

## Az

**ÉaKKI (1953-1965) - SZIKKI (1966) - SZIKKTI (1967-1994) és a  
BETONOLITH Kft. (1994-1996)  
néhány jelentősebb betontechnológiai és adalékanyag  
kutatási eredménye**

- **Hőálló betonok (1962)**

Több éven át kutatták a különböző betonok hőállóságát 1000 °C hőmérsékletig, majd a hőálló beton összetételét, gőzölhetőségét. A cementek közül a hőhatásnak legjobban a kohósalak tartalmú cementek álltak ellen. Adalékanyagként a samottliszt, tűzálló agyag, lösz, bazaltliszt, homokos kavics, bazaltzúzalék, samottzúzalék, téglazúzalék, kohóhabsalak és perlit viselkedését vizsgálták. Megállapították, hogy legalább 40% maradó szilárdságot véve alapul 400 °C-ig az összes vizsgált adalékanyag, 600 °C-ig a perlit kivételével az összes vizsgált adalékanyag, 800 °C-ig csak a kohóhabsalak adalékanyag alkalmas hőálló beton készítésére. A finom adalékanyagok jósági sorrendje: samottliszt, tűzálló agyag, bazaltliszt; a durva adalékanyagok jósági sorrendje: samottzúzalék, kohóhabsalak, bazaltzúzalék.

A kísérletek azt mutatták, hogy egyrészt a beton 4 órás hevítése után megmaradt szilárdságára a további hőhatás nincs számottevő befolyással, másrészt a 100 °C alatti gőzölés a hőálló beton hővel szembeni viselkedését nem befolyásolja.

A téma kidolgozásával párhuzamosan a hőálló beton ipari alkalmazására is sor került a Százhalombattai Hőerőmű építkezésén, több száz köbméter mennyiségben. A hőálló beton alkalmazásával mintegy 30-40 százalékos költségmegtakarítást lehet elérni a hagyományos tűzálló anyagokkal szemben.

- **Beton adalékszerek (1965)**

Mind a friss, mind a szilárd beton tulajdonságait javító vegyi adalékszerek alkalmazása az 1960-as években kezdett általánosan elterjedni. Az adalékszereket hazai gyárak állították elő, következésképpen hazai kutatásuk is előtérbe került. A kutatások megteremtették a PLASTOL NK *plasztifikálószer* és a KERASOL *légpórusképzőszer* ipari bevezetésének lehetőségét. Például 1965-ben már mintegy 50 tonna plasztifikálószer gyártott a Vegyipari Gyártó Vállalat, ami közel 50.000 m<sup>3</sup> plasztifikált betonnak felelt meg.

A friss betonnal szemben támasztott követelmények között gyakran szerepelt a *beton kötésének késleltetése* is. Több vegyi anyag (dextrin, bórax, citromsav) vizsgálata után a citromsav bizonyult a legmegfelelőbb késleltető anyagnak. Az igen kis mennyiségben adagolt vegyszer a beton kötését a szokásos 3-4 órától 6-8 órára hosszabbította meg a 28 napos nyomószilárdság csökkenése nélkül. Ezzel lehetővé vált a beton hosszabb távolságra való szállítása, az exoterm hő csökkentése, a munkahézagok kiküszöbölése. A kísérleti eredményeket először a 26. sz. Állami Építőipari Vállalat alkalmazta egy 960 m<sup>3</sup>-es műtárgy építéséhez.

- **Futóhomokbeton, homokbeton (1966)**

A futóhomokbeton kutatás azt a célt szolgálta, hogy az építőanyagban szegény vidékeken, mint a Duna-Tisza köze vagy a Nyírség – ahol rövidebb szállítási távolságon belül csak homok áll rendelkezésre – megfelelő építőanyagot adjon az építőiparnak, főként a mezőgazdasági és lakásépítéshez. A nyírségi futóhomok adalékanyaggal kissé képlékeny konzisztencia, 300 kg/m<sup>3</sup> tatabányai 500-as jelű (mai 32,5 jelű) portlandcement adagolás mellett, 28 napos korban 1850 kg/m<sup>3</sup> beton testsűrűséget és 9 N/mm<sup>2</sup> beton nyomószilárdságot értek el. Laboratóriumi kísérletekkel párhuzamosan ipari kísérletekre

került sor a Szabolcs-Szatmár megyei Állami Építőipari Vállalattal együttműködve. Megépült kisebb (raktár, felvonulási) épületek jelzik az ipari bevezetés fokozatos lépéseit. A futóhomokbeton alapok, aljzatok, kézi falazóelemek, földémbélestestek stb. készítésére alkalmas.

Felhasználva a tapasztalatokat a későbbi években vizsgálták az alföldi bányahomokok és dunai folyami homokok adalékanyagkénti alkalmasságát beton készítés céljára. Kidolgozták a hőtechnikailag is korszerű kézi falazóelem készítésének feltételeit.

- **Grafikus és numerikus betontervezési és adalékanyag szemmegoszlás jellemzési módszerek (1964, 1979, 1995)**

Valamely, a nyomószilárdsága által adott beton minőségét többek között alkotórészeinek megfelelő összetétele segítségével biztosíthatjuk. A helyes betonösszetétel előrebecslésére empirikus tervezési képletek szolgálnak, amelyek közül hazánkban hagyományosan *Feret*, *Bolomey*, *Palotás* formulái használatosak. A tervezési képletek alkalmazásakor nehézséget jelenthet a többváltozós feladat megoldásai közül a megfelelő kiválasztása. A *betontervezés* megkönnyítése érdekében a tervezési képleteket a szemléletes *Descartes*-féle, vonalsereges *nomogramok* alakjában dolgozták fel. A nomogramok független változói a nyomószilárdság, a cementminőség, a konzisztencia, az adalékanyag legnagyobb szemnagysága és finomsági modulusa, függő változója a víz-cement tényező és a cement mennyiség.

A hagyományos betontervezési módszer numerikus fejlesztése a tervezett betonszilárdság szempontjából szükséges *legkisebb cement mennyiség* közvetlen számítására eredményezett formulát.

Az *adalékanyag szemmegoszlása javításának* tervezésére grafikus módszert dolgoztak ki. Két frakciós szemmegoszlás esetén a finomsági modulus, három frakciós szemmegoszlás esetén a finomsági modulus és a fajlagos felület ad határozott megoldást.

A betonok adalék- és töltőanyagainak szemmegoszlását számszerűen a szemmegoszlás jellemzők, nevezetesen a várhatóérték, a szórásnégyzet, a relatív szórásnégyzet, az átlagos szemnagyság, a finomsági modulus és a térfogati fajlagos felület írja le. A *szemmegoszlás jellemzők* gyors és egyszerű *számítására* a grafikus és analitikus számításmódok jó tulajdonságait egyesítő, a kutatás, tervezés és építés minden területén jól használható, *grafoanalitikus módszert* dolgoztak ki. A módszer alkalmazása egyszerű és hasonló alakú képletek megoldásában áll. A képletekbe a szitavizsgálat, illetve a szedimentálás eredményei közvetlenül behelyettesíthetők. A képletek felírásához az a felismerés vezetett, hogy bármely szemmegoszlás jellemző értéke koordináta-rendszerben kifejezhető a megfelelő abszcisszatengelyen ábrázolt szemmegoszlás görbe alatti területtel. Így a várhatóértéket lineáris, a szórásnégyzetet négyzetes, az átlagos szemnagyságot és a logaritmikus finomsági modulusot logaritmikus, a térfogati fajlagos felületet reciprok beosztású abszcisszatengelyre rajzolt szemmegoszlás görbével jeleníthető meg. Az eljárást MSZ 18288-5:1981 szám alatt szabványosították.

Az Abrams-féle logaritmikus finomsági modulus a Hummel-féle görbe feletti területből származtatható, amelyek értéke a logaritmikus abszcisszatengely folytán jelentős mértékben függ a Hummel-féle területet határoló ún. abszcisszatengely kezdőérték megállapodás tárgyát képező értékétől. Ezzel kapcsolatban jegyezték meg, milyen kár, hogy a XX. század első felében élt híres betonkutatók, így az amerikai *Duff A. Abrams* 1918-ban, a német *Alfred Hummel* 1930-ban, majd neves követőik, mint a német *M. Spindel* 1931-ben, az osztrák *O. Stern* 1932-ben, és később mások is, a beton adalékanyagok szemmegoszlását a - gyakorlat számára kétségtelenül szemléletes és jól kezelhető - görbe feletti területtel hozták összefüggésbe, és nem az abszcisszatengely kezdőértéktől független logaritmikus átlagos szemnagysággal jellemezték.

- **Gázbeton (mai ipari szóhasználattal pórusbeton) kutatás (1959, 1965, 1970, 1987, 1990, 1995)**

A gázbeton kutatások 1959-ben alapkutatásként, laboratóriumi méretekben indultak. Négyféle alaptípusú sejtbetont állítottak elő, a pernye és kvarc, mint a szilárdulásban résztvevő adalékanyagok, és a cement és mész, mint kötőanyagok variálásával. Gázfejlesztőül alumíniumport használtak, a szilárdítás autoklávban történt. A gázbetonok testsűrűségét  $0,65-0,75 \text{ kg/dm}^3$  között tartották. A próbatestek harmadát eredeti állapotban hagyták, egyharmad-egyharmad részét  $\text{CO}_2$ , illetve  $\text{SiF}_4$  gázzal utókezelték. Összehasonlító anyagként égetett agyagtéglát és kohóhabsalak-betont használtak.

A gázbeton és etalon próbatestekkel hidrotechnikai (vízfelvétel, vízleadás, kapilláris vízfelszívás, szorpciós nedvességfelvétel, zsugorodás), atmoszférikus (atmoszféra-állóság, fagyállóság, vízállóság, hőállóság) és korrózióállósági (HCl-gáz hatása,  $\text{SO}_2$ -gáz hatása, ammónia-oldat hatása, szulfátállóság) vizsgálatokat végeztek. A kísérleti eredményeket a fennállása alatt (1963-1998) végig erőművi pernyét használó KÖSZIG Kazincbarcikai Gázbetongyárában hasznosították. A kutatás számos megállapítása közül kiemelendő, hogy a homok alapanyagú gázbeton anyagtulajdonságai és stabilitása a pernye alapanyagú gázbetonénál kedvezőbb. (1959)

A kazincbarcikai friss pernye minőségi romlás folytán 1995-ben gyakorlatilag alkalmatlanná vált gázbetongyártásra, ezért a tulajdonos *YTONG AG*. a pernye meddőhányó mintegy  $500 \times 400 \text{ m}$ -es területén 15 darab, mintegy 15 m mély kutatófúrást végeztetett egy helyi vállalkozóval. A kifúrt meddőhányó minták tulajdonságainak egy részét, így a pernye víztartalmát (átlag 48 m%), vízfelvételét (átlag 76 m%), halmazsűrűségét laza állapotban (átlag  $784 \text{ kg/m}^3$ ), izzítási veszteségét (átlag 5,8 m%), szemmegoszlását (átlag  $d_{\max} = 0,55 \text{ mm}$ , finomsági modulus = 1,7) a tulajdonos a magyar kutatóintézetben vizsgálattotta meg. A vizsgálati eredményeket a saját vizsgálati eredményeivel az *YTONG Entwicklungszentrum* (Schrobenhausen) összesítette, és megállapította a meddőhányó pernye gázbetongyártási műszaki alkalmasságát (1995). A pernye ellátás gondját azonban tetézte a gőz ellátás nehézsége is, ami gazdaságtalan termeléshez, és a gyár 1998. év végi bezárásához vezetett.

Oroszlányban 1985-ben alakul meg egy gazdasági társaság azzal a szándékkal, hogy az Oroszlányi Hőerőműben keletkező pernye felhasználásával 240 ezer  $\text{m}^3/\text{év}$  kapacitású gázbetongyárat hozzon létre. A beruházáshoz laboratóriumi előkísérleteket kellett végezni. Vizsgálták többek között a pernye kémiai összetételét ( $\text{SiO}_2$  tartalom = 47 m%), szemmegoszlását ( $d_{\max} = 0,4 \text{ mm}$ ), a dorogi és a váci égetett mész gázbetongyártási alkalmasságát, tartalék alapanyagként a fehérvárcsurgói homok minőségét ( $\text{SiO}_2$  tartalom = 97 m%,  $d_{\max} = 0,16 \text{ mm}$ ), a Kecskeméti gyártott alumíniumpaszta hidrogén fejlesztő képességét (20 perc alatt  $100 \text{ cm}^3$  felett). (1987)

Az 1989-ig pernyével dolgozó gyöngyösvisontai KÖSZIG Mátra Gázbetongyár 1990-ben homokörklő golyósmalmot helyezett üzembe. A golyósmalom vasbeton alapozását az IPARRV tervezte, a betontechnológiai utasítást a kutatóintézet készítette el. Az alaptömb betonszükséglete  $162 \text{ m}^3$  volt, a beton minősége C16/20-40/K. A beton  $340 \text{ kg/m}^3$  adagolású S-54 350 jelű szulfátálló portlandcementtel, Melment L-10 folyósítószerrel készült. A transzportbetont szivattyúval juttatták a zsaluzat közé és tűvibrátorral tömörítették. Az alaptömb négy napi betonozási munkával, jó minőségben elkészült. (1990)

- **Termodifferenciális betonhőérlelés (1968)**

Az előregyártott beton- és vasbetonelemek növekvő szilárdsági követelménye szükségessé tette a hőérlelés, ezen belül elsősorban a gőzölés közben lejátszódó fizikai jelenségek részletes vizsgálatát, e fizikai jelenségek hasznos illetve káros voltának elemzését, és módszer kidolgozását a káros jelenségek megszüntetésére. A betonhőérlelés célja a beton

szilárdulásának gyorsítása a szilárduló beton hőmérsékletének emelésével oly módon, hogy közben a beton a lehető legkevésbé száradjon ki. Ennek a feltételnek csak olyan hőérlelési módszerek (például a gőzölés) felelnek meg, amelyek a hőenergiát hőátadás útján közlik a betonnal. A gőzölés pihentetésből, felfűtésből, hőntartásból, lehűtésből, utókezelésből áll. A gőzölési folyamatot a gőztér és a beton hőmérsékletét ábrázoló diagramon, az idő függvényében szokták ábrázolni. A gőzölés kezdetén a gőztér hőmérséklete nagyobb a beton hőmérsékleténél, majd általában a hőntartási szakasz valamely belső pontján a hőmérséklet különbség kiegyenlítődik, és a gőzölés hátralévő idején a beton hőmérséklete nagyobb a gőztér hőmérsékleténél. Ez az a kritikus szakasz, amikor a beton károsan kiszáradhat.

A kutatás során olyan hőérlelési programot dolgoztak ki, hogy a gőzölés folyamán a betonba csak befelé irányuló vízforgalom vagy nedvességegyensúly jöjjön létre oly módon, hogy a gőztér idő-hőmérséklet függvénye ne tartalmazzon ugrásszerű iránytangens-változást. A hőérlelési program lényege egyrészt, hogy olyan felfűtést alkalmaztak, amely mellett a hőmérséklet különbség kiegyenlítődés a hőntartási szakasz végére tolódott ki, másrészt, hogy a lehűtéshez vízpermetezést alkalmaztak, és a vízpermettel pótolták azt a vízmennyiséget, amelyet a hőmérséklet különbségekből keletkező nyomáskülönbségek a beton kapillárisaiból kinyomtak. Megállapították, hogy a vízpermetezéssel hűtés alkalmazásával a lehűtési szakaszban is nedvességegyensúly állítható elő bizonyos hőmérsékletkülönbségi korlátok között.

A kutatás eredményét 700-800 darab betonpróbatestből álló kísérlettel igazolták. Amíg a hagyományos gőzölés esetén a nagy cement adagolású, földnedves konzisztenciájú gőzölt betonok 28 napos nyomószilárdsága mindig 1-30 %-kal a természetesen érlelt betonok nyomószilárdsága alatta maradt, addig a termodifferenciális betongőzölés esetén a betonok gőzölési határfoka nagymértékben javult és általában elérte a 115 %-ot.

A termodifferenciális betonhőérlelés elvét megvalósító laboratóriumi gőzölőberendezést fejlesztettek ki, a berendezést DKS néven szabadalmaztatták, majd a gőzölési módszert több betonelemgyártó üzemből bevezették, és sikeresen alkalmazták. A kedvező gőzölési eredmények alapján az eljárást a csoportzsálos hőérlelésre is kiterjesztették.

- ***Vízzáróbeton (1969)***

A vasbeton folyadékátároló tartályok, medencék, csőrendszerek vízzáróságának kutatásához a vízzáróság hagyományos értelmezését, - amely szerint „vízzáró az a betonszerkezet, amely annyi vizet enged át, amennyi a víznyomással ellentétes oldal felületéről természetes körülmények között elpárolog”, vagy az akkor érvényben volt MSZ 4719:1958 szerint „valamely betonfajta vízzárósága annak a víznyomásnak att-ban kifejezett értéke, amelynek 48 óráig tartó hatására a betonfajta az MSZ 4715:1961 szerint végrehajtott vizsgálattal a megfigyelő felületen nedvesség nem mutatkozik és a víz legfeljebb a próbatest vastagságának egyharmadáig hatol be” - újra át kellett gondolni, mert a beton vízzáró képességére nem adtak egyértelmű meghatározást, hiszen a vízátaladás időbeni és mennyiségi változásait nem szabályozták. A talajmechanikából ismert Darcy-féle törvény jól leírja a természetes szűrőkön át jutó víz mennyiségét, ezért a víznyomásnak kitett, mesterséges szűrőként felfogott betonszerkezeten átjutó víz mennyiségét is a „k” vízáteresztő képességi tényezővel fejezték ki, amelynek meghatározására kísérleteket végeztek.

A hagyományos vízzáróság vizsgálat technikai hiányossága, hogy a vízárám nem egyenes vonalú, mert a víznyomás felülete  $0,785 \text{ dm}^2$ , a próbatestnek a víznyomás síkjával párhuzamos keresztmetszete pedig  $4,0 \text{ dm}^2$ , amelyen a víz szétterül. Ezt a hiányosságot kiküszöbölve és új mérőszámokat bevezetve, olyan vizsgálati módszert illetve berendezést alakítottak ki, amellyel a betonban létrejövő áramlástanit folyamatot követni és egyértelműen jellemezni tudták.

Az új vizsgálati módszerrel a víznyomás és a vizsgálati idő függvényében vizsgálták a vízbehatolás mértékét a vizes beton térfogatával (idealizált forgásparaboloid) kifejezve, a beton víznyomásnak kitett síkjától mért legtávolabbi vizes pontját, a behatolt víz mennyiségét tömeg szerint. Ezekből a mért adatokból számították az  $1,0 \text{ dm}^3$  betonra eső vízmennyiséget  $\text{g/dm}^3$  mértékegységben, a vízbehatolás sebességét  $\text{dm}/(24 \text{ óra})$  mértékegységben, és e kettő szorzataként a vízáthaladás mértékét  $\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot 24 \text{ óra})$  mértékegységben. Ez utóbbi nem más, mint a Darcy-féle „k” vízáteresztő képességi tényező.

A kísérletek során változtatták a cement, az adalékanyag, a kiegészítő anyagok fajtáját és mennyiségét, a víz-cement tényezőt, a keverési időket, a bedolgozási módokat, és a munkahézagok hatását. Legkisebb vízáthaladási mértékként  $k = 5,5 \text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot 24 \text{ óra})$  értéket, legnagyobbként  $k = 18,5 \text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot 24 \text{ óra})$  értéket mértek azokban az esetekben, amikor a beton nem ázott át.

- ***A betonadalékanyag szemalakjának vizsgálata és a szemalak hatása a beton tulajdonságaira (1970)***

Az adalékanyag szemalak szerinti minősítésének abban időben egyedüli módszere a minősítéses jellemzőmód volt, amellyel meghatározott elemszámú minta vizsgálata alapján határozták meg a lemezes szemek részhányadát. Valószínűség számítással határozták meg a vizsgálati minta szükséges elemszámát a lemezes szemek részaránya függvényében úgy, hogy a minősített szemhalmaz elfogadása vagy visszautasítása az átadó és az átvevő számára egy adott biztonsági szinten, meghatározott kockázatot jelentsen. A feladatot a mintavételt pontosan leíró, de bonyolult hipergeometrikus valószínűségeloszlást jól közelítő és egyszerűbben kezelhető binomiális valószínűségeloszlással oldották meg először számarány vizsgálatra, majd tömegarány vizsgálatra, majd a gyakorlat számára táblázatos vizsgálati tervet készítettek.

A szemalakkal jellemzett zúzottkö adalékanyaggal betonkísérleteket végeztek. Megállapították, hogy a zömök adalékanyaggal készült betonok nyomószilárdsága nagyobb, hajlító-húzószilárdsága kisebb, mint a lemezes adalékanyagú betonoké. Azonos víz-cement tényező mellett az optimális betonszilárdság eléréséhez zömök adalékanyag esetén kevesebb, lemezes adalékanyag esetén több cementre van szükség. Azonos víz-cement tényező és cementadagolás mellett a lemezes adalékanyagú friss betonkeverék konzisztenciája földnedvesebb, mint zömök adalékanyag szemalak esetén.

- ***Acélszál erősítésű, nagytérű SIOME betoncsövek teherbírása (1977)***

Az 1960-as évek végén hazánkban a közművesítési programnak megfelelően néhány év leforgása alatt több korszerű, nagy teljesítményű, betoncsőgyártó technológiát (SIOME, SENTAB, ROCLA) honosítottak meg, amelyekkel a korábbiaknál lényegesen nagyobb méretű csöveket lehetett gyártani. E nagyméretű betoncsövek lehetővé tették, hogy olyan gyűjtővezetékek épüljenek előregyártott betoncsövekkel, melyeket korábban csak helyszíni monolitikus kivitelben tudtak megoldani. Ebből következett a nagyobb fektetési mélység, ami fokozott jelentőséget adott a csövek teherbíró tulajdonságainak.

E nagytérű betoncsőgyártó technológiák egyikét honosította meg a Mélyépítő Vállalat a SIOME cégtől vásárolt TURBOMASTER TV-150 típusú gravitációs betoncsőgyártó gép üzembe helyezésével, amelyen 1000, 1250, 1500 mm belső átmérőjű és ugyanilyen hosszúságú, 118, 148, 175 mm falvastagságú, acélszál erősítésű betoncsöveket gyártott. A beton nyomószilárdsági osztálya elérte a B560 (mai C40/50) értéket, az acélszál adagolás  $55 \text{ kg/m}^3$  volt. A nagy gyártási teljesítmény és a nagy méretek szükségessé tették a betoncsövek teherbíró képességének és a vizsgálati feltételeknek a kísérleti meghatározását.

A kutatás során a betoncsöveket életterheléssel vizsgálták. A rendelkezésre álló, ipari méretű csőteherbírás vizsgáló berendezés terhelőgerendáját megerősítették. Megállapították ugyanis, hogy a vizsgáló berendezés terhelőgerendájának merevségi tényezője a csőfal merevségi tényezőjének legalább százszorosa kell, hogy legyen, mert egyébként a vizsgálat során a cső terhelhetősége akár a felére is lecsökkenhet. Mind a három csőméretre meghatározták a repesztőerőt, a 0,1 mm és a 0,2 mm repedéstágassághoz tartozó erőt, és a törőerőt. A csövek teherbírásának számításánál javasolták a növekvő csőátmérő sorrendjében a 102 kN/m, 137 kN/m, 193 kN/m értékű repesztőerő alapul vételét, amelyhez a 0,05 mm értékű megengedhető repedéstágasság tartozott.

- ***Építőanyagok nyomószilárdság vizsgálatának geometriai feltételei (1979)***

A szabatos nyomószilárdság vizsgálat egyik feltétele, hogy a próbatest felületére merőlegesen, egyenletesen megoszló, a próbatest geometriai tengelyével egybeeső eredőjű külső erők hassanak. Ezt az elméleti követelményt a gyakorlatban csak megközelítőleg lehet kielégíteni, mert a vizsgálógépek centrikussága, a vizsgálati anyagok homogenitása, a vizsgálati próbatestek méret- és alakpontossága, a próbatestnek a nyomólapon való elhelyezkedése az ideális mértéktől többé-kevésbé elmarad.

Ezeknek az excentricitási hibáknak a csökkentésére, illetve kiküszöbölésére megfelelő, alsó elhelyezkedésű gömbcsuklókat fejlesztettek ki, amelyek a vizsgált, nyomólapok közé helyezett próbatesttel együtt a nyomóerő ráengedésekor megfelelő helyzetbe kerülnek, és a nyomóerő növekedése közben a centrikus erőátadást a lehető legkisebb hibával biztosítják. A gömbcsukló érzékenysége akkor megfelelő, ha kis erőkre, illetve kis nyomatékokra is könnyen elmozdul, aminek geometriai feltételeit kísérletekkel határozták meg. A mintegy ezer mérésből álló kísérleteket azonos összetételű, 10, 20, 40, 70, 7, 100 és 200 mm élhosszúságú próbakockákkal, illetve ugyanilyen átmérőjű és magasságú próbahengerekkel, és a fenti törvényszerűség szerint ezekhez igazodó, 10, 20, 40, 70, 7, 100 és 200 mm sugarú gömbcsukló sorozattal végezték.

Megállapították, hogy a gömbcsukló akkor a legmegfelelőbb, ha gömbközéppontja minden esetben a nyomólapra helyezett próbatest geometriai középpontjába esik. Ebből következik, hogy a gömbcsukló és az alsó-felső nyomólapok nem az anyagvizsgáló gép tartozékai, hanem megfelelő mérettel, a vizsgált, adott méretű próbatest tartozékai kell, hogy legyenek.

- ***Zúzottkövek testsűrűségi tulajdonságai (1981)***

Mintegy 200 zúzottkő adalékanyag szemhalmazon közel 800 testsűrűség, anyagsűrűség és szemmegoszlás vizsgálatot végeztek különböző módszerekkel, a vizsgálati módszerek elemzése, eredményeik összefüggésének meghatározása, a testsűrűségek szemmegoszlás-függésének tanulmányozása céljából, a megállapítások kőbányaipari laboratóriumi hasznosítása érdekében. A szemmegoszlás vizsgálatot az MSZ 18288-1:1978 szabvány szerint száraz szitálással, az anyagsűrűség vizsgálatot golyós malomban 0,2 mm alá porított mintán az MSZ 18284-2:1979 szabvány 3.1. fejezete szerint, a testsűrűség vizsgálatot az MSZ 9611-14:1976 szabvány szerint 1000 ml térfogatú folyadék-piknométerben 840 kg/m<sup>3</sup> sűrűségű paraffinolaj mérőfolyadék, és 2000 ml térfogatú folyadék-piknométerben 1470 kg/m<sup>3</sup> sűrűségű kloroform mérőfolyadék alkalmazásával, valamint higanyos légpiknométerrel végezték. A kísérleti eredményeket a matematikai-statisztika módszerével értékelték.

A vizsgálatok megengedett terjedelmét a nagy gondossággal végzett nagyszámú mérés tapasztalati terjedelméből határozták meg úgy, hogy a megengedett terjedelem a tapasztalati terjedelem eloszlásfüggvényének 0,95 értékhez tartozó kvantilise. Megállapították, hogy ismétlési feltételek között, szemhalmazon végzett, két testsűrűség mérés esetén a megengedett terjedelmet a paraffinolajos vizsgálatnál

35 kg/m<sup>3</sup>, a kloroformos vizsgálatnál 38 kg/m<sup>3</sup>, a légpiknométeres vizsgálatnál 42 kg/m<sup>3</sup> értékben kell előírni. Ugyanezek az értékek három testsűrűség mérés esetén 42, 45, 50 kg/m<sup>3</sup>. Két anyagsűrűség mérés esetén a megengedett terjedeleme 20 kg/m<sup>3</sup>, három anyagsűrűség mérés esetén 24 kg/m<sup>3</sup>. A kutatás megállapításai azáltal is hasznosultak, hogy a meghatározott megengedett terjedeleme értékeket beépítették az MSZ 18284-2:1979 szabványba.

Megállapították, hogy a különböző mérési módszerrel meghatározott testsűrűségek összefüggése lineáris függvénnyel kifejezhető, és így a különböző módszerek eredményei egymásba átszámíthatók. A kísérleti eredmények értékelése rámutatott arra, hogy a szemhalmazok testsűrűsége, illetve szemekinek tömötsége és a szemnagyság között nincs korreláció, azok egymástól gyakorlatilag függetlenek. A zúzottkő adalékanyag keverékek szemmegoszlásának testsűrűség méréssel való ellenőrzése a megbízói a várakozással ellentétben ezért csak a keveréket alkotó frakciók testsűrűségének és a keverés arányának mindenkor ismeretében oldható meg.

- ***Kőanyagok betonadalékanyagkénti alkalmazása (1983)***

A kutatás célja a betonadalékanyagként kevésbé alkalmazott kőanyagok anyagtulajdonságainak vizsgálata és a vizsgálati eredmények 1:100.000 méretarányú térképlapokon való szerepeltetése, a minősítő vizsgálatok kijelölése, betonkísérletek végzése, a kőanyagok betonadalékanyagkénti minősítése volt. Az öt évig tartó kutatómunkát a BME Ásvány- és Földtani Tanszékével közösen végezték.

A munka során 55 lelőhelyről 59 kőzetfajtát vizsgáltak meg és 140 korábban vizsgált kőanyag mérési adatát dolgozták fel. A vizsgálat és az adatfeldolgozás (ha lehetséges volt) a közettani leírás és mikroszkópi fénykép elkészítésére, a kőanyag kémiai összetételének, derivatogramjának, mikrokeménységének, anyagsűrűségének, testsűrűségének, víztartalmának, vízfelvételének, porozitásának, nyomószilárdságának, hasító-húzószilárdságának, rugalmassági modulusának, ultrahang terjedési sebességének (valamennyit légszáraz és vízzel telített állapotban), Los Angeles aprózódásának (szárazon és 25 fagyasztás után), *Hummel*-féle morzsolódásának, szulfátos kristályosítási veszteségének, időállósági változási tényezőinek meghatározására terjedt ki. A 350 kg/m<sup>3</sup> pernyeportlandcement adagolású betonnak a konzisztenciáját, testsűrűségét friss és szilárd állapotban, nyomó- és hasító-húzószilárdságát 28 napos korban vizsgálták.

A munka az utóbbi idők utolsó ilyen jellegű, nagy volumenű kutatása volt, amelynek vizsgálati eredményei és térképlapjai ma is adatbázisul szolgálnak.

A kutatás bebizonyította, hogy számos hazai kőanyag alkalmas betonkészítés céljára. Javaslatot dolgoztak ki a zúzottkövek beton nyomószilárdsági osztályok szerint megkövetelt MSZ 18291:1978 szerinti közetfizikai csoportjára és termékosztályára a zúzottkőnek az adalékanyagban való részaránya (30 tömeg%-nál több, vagy nem több), és karbonátos illetve nem karbonátos jellege (mert a karbonátos kőanyag affinitása a cementkőhöz kedvezőbb, mint a nem karbonátosé) függvényében. A javaslat a MÉASZ ME-04.19:1995 beton és vasbeton készítési műszaki előírás 3. fejezetében lépett érvényre.

- ***Span-Deck feszített vasbeton födémplak tulajdonságainak vizsgálata (1985)***

A Span-Deck (SD) födémplak C25/30 (olykor C30/37) nyomószilárdságú kavicsbeton, 6 darab héteres feszítőpászma, továbbá mellékvasalás felhasználásával, kavics üregképző maganyag alkalmazásával, hosszúpados gyártási módszerrel, hőérlelve, és hőérlelés után hosszúságra vágva készültek a *Beton- és Vasbetonipari Művek Szolnoki Gyárában*.

Az SD fődémpallók gyártástechnológiáját és különböző tulajdonságait 10 éven keresztül vizsgálták. E munka a következő főbb címszavak köré csoportosítható: betonösszetétel, automatikus konzisztencia beállítás, pászma feszítőerő mérés, betonszilárdulási folyamat, maganyag tapadás, gyémánt vágókorong igénybevétel, roncsolás-mentes minőségellenőrzés, szilárd pallók korai felhajlása, pallók lehajlása és repedéstágassága tartós terhelés hatására.

E kísérletek eredményei közül újszerű volt a mészkő adalékanyagos betonnal készülő SD pallók gyártási feltételeinek kidolgozása. A mészkő adalékanyag alkalmazásának általános szilárdságtani előnyei az SD pallóknál is megmutatkoztak, de legfőbb haszna a vágási energiafelvétel és a gyémánt vágókorong igénybevételének jelentős csökkenésében volt. A zúzottkőbeton bedolgozhatóságát képlékenyítőszerszerrel javították.

Az automatikus konzisztencia beállítás konzisztométeres módszere akkoriban mg újdonságnak számított. Az SD betonokon végzett üzemi kísérletek eredményeiből arra következtettek, hogy a beton konzisztenciája és a betonkeverőgép villamos teljesítmény felvétele között szoros kapcsolat van. E kísérletsorozat tapasztalatai alapján fejlesztették ki a „SZIKKTI Konzisztomat” mérő és szabályozó berendezést.

A vakolatmentes, nagyfeszítávolságú födémekek egymáshoz jól illeszthető és azonos fel- illetve lehajlású SD pallókat igényeltek. A fődémpallók alaktani viselkedésére nagy hatással volt a feszítőerő, amelyet számos körülmény befolyásolt. Ezek megismerésére 34 darab 27 cm magas pallón feszítőerő nagyság és egyenletesség méréseket végeztek erőmérőcellák segítségével elmozdulás-mentesen, közvetlenül a pászmarögztítő patronoknál. A feszítőerő mérést követően tömeg és fel- illetve lehajlás mérésekre is sor került. Megállapították, hogy 10 m-es elemhossz esetén 10.000 mN feszítési nyomaték csökkenéshez átlag 4,4 mm felhajlás csökkenés tartozott, és 100 kg/fm tömegnövekedés átlag 4,6 mm felhajlás csökkenést okozott. A megváltozott rugalmassági moduluson keresztül 8,0 N/mm<sup>2</sup> kizsaluzáskori (24 órás kor) beton nyomószilárdság különbség a felhajlások mértékét 15 %-kal változtatta meg.

Az SD technológiában a pallók üregképzését szemcsés anyaggal – gyakorlatilag 2/10 mm-es homokos kavics – végezték. Vizsgálták, hogy a beton összetétele, konzisztenciája, tömörítési ideje, a maganyag fajtája, szemmagysága, felületi állapota, nedvességtartalma, tömörítési ideje, hézagterfogata miként befolyásolja a termék betonjába lazán vagy erősen beragadt maganyag tömegét, névleges rétegvastagságát, egyenletességét, szemmagyságát.

Az SD gyártástechnológia sajátossága, hogy a fődémpallók öntése a 86 m hosszú sablon teljes hosszában folyamatosan történt, és az 5-12 m hosszú elemeket a hőérlelést követően vágással alakították ki. A vágást 1219,2 mm átmérőjű gyémántkoronggal végezték. A vágás nemcsak technológiailag volt kényes feladat, hanem gazdaságilag is figyelmet érdemelt. Ezért a vágás hatékonyság javításának lehetőségét vizsgáltuk. A kísérletek legfontosabb tanulsága az volt, hogy üzemi körülmények között a mészkőbetonból és mészkő maganyaggal készült pallók fűrészelésének energiaigénye (1616 wattóra) 2/3-a a kavicsbetonénak (2450 wattóra).

Öt éven keresztül mérték a szabadban 3 darab 13,4 m hosszú, 37 cm magas SD-37 jelű, és 3 db 11,9 m hosszú, 27 cm magas SD-27 jelű fődémpalló lehajlását és repedéstágasságát tartós, a határnyomaték 85 %-ának megfelelő legnagyobb pozitív nyomatékot ébresztő kvázi-megoszló terhelés hatására. A lehajlás mérési eredményekből a lehajlási függvényeket a legkisebb hibanégyzetösszegek módszerével regressziós alakban dolgozták fel. A felírt függvények száma 333 volt. Meghatározták a függvény paramétereit, azok hányadosát, a függvények jellemző



pontjait, a korrelációs jellemzőket. Kiszámították a lehajlási függvények alatti területeket és keresték ezek változását az idő függvényében. Az összes repedéstágasság időbeni változását szintén regressziós alakban határozták meg. Megállapították, hogy az SD-37 jelű födempallók átlagos eltolódásának értéke 1850 napos korban 46 mm, az SD-27 jelű födempallóké 82 mm. Ugyanebben az időben az összes átlagos repedéstágasság az SD-37 jelű födempallókon 1,2 mm, az SD-27 jelű födempallókon 1,9 mm volt. Az eltolódások és repedéstágasságok az időjárásnak és az évszaknak is függvényét képezték.

A téma szükségessé tette a feszített vasbetontartók regressziós eltolódási függvénye számítás módjának kidolgozását az abban az időben rendelkezésre állott mágneskártyás, 100 lépés kapacitású, programozható HP-65 típusú zsebszámítógépre. Az eltolódási függvényből a hajlítási merevség (EI) ismeretében megrajzolhatóvá vált a redukált nyomatéki ábra.

Egyéb körülmények mellett ez is ösztönzést adott arra, hogy külön kiterjedt kísérleteket végezzenek előregyártott, természetesen szilárdított és gőzölt, közönséges és feszített vasbetontartók  $40,6 \text{ N/m}^2$  átlagos 28 napos nyomószilárdságú betonja különböző rugalmassági modulusainak meghatározására. A kísérleti eredményekből többek között megállapították, hogy a gőzölt betonok kizsaluzáskori, 16 órás kori  $\sigma$ - $\varepsilon$  görbéje a természetesen szilárdított betonok 28 napos kori  $\sigma$ - $\varepsilon$  görbéje alatt helyezkedik el.

- ***Betonok korrózióvédelme Epofur bevonattal (1988)***

A főleg betonfelületek korrózióvédelmére kidolgozott – bevonószerre és bevonási eljárásra vonatkozó – módszer a SZIKKTI-MÜKI közös, 199535/1991 lajstromszámú szabadalma volt. A bevonószer egyik komponense furángyanta tartalmú, töltőanyag epoxigyanta, másik komponense amin-addukt térhálósító volt, amelyek kidolgozása az EGIS Gyógyszergyár érdeme. Az Epofur anyagot a MÜKI gyártotta a bevonat felhordását végző SZIKKTI, mint kizárólagos alkalmazó megrendelésére.

Az Epofur műanyaggal agresszív hatásoknak fokozottan ellenálló bevonatok hozhatók létre, a bevonatok tartósak, különböző hőmérsékleten, agresszív anyag koncentrációknak, savaknak, lúgoknak és sóknak egyaránt fokozottan ellenállóak. A bevonat hatása azon alapul, hogy kettős térhálót alkot. Az Epofur bevonat kétrétegű, az alapozó és fedő réteg egymástól összetételében és töltőanyag tartalmában különbözik. Az alsó Epofur réteg rugalmasabb és így a védendő anyag hőmozgásait jobban tudja követni, a felső Epofur réteg keményebb, és így az a vegyi hatásokon túl a mechanikai és időállósági igénybevételeknek is jól ellenáll. Betonok esetén Eporezit-akva anyagú egyrétegű tapadó és pórus lezáró hidat is képeztek, miáltal a rendszer háromrétegűvé vált. A megfelelő technológiával felhordott, háromrétegű Epofur bevonat rendszer legalább C 16/20 nyomószilárdsági osztályú betonok és vasbetonok agresszív közeg elleni korrózióvédelmére alkalmas ott, ahol a bevonat fekete színe nem zavaró.

Az Epofur bevonószer és eljárás ipari bevezetését megelőzően részletes laboratóriumi kísérleteket végeztek. Vizsgálták a vegyszer-állóságot, tapadószilárdságot, a fázisátviteli igénybevitel tűrést, a mélyhúzási rugalmasságot, a kopásállóságot, a csúszósúrlódási ellenállást, a vízzáróságot, fagyállóságot, a páradiffúziós ellenállást, hősokk tűrést, az infravörös besugárzás hatását.

A több célra is alkalmas Epofur műanyag bevonat eredetileg erős vegyszeres korróziós hatásnak kitett vasúti előregyártott és monolit pályabetonok, vasúti kocsimosók (például MÁV Keleti pályaudvar, Celldömölk) védelmére került kidolgozásra és alkalmazásra.

Epopur bevonattal látták el az IKR (Iparszerű Kukoricatermelési Rendszer) folyékony műtrágya gyártó üzei vasúti kocsik lefejtő állomásai pályaburkolatának több 1000 m<sup>2</sup> felületét (például Bábolna, Sárvár, Szerencs, Városföld).

Sikeresen alkalmazták az Epofurr bevonatot a veszélyes hulladékok mintegy 10 éves tárolására szolgáló, 3 m<sup>3</sup> térfogatú, előregyártott vasbeton zárványelemek belső felületének korrózióvédelmére. A zárványelemeket a *Mélyépterv* tervezte és a *BVM Budapesti Gyára* gyártotta a MÁV zárhíny átírákó pályaudvara számára.

Az Epofur eljárás az 1988. évi Hugarokorí Kiállítás korrózióvédelmi pályázatán az *Építési és Városfejlesztési Miniszter* nagydíjában, a *Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Miniszter*, valamint a *Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Miniszter* különdíjában részesült, és az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság* elismerő oklevelét kapta.

- **Betonok kopásállósága (1994)**

A betonok kopásállósága a betontechnológia állandó visszatérő kérdése, amelynek tanulmányozása az út és repülőtéri pályák, padlóburkolatok, tároló bunkerek, vízi létesítmények készítésekor, javításakor mindig előtérbe került, és alapkutatás végzését is szükségessé tette. A kopásállóságot hazánkban napjainkig terjedőleg a több mint száz éves (1892), Németországban 1933. óta, nálunk 1951. óta szabványos *Böhme*-féle forgótárcsás koptató berendezéssel vizsgálták, és az építmények, építőanyagok kopásállósági követelményét is ennek vizsgálati eredményeire vonatkoztatták. A vizsgálati módszer és a követelmények is az idők folyamán változtak. A módszer (MSZ 18290-1:1981) és követelmények (MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 9. fejezete) mai szintjének kialakulása jórészt nemcsak a betonok, hanem a kőanyagok kopásállósági vizsgálatának és kutatásainak eredménye.

Megállapították, hogy időjárástól védett helyen lévő kopásálló beton készítéséhez legalább C25/30, időjárásnak kitett helyen lévő kopásálló beton készítéséhez legalább C40/50 nyomószilárdsági osztályú betonra van szükség. Az ilyen beton szabványos kopási térfogatvesztése szárazon legfeljebb 12 cm<sup>3</sup>, vizesen legfeljebb 18 cm<sup>3</sup>. A beton készítéséhez használt cement legalább 42,5 szilárdsági osztályú portlandcement legyen, az adalékanyag legfeljebb 20 tömeg% lemezes szemet tartalmazzon, lehetőleg mélységi vagy kiömlési eredetű zúzottkő legyen és legalább olyan kopásállóságú, mint amilyen kopásállóságot a betontól megkövetelünk. Különleges kopásállósági követelmény esetén legalább a kopórétegben, kifejezetten erre a célra gyártott, különlegesen kopásálló adalékanyagot (például Korodur) kell alkalmazni. Előnyös a megfelelő folyósító adalékszer használata és a földnedves illetve kissé képlékeny konzisztencia, különösen akkor, ha a beton fagyállósága érdekében légbuborékképző adalékszer is adagolni kell. Az impregnálás javítja a kopásállóságot és a fagyállóságot is. A kopásálló felületet a betonra felhordott kemény, nagyszilárdságú műgyanta réteggel is elő lehet állítani.

A kutatási eredményeket több építmény esetén is hasznosították, például:

- Betonútépítő Vállalat által épített betonút lánctalpas járművek közlekedésére egy afrikai országban, ahol adalékanyagként csak mészkövek jöhettek számításba (1984);
- előregyártott, közúti villamosvasúti vasbeton lemezaljak Budapesten, amelyek az előregyártott, gőzölt vasbeton és az útbeton sajátosságait egyesítették magukban. Gyártó a BVM Budapesti Gyára volt. A C40/50 nyomószilárdsági osztályú beton 42,5 jelű portlandcementtel, homok és andezit adalékanyaggal készült. A lemezaljak felületét mély-impregnálószerrel kezelték (1986);

- Dorogi Hulladékégetőmű szilárdanyag tároló bunker építése, ahol a monolit, C30/37 nyomószilárdsági osztályú vasbeton követelménye a kopásállóság, a vízzáróság, a szikramentesség, a korrózióállóság és a repedésmentesség volt. A feladatot kompromisszum árán szulfátálló cement, homok és bazalt adalékanyag, folyósítószer, kis víz-cement tényező alkalmazásával oldották meg (1987);
  - a Mélyépítő Vállalat által gyártott Viacolor beton térburkolókövek (1987);
  - kísérletek kemény adalékanyagok kopóréteggel, járható beton csatornák lövelt betonos technológiával történő javításához Lengyelországban (1991);
  - Dorogi Hulladékégetőmű hordós hulladéktároló térbetonja, ahol a monolit a szálerősítésű, C30/37 nyomószilárdsági osztályú beton követelménye a kopásállóság, a vízzáróság, a szikramentesség és a korrózióállóság volt. A feladatot kompromisszum árán szulfátálló cement, homok, 2-12 mm szemnagyság között bazalt, 12-20 mm szemnagyság között dolomit adalékanyag, folyósítószer, Dramix acélhuzalszál, kis víz-cement tényező alkalmazásával oldották meg (1994);
  - Ferihegyi repülőtér meghibásodott bazalt pályabeton lemezének javítása (1989) és a repülőtér bővítés új pályabetonja (1995);
  - előregyártott beton útburkoló elemek, útszegélyek, Pest megyében (1995);
  - pormentes ipari padlóburkolatok gyártócsarnokokban (például Magyar Suzuki autógyár, Esztergom, 1991), raktárakban (például Szeged, 1996), bevásárló központokban (például Metro Áruház Budapest, 1996).
- ***Acélhuzal-szálerősítésű betonok tulajdonságai (1996)***

Az acélhuzal-szálerősítésű beton kutatását előnyös tulajdonságai, a szálerősítés nélküli betonétól és a vasbetonétól eltérő szilárdság-alakváltozási anyagmodellje, gyakorlati alkalmazásának előretörése indokolja. A beton szilárdságtani és alakváltozási szempontból rugalmas - kvázi-képlékeny anyag, amely utóbbi fázist a cementkő képviseli. Szálerősítésű betonban a cementkő törési alakváltozása megváltozik, a beton megrepedése után gyakorlatilag képlékenyen viselkedik, elveszti ridegségét, szívóssá válik, alkalmazható rá az ideálisan rugalmas - képlékeny anyagmodell. A szívósság kifejezetten negyedik dimenziós jelenség, amelynek a szerkezetek méretezése során jelentősége van.

A kutatási témában a szálerősítésű beton anyagtani, szilárdságtani tulajdonságait vizsgálták. A helyes vizsgálati modell kialakításához a hazaiakon kívül összesen 34 darab belga, francia, spanyol, USA, japán, német, osztrák szabványt és műszaki specifikációt dolgoztak fel. A nyomószilárdságot 150 mm méretű próbakockákon és  $\Phi$  150x300 mm méretű próbahengereken, a hajlító-húzószilárdságot 150x150x600 mm méretű próbahasábokon, 450 mm fesztávolságon, harmadpontokon terhelve vizsgálták. A hajlító-húzószilárdság vizsgálata során a terhelőerő növekedésének sebességét úgy szabályozták, hogy a lehajlás időben egyenletesen növekedjék.

A kísérletekhez használt Dramix típusú ZC 60/1.0, ZC 50/0.5 és ZC 30/0.5 jelű acélszál hidegen húzott acélhuzalból készül, szakítószilárdsága legalább  $1100 \text{ N/mm}^2$ , a lehorgonyozást elősegítendő a két végén hajlított, a csomósodás megelőzésére vízdoldhatóan ragasztott kivitelű. A kísérleti beton nyomószilárdsági osztálya C20/25 és C35/45, homokos kavics adalékanyagának legnagyobb szemnagysága 16 mm volt.

Megállapították, hogy a megszilárdult betonban a szálhatás nem független a beton struktúrájától és tulajdonságaitól. Az adalékanyag szemmegoszlása a „B” határgörbét

kövesse, a szál hosszúsága az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának két-háromszorosa legyen. A szálhatás érvényesüléséhez legalább C20/25 nyomószilárdsági osztályú betonra van szükség. A próbatest legkisebb mérete haladja meg a szálhosszúság két és félszeresét.

Azt tapasztalták, hogy azonos száladagolás esetén az azonos alaktényezőjű (hosszúság/átmérő) szálak közül a kevésbé karcsúak (hosszúság/átmérő<sup>2</sup>) nagyobb nyomószilárdságot, a karcsúbbak nagyobb hajlító-húzószilárdságot biztosítottak. E jelenség megtévesztésig hasonlít az adalékanyag szemalakjának a betonszilárdságra gyakorolt hatására, nevezetesen arra, hogy a zömök szemek a nyomószilárdság, a hosszúkás szemek a húzószilárdság és a nyírószilárdság szempontjából kedvezőek. Megállapították, hogy a betonszilárdságra nézve az a legelőnyösebb, ha az acélszál alaktényezője és karcsúsági tényezője együtt növekszik.

Az acélszál adagolás a beton hajlító-húzószilárdságát jelentősebben növelte, mint a nyomószilárdságát. Amíg  $10 \text{ kg/m}^3$  többlet száladagolás mintegy  $1 \text{ N/mm}^2$  nyomószilárdság növekedést eredményezett, addig a hajlító-húzószilárdság és az  $1,5 \text{ mm}$  próbagerenda lehajlási határértéknél értelmezett átlagos hajlító-húzófeszültség  $10 \text{ kg/m}^3$  többlet száladagolás hatására mintegy  $0,6 \text{ N/mm}^2$  értékkel növekedett. A száladagolás növelésével az első repedés megjelenéséhez tartozó hajlító-húzófeszültség érzékelhetően akkor növekedett, ha a száladagolás elérte a  $30 \text{ kg/m}^3$  értéket. A növekedés mértéke gyakorlatilag fele a hajlító-húzószilárdság növekedésének, azaz  $10 \text{ kg/m}^3$  többlet száladagolás esetén mintegy  $0,3 \text{ N/mm}^2$ .

Amíg a hajlított betongerenda ridegen, addig a hajlított acélszál erősítésű gerenda szívósan törik. Az acélszál-erősítés alkalmazásának a repedésérzékenység csökkentése mellett ez az egyik legfőbb jelentősége. A hajlítási szívósság  $1,5 \text{ mm}$  próbagerenda lehajlási határértéknél legalább  $15 \text{ kN}\cdot\text{mm}$ , de megfelelő szálfajta és száladagolás mellett a  $75 \text{ kN}\cdot\text{mm}$  értéket is elérheti. A hajlítási szívósság növekedése  $10 \text{ kg/m}^3$  többlet száladagolásonként mintegy  $6 \text{ kN}\cdot\text{mm}$  volt.

