

SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETONOK SZABVÁNYOSÍTOTT VIZSGÁLATAI ÉS NÉHÁNY TULAJDONSÁGA

Dr. Kausay Tibor

A *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata által,
“Szálerősítésű Betonok - a kutatástól az alkalmazásig” címmel
Budapesten, 1999. március 4.-5. között rendezett konferencián elhangzott előadás
alapján.

[A *fib* Magyar Tagozata a konferencia előadásokat tartalmazó kiadványban foglalta össze.](#)

ÖSSZEFOGLALÁS

A szálerősítésű betonok alkalmazásának feltétele, hogy tulajdonságait megismerjük és vizsgálatát szabatosan, megismételhetően, összehasonlíthatóan végezzük. E törekvésünkben tájékozódni szükséges a nemzeti szabványok és műszaki előírások felől, meg kell vizsgálni közös elemeiket és különbségeiket. Ennek céljából elemeztünk 39 műszaki dokumentumot, megkíséreltük rendszerezésüket, feldolgoztuk érdekesebb intézkedéseiket, azokhoz esetenként megjegyzéseket fűztünk. A munka háttéréül a *T 007382 számú OTKA* kutatási téma szolgált (*Kausay 1994 és 1996*), amelynek zárójelentését az OTKA Építési-Építészeti-Közlekedési Zsűrije 1999. áprilisában “kiváló” minősítéssel fogadta el.

1. BEVEZETÉS

A szálerősítésű beton használatának kezdetét 1874. évre teszik, amikor is *A. Berand* fémhulladékot kevert a betonba, és ezt az eljárást szabadalmaztatta (*Nemegeer - Deutsch 1993*). A fejlődés első periódusa 1960-ig tartott, és azt a szálerősítésű beton ritka alkalmazása jellemezte. Használata a második periódus kezdetén, az 1960-as évek elején lendült fel. Hazánkban mind az alkalmazás, mind a publikálás, mind a szabvány készítés terén dr. Szabó Iván mutatott példát (*Szabó 1976*) és akadtak követői is (*Dombi 1976*). Húsz év elteltével már bizvást beszélhettünk arról, hogy a harmadik periódus ránk köszöntött. Egyre szélesebb körben végeztek kutatásokat (*Kausay 1993, 1994*) és napjainkra a szálerősítésű beton sokféle alkalmazását dolgozták ki és valósították meg.

Ez az érdeklődés arra vezethető vissza, hogy a szálerősítésű betonok a normál betonokhoz képest számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek: friss állapotukban állékonyabbak, zsugorodási repedésérzékenységük kisebb, gőzölés nélkül is korán kizsaluzhatók, hajlító-húzószilárdságuk, ütőszilárdságuk, dinamikai ellenállásuk, kopásállóságuk nagyobb, vízzáróságuk, korrózióállóságuk jobb, a hálósan vasalt betonnál könnyebben kivitelezhetők, a szálerősítésű löttbetonok visszahullása az átlagosnál kisebb. E kedvező tulajdonságok teszik a szálerősítésű betont alkalmassá arra, hogy belőle vékony falú és egyéb monolit vagy előregyártott szerkezetek és elemek készüljenek. A szálerősítésű betont jól lehet használni repülőtéren, út- és térburkolati pályabetonok, ipari padlóburkolatok, löttbetonok, alagutak, csatornák, bányabiztosítások, trezor építmények, ipari olajfelfogó tálcák, tömegbetonok, dinamikus igénybe vett szerkezetek, előregyártott betonelemek készítésére, mindezek és az egyéb statikailag és korrozív módon károsodott szerkezetek, például födémelek helyreállítására és megerősítésére.

A beton és a szálerősítésű beton szilárdság-alakváltozási anyagmodellje különbözik egymástól. A beton szilárdságtani és alakváltozási szempontból rugalmas-kvázi-képlékeny anyag, amelyben a rugalmas fázist az adalékanyag, a kvázi-képlékeny fázist a cementkő képviseli. Ha a betonba megfelelő minőségű és mennyiségű szálat keverünk, akkor megváltozik a cementkő törési alakváltozása, a beton megrepedése után gyakorlatilag képlékenyen viselkedik, elveszti ridegségét, szívóssá válik, alkalmazható rá az ideálisan rugalmas-képlékeny anyagmodell. A szívósság egy kifejezetten negyedik dimenziós jelenség, amelynek alapvető jelentősége van minden teherhordó szerkezetben illetve annak méretezése során. A szívósságmérés mutat rá arra, hogy a szálerősítésű beton a beton megrepedését követően is képes terhelések hordására, szívósan és képlékenyen viselkedik, szemben a szálerősítés nélküli betonnal, amely ridegen törik, és képlékeny tartománnyal nem rendelkezik. A szálerősítésű beton szívósságát legkézenfekvőbb hajlító-húzószívóssággal kifejezni, meghatározásához pedig célszerű áttekinteni a szabványokban tükröződő nemzeti felfogásokat.

2. NEMZETI SZABVÁNYOK ÉS MŰSZAKI ELŐÍRÁSOK BEMUTATÁSA

A szálerősítésű betonok számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek, hátrányuk azonban, hogy e tulajdonságok nehezen ismerhetők meg és bonyolultan vagy a megszokotthoz képest másképp vizsgálhatók. Ennek tulajdonítható a bőséges irodalom és a szabványok nagy száma. Az utóbbiakat az 1. táblázatban tekintjük át.

1. táblázat: A feldolgozott szabványok és műszaki előírások tárgya

| Szabvány vagy műszaki előírás jele | Szál anyaga | Követelmény | | Keverék, próbatest össze-tétele, készítése | Betontermék gyártás, minőség-ellenőrzés | Méretezés |
|------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|--|---|-----------|
| | | termékkel | betonnal és szállal | | | |
| | | szemben | | | | |
| MSZ 15450/3 | Acélszál | + | | | + | |
| MSZ 15450/5 | Acélszál | + | | | + | |
| MI-04.117 | Acélszál | | + | + | | + |
| MI-04-155 | Polipropilénszál | | + | + | | + |
| NBN B 15-238 | Acélszál | | | | | |
| NBN B 15-239 | Acélszál | | | + | | |
| AFNOR P 18-409 | Acélszál | | | | | |
| S.N.C.F. Ref. 5876 | Acélszál | + | + | + | + | |
| JSCE-SF1 | Acélszál | | | + | | |
| JSCE-SF2 | Acélszál | | | + | | |
| JSCE-SF3 | Acélszál | | | + | | |
| JSCE-SF4 | Acélszál | | | | | |
| JSCE-SF5 | Acélszál | | | | | |
| JSCE-SF6 | Acélszál | | | | | |
| JSCE-SF7 | Acélszál | | + | + | | |
| DBV-Merkblatt:1991 | Acélszál | | | | | |
| DBV-Merkblatt:08.92. | Acélszál | + | + | + | + | |

| | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|
| DBV-Merkblatt:09.92. | Acélszál | + | + | | | + |
| DBV-Merkblatt:Anhang | Acélszál | | | | | |
| Vorl. Richtlinien:1985 | Üveg, fém, műanyag | | + | + | + | |
| ÖNORM B 5073 | Acélszál | + | + | + | + | + |
| UNE 83-500 | Acél, polipropilén | | + | | | |
| UNE 83-501 | Acél, polipropilén | | + | | | |
| UNE 83-502 | Acél, polipropilén | | | + | | |
| UNE 83-503 | Acél, polipropilén | | | + | | |
| UNE 83-504 | Acél, polipropilén | | | + | | |
| UNE 83-505 | Acél, polipropilén | | | + | | |
| UNE 83-506 | Acél, polipropilén | | | + | | |
| UNE 83-507 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-508 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-509 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-510 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-511 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-512 | Acél, polipropilén | | | + | | |
| UNE 83-514 | Acél, polipropilén | | | | | |
| ASTM A 820 | Acélszál | | + | | | |
| ASTM C 995 | Bármely szál | | | + | | |
| ASTM C 1018 | Bármely szál | | | + | | |

1. táblázat folytatása: A feldolgozott szabványok és műszaki előírások tárgya

| Szabvány vagy műszaki előírás jele | Szál anyaga | Termék vizsgálat | Anyag illetve próbatest vizsgálata | | | |
|--|-------------|---------------------|------------------------------------|----------|--------|--------------------------------|
| | | | Nyomás | Hajlítás | Nyírás | Lemez átszűrődása (Útés) |
| MSZ 15450/3 | Acélszál | + | | | | |
| MSZ 15450/5 | Acélszál | + | | | | |
| MI-04.117 | Acélszál | | | | | |

| | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|
| MI-04-155 | Polipropilénszál | | | + | | |
| NBN B 15-238 | Acélszál | | | + | | |
| NBN B 15-239 | Acélszál | | | + | | |
| AFNOR P 18-409 | Acélszál | | | + | | |
| S.N.C.F. Ref. 5876 | Acélszál | | | | | + |
| JSCE-SF1 | Acélszál | | | | | |
| JSCE-SF2 | Acélszál | | | | | |
| JSCE-SF3 | Acélszál | | | | | |
| JSCE-SF4 | Acélszál | | | + | | |
| JSCE-SF5 | Acélszál | | + | | | |
| JSCE-SF6 | Acélszál | | | | + | |
| JSCE-SF7 | Acélszál | | | | | |
| DBV-Merkblatt:1991 | Acélszál | | | + | | |
| DBV-Merkblatt:08.92. | Acélszál | | | | | |
| DBV-Merkblatt:09.92. | Acélszál | | | + | | |
| DBV-Merkblatt:Anhang | Acélszál | | + | + | | |
| Vorl. Richtlinien:1985 | Üveg, fém, műanyag | | | + | | |
| ÖNORM B 5073 | Acélszál | + | | | | |
| UNE 83-500 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-501 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-502 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-503 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-504 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-505 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-506 | Acél, polipropilén | | | | | |
| UNE 83-507 | Acél, polipropilén | | + | | | |
| UNE 83-508 | Acél, polipropilén | | + | | | |
| UNE 83-509 | Acél, polipropilén | | | + | | |
| UNE 83-510 | Acél, polipropilén | | | + | | |
| UNE 83-511 | Acél, polipropilén | | | | + | |
| UNE 83-512 | Acél, polipropilén | | | | | |

| | | | | | | |
|-------------|-----------------------|--|--|---|--|-----|
| UNE 83-514 | Acél, polipropilén | | | | | (+) |
| ASTM A 820 | Acélszál | | | | | |
| ASTM C 995 | Bármely szál | | | | | |
| ASTM C 1018 | Bármely szál | | | + | | |

3. A KONZISZTENCIA JELLEMZÉSE KIFOLYÁSI MÉRTÉKKEL

Feldolgozott szabványok: UNE 83-503, ASTM C 995

A két szabvány tartalma teljesen megegyezik. Az eljárás akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem haladja meg a 40 mm-t és a beton nem folyós. A roskadás méréshez szabványosított, UNE 83-313 illetve ASTM C 143 szerinti Abrams-féle kúpot kisebb nyílásával lefelé egy henger alakú tartóedénybe kell befogni. A szálerősítésű betont három rétegben, tömörítés nélkül, de hézagmentesen kell a kúpra tölteni. A beton tetejére 25 ± 3 mm átmérőjű, 7000/perc rezgésszámú tűvibrátort kell helyezni. A tűvibrátort el kell indítani, hagyni kell, hogy a vibrálás hatására a kúpból kifolyó betonnal együtt süllyedjen. Kifolyási mérték az a másodpercben kifejezett idő, amely a tűvibrátor elindításától a kúp kiürüléséig eltelik.

**A fordított Abrams-féle roskadásmérő kúp elrendezése
a szálerősítésű betonok konzisztenciájának
UNE 83-503-88 és ASTM C 995-91 szabványok szerinti méréséhez**

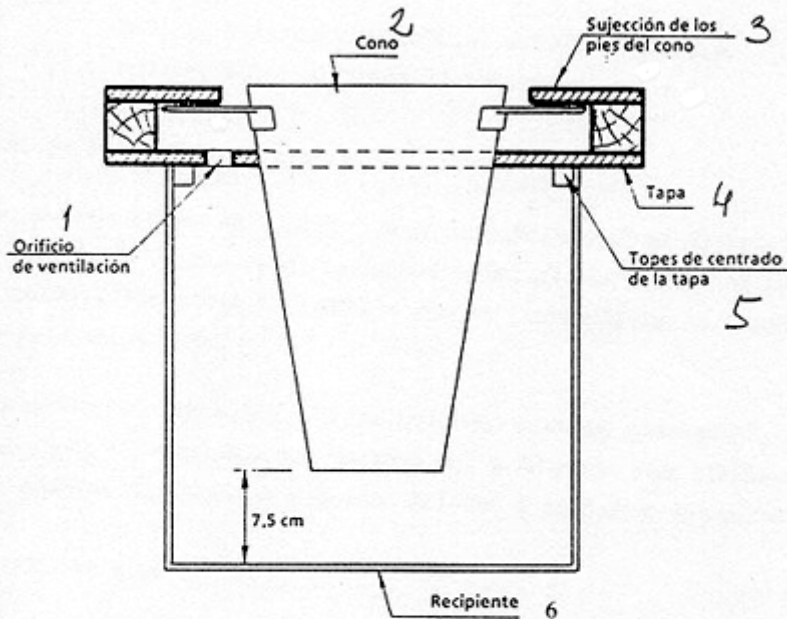


Fig. 1- Sistema de colocación del cono invertido en el recipiente

1. ábra A fordított kúp felhelyezése az edényre

1. Szellőző nyílás
2. Abrams-féle kúp
3. A kúp talpainak rögzítése
4. Középen lyukas fedél
5. A fedél központosító csapja
6. Vödör

1. ábra. Eszköz a konzisztencia méréshez

Megjegyzés: A végtelenül egyszerű eljárás bevezetésére hazánkban is szükség lenne.

Egyrészt, mert az MSZ 4714/3 szerinti konzisztencia mérési eljárások - a fent leírthoz elvileg hasonló átformálási VEBE-mérték meghatározáson kívül - nem igazán alkalmasak a szálerősítésű beton konzisztenciájának kifejezésére.

Másrészt, mert a száladagolás hatására a beton eredeti konzisztenciája megváltozik és ezt a változást fontos lenne kifejezni.

E konzisztencia változás miatt a beton MSZ 4719 szerinti megnevezésében a konzisztenciafokozat jele szálerősítésű beton esetén nem értelmezhető.

A fenti eljárás alkalmazása különösképpen hasznosnak tűnik azon esetekben, amikor a transzportbetonba az építéshelyen, a mixer dobjában keverik be a szálat és folyósítószer is adagolva állítják be például a szivattyúzásra kerülő szálerősítésű beton konzisztenciát.

4. AZ ACÉLSZÁL TELJESÍTŐKÉPESSÉGE

Feldolgozott szabvány: NBN B 15-239

A szabvány az acélszálak típus és adagolás szerinti teljesítőképességének értékelését összehasonlító hajlítási kísérlettel végzi. Az összehasonlító kísérlet során a száladagolás nélküli referencia beton próbagerenda és a referencia betonhoz különböző adagolásokban kevert szálakkal előállított próbagerendák hajlítási tulajdonságait határozzák meg. Méri a szálakat nem tartalmazó referencia beton hajlító-húzószilárdságát (f_f) és a szálerősítésű beton NBN B 15-238 szerinti, $l/n = l/300$, és $l/n = l/150$ mm gerenda lehajláshoz tartozó hajlító-húzófeszültségét ($f_{f,300,p}$ és $f_{f,150,p}$) különböző p [kg/beton-m³] acélszál-adagolások mellett, ahol a támaszköz általában $l = 450$ mm. Az acélszál teljesítőképességét a $T_{n,p}$ szívóssági tényezővel és a $p_{e,n}$ szívóssági egyenértékkel fejezik ki:

$$T_{n,p} = \frac{f_{f,n,p}}{f_f}$$

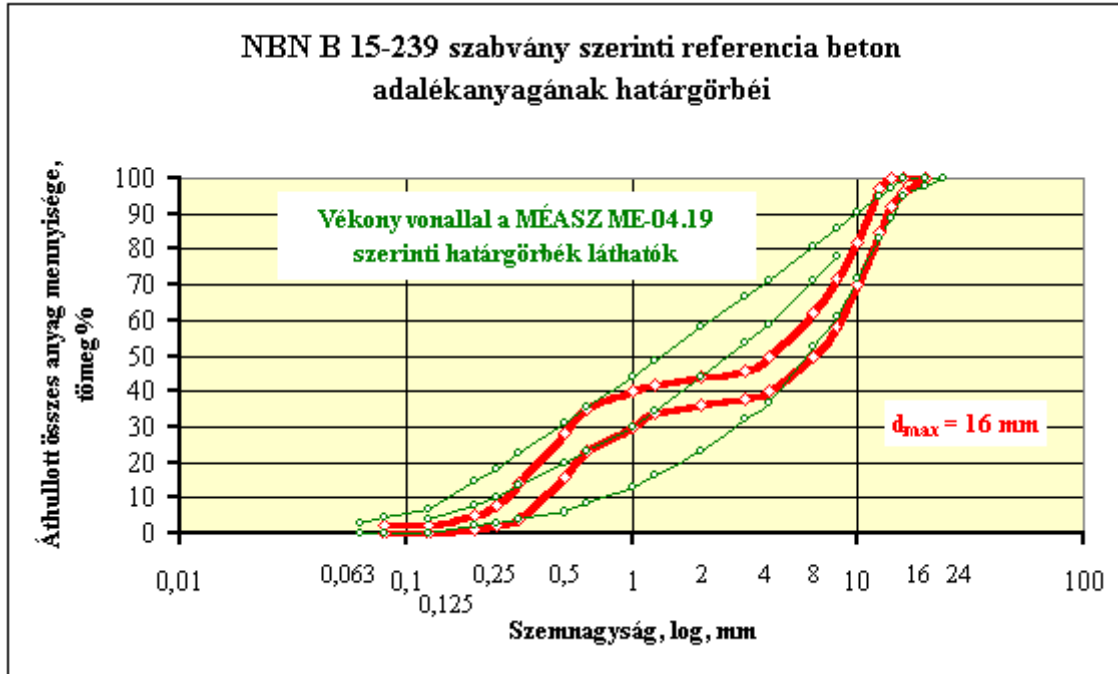
ahol: $n = 300$ és $n = 150$

A meghatározás szerint a $p_{e,n}$ szívóssági egyenérték az az 1 m³ bedolgozott betonban lévő acélszál tömeg kg-ban kifejezve, amely a $T_{n,p} = 0,5$ szívóssági tényezőhöz tartozik. Számítása legalább három p száladagolás esetén lineáris interpolálással történik. A száltartalmak közötti különbség 10 - 20 kg/beton-m³.

5. AZ ÖSSZEHASONLÍTÓ KÍSÉRLETEK REFERENCIA BETONJA

Feldolgozott szabvány: NBN B 15-239

A szabvány az acélszálak teljesítőképességének értékeléséhez szabályozza a referencia beton összetételét. A cement minősége 40 nyomószilárdsági osztályú pc vagy kspc, adagolása 350 kg/m³. A referencia beton konzisztenciája folyós, roskadási mértéke 100-150 mm. A változatlan vízadagolás miatt a szálerősítésű betont nagyobb tömörítési munkával kell bedolgozni, mint a száladagolás nélküli referencia betont. Az adalékanyag szemmegoszlásának határgörbéit a 2. ábrán mutatjuk be. Csekély átfedéstől eltekintve a 4 mm alatti szemek homokból, a 4 mm feletti szemek kemény zúzottkőből állnak.



2. ábra. Az NBN B 15-239 szerinti referencia beton adalékanyagának határgörbéi

Megjegyzés: Az adalékanyag fajtája és szemmegoszlása is különleges.

A durva zúzottkő frakció alkalmazása az útépitőipari betontechnológusok számára megszokott gyakorlat, de a magas- és mélyépítőiparban viszonylag bőséges bányakavics készleteink és a kavicsbeton könnyebb bedolgozhatósága folytán csak ritkán, kényszerítő körülmények hatására - mégis szép építési és gyártási példákat eredményezve (például dorogi hulladékégető fogadó bunkerje, tengizi csúszózsaluzatos kémények, BVM villamosvasúti lemezaljak, Rocla porgetett-hengerelt csövek, stb.) - szokásos.

A szemmegoszlás közel lépcsős. Az 1 mm és 4 mm közötti szemek mennyisége csak mintegy 10 tömeg%, de nagyon kevés szemet tartalmaz 0,25 mm alatt és 14 mm felett is. A grafikus megjelenítés mellett a MSZ 18288/5-81 szerinti szemmegoszlás jellemzők is jól tükrözik - és az egyébként hatályos határgörbékkel is összevethetővé teszik - a referencia beton adalékanyaga szemmegoszlásának tulajdonságait (2. táblázat).

2. táblázat: Az NBN B 15-239 szerinti referencia adalékanyag és a MÉASZ ME-04.19 szerinti adalékanyag határgörbék szemmegoszlás jellemzőinek összehasonlítása

| Szemmegoszlás jellemző | NBN B 15-239 szerinti | | MÉASZ ME-04.19 szerinti | | |
|------------------------------------|--------------------------------|--------|-------------------------|--------|--------|
| | alsó | felső | “A” | “B” | “C” |
| | határgörbe, $d_{\max} = 16$ mm | | | | |
| Finomsági modulus | 6,22 | 5,56 | 6,62 | 5,56 | 4,82 |
| Logaritmikus $d_{\text{átl}}$, mm | 3,32 | 2,10 | 4,38 | 2,10 | 1,26 |
| D_{10} , mm | 0,397 | 0,270 | 0,743 | 0,250 | 0,151 |
| D_{25} , mm | 0,719 | 0,453 | 2,208 | 0,707 | 0,363 |
| Medián, D_{50} , mm | 6,300 | 4,000 | 5,824 | 2,639 | 1,346 |
| D_{60} , mm | 8,303 | 5,840 | 7,773 | 4,148 | 2,225 |
| D_{70} , mm | 10,000 | 7,627 | 9,610 | 5,976 | 3,792 |
| D_{75} , mm | 10,772 | 8,554 | 10,641 | 7,170 | 4,812 |
| U_{60} egyenlőtlenség | 20,914 | 21,629 | 10,462 | 16,592 | 14,735 |
| U_{70} egyenlőtlenség | 25,189 | 28,248 | 12,934 | 23,904 | 25,113 |
| DQ osztályozottság | 3,871 | 4,345 | 2,195 | 3,185 | 3,641 |
| SK asszimetria érték | 0,442 | 0,492 | 0,832 | 0,853 | 0,982 |
| $d < 0,25$ mm, tömeg% | 2,0 | 8,0 | 3,0 | 10,0 | 18,0 |

6. NYOMÓVIZSGÁLAT

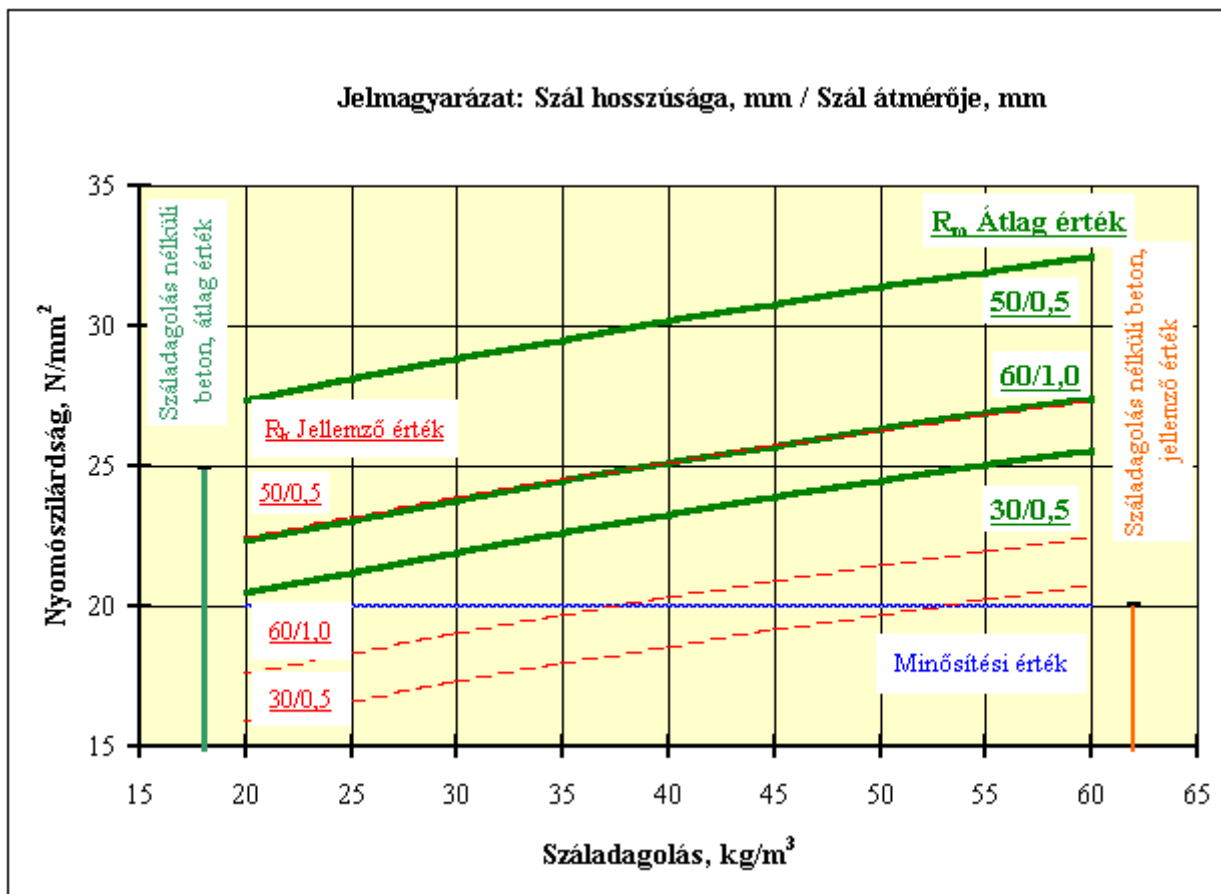
Feldolgozott szabványok és műszaki előírások: JSCE-SF2, JSCE-SF5, DBV-Merkblatt Anhang A, UNE 83-504, UNE 83-505, UNE 83-506, UNE 83-507, UNE 83-508.

3. táblázat: A nyomószilárdság vizsgálatok rendje

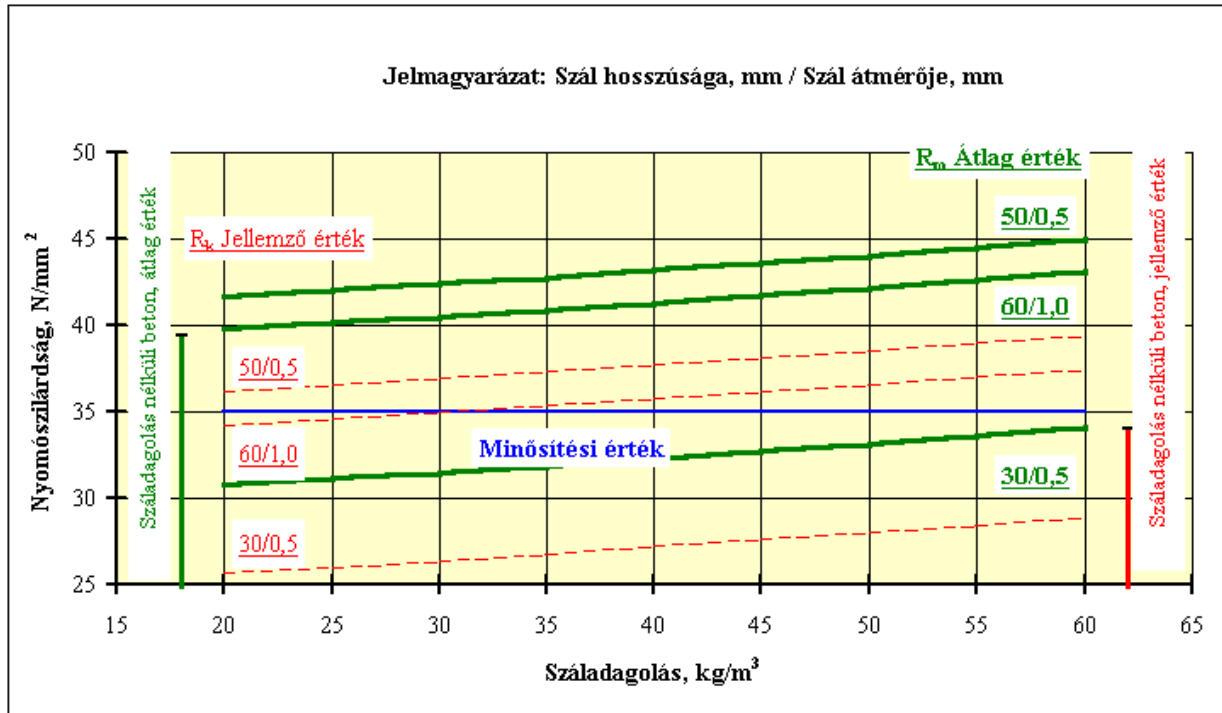
| | | | |
|--|--|---|--|
| Szabvány vagy műszaki előírás jele | JSCE-SF2 és JSCE-SF5 | DBV-Merkblatt Anhang A | UNE 83-504, UNE 83-505, UNE 83-506, UNE 83-507, UNE 83-508 |
| Próbatest alakja | Henger | Henger vagy kocka, excentrikus terhelés esetén fejkiképzésű henger | Henger |
| Próbatest arányok és méretek | Magasság az átmérő kétszerese. Ha a szálhosszúság meghaladja a 40 mm-t, akkor az átmérő 150 mm, ha nem haladja meg, akkor 100 mm | Központos terhelés esetén a henger átmérője 150 mm, magassága 300 mm, a kocka mérete 150 mm. Excentrikus terhelés esetében a magasság (750 mm) az átmérő (250 mm) háromszorosa | Legkisebb mérete legalább $3 \cdot d_{\max}$ illetve a szálhosszúság kétszerese. Átmérő 150 mm, magasság 300 mm. Fúrt minta esetén az átmérő legalább 100 mm, a magasság az átmérő kétszerese, esetleg az átmérővel azonos érték |
| Nyomott felület kialakítása | Ha kizsaluzás előtt történik, akkor anyaga 2 órás cementpép. Ha kizsaluzás után történik, akkor anyaga hevített kénhabarcs vagy gipsz vagy gipszes cementpép | | Hevített kénhabarcs |
| Alakváltozás mérés | A henger magasságának felében kell mérni, de a mérés nem kötelező | Csak hengeren végezhető, a henger magasságának felében kell mérni | A henger magasságának felében kell mérni |
| Terhelés növelésének sebessége | 0,2 - 0,3 N/mm ² másodpercenként | | Nyomószilárdság mérés esetén: 0,3 - 0,7 N/mm ² másodpercenként |
| Alakváltozás-vezérelt terhelés növelés | Ajánlott | 0,2 mm elmozdulás percenként | Alakváltozás mérés esetén: 0,1 - 0,3 mm elmozdulás percenként |
| Terhelés | Központos | Központos vagy kis excentricitású vagy normális excentricitású | Központos |
| Számított eredmény | Nyomószilárdság, σ - ε görbe, nyomási munka (görbe alatti terület $\varepsilon = 0-0,75$ % abszcissa értékek között), nyomószívóssági tényező (fajlagos nyomási munka) | Nyomószilárdság, rugalmassági modulus, σ - ε görbe | Nyomószilárdság, σ - ε görbe, nyomási munka (görbe alatti terület $\varepsilon = 0-0,75$ % abszcissa értékek között) |

Megjegyzés: A száladagolás a beton nyomószilárdságára kisebb hatással van, mint a hajlító-húzószilárdságra illetve a hajlító-húzószívósságra, szabatos vizsgálata mégis fontos, hiszen a szálerősítésű beton nyomószilárdsági osztályának meghatározása mindig elvégzendő feladat.

Példaképpen az OTKA T 007382 sz. kutatás keretében mért nyomószilárdsági függvényeket mutatunk be a 3. és a 4. ábrán.



3. ábra: $\Phi 150 \times 300$ mm méretű próbahengeren mért nyomószilárdság C 20 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{max} = 16$ mm mellett



4. ábra: Φ 150*300 mm méretű próbahengeren mért nyomószilárdság C 35 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{\max} = 16$ mm mellett

7. HAJLÍTÓ-HÚZÓVIZSGÁLAT HARMADPONTOS TERHELÉSEL

Feldolgozott szabványok és műszaki előírások: NBN B 15-238, AFNOR P 18-409, JSCE-SF2, JSCE-SF4, DBV-Merkblatt:1991, DBV-Merkblatt:09.92, DBV-Merkblatt: Anhang A, Vorläufige Richtlinien:1985, UNE 83-504, UNE 83-509, UNE 83-510, ASTM C 1018

4. táblázat: A hajlító-húzószilárdság vizsgálatok rendje

| Szabvány vagy műszaki előírás jele | NBN B 15-238 | AFNOR P 18-409 | JSCE-SF2 JSCE-SF4 | DBV- Merkblatt:1991 és 09.92 és Anhang A | UNE 83-504, UNE 83-509, UNE 83-510 | ASTM C 1018 |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Próbagerenda arányok és méretek | 150*150*600 mm | 140*140*560 mm | Ha a szál-hosszúság meghaladja a 40 mm-t, akkor 150*150*530 mm, ha nem haladja meg, akkor 100*100*380 mm | 150*150*700 mm (Vorläufige Richtlinien: 1985 szerint a hajlító-húzószilárdságot 350* 100*10 mm méretű lemezen kell vizsgálni) | 150*150*600 mm és 100*100*400 mm. A gerenda legkisebb mérete nem lehet kisebb, mint a szál hosszának kétszerese | 100*100*350 mm |
| Támaszköz, l | 450 mm | 420 mm | 450 mm vagy 300 mm | 600 mm | | 300 mm |
| Lehajlás mérés | Fesztáv közepén, a semleges vonaltól, legalább 1/150 mm lehajlásig | Fesztáv közepén, a semleges vonaltól, legalább 3 mm lehajlásig | Fesztáv közepén, a semleges vonaltól, legalább 1/150 mm lehajlásig | Fesztáv közepén, a semleges vonaltól, 1/150 mm lehajlásig | | A terhelő fejnél méri és a támaszok elmozdulását korrigálja. Az első repedési lehajlás 5,5-szöröséig |
| Terhelés növelés hajlító-húzószilárdság méréshez | | | | | 0,8-1,2 N/mm ² percnként | |
| Lehajlás- vezérelt terhelés növelés | 0,03-0,11 mm/perc, amely 0,5 mm felett 0,3-0,7 mm/perc értékre növelhető | 0,22-0,28 mm/perc között | 1/1500 és 1/3000 mm/perc között | Max. 0,5 mm/perc | 1/1500 és 1/3000 mm/perc között | 0,05-0,10 mm/perc, de a vizsgálat végén ennek csak 0,87-szerese |
| Hajlítási szívósság, [N*mm] | Terhelés-lehajlás görbe alatti terület, a terhelés kezdetétől adott l/n lehajlásig | | Terhelés-lehajlás görbe alatti terület, a terhelés kezdetétől adott l/n= 1/150 mm lehajlásig | Terhelés-lehajlás görbe alatti terület, a terhelés kezdetétől adott l/n = 1/150 mm lehajlásig | Terhelés-lehajlás görbe alatti terület, a terhelés kezdetétől adott l/n = 1/150 mm lehajlásig | Terhelés-lehajlás görbe alatti terület, a terhelés kezdetétől adott l/n lehajlásig és az első repedéshez tartozó terület hányadosa |

| | | | | | | |
|----------------------------------|--|--|--|---|---|--|
| Relatív hajlítási szívósság, [-] | Adott l/n lehajlást okozó teher és az első repedést okozó teher hányadosa | Adott l/n lehajlást okozó teher és az első repedést okozó teher hányadosa | | Ismeri az egyenértékű hajlító-húzószilárdság fogalmát, amit a megrepedt kereszt-metszetre vonatkoztat | Hajlítási szívósság osztva a terhelés-lehajlási görbén az első repedéshez tartozó görbe alatti területtel | |
| Számított eredmény | A hagyományos és legnagyobb hajlító-húzószilárdság, a hajlító-húzófeszültség az első repedésnél, a hajlítási szívósság jellemzői | A hagyományos és legnagyobb hajlító-húzószilárdság, a hajlító-húzófeszültség az első repedésnél, a relatív hajlítási szívósság | A legnagyobb hajlító-húzószilárdság, a hajlítási szívósság | A legnagyobb hajlító-húzószilárdság, az egyenértékű hajlító-húzószilárdság, a hajlítási szívósság | A hajlító-húzószilárdság, az első repedéshez tartozó feszültség, a hajlítási szívósság, a relatív hajlítási szívósság | A hagyományos és legnagyobb hajlító-húzószilárdság, a hajlító-húzófeszültség az első repedésnél, a hajlítási szívósság |

Megjegyzés: A szálerősítésű beton hajlító-húzóvizsgálata több érdekes feltételt tartalmaz.

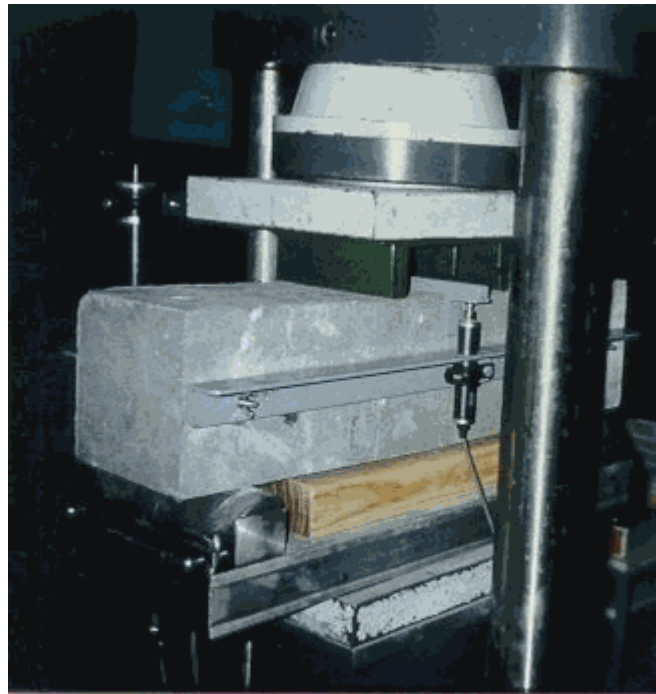
Fontos előírás, hogy a lehajlást a semleges tengelyhez képest kell mérni. A próbagerenda két oldalán elhelyezkedő egy-egy érzékelő a próbagerenda támaszvonalai és a geometriai hossz tengely metszéspontjában lévő csapokon felfekvő acélpálcákon - mint elmozdulás mentes alapvonalakon - ül, az elmozdulás érzékelő tük pedig a próbagerenda tetejére erősített, azzal együtt lehajló konzolokra támaszkodnak (5. ábra).

Követelmény a lehajlás-vezérelt terhelés növelés, amelyet hagyományos szilárdságvizsgáló gépekkel is meg lehet oldani úgy, hogy a szilárdságvizsgáló géphez csatlakoztatott számítógép a lehajlás érzékelőjének jelét feldolgozva vezérli a hidraulikát. A szabványok a lehajlások megkövetelt értékét az idő függvényében adják meg. Legsúlyosabb korlátokat az AFNOR, legtágabbakat az NBN szab meg (6. ábra).

A számítógép csak olyan idő intervallumokban adhat vezérlési utasítást, amelyek elég ritkák ahhoz, hogy a szilárdságvizsgáló gép hidraulikája és mechanikája azokat követni tudja. A gép tehetetlensége folytán nagyobb lehajlásokkor előfordul, hogy a terhelőerő igen erősen visszaesik, hogy a rendszer a lehajlás-vezérelt terhelés növelés követelményének megfelelhessen. Ez tulajdonképpen az első repedés fellépését követően megjelenő ún. "parazita jelenség", amelynek kezeléséről a szabványok külön intézkednek. Az OTKA T 007382 sz. kutatás keretében felvett erő-lehajlás, erő-idő, lehajlás-idő görbékre az 7.-12. ábrákon mutatunk be példát. A "parazita jelenség" fellépte esetleges, így míg az 7.-9. ábrákon határozottan megjelenik, addig a 10.-12. ábrákon nem lehet észlelni.

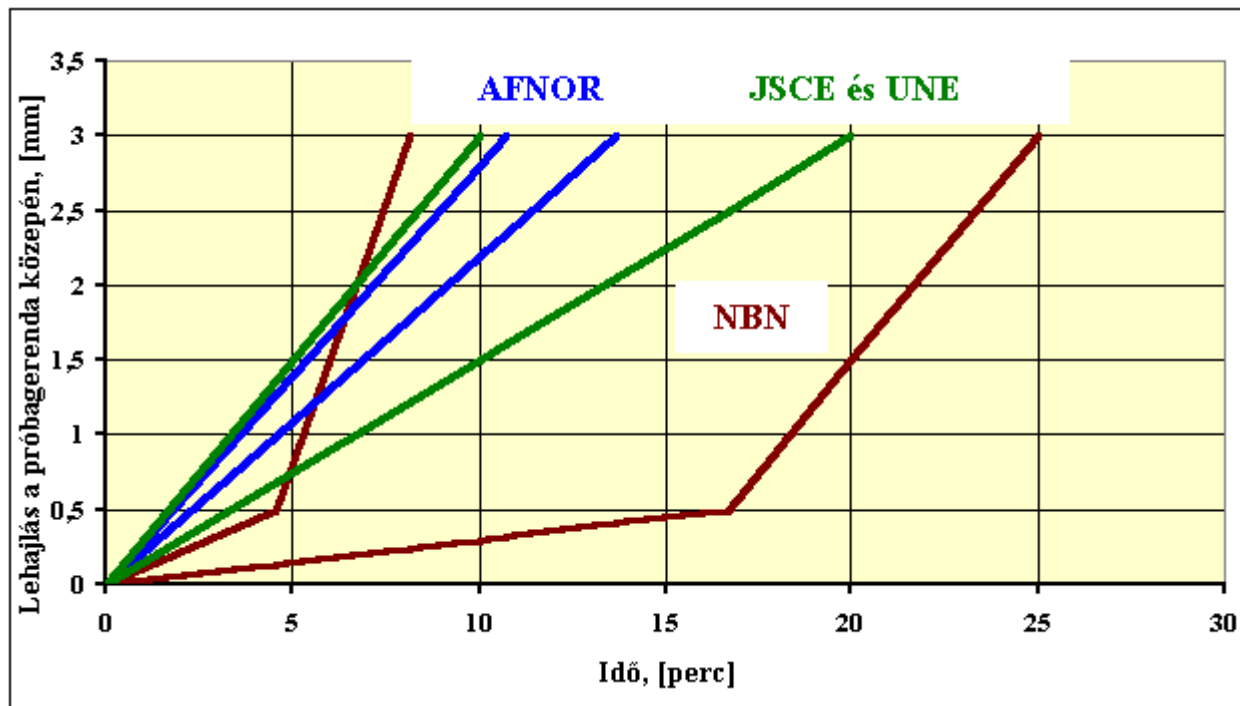
A szálerősítés nélküli betonok vizsgálatához képest újszerű a mérési eredmények értékelés módja, a hajlítási szívósság fogalma, számítása, és felhasználásával ok-okozati összefüggések keresése. A 13. és 14. ábrán ugyancsak az OTKA T 007382 sz. kutatás keretében felírt hajlítási szívósság összefüggések láthatók. A hajlító vizsgálat és a hajlítási szívósság fogalmkörét külön "noteszslapon" elemezzük.

A hajlítási szívósság mérése mutat rá arra, hogy a szálerősítésű beton a beton megrepedését követően a terhek további hordására képes, szívósan és képlékenyen viselkedik, szemben a szálerősítés nélküli betonnal, amely ridegen törik, és képlékeny alakváltozási tartománnyal nem rendelkezik.

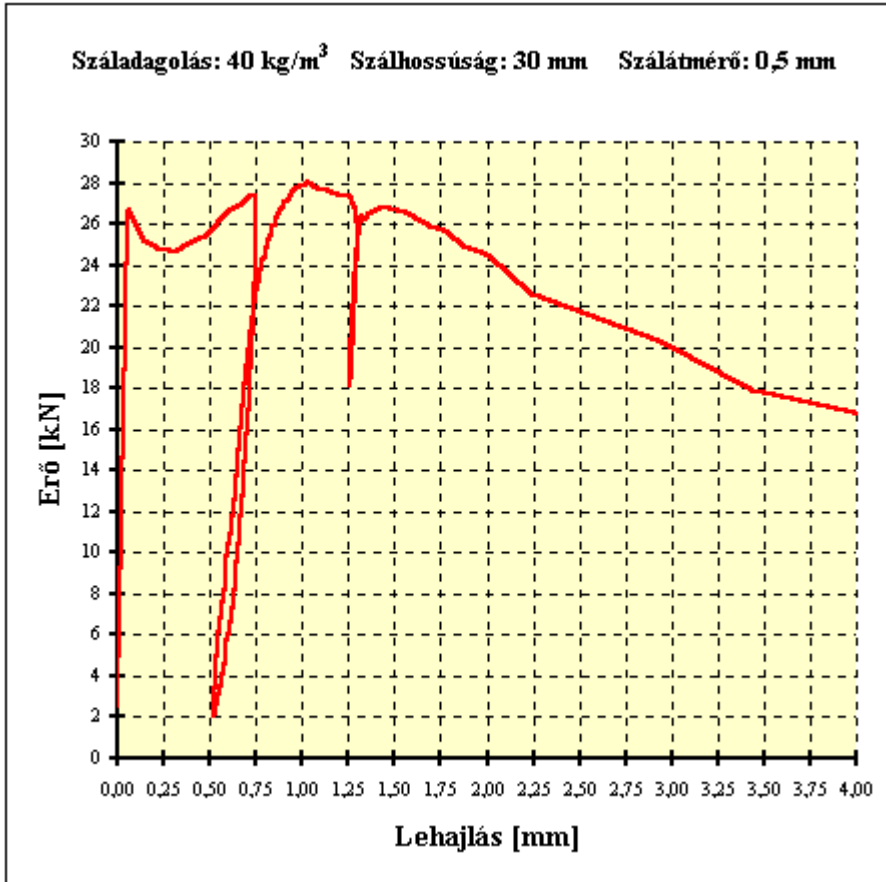


Hajlító-húzószilárdság vizsgálat
elrendezése szálerősítésű beton
szívósság mérése során.
Dramix-beton kísérlet, 1993.

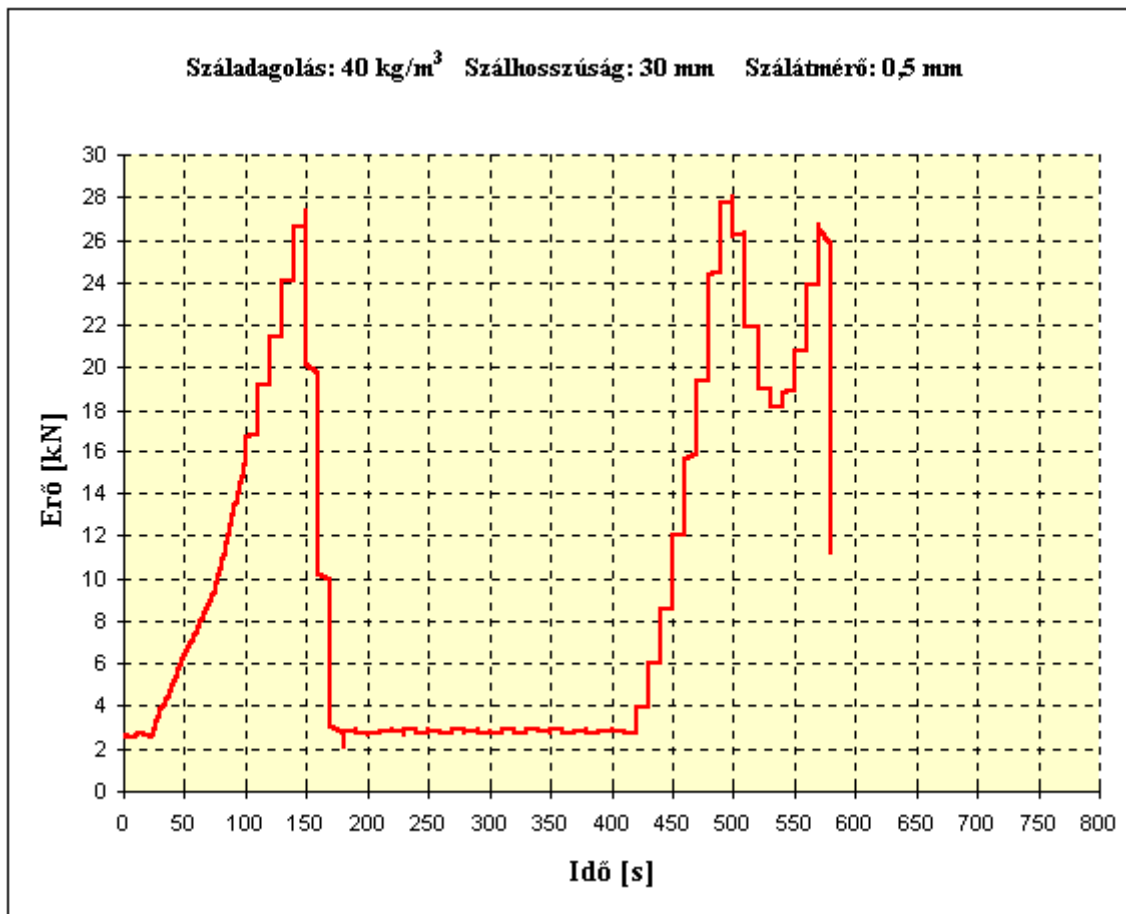
5. ábra: A lehajlás mérés elrendezése



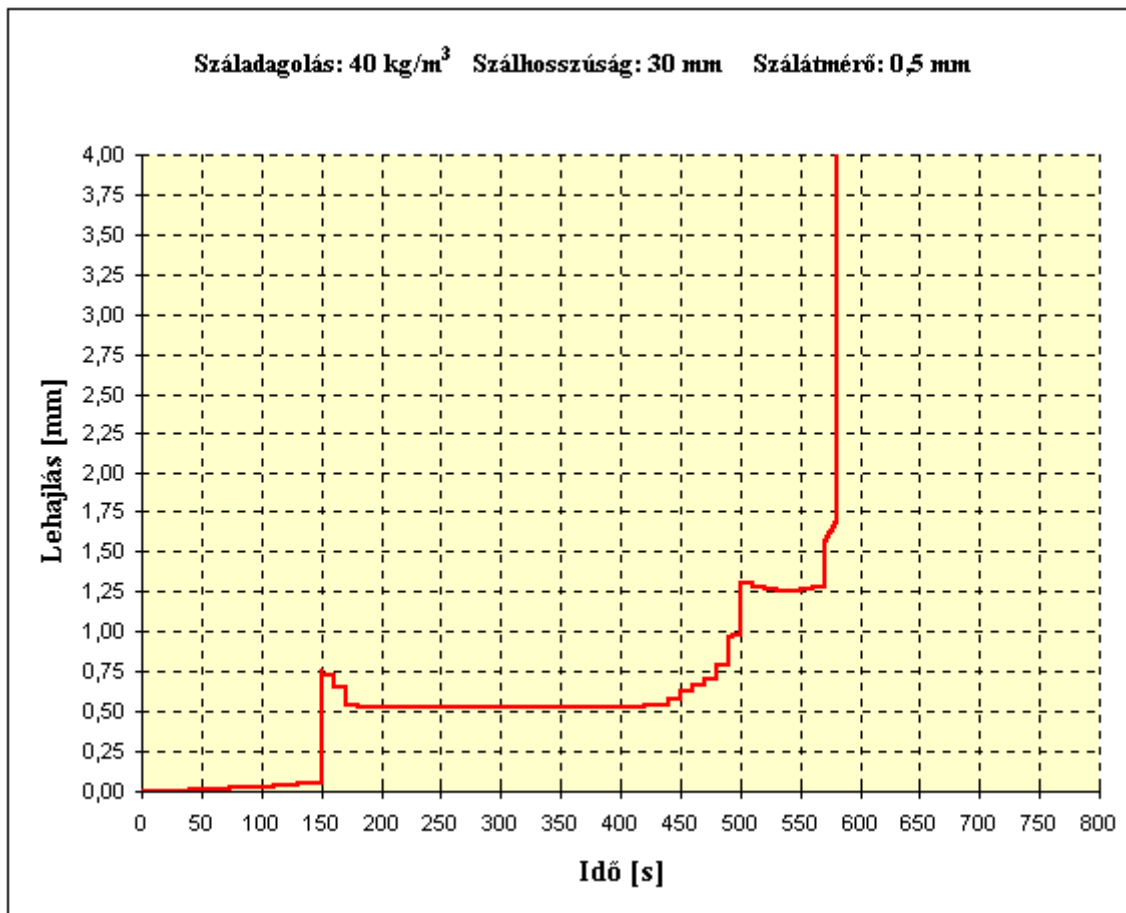
6. ábra: A próbagerenda előírt lehajlása a lehajlás-vezérelt terhelőerő hatására, az idő függvényében



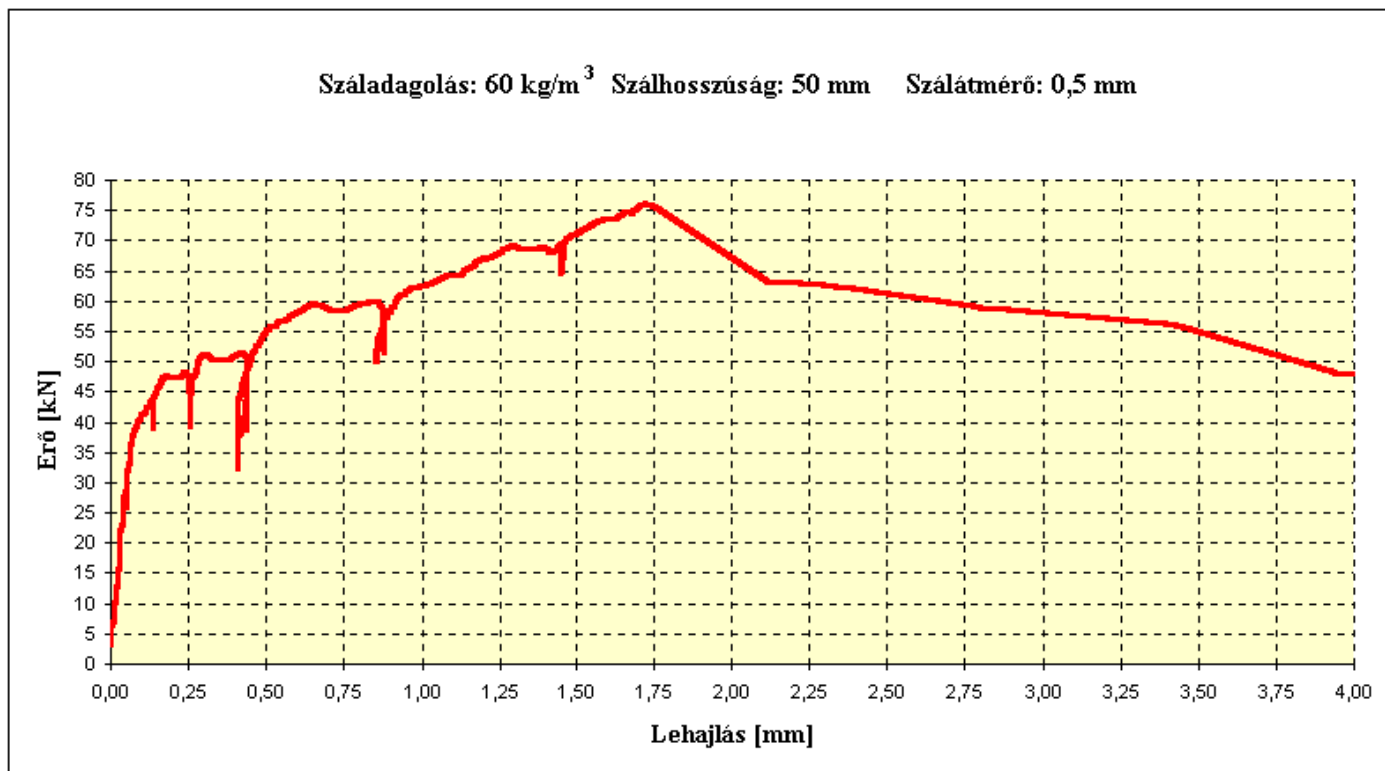
7. ábra: Hajlított próbagerenda erő-lehajlás diagramja, C 20 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{\max} = 16$ mm mellett



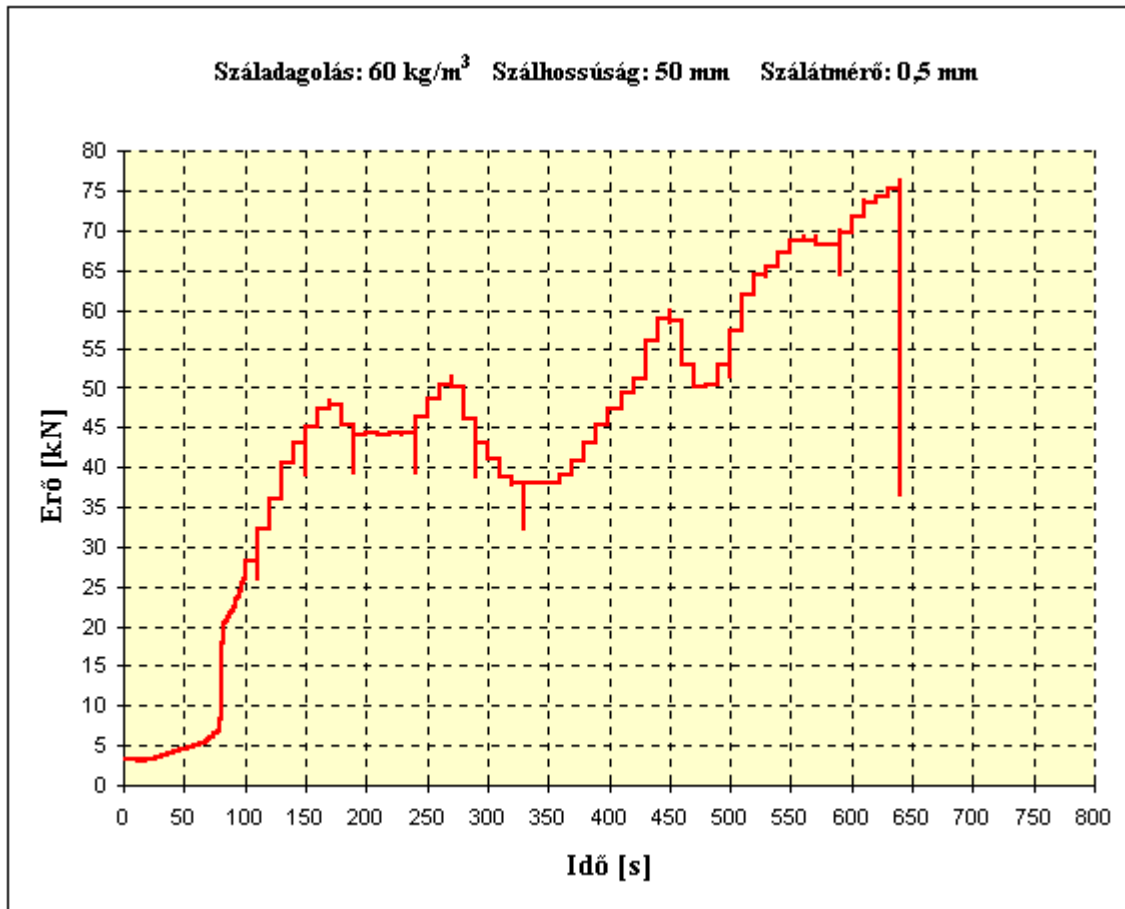
8. ábra: Hajlított próbagerenda erő-idő diagramja C 20 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{\max} = 16$ mm mellett



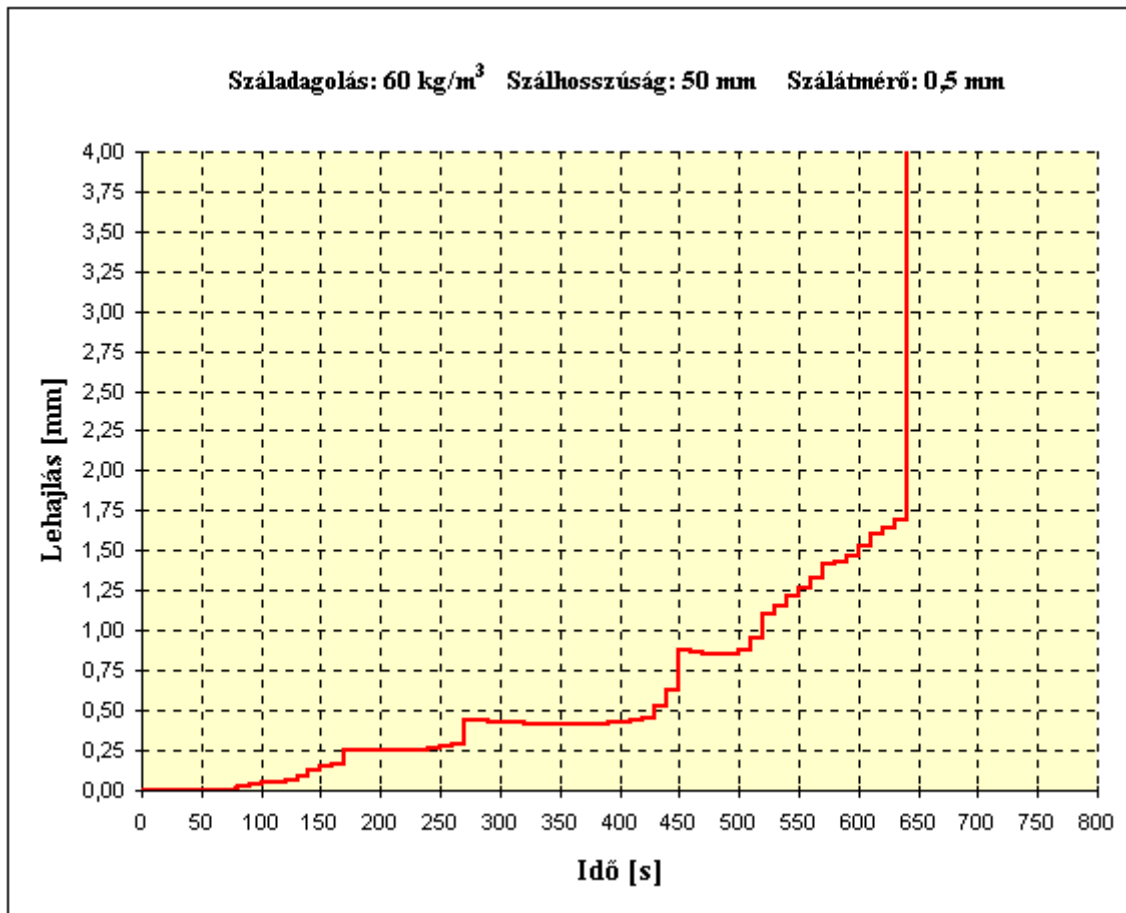
9. ábra: Hajlított próbagerenda lehajlás-idő diagramja C 20 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{\max} = 16$ mm mellett



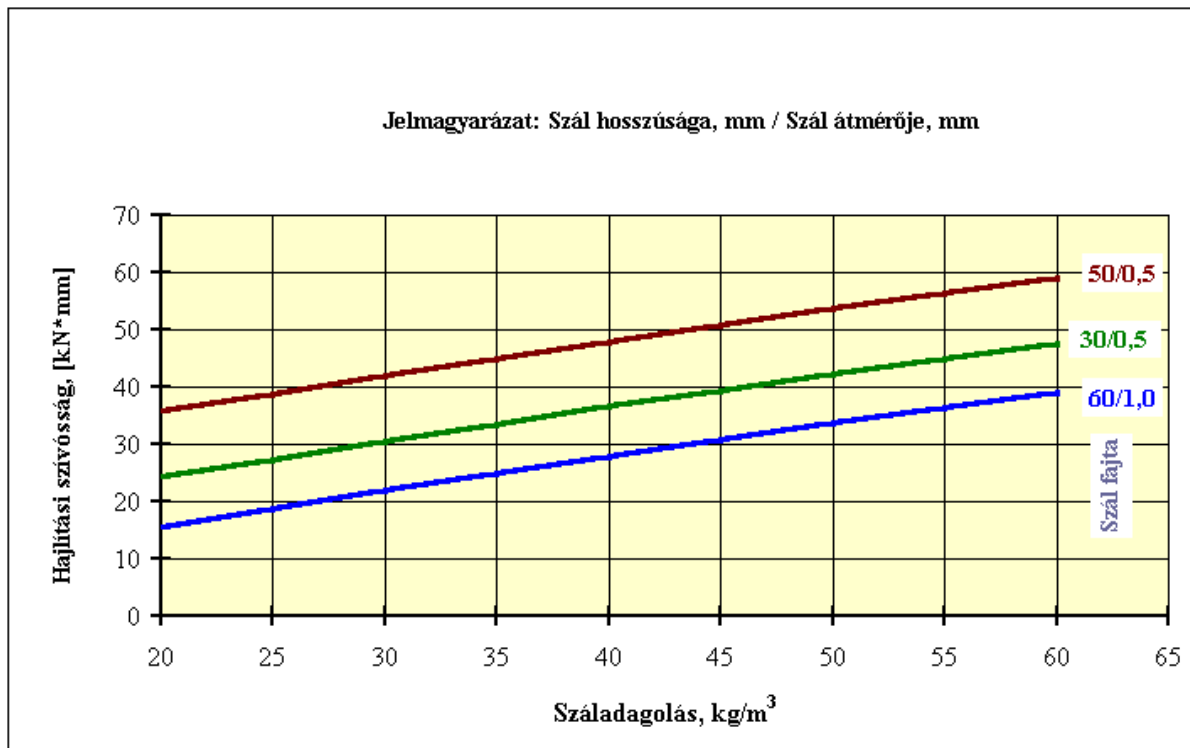
10. ábra: Hajlított próbagerenda erő-lehajlás diagramja C 35 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{\max} = 16 \text{ mm}$ mellett



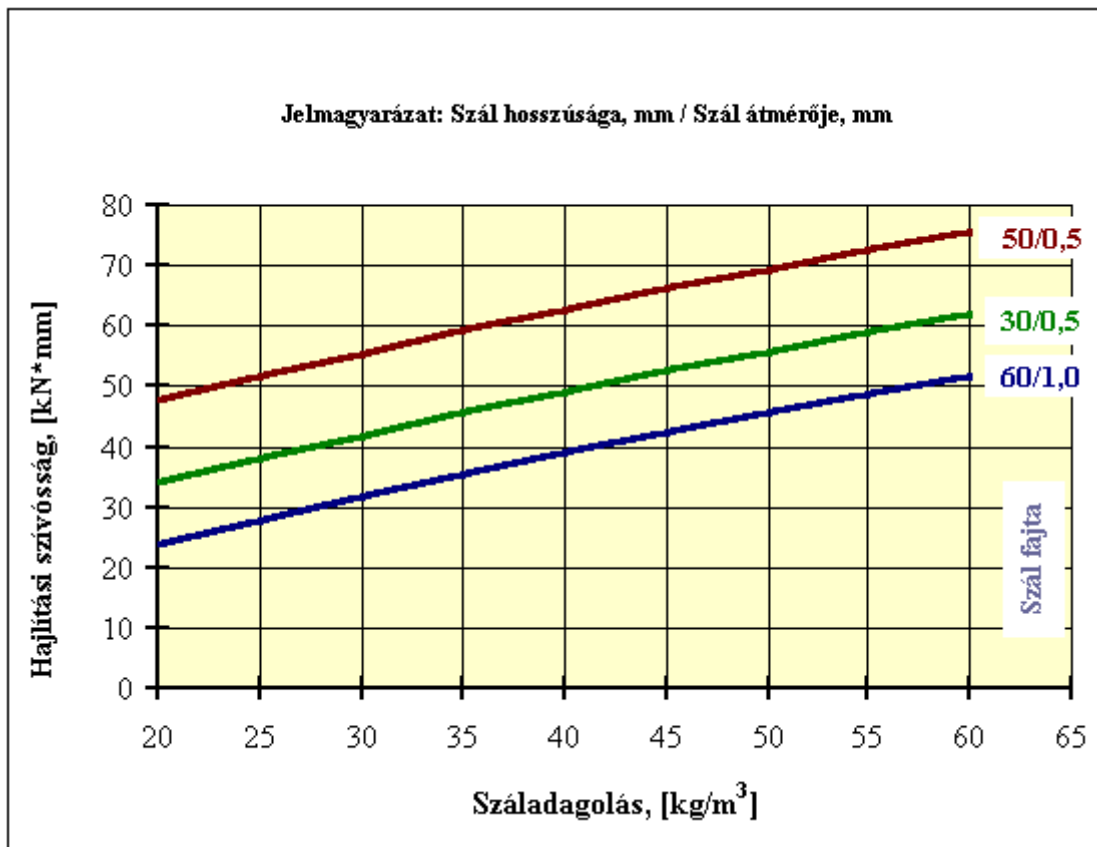
11. ábra: Hajlított próbagerenda erő-idő diagramja C 35 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{\max} = 16 \text{ mm}$ mellett



12. ábra: Hajlított próbagerenda lehajlás-idő diagramja C 35 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{\max} = 16 \text{ mm}$ mellett



13. ábra: 150*150*600 mm méretű próbagerendán mért hajlítási szívósság C 20 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{\max} = 16$ mm mellett, 1,5 mm lehajlási határértéknél



14. ábra: 150*150*600 mm méretű próbagerendán mért hajlítási szívósság C 35 nyomószilárdsági osztályú referencia beton és hajlított végű Dramix szálak alkalmazásával, $d_{max} = 16$ mm mellett, 1,5 mm lehajlási határértéknél

8. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A szálerősítésű betonok fejlesztését laboratóriumi kísérletek, alkalmazását laboratóriumi és építéshelyi vizsgálatok nélkül megvalósítani nem lehet. Minthogy azonban a szálerősítésű betonok tulajdonságai több vonatkozásban is eltérnek a hagyományos, szálát nem tartalmazó betonok tulajdonságaitól, vizsgálati módszereik is sajátosak és a technológia térhódításával kölcsönhatásban fejlődnek. Azon vizsgálati módszerek, amelyek végrehajtásában megállapodás születik, szabvány vagy műszaki előírás alakjában öltenek testet. Ezek a műszaki színvonalat is tükrözik, hiszen nemcsak a vizsgálatok módjáról, hanem a szálerősítésű betonok tulajdonságairól is szólnak és az anyagtani követelményektől sem vonatkoztatnak el. A szálerősítésű betonok vizsgálatának egységesítése, az anyagtól várt teljesítőképesség megfogalmazása hazánkban rendkívül időszerű, ezért nyolc nemzet 39 szabványának, műszaki előírásának tanulmányozásával és népszerűsítésével a feladat megoldásához kívántunk hozzájárulni. E munka közben a következő megállapításokra jutottunk.

- A.) A feldolgozott szabványok és műszaki előírások sok hasonló módon végzendő vizsgálatot írnak le, amelyek alapján a legfontosabb eljárások hazai szabványosítása megoldható lenne. Ezek tulajdonképpen azok a vizsgálatok, amelyeket elemeztünk: a szálak teljesítőképességének, a konzisztenciának, a nyomószilárdságnak, a hajlító-húzási tulajdonságoknak a vizsgálata. A várható vizsgálati nehézségek nemcsak a szálerősítésű beton vizsgálatával kapcsolatosak: például a nyomóvizsgálati hengerek nyomott felületének hevített kénhabarcsos kellősítésében, a próbatesten mért alakváltozás illetve lehajlás által vezérelt terhelés növelésben nem nagyon van gyakorlatunk.
- B.) A szálerősítésű betonnak nincs minősítő szabványa, nincs jele. Az MSZ 4719-82 hatálya nem terjed ki a szálerősítésű betonra, csak a szálát befogadó betonra. A szálát befogadó beton az építmény szempontjából azonban csak félkész keverék, amelynek minősítésénél nem szabad megállni, azt ki kell terjeszteni a beépítésre kerülő készkeverékre, a szálerősítésű betonra is. Ezért elkerülhetetlen annak megfogalmazása, hogy mit értünk a szálerősítésű beton konzisztenciáján és nyomószilárdságán. Fontos a hajlító-húzószilárdság és szívósság fogalmának és vizsgálatának körülírása is, hiszen a szálerősítésű betont épp olyan területeken alkalmazzák, amelyek a húzások szempontjából kényesek. Ennek a követelménynek az érvényesítésében az útépítő betontechnológusok élen járnak.
- C.) Vannak a feldolgozott szabványoknak olyan fejezetei is, amelyek nem elhanyagolhatók, de elemzésükre jelen dolgozatban nem kerülhetett sor: a szálak alak, szakítószilárdság, korrózióállóság szerinti vizsgálata, a száltartalom meghatározása, a szálerősítésű beton próbatest elkészítése, tömörítése, a szilárdságvizsgálat során az első repedést követően fellépő pontatlanságok ("parazita jelenség") kezelése az alakváltozási vagy lehajlási diagramon, a nyírószilárdság vizsgálata, a lemez alakú próbatestek átszűrődés vizsgálata, korong alakú próbatestek ütésállóság vizsgálata, excentrikus nyomóvizsgálat, stb.
- D.) A szabványok tanulmányozásával kikristályosodott vizsgálatok, de nem feltétlenül végleges nézetek ismerhetők meg. A fejlődés legújabb eredményei a friss irodalomban olvashatók, amelyek a szabványok korszerűségének ellenőrzésére is alkalmasak.
- E.) A feldolgozott területre vonatkozó európai vagy nemzetközi szabályozásról nincs tudomásunk, az Eurocode-2, az ENV 206 dokumentumok e kérdést nem érintik. A helyzet a jövőben bizonyára változni fog, nem rég értesültünk arról, hogy például az üvegszál erősítésű előregyártott betontermékek európai vizsgálati szabványsorozata (EN 1170) már kidolgozás alatt áll.

9. HIVATKOZÁSOK

9.1. SZABVÁNYOK ÉS MŰSZAKI ELŐÍRÁSOK

9.1.1. Magyar szabványok

| | |
|----------------|---|
| MSZ 15450/3-82 | Beton és vasbeton termékek csatornaépítéshez. Körszelvényű acélhajbeton-cső bekötőcsonkkal |
| MSZ 15450/5-82 | Beton és vasbeton termékek csatornaépítéshez. Körszelvényű acélhajbeton cső |
| MI-04.117-79 | Acélhajbeton építőipari alkalmazása |
| MI-04-155-1990 | Vagdalt polipropilénszál erősítésű beton és homokbeton |

9.1.2. Belga szabványok

| | |
|-------------------|--|
| NBN B 15-238:1992 | Proeven op vezilversterkt beton - Bugproef op prismatische proefstukken |
| | Szálerősítésű beton vizsgálata - Hajlítási vizsgálat hasáb alakú próbatesten |
| NBN B 15-239:1992 | Karakterisering van staalvezels op basis van de conventionele buigtreksterkte |
| | Acélszálak jellemzése hagyományos hajlító- húzószilárdság alapján |

9.1.3. Francia szabvány és műszaki előírás

| | |
|-------------------------|---|
| AFNOR P 18-409:1993 | Béton avec fibres métalliques. Essai de flexion Szálerősítésű beton. Hajlítási vizsgálat |
| S.N.C.F. Ref. 5876:1989 | Région de Toulouse. Tunnel de Grand Mergieux. Travaux de confortement de l'ouvrage. Cahier des Prescriptions Speciales (CPS) Francia Államvasutak, Toulouse-i Körzet. Grand Mergieux alagút. Műtárgy átalakítási munkák. Különleges előírások füzete |

9.1.4. Japán műszaki előírások

| | |
|---------------|---|
| JSCE-SF1:1984 | Method of making steel fiber reinforced concrete in the laboratory Acélszálerősítésű betonok készítése laboratóriumban |
| JSCE-SF2:1984 | Method of making specimens for strength and toughness tests of steel fiber reinforced concrete Próbatestek készítése acélszálerősítésű betonok szilárdsági és szívóssági vizsgálatához |
| JSCE-SF3:1984 | Method of making specimens for strength and toughness tests of shotcreted steel fiber reinforced concrete Próbatestek készítése acélszálerősítésű löttbetonok szilárdsági és szívóssági vizsgálatához |
| JSCE-SF4:1984 | Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete Acélszálerősítésű betonok hajlító-szilárdságának és hajlítási szívósságának vizsgálata |

| | |
|---------------|--|
| JSCE-SF5:1984 | Method of tests for compressive strength and compressive toughness of steel fiber reinforced concrete Acélszálerősítésű betonok nyomószilárdságának és nyomási szívósságának vizsgálata |
| JSCE-SF6:1984 | Method of tests for shear strength of steel fiber reinforced concrete Acélszálerősítésű betonok nyírószilárdságának vizsgálata |
| JSCE-SF7:1984 | Method of tests for fiber content of steel fiber reinforced concrete Acélszálerősítésű betonok száltartalmának meghatározása |

9.1.5. Német műszaki előírások

| | |
|----------------------------|--|
| DBV-Merkblatt:1991 | Grundlagen zur Bemessung von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton Acélszálerősítésű betonból készített ipari padlóburkolat méretezésének alapjai |
| DBV-Merkblatt:1992. Aug. | Technologie des Stahlfaserbetons- und Stahlfaserspritzbetons Az acélszálerősítésű beton és lőttbeton technológiája |
| DBV-Merkblatt:1992. Sept. | Bemessungsgrundlagen für Stahlfaserbeton im Tunnelbau Az alagútépítési acélszálerősítésű beton méretezésének alapjai |
| DBV-Merkblatt. Anhang:1992 | Anhang A. Empfehlungen für Einzelprüfungen A. független. Ajánlások egyedi vizsgálatokhoz Anhang B. Empfehlungen für Einstufungs-, Eignungs- und Güteprüfungen B. független. Ajánlások besorolási, alkalmassági és minőségi vizsgálatokhoz |

Vorläufige Richtlinien:1985 Vorläufige Richtlinien für die Prüfung und Güteüberwachung von Erzeugnissen aus Faserbeton
Előzetes irányelvek a szálerősítésű beton termékek vizsgálatához és minőségellenőrzéséhez

9.1.6. Osztrák szabvány

ÖNORM B 5073:1989 Stahlfaserbetonrohre und zugehörige Formstücke. Anforderungen, Prüfung und Gütesicherung
Acélszálerősítésű betonból készült csövek és idomdarabok. Követelmények, vizsgálatok és minőségbiztosítás

9.1.7. Spanyol szabványok

UNE 83-500-89
Parte 1 Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Clasificación y definiciones. Parte 1. Fibras de acero para el refuerzo de hormigones
Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Osztályozás és meghatározások. 1. rész. Acélszálak a betonok megerősítésére

UNE 83-500-89
Parte 2 Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Clasificación y definiciones. Parte 2. Fibras de polipropileno para el refuerzo de hormigones
Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Osztályozás és meghatározások 2. rész. Polipropilén szálak a betonok megerősítésére

UNE 83-501-86 Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Toma de muestras de hormigon fresco
Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. A beton mintavétele

UNE 83-502-88 Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Fabricación en laboratorio
Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Laboratóriumi betonkeverés

UNE 83-503-88 Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Medida de docilidad por medio del cono invertido
Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Konzisztencia fordított tölcserrel mérve

| | |
|---------------|--|
| UNE 83-504-90 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Fabricación de probetas para los ensayos de laboratorio. |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Próbatestek készítése laboratóriumi vizsgálatra |
| UNE 83-505-86 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Extraccion y conservacion de probetas testigo |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Próbatestek kifűrása és tárolása |
| UNE 83-506-86 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Refrentado de probetas con mortero de azufre |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Próbatestek homloklfelületének kialakítása kénhabarccsal |
| UNE 83-507-86 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Rotura por compresión |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Nyomószilárdság vizsgálat |
| UNE 83-508-90 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. |
| | Determinación del índice de tenacidad a. compresión |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Nyomási munka meghatározása |
| UNE 83-509-88 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. |
| | Rotura por flexotraccion |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Hajlító-húzószilárdság vizsgálat |
| UNE 83-510-89 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Determinación del índice de tenacidad de resistencia a primera fisura |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Az első repedés szívóssági ellenállási együtthatójának meghatározása (hajlító-húzószilárdság) |
| UNE 83-511-89 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Determinación de la. resistencia a cortante |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Nyírószilárdság meghatározása |

| | |
|---------------|--|
| UNE 83-512-89 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Parte I. Determinación del contenido de fibras de acero |
| Parte 1 | Acél és/vagy polipropilén. szállal erősített betonok. 1. rész. Acélszál tartalom meghatározása |
| UNE 83-514-90 | Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno. Determinación de la resistencia. Al impacto |
| | Acél és/vagy polipropilén szállal erősített betonok. Ütési mérték meghatározása. Kísérlet |

9.1.8. USA szabványok

| | |
|----------------|--|
| ASTM A 820-90 | Standard Specification for Steel Fibers for Fiber Reinforced Concrete Szabványos előírások a betonba kerülő acélszálakról |
| ASTM C 995-91 | Standard Test Method for Time of Flow of Fiber-Reinforced Concrete Through Inverted Slump Cone Szabványos vizsgálati módszer szálerősítésű beton fordított ejtő kúpon való átfolyási idejének meghatározására |
| ASTM C 1018-89 | Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete. (Using Beam With Third-Point Loading) Szabványos vizsgálati módszer szálerősítésű betonok hajlítási szívósságának és első repedési szilárdságának meghatározására. (Harmadponton terhelt gerenda felhasználásával) |

9.2. IRODALOM

| | |
|--------------------------------|---|
| Balázs L. Gy. szerkesztésében: | Szálerősítésű Betonok - a kutatástól az alkalmazásig -. A <i>fib</i> Magyar Tagozata által rendezett konferencia kiadványa. Budapest, 1999. március 4.-5. |
| Dombi J.: | Acélszál-erősítésű nagy átmérőjű SIOME betoncsövek teherbírása. SZIKKTI 50. sz. tudományos közleménye, Budapest, 1976. |
| Kausay T.: | Acélhuzal-szálerősítésű betonok tulajdonságai és teherbírása. I. rész. Építőanyag. 46. évf. 1994. 6. szám. pp. 166-173. |

- Kausay T.: Acélhuzal-szálerősítésű betonok tulajdonságai és teherbírása. OTKA T- 007382 sz. kutatási téma. Zárójelentés, 1996.
- Nemegeer, D. E. - Teutsch, M.: Möglichkeiten und Anwendungsgebiete des Stahlfaserbetons. Betonwerk + Fertigteil-Technik. Jg. 59. 1993. Heft 11. pp. 74-80.
- Szabó I.: Acélhajbeton. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1976.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző köszönetet mond az **Országos Tudományos Kutatási Alapnak**, hogy a munkára lehetőséget biztosított, **Dr. Dulácska Endre** professzor úrnak, a műszaki tudományok doktorának (*Budapesti Műszaki Egyetem*) az együttműködésért, **Jef Verbaeys** (*Bekaert GmbH Austria*) és **Dr. Dirk E. Nemegeer** (*N. V. Bekaert S.A. Zwevegem, Belgium*) uraknak önzetlen tanácsaikért, és **minden kollégájának**, akik a kutatás megvalósításában segítségére voltak.





 **BEKAERT**

Dramix®



Vissza a

[Noteszlapok abc-ben](#)

[Noteszlapok tematikusan](#)



tartalomjegyzékhez