

PALOTÁS LÁSZLÓ, a műszaki tudományok doktora, egyetemi tanár

## AZ ELŐREGYÁRTOTT BETON NÉHÁNY KÉRDÉSE

Az előregyártás bevezetése a vasbetontechnika területén is elsősorban a munka gyorsítását és ezzel párhuzamosan a gazdaságos építés lehetőségeinek kiszélesítését jelentette. Az utóbbi évtizedek óriási technikai fejlődése — a megnövekedett igények kielégítésére — szinte szükségszerűen írta elő új, korszerű, gyorsabb módszerek keresését, s ennek érdekében mondott le a vasbetonépítés jól bevált monolitos jellegéről és tért át az előregyártott elemekből összeállított részlegesen monolitos létesítmények készítésére.

Az előregyártás által előidézett gyorsítást, javítást és korszerűsítést nemcsak a helyszíni építésben, hanem magában az előregyártott elemek készítésében, az előregyártott beton technológiájában, sőt mindezeket megelőzően az anyagosztályozás, szállítás és kezelés stb. kérdésében is meg kell oldani.

Ebben a rövid bevezetőben csak azokat a gondolatokat kívánom felvázolni, amelyek az előregyártott elemek készítésével kapcsolatban az ún. *közönséges beton* készítése terén a legutóbbi időben jelentkeztek, s amely gondolatok továbbfejlesztése újabb lendületet képes adni az előregyártás fejlődésének is.

A magasépítési előregyártás egyik alapfeltételével, a könnyűbetonok, ill. *könnyű építőanyagok* technológiájának előrehaladásával és helyzetével, a hazai előregyártott vasbetonelemek készítési körülményeivel, gazdaságosságának vizsgálatával, mai általános helyzetével, az előregyártás anyagainak szállítási és kezelési kérdéseivel, és az ezekhez kapcsolódó egyéb elméleti és gyakorlati feladatokkal a kiegészítő hozzászólók fognak foglalkozni.

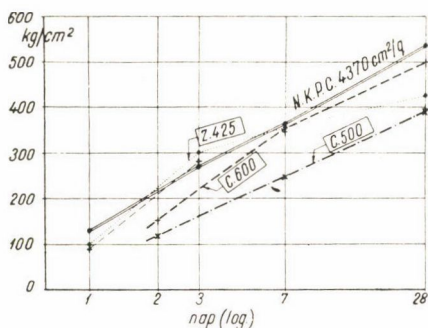
Az előregyártott elemek készítésekor *a betontechnológia célkitűzése*: minél jobb betont, minél gyorsabban, minél kevesebb költséggel előállítani. Az előregyártott beton technológiájának elsődleges feltétele a beton, ill. a cement szilárdulási folyamatának gyorsítása *természetes* vagy *mesterséges* úton.

A szilárdulási folyamat *természetes gyorsítása*: oly lehetőségek alkalmazása, amelyek a rendes körülmények, tehát a szokásos hőmérséklet, de megfelelő bedolgozás és utókezelés mellett rövid idő alatt biztosítják az előregyártott elemek szállításának, kiformálásának és raktározásának károsodás nélküli végrehajtását.

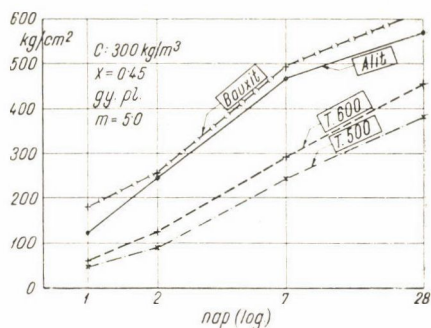
Ebben az esetben — kedvező minőségű adalékanyagot feltételezve — a cél: olyan kötőanyag előállítása, esetleg olyan különleges bedolgozási mód alkalmazása, amely a gyors szilárdulás követelményeit kielégíti. Ezek közé sorolhatók: a *nagy kezdőszilárdságú cementek* alkalmazása, alkalmas *vegyszerek* adagolása és a nedves őrlésnek mint aktivizáló előkészítőnek bevezetése.

A másik gyorsító eljárás abban áll, hogy a ma rendelkezésre álló kötő- és egyéb alapanyagok, bedolgozási módszerek birtokában *mesterséges eljárások* segítségével (meleg úton, közönséges- vagy magasnyomású gőzöléssel, elektromos úton történő érleléssel stb.) érjük el a kívánt eredményt.

A természetes szilárdításgyorsító folyamat legegyszerűbb biztosítása céljából a hazai és külföldi építőipar évek óta hangoztatott kívánsága nagyszilárdságú és gyorsan szilárduló, tehát *nagy kezdőszilárdságú cement* előállítására éppen az előregyártott, esetleg előrefeszített vagy utófeszített elemek és szerkezetek számára. Olyan cement gyártásáról van tehát szó, amelynek oly nagy a kezdeti szilárdsága, hogy a vasbetonelemek kiformázása, illetőleg szállítása — legalább



1. ábra. A nagyszilárdságú portlandcementek szilárdulása



2. ábra. A bauxit-, az alit-, a taitai 600-as és a taitai 500-as cementek szilárdulása

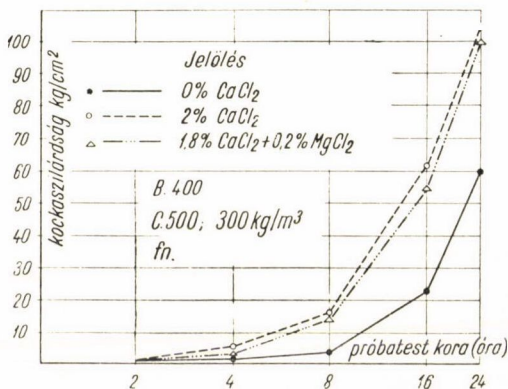
is raktározási célokra — néhány (8—16) órán, de legfeljebb 24 órán belül megoldható legyen. Az ilyen cement előállítása gazdasági szempontból óriási jelentőségű lenne, hiszen elmaradnának teljes egészükben, de legalább is részben, az utóbbi időkben elterjedt költséges, nagy hő- (szén)mennyiséget igénylő gőzöléses és egyéb érlelési eljárások. Ezelőtt néhány évtizeddel úgy véltük, hogy az alumínátcementekkel megkaptuk ezt a nagy kezdeti szilárdságú és gyorsan szilárduló kedvező cementfajtát. Valóban az ezzel a cementtel végzett kísérleti eredmények, sőt építési tapasztalatok is, azt mutatták, hogy az ily cementből készített betonok szilárdsága 24, de legfeljebb 48 óra múlva elérheti a nagyszilárdságú portlandcement-betonok 28 napos szilárdságát is. Sajnos azonban, az alumínátcementek, az ismert átkristályosodási folyamat miatt, jelentőségüket ezen a területen — végleges jellegű létesítmények számára — elveszítették. Legalább is egyelőre nincs mód az átkristályosodással járó káros jelenségek kiküszöbölésére.

Természetes tehát a cementtechnikusok azon törekvése, hogy a nagy kezdeti szilárdságú cementek előállítását portlandcement-alapon keressék. Igen biztatónak mutatkozott e téren az ezelőtt mintegy 10 esztendővel BE-RECZKY E. javaslatára előállított *alite* cement, amelynek nagy kezdő szilárdsága alkalmasnak látszott az előregyártási eljárás forradalmi átalakítására. Ennek a cementnek gyártása — sajnos — abbamaradt, azok az újabb kísérletek azonban, amelyeket ezen a területen cementtechnikusaink végeznek, már eddig is komoly előrehaladást mutatnak.



A nagyszilárdságú portlandcementek szilárdságát illetően az 1. ábra ad tájékoztatást. Ez az ábra a DIN Z 425 előírásait tünteti fel, valamint néhány magyar cementfajtára vonatkozó kísérleti eredményt szemléltet. A feltüntetett értékek összehasonlítása azt mutatja, hogy az előregyártáshoz előnyösen alkalmazható nagy kezdőszilárdságú cementek követelményeit a nagyszilárdságú portlandcement-fajták nem elégítik ki. Ennek ellenére a nagy kezdőszilárdságú cementekkel végzett kísérletek biztatóak és okvetlenül fokozott ütemben folytatandók tovább nagyüzemi vonatkozásban is.

A 2. ábra a magyar alitcement, a bauxitcement, a tatai 600-as és 500-as cement szilárdulási folyamatát mutatja be, amelyből az alit- és a bauxitcement szilárdsági szempontból jól alkalmazható volta határozottan kitűnik.



3. ábra. A cement-szilárdulás gyorsítása káliumklorid, illetve magnéziumklorid adagolással

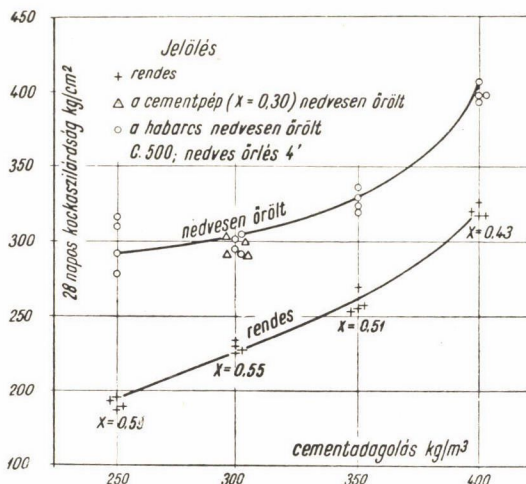
A jelenlegi cementfajták gazdaságos aktivizálására szóbajöhet — a meleg-érlelési eljárásokkal szemben — a kötésnek, illetőleg szilárdulásnak *vegyszerekkel* való gyorsítása. A laboratóriumunkban végzett ily kísérletek eredményeit a 3. ábra mutatja be. Ebből az ábrából az a következtetés vonható le, hogy mintegy 2% kalciumklorid, illetve kalciumklorid és magnéziumklorid adagolása esetén mintegy 10—14 óra alatt közönséges hőmérsékleten is elérhető mintegy 30—40 kg/cm<sup>2</sup> szilárdság, ami a raktározás, a szállítás stb. kérdését már megoldhatóvá teszi. Különösen előnyös lenne ez az eljárás szükség szerint mérsékelt melegítéssel (30 C°) kombinálva. BALÁZS GY.-vel és KILIÁN J.-vel közösen kidolgozott javaslatunk új, előregyártott beton-elemek előállító üzem betontechnológiájára nézve — a gőzöléssel szemben — a gőzölési költségek mintegy 50—70%-os megtakarítását jelentette.

A másik gondolat, amelynek alkalmazása különösen telepített üzemekben igen gazdaságos lehet, a *nedves előörlés* bevezetése, ami részben cementmegtakarítással, részben pedig a szilárdulási folyamat gyorsításával jár. Ilyen módszert külföldön sikerrel, széles körben alkalmaztak. A 4. és 5. ábra BALÁZS GY. és KILIÁN J. idevágó kísérleti eredményeiből tüntet fel néhány fontosabbat.

A 4. ábra a habarcs négy percig tartó nedves örlésével járó szilárdságjavító hatást mutatja be. Az alsó görbe a rendes készítési móddal, a felső

görbe pedig a nedves őrlés alkalmazásával kapott eredményeket tünteti fel. Az eltérés különösen a kisebb cementmennyiség esetén 100%-ot is elér.

Fel lehet tételezni, hogy hasonló kedvező eredmények kaphatók az egészen fiatal betonok szilárdulásának növekedésére is. Ezt a tényt tünteti fel az 5. ábra. Ezen a rendes módon készített különböző korú betonok szilárdságvértékeit 100%-nak véve, a nedvesen őrlött betonok szilárdságának %-os értékeit is beírtuk. Ebből kitűnik, hogy — különösen az első időben — a szilárdságnövekedés igen tetemes, mintegy 60%-ot tesz ki. E területen okvetlenül *kiszűzemi kísérletek* végzésére lenne szükség.



4. ábra. A cement-szilárdulás gyorsítása nedves előőrléssel

Újabb francia kísérletek nyomán BALÁZS GY. és KILIÁN J. foglalkoznak az ún. cementesírák alkalmazásának szilárdító hatásával. Remélhetőleg ezek a kísérletek is egyszerű módon fogják elősegíteni a kívánt nagy kezdeti szilárdság elérését.

Néhány szót még az előregyártott betonokhoz használt *adalékanyag szemszerkezetének* kérdéséről.

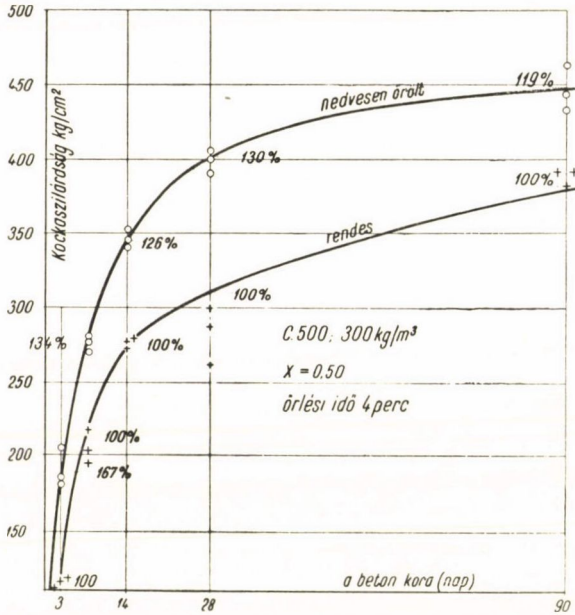
Mintegy 30 esztendővel ezelőtt mutatott rá ABRAMS a szemszerkezet értékelésének különleges fontosságára és bevezette a finomsági modulussal való értékelési módot. Az ő kísérleteiből — valamint a hazai anyagokkal kapcsolatban az előadó által végzett kísérletekből is — világossá vált az, hogy nemcsak folytonos szemszerkezetekkel lehetséges nagy tömörségű, nagy-szilárdságú és jól bedolgozható betonok előállítása, hanem hiányos szemszerkezetekkel is. Ezeket az elgondolásokat mintegy 25 esztendővel ezelőtt közzé is tettük és azóta is több ízben hangoztattuk.

A fenti eredményeket POPOVICS S. azzal a gondolattal egészítette ki, hogy lépcsős szemszerkezetű, de azonos finomsági modulusú adalékanyagokkal ugyanolyan bedolgozási lehetőség és szilárdság érhető el, mint a folytonos szemszerkezetű adalékokkal, feltéve, hogy a fajlagos felületértékekben nincs lényeges eltérés. Ennek a gondolatnak a továbbfejlesztésével előadó 1952-ben javaslatot tett a legkedvezőbb finomsági modulusok mellett betartandó leg-



kedvezőbb fajlagos felületekre nézve is. Véleménye szerint ennek a két minőségi számnak együttes alkalmazása lényegesen előbbre vinné, és egyúttal egyszerűbbé is tenné a betonelőállítás üzemi gyakorlatát. Az utóbbi időben VALLVETTE módszerével is azt az eredményt állapították meg, hogy nem a folytonos szemszerkezetű anyagok, hanem a kedvezően lépcsőzött szemszerkezetű anyagok adnak legkedvezőbb eredményeket.

Véleményem szerint a legkedvezőbb finomsági modulusoknak és a legkedvezőbb fajlagos felületeknek együttesége, a legkedvezőbb szemszerke-



5. ábra. A cement-szilárdulás gyorsítása nedves előrálással

zetnek, ill. az ezekből készített betonoknak a megítélésére igen jó tájékoztatót ad. Ha ezt az értékelést a Vallvette-féle gondolat figyelembe vételével még kísérletileg is megvizsgáljuk, minden bizonnyal az előregyártott betonok szemszerkezetének, ill. szilárdításgyorsításának területén is sikereket fogunk tudni elérni.

Ha a helyszíni betonozás számára betongyárban előkészített betonokat is az „előregyártott betonok” közé soroljuk, azt hiszem, sajnálattal kell megállapítanunk, hogy ezen a területen — a sok javaslat, ötlet és gondolat ellenére is — kevés előrehaladás történt. Itt fel kell említenünk mindenekelőtt az adalékosztályozók és főképpen a korszerű betongyárak hiányát, s ehhez kapcsolódóan, az ömlesztett cement szállításának és kezelésének megoldatlan voltát. Véleményem szerint a betonelőregyártás területén azt az ötletet kellene kifejleszteni, amely az Abrams—Vallvette-gondolatból önként következik, hogy csak a 0—5, esetleg 0—2 mm szemnagyságú habarcsot állítsuk elő a beton-, ill. a habarcsgyárban. Az ekként előállított habarcsot az építés helyszínén kellene a megfelelő nagyszemű adalékkal a kívánt betonminőségé

összekeverni. Így a szállított mennyiség csökkenne és a szétkeveredés veszélye is csekélyebb lenne.

A szilárdulási folyamat *mesterséges* gyorsító eljárásainak ismert fajtái közül az elektromos érlelésre, a közönséges nyomáson történő gőzöléses eljárásra, valamint a szokásos bedolgozási módokra itt nem kívánok kitérni, csupán gazdasági összehasonlítás céljából van ehhez a kérdéshez néhány megjegyzésem.

Ma a betonelemek előregyártásakor rendszerint az a gyakorlat, hogy az elemeket földnedves betonnal készítik, kellő vibrálás után azonnal kiformalják, sőt a fenéklapról is leemelik, illetve leborítják és a következő sorokat ezek tetejére rakják. Ennek az eljárásnak célja tárolási hely megtakarítása. Ez a gyártási módszer kétségtelenül gyorsnak és gazdaságosnak látszik, de igen kellemetlen hibaforrásokat rejt magában. A még meg nem szilárdult beton kezdeti repedéseket kap, lazul és ezért van az, hogy a nyomószilárdsági eredményekben nagy a szórás.

A gőzöléssel előállított idomtestek formázása, kezelése kedvezőbb, hiszen ezen idomtesteknek már elegendő nagy a szilárdságuk ilyen műveletek elvégzésére. Hátrány természetesen a nagy gőzölési költség és a gőzölési határfoknak — a gőzölt és nem gőzölt beton 28 napos szilárdsági viszonyának — nem kedvező volta.

A vasbetonelemek gyártásakor a rakterület, a felhasználási és szállítási lehetőségek miatt *alacsony nyomású gőzölést* alkalmazunk. Véleményem szerint a közönséges nyomáson történt szokásos gőzöléses érlelés a kedvezőtlen gőzölési határfok miatt, de különösen a gőzölés nagy szénfogyasztása miatt is, végeredményben műszakilag nem helyes és nem is kifizetődő. Ismert ui., hogy 100 kg portlandcementklinker égetéséhez kereken 200 000 kg kalória szükséges. Ez 4000 kalóriás szénből 50 kg-ot jelent 100 kg cementre. Ha 1 m<sup>3</sup> előregyártott betont 300 kg cementtel számolunk, a bennlevő cement leggyártásának kalória-szükséglete kereken 600 000 kalóriára tehető.

Ha a megengedhető kisebb gőzölési határfok elérésére gőzölést alkalmazunk, a felhasznált hőmennyiség idomtestek esetében kereken 300 000, vasbetonelemek esetében pedig mintegy 400 000 kg kal. értékre tehető. Ez annyit jelent, hogy gőzöléses szilárdítás esetében csaknem annyi a hőszükséglet, mint amennyi a cement előállításához volt szükséges. A gőzölési költségek bizonyos jelentékeny mérséklése lehetséges ugyan kedvezőbb üzemi berendezésekkel (mély aknákkal, gőzölőfolyosókkal stb.), azonban az előzőekben közölt számadatok és a gőzölési eljárásnak a beton utószilárdulása szempontjából való kedvezőtlen volta egyenesen kényszerítenek bennünket arra, hogy a gőzölés helyett más, kedvezőbb és gazdaságosabb betontechnológiát, magától értetődő *természetes* eljárásokat keressünk.

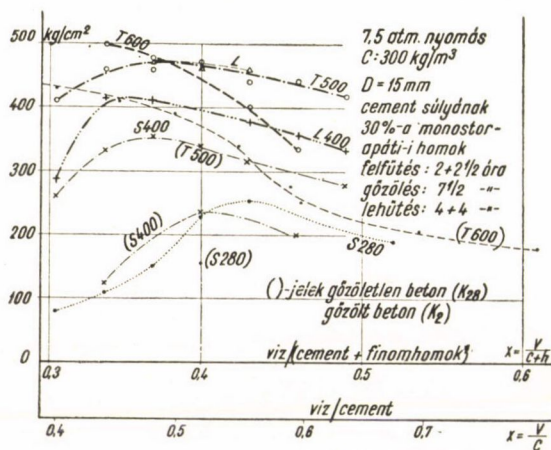
Igen meggondolandó az, hogy a raktárterületnek kibővítése, a formakészlet növelése — még nagyobb beruházás szükségessége esetében is — nem kedvezőbb-e, mint a közönséges gőzöléses eljárás.

A különleges (L'Hermite-féle 120 °C hőmérsékletű, 1 at túlnyomású) gőzöléssel kapcsolatos hazai eredmények, amelyeket KUNSZT Gy.-nek az ÉTI-ben végzett kísérletei tükröznek, jóval kedvezőbbeknek mutatkoznak a közönséges 60—80 °C-on történő gőzölés eredményeinél mind műszaki, mind gazdasági tekintetben.

A *nagynyomású gőzöléses érlelés* (autoklávus kezelés) igen jelentős szilárdságnövelő eredményeiről e helyen évekkal ezelőtt hallottunk GÁSPÁR G.



előadásában oly kísérletekkel kapcsolatban, amelyeket a földalatti létesítmények vízzáró és nagyszilárdságú betonja előállításának kérdésében végeztünk. Ez az eljárás — költségeit és szilárdsági, vízzárósi, zsugorodási tulajdonságait tekintve, valamint a lassú alakváltozás szempontjából való kedvező viselkedését figyelembe véve — előnyösen alkalmazhatónak mutatkozik mind könnyű építőanyagok, mind nehéz, de különleges követelményeknek eleget tevő betonok készítésére. Az alábbiakban itt csak néhány nehézbetonra vonatkozó jellegzetes eredményt kívánunk ismertetni.



6. ábra. Nagy nyomáson gőzölt betonok szilárdsága különböző cementminőség és vízcementtényező esetén

A 6. ábrán nagy nyomáson gőzölt betonok szilárdságait mutatjuk be különböző cementmennyiségek, cementminőségek és vízcementtényezők esetében, a 7. ábrában pedig különböző gőzölési idő és nyomás esetén. Ha ezekhez az eredményekhez még hozzávesszük az autoklávolt betonok kitűnő vízzárását (10 at nyomásig 7 cm vastag próbatestek 48 órán át teljesen vízzárónak mutatkoztak), továbbá e betonok igen csekély zsugorodását és lassú alakváltozását, jó felületi kötését, szulfátállóságát, akkor az ilyen betonok alkalmazásának gazdaságos volta nyilvánvaló. Különösen élesen jelentkeznek e kedvező tulajdonságok nagy nyomáson előállított különleges célokat szolgáló vasbetonelemek (pl. vasbeton alagút-, táró- és aknaburkoló elemek esetében) — amint azt SZÉCHY K., ILLÉSY J., VAJDA B. és az előadó idevágó közös javaslatukban részletesen kimutatták.

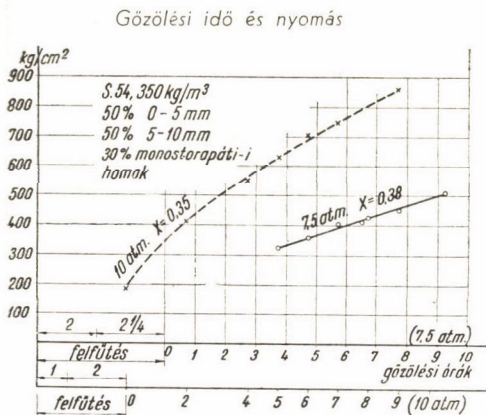
*Összefoglalásképpen* az elmondottak alapján az alábbi javaslatok és feladatok alakíthatók ki.

Elsőrendű feladat beton- ill. cementtechnikusaink számára olyan egyszerű eljárások kísérletezése, mint pl. különleges vegyi anyagok, aktivizátorok, (szilikátgél, cementcsíra) adagolása, vagy egyéb vegyszerek alkalmazása, amelyek a szilárdítás természetes gyorsítását biztosítják. Fontos feladat a nedves őrlés bevezetésére üzemi kísérletek végrehajtása is. A legfontosabbnak látszó feladat azonban a nagy kezdeti szilárdságú cementek kikísérletezése. Addig is, amíg a természetes szilárdítás-gyorsítás kellő előrehaladást nem

mutat, a nem gazdaságos, rossz hatásfokú gőzölési berendezések korszerűsítésére van szükség.

Komoly felvilágosító munka szükséges arról is, hogy a közönséges gőzölés nem okvetlenül előnyös, különösen nem műszaki szempontból. A gőzölés csak szükségyszerűség, amelyet jobb híján használunk, de nem esodaszer.

Meg kell szüntetni a mindenáron és minden időben való gőzöléses érleléseket, különösen a tökéletlen helyszíni gőzölési berendezések alkalmazását, főképpen akkor, amikor egyébként sincs szükség gőzölésre, mert a természetes szilárdítás is kielégítő (pl. 30°-os nyári melegben).



7. ábra. Nagy nyomáson gőzölt betonok szilárdsága különböző gőzölési idő és nyomás esetén

Megoldandó feladat még korszerű habarcs- vagy betongyarak, továbbá kavicsosztályozó berendezések minél gyorsabb létesítése, az ömlesztett cementszállítás bevezetése, valamint a helyszíni betonkeverés szakszerűbb elvégzése érdekében jó kényszerkeverőgépek beállítása.

#### RUDNAI GYULA:

Hozzászólásomban a könnyűbetonok kérdésével kívánok foglalkozni:

Ezeknek két főfajtáját lehet megkülönböztetni: 1. a sejtbetonokat, makro- és mikroporozus szerkezettel; 2. az adalékanyagos könnyűbetonokat.

1. *Sejtbetonok* előállításához általában nyomás alatti érlelési eljárás szükséges. Bár az Építéstudományi Intézetben sejtbeton előállítására alkalmas olyan makro- és mikroporozus anyagokat is kidolgoztak, amelyekhez nem kell gőznyomásos szilárdítás, mégis megállapítható, hogy megbízható minőségű sejtbetonok előállításához nem lehet nélkülözni a nyomás alatti gőzölést. Lehetséges, hogy a további tapasztalatok alapján a csupán gőzöléssel szilárdított sejtbetonok is megbízhatóknak fognak bizonyulni, azonban mechanikai tulajdonságaik mindenképpen rosszabbak lesznek a gőznyomással szilárdított anyagokénál. A nyomás alatti gőzöléssel érlelt sejtbetonelemek méretei, különösen a szélesség és vastagság tekintetében, korlátozottak. E méretek az edzőkazanok átmérőjétől függenek. Hazánkban az edzőkazanok átmérője egyelőre 2000 mm-nél nem nagyobb, de a legmodernebb külföldi gyárakban sem haladja meg a 2600 mm-t. Ezért a sejtbeton falazó elemek csak középtömb-méretig jöhetnek számításba, de ún. szobafalnagyságú elemek gyártása szempontjából nem. Ez persze nem zárja ki azt a lehetőséget, hogy nem lehet belőlük (pl. több kisebb tömbből, vasbeton keretkezéssel) nagy elemet összeállítani. Ehhez azonban két munkamenet kell és az ilyen módon elő-