kérdések tisztázása érdekében hat-féle gőzölési mód hatását vizsgáltuk. Kísérleteinket laboratóriumi autoklávban, vasformában gőzölt, 7 cm élhosszúságú kockákon végeztük. Előbb cementpépek, majd betonok viselkedését tanulmányoztuk.

A gőzölési módokat az 1. ábrán mutatjuk be. Itt a vízszintes tengelyen a gőzölés időtartamát, a függőleges tengelyen pedig a gőztér hőfokát tüntettük fel. A koordinátarendszer kezdőpontja a próbatestek elkészültének időpontját

és annak a helyiségnek a hőfokát adja meg, amelyben a készítés történt. A csikozott területek nagyságát vettük az egyes érlelések órafok számának.

A kísérletek során a próbatesteket elkészültük után azonnal, pihentetés nélkül felfűtöttük. Az érlelés teljes időtartama mind a hatféle gőzölés esetében 4—4 óra volt. Az izotermikus érlelés befejeztével a próbatesteket fokozatos lehűtés nélkül, hirtelen vettük ki az autoklávból, s néhány perc múlva ki is zsaluztuk.



1. ábra. A kísérletek során alkalmazott gőzölések diagramja

A *cementpépekkel* végzett kísérletekben négyféle cementet alkalmaztunk: tatai 600-as, illetve lábatlani 500-as portlandcementet, selypi 400-as traszportlandcementet és hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcementet. A pépeket szabványos kötészvízzel készítettük. A négyféle cement esetében a kötészvíz rendre 29, 28, 42, illetve 30% volt. A pépekből készült kockák 28 napos nyomószilárdsága szobalevegőn szilárdítva 634, 647, 276 és 356 kg/cm²-t tett ki.

A kísérletek második sorozatában *betonokat* vizsgáltunk. Ezeket a gyorsgőzölés szempontjából kedvezően viselkedő lábatlani 500-as portlandcementtel készítettük. A kockákat döngöltük. A beton készítésekor kétféle cement-adalék súlyarányt és kétféle folytonos szemszerkezetet alkalmaztunk. A legnagyobb kavicszemméret 15 mm-es volt. A betonokat földnedves és képlékeny állapotban vizsgáltuk. Az ily módon adódó nyolcféle beton készítési adatait, valamint a szobalevegőn való tárolás során nyert 28 napos nyomószilárdságokat az 1. táblázatban foglaltuk össze. Itt, valamint az alábbi 2. és 3. ábrákban is minden adat három-három kísérleti eredmény átlaga.

3. A cementpép kísérletek eredményei

A *cementpépekből* készített gőzölt kockák 5 órás törésének eredményeit a 2. ábrán mutatjuk be. Az ábra alapján nagy általánosságban azt állapíthatjuk meg, hogy az 1 at túlnyomással, 120 C°-on végzett gőzölés hatása igen ha-

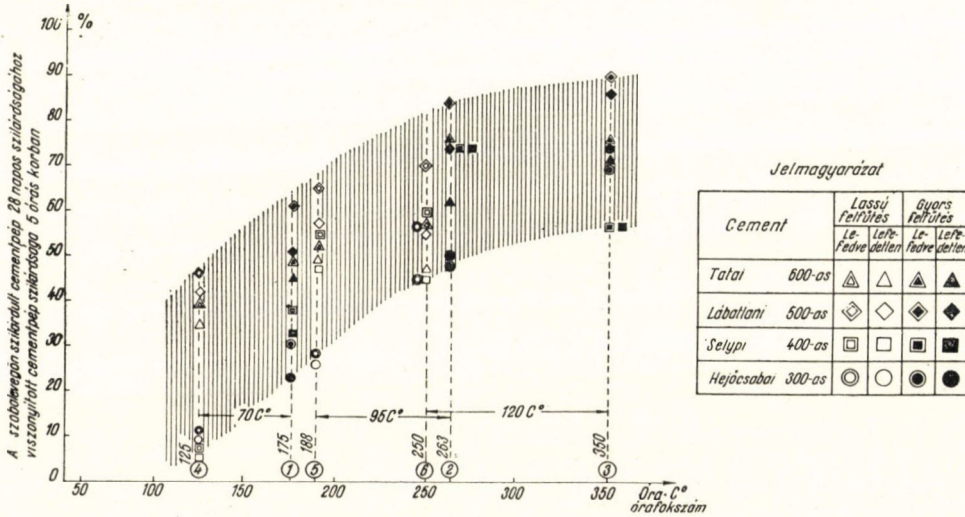
I. táblázat

A vizsgált betonok adatai

A keverék jele	Az Abrams-féle finomsági modulus	Cement-adalék-súlyarány	Víz-cement-tényező	Állapot	Kész.tési térfogat-súly kg/dm ³	Cement-tartalom kg/m ³	Feret-féle tényező $\left(\frac{C}{1-S}\right)^2$	28 napos nyomószilárdság kg/cm ²
1	5,5	1 : 5	0,40	földn.	2,46	385	0,213	435
2			0,48	képl.	2,43	375	0,174	320
3		1 : 10	0,60	földn.	2,40	207	0,093	243
4			0,72	képl.	2,45	209	0,105	201
5	3,5	1 : 5	0,50	földn.	2,35	361	0,138	318
6			0,60	képl.	2,33	353	0,119	253
7		1 : 10	0,80	földn.	2,31	196	0,061	154
8			0,96	képl.	2,35	197	0,063	134

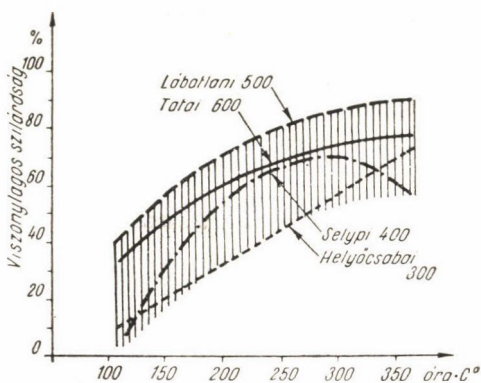
C = a cement abszolút térfogata a bedolgozott frissbetonban.
 S = az adalék abszolút térfogata a bedolgozott frissbetonban.

sonló a 100 C° alatt, közönséges légnyomáson végzett gőzölés hatásához. A 120 C°-os érleléssel elért szilárdságok ui. elég jól beleilleszkednek a 100° alatt szilárdított próbatestek adatai közé. A 120 C°-kal elért szilárdságok csak az órafokszám növekedésének megfelelően voltak a 100 C° alatti gőzöléssel elért szilárdságoknál nagyobbak.



2. ábra. Az órafokszám és az 5 órás szilárdság összefüggése a vizsgált cementpépek esetében

Ezután fordítsuk figyelmünket arra, hogy az egyes cementek viselkedése mennyiben tért el az imént említett és csíkozással jelölt általános összefüggéstől. Mint a 2a ábrából látható, a tatai 600-as és a lábatlani 500-as portlandcement esetében az eredmények elég jól igazodtak az általános összefüggéshez, a vizsgált két heterogén cement esetében azonban már jelentős eltérések mutatkoztak. Még jobban látszik a két heterogén cement különleges viselkedése, ha azt vizsgáljuk, hogy a nagyjából azonos órafokkal, de különböző hőfokon gőzölt pépek szilárdsága azonos volt-e. Ezt vizsgálva, a 2. ábrából azt állapíthatjuk meg, hogy a selypi 400-as traszportland-



2.a ábra. Az órafokszám és az 5 órás szilárdság összefüggése a különböző cementekkel készített cementpépek esetében

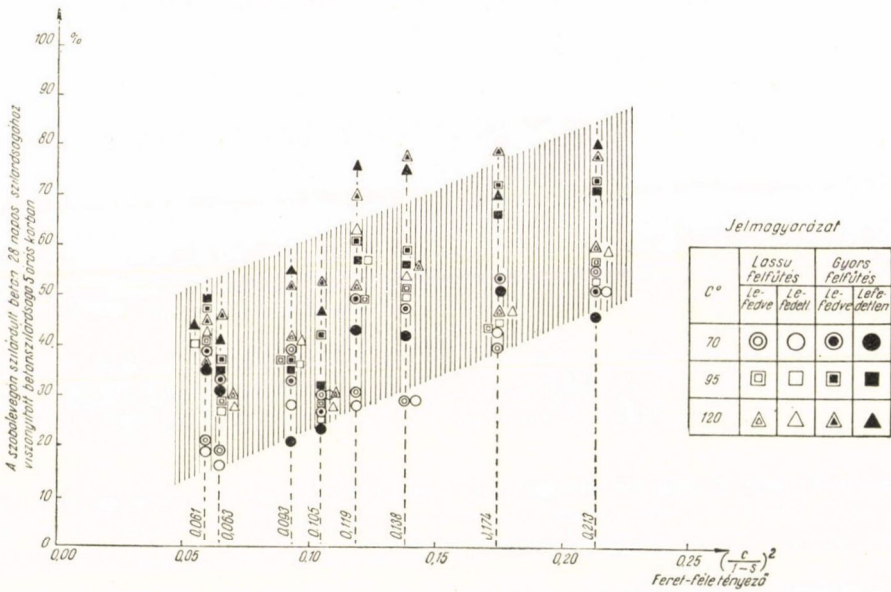
cement esetében a 250-es órafokszámmal végzett 120 C°-os érleléshez tartozó szilárdságok számottevően elmaradtak a közrefogó, 95 C°-on végzett érlelésekből nyert szilárdságok összekötő egyenesétől. Még élesebben jelentkezik az eltérés a 350-es órafokszámmal 120 C°-on végzett érlelés esetében. Itt a szilárdság a 263-as órafokszámmal, 95 C°-on végzett érleléshez képest jelentős visszaesést mutat. Ezek szerint a selypi 400-as cement esetében a 120 C°-on végzett érlelés *károsnak* bizonyult. Viszont a hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement esetében a 120 C°-on végzett érleléssel járó előnyök lényegesen nagyobbak mutatkoztak, mint portlandcement esetén. Itt a 120 C°-on végzett érleléssel nyert szilárdságok az egyéb körülményektől függően 50—100%-kal voltak *nagyobbak*, mint a 95 C°-on végzett azonos időtartamú érlelés eredményei. Ez a megállapítás ipari értékesítés lehetősége szempontjából igen jelentős.

A gőzölt próbatestek 28 *napos* szilárdsági eredményeit nem ismertjük, mert nem tapasztaltunk olyasmit, ami lényegesen eltérne a gőzölt betonok viselkedésére vonatkozóan már közzétett eredményeinktől.

Megjegyezzük még, hogy az általunk „gyors”-nak minősített 1 órás felfűtés semmi tekintetben sem mutatkozott károsnak. Lényegesen rövidebb ideig tartó, pl. félórás felfűtés esetében azonban a szilárdság jelentős csökkenésével kell számolni. Ezt illetően korábbi kísérleteink eredményeire hivatko-zunk.

4. A betonkísérletek eredményei

A különböző betonokból készített gőzölt kockák 5-órás törésének eredményeit a 3. ábrán mutatjuk be. Nagy általánosságban itt azt állapíthatjuk meg, hogy a Feret-féle tényező értékének növekedésével együtt a gyorsgőzöléssel nyert viszonylagos szilárdságok is megnöttek. Minél nagyobb volt a gyorsgőzölésre kerülő beton Feret-féle tényezője, annál jobban közelítette meg a gyorsgőzöléssel nyert szilárdság azt a szilárdságot, amit a beton közönséges szilárdulás során 28 napos korban ért el. Számszerűen: amíg a lábatlani 500-as portlandcementtel készített beton Feret-féle tényezője 0,061-től 0,213-ig nőtt, addig a különböző érlelési módokkal 5 óras korra elért viszonylagos szilárdságok legkisebb értéke 16%-tól 46%-ig, legnagyobb értéke pedig 46%-tól 80%-ig növekedett.



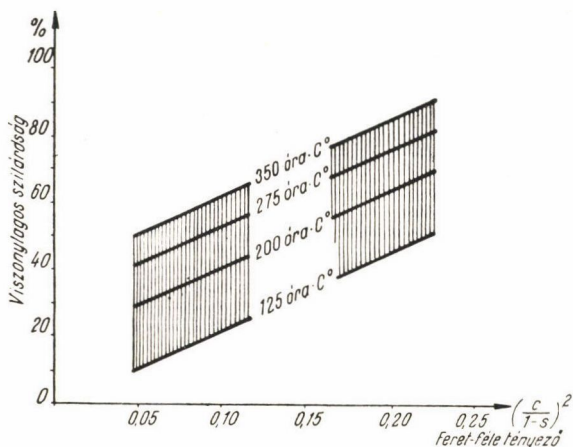
3. ábra. A Feret-féle tényező és az 5 órás szilárdság összefüggése a vizsgált betonok esetében

Fordítsuk most figyelmünket az éppen említett legkisebb és legnagyobb értékekre, illetőleg általában az értékek ingadozására. A 3. ábrán látható, hogy a legnagyobb szilárdságot — egy kivétellel — a 120 C°-on, 1 at túlnyomással végzett gőzölések adták, a legkisebbet pedig a 70 C°-on végzett gőzölések. Tüzetesebben vizsgálva e jelenséget, azt is megállapíthatjuk, hogy a legnagyobb értéket a gyors felfűtéssel végzett, a legkisebb értéket pedig általában a lassú felfűtéssel végzett gőzölések szolgáltatták. Ez annyit jelent, hogy általában a legnagyobb órafokszámú gőzölések eredményezték a legnagyobb, a legkisebb órafokszámú gőzölések pedig a legkisebb viszonylagos szilárdságot. Ezek szerint a szilárdsági értékek változása az órafokszám változását követte (3a. ábra).

5. A kísérletek eredményeinek értékelése

a) Kísérleteink alapján megállapítható volt, hogy az órafokszám és a szilárdság ismert összefüggése a kb. 1 at túlnyomással, 120 C°-on történő érlelés esetére is érvényes. Ez elsősorban a portlandcementekre vonatkozik. Heterogén cementek esetében a fenti szabállyal szemben eltérések lehetségesek.

b) Kísérleteink alapján megállapítottuk, hogy a Feret-tényező használata esetében a gyorsgőzölés hatása és a gőzölésre kerülő beton összetétele között jól áttekinthető összefüggés adódik. Minél nagyobb a Feret-féle tényező értéke, annál jobban közelíti meg a gyorsgőzöléssel elért szilárdság a közönséges szilárdulás esetében elérhető 28 napos szilárdságot.



3a. ábra. A Feret-féle tényező és az 5 órás szilárdság összefüggése a különböző módon érlelt betonok esetében

c) Kísérleteink ipari szempontból legjelentősebb eredményét a hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcementtel elért kedvező szilárdságok jelentik. Ezek alapján a hejőcsabai 300-as és 400-as cement betonelemipari alkalmazásának megfontolását és előkészítését javasoljuk, azzal, hogy B 100, B 140 és B 200-as betonminőségek esetében a gyártott elemeket 120 C°-on, 1 at túlnyomás alkalmazásával érleljék.

A csekély túlnyomásnak, valamint a 100 C°-nál valamivel magasabb hőfok alkalmazásának portlandcementek esetében is vannak előnyei. Kérdéses lehet azonban, hogy ezek az előnyök ellensúlyozhatják-e a különleges kamrák, ill. kazánok létesítésének költségeit, amihez a formák lefedésének szükségessége miatt még a gyártás némi körülményessége is járul. A felfűtéssel együtt 4 órán át tartó érleléskor a 95 C°-os hőmérséklet szilárdító hatása már nem sokkal kisebb, mint a 120 C°-osé. Ezért portlandcementek esetén a 120 C°-os érlelés előnyei a 95 C°-oshoz képest csak akkor lehetnek számottevők, ha a teljes érlelés időtartamát 3 órára, vagy még rövidebb időre akarjuk csökkenteni. Ebben az esetben azonban meg kell elégednünk kisebb, 40—50%-os gőzölés utáni szilárdságokkal.

1. Gáspár G.: Az 1954. évi cementkutatások főbb kérdései. *Építőanyag* 7 (1955), pp. 16—21.
2. Kunszt Gy.: A gőzölési diagram alakjának hatása a gőzölt betonra a cementfajtatól függően. *Építőanyag* 8 (1956), pp. 146—154.
3. Kunszt Gy.: A beton szilárdulásának gyorsítása és a gyorsgőzölés. *Magyar Építőipar* 6 (1957), pp. 77—84.
4. Shideler J. J.—Chamberlin, W. H.: Early strength of concrete as effected by steam curing temperatures. *Journal of the American Concrete Institute* 21 (1949), pp. 273—283.
5. Saul A. G. A.: Principles underlying the steam curing of concrete at atmospheric pressure. *Magazine of Concrete Research* 2 (1951), pp. 127—140.
6. Graf, O.: Versuche zur Dampfhärtung des Betons. *Fortschritte und Forschungen im Bauwesen*, Reihe C, Heft. 3. Stuttgart. 1954.
7. L'Hermite, R.: L'évolution de la technologie du beton. *Revue des Matériaux* 50 (1955), No. 842—843. pp. 50—56.
8. Gáspár G.: Nyomás alatti gőzöléssel kezelt beton. A *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei* 6 (1952), pp. 23—37.
9. Marosszéki M.: A beton szilárdulásának gyorsítása. Közlekedési Kiadó. Budapest. 1953.

MAROSSZÉKI MIKLÓS :

Az előadásban ismertetett kísérleteket és azok eredményeit a telepített előgyártó üzemek által gyártott B 280 és ennél jobb minőségű betonokkal kapcsolatban műszaki és gazdasági szempontból kívánom vizsgálni. Általában helyesnek tartom, hogy előadó a betonkísérleteket a nagyszilárdságú betonok előállításához használatos lábatlani 500-as portland cementtel végezte, hiányolom azonban, hogy az optimális órafokszámot nem állapította meg. Kifogásolom továbbá, hogy nem végzett kísérleteket 20 cm élhosszúságú kockákkal, holott előírásaink szerint a betonminőség megállapítása szempontjából az ezeken mért szilárdság-értékek a mértékadók.

Az előadó által végzett kísérletekből az alábbi következtetések vonhatók le :

1. A szilárdság és órafokszám között fennálló összefüggés 120° C hőmérsékleten történő gőzölés esetén is érvényes. A nagyobb szilárdság a jelen esetben is az alkalmazott nagyobb órafokszám következménye. Ez az órafokszám a rövid felfűtési idő miatt nőtt meg a lassú felfűtés mellett végzett gőzölés órafokszámához képest. A lassú felfűtés 3 órás időtartamának 1 órával való csökkentése ennek az eljárásnak az órafokszámát és ezzel az elért betonszilárdságot is növelte volna, a gyors felfűtéssel szemben mutatkozó órafokszám- és szilárdság-különbséget pedig csökkentette volna.

2. Kis vízcementtényezőjű, tehát nagyszilárdságú betonok szilárdításakor 120°-os gőz alkalmazása 95°-os gőzzel szemben nem jelent előnyt. Nagy vízcementtényezőjű, tehát kis szilárdságú betonok esetében azonban a 120°-on való gőzölés nagyobb viszonylagos szilárdságot eredményez.

3. Az ismertetett eljárás csak akkor jár gazdasági előnyökkel, ha kis, kb. 50%-os viszonylagos szilárdságot kívánunk elérni, de nem jelent előnyt olyankor, midőn nagy viszonylagos szilárdságok elérése szükséges, mint pl. előfeszített szerkezetek esetében.

4. A kísérletekből kitűnt, hogy a beton 120° C hőmérsékleten is minden károsodás nélkül gőzölhető. Ezzel szemben a „Műszaki irányelvek a beton gőzölésére” című kiadvány portlandcement esetén 70, más cementek esetében pedig 80° C-ban jelöli meg az alkalmazható legnagyobb hőfokot. Az általam már 1950—51-ben végzett kísérletekből is az tűnt ki, hogy 95° C hőmérsékleten végzett gőzöléssel nagy betonszilárdságok érhetők el.

5. Az „Irányelvek” című kiadvány a gőztér hőmérsékletének pl. 50° C-kal való emelésére 3—4 órát ír elő, a most közölt kísérletek viszont a hőmérsékletnek 1 óra alatt 100°-szal való növeléséről számolnak be anélkül, hogy a beton károsodott volna. Fentemlített kísérleteim során is a betonminőség károsodása nélkül fűtöttem fel 1,5—2,0 óra alatt a gőzteret 75—80° C-al.

6. Sem előadó kísérleti eredményei, sem saját, 1951-ben és 1955-ben végzett kísérleteim nem igazolták az Irányelvek azon megállapítását, hogy a 2 óránál rövidebb