

Szintetikus szálak hatása a betonok korai zsugorodási repedésérzékenységére

DR. JUHÁSZ KÁROLY PÉTER TARTÓSZERKEZETI VEZETŐ TERVEZŐ, SZAKÉRTŐ, LABORVEZETŐ, JKP STATIC CONCRETE LABORATORY

SCHAUL PÉTER TARTÓSZERKEZETI TERVEZŐ, JKP STATIC KFT.

1. Bevezetés

A betonba kevert szintetikus szálak egyik fő alkalmazása a beton korai zsugorodásából keletkező repedések kialakulásának megakadályozása, ezzel a beton tartósságának növelése. A korai zsugorodások alatt a képlékeny, az autogén vagy alapszugorodást és a kezdeti száradási zsugorodást értjük. A képlékeny vagy kapilláris zsugorodás a felületközeli víz elpárolgásából, míg az autogén zsugorodás a cementpép hidratációjának folyamán lejátszódó térfogatváltozásból ered. A kezdeti száradási zsugorodás a kémiai kötésben részt nem vevő víz eltávozásából keletkezik.

Az iparban régóta használják a betonba kevert szintetikus szálakat ezen repedések kialakulásának megakadályozására, melynek egyik lehetséges mérésére a Richtlinie Faserbeton 2008 [1] osztrák irányelv ad javaslatot. Kutatásunkban hazai forgalomban levő mikro és makro szintetikus polipropilén és poliolefin anyagú szálak hatását vizsgáltuk.

2. A kísérlet bemutatása

Az osztrák Richtlinie Faserbeton 2008 (RF) irányelv a következő kísérleti módszert ajánlja a szintetikus szálak korai repedés-

gátló hatásának kimérésére. A kísérlet során gyűrű alakú próbatestet kell készíteni az 1. ábra szerint.

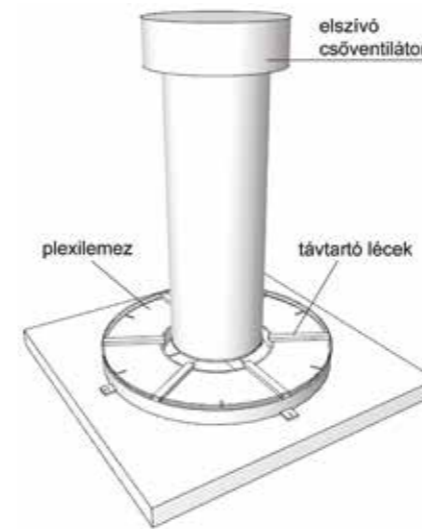
A próbatest zsaluzata egy külső és egy belső gyűrűből áll. Ezeket a gyűrűket bútorlapra kell rögzíteni, majd a zsaluzat alsó oldalát és a belső gyűrűt zsaluleválasztó olajjal kell bekenni. Ezt követően az alsó felületre egy réteg fóliát kell elhelyezni. A külső gyűrűnél az a célunk, hogy a beton minél jobban hozzátapadjon, ezt segíti a homokszórt felület és az acél fülek, melyek egyben feszültségcsúcsot alkotva segítenek elindítani a repedést. A beton beöntése és felületének simítása után a próbatestek szárítása következik. A szárítási folyamatot a bedolgozás után 15 percen belül meg kell kezdeni. Az irányelvben a gyűrűket egyenként kell ventilátorral szárítani egy függőleges alakú felépítmény segítségével, azonban ettől eltérünk a Fenyvesi disszertációjában [2] ajánlott módon (2. ábra). Az irányelv megad egy szükséges felületi szélességet (4 m/s), amelyet vízszintesen elhelyezett ventilátorral és egy szélcsatornával értünk el. A szél sebességét digitális szélességmérővel mértük a szélcsatornában.

Az irányelv beton receptúrákat is ajánl, amelyek víz/cement tényezője magas, biz-

tosítva a beton elemek nagy zsugorodási hajlamát és berepedési valószínűségét. A kísérlet előtt szálerősítés nélküli betonokat készítettünk különböző cementekkel, közülük a repedésre leginkább érzékeny receptúrákkal hoztuk létre a szálerősítésű próbatesteket. Az alkalmazott A és B jelű beton receptúrákat az 1. táblázatban mutatjuk be. A víz/cement tényező egységesen 0,65 volt. Az RF ajánlása alapján az adalékanyag legnagyobb szemcsemérete $d_{max}=16$ mm volt. A vizsgálatok előtt elvégzett próbák alapján a $d_{max}=16$ mm-es beton próbatesteken a repedések kialakulása igen csekély volt, így azt a korábbi kutatások [4] alapján a gyengébb szilárdsági paraméterekkel rendelkező és repedésre érzékenyebb $d_{max}=8$ mm-t alkalmaztunk. Az irányelvben meghatározott minimum 500 kg/m³ finomrész biztosítására a 0/4 frakcióhoz mészkölszitet adagoltunk.

Az alkalmazott betonokkal többféle szálerősítésű betont készítettünk. Minden kísérletben megalkottunk egy etalon próbatestet szálerősítés nélkül, ezekhez viszonyítottuk a szálak repedés-megnyílás csökkentő hatását. A szálakat és adagolásukat a 2. táblázatban és a 3. ábrán mutatjuk be, a kísérleti mátrixot a 3. táblázatban.

A vizsgálatok során az összes próbatesthez szükséges betonmennyiséget egy keveréssel állítottuk elő, biztosítva ezzel az alapbeton egységességét, majd a különböző szálakat ezt követően adagoltuk az alap mátrixhoz. A kísérlet során ügyeltünk arra, hogy a különböző betonokkal készülő próbatestek létrehozása között legfeljebb 10 perc teljen el. Egy szélcsatornában kettő darab gyűrű volt elhelyezve, összesen három szélcsatornában végeztük a vizsgálatokat párhuzamosan, azaz egy nap összesen 6 darab gyűrűt vizsgáltunk. Minden vizsgálatípust háromszor végeztünk el, majd az azonos vizsgálati típusok eredményeit összegeztük.



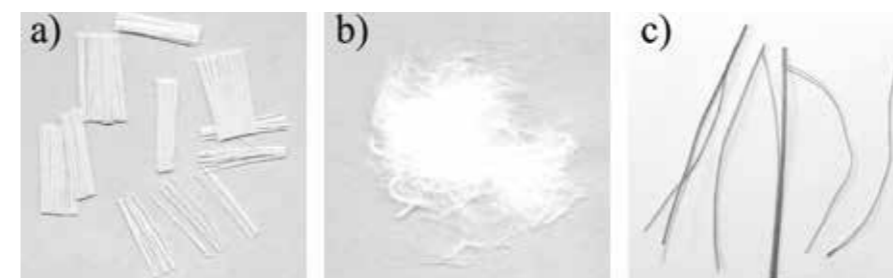
2. ábra. a) RF által ajánlott szárító elrendezés [3] b) Fenyvesi [2] által ajánlott szárító elrendezés

Beton jele	Cementtípus és adagolás (kg/m ³)	Víz (kg/m ³)	Adalékanyag (kg/m ³)	
			0/4	4/8
A	CEM I 52,5 N 390	253,5	1210	405
B	CEM III 32,5 R 390	253,5	1210	405

1. táblázat. Betonösszetételek

Szál jelölése	Típusa	Hossz (mm)	Anyaga	Rugalmassági modulus (GPa)
M1	mikro fibrillált	19	poliolefin	4,9
M2	mikro mono	12,7	poliolefin	N/A
M3	makro	58	polipropilén	6.5

2. táblázat. Alkalmazott szálak



3. ábra. Az alkalmazott szálak a) mikro fibrillált, b) mikro mono, c) makro

3. Az eredmények kiértékelésének módja

Az irányelv csak a kialakult repedések hosszát veszi figyelembe a kiértékelésnél, ami azonban megtévesztő eredményt adhat, így ettől a módszertől eltérünk. A szálerősítés nélküli beton esetében a repedést követően nincs maradó feszültség a betonban, leszámítva a törési energiát. A hozzáadott szálak azonban jelentős maradó feszültséget adnak a betonnak, korai időszakban kutatásaink alapján a beton húzó-

szilárdságához mérten relatív magasabbat, mint később [5]. A repedések kialakulása így ridegebb anyag esetén sokkal jobban lokalizálódik, mint kevésbé rideg anyag esetén. Jelen esetben itt a ridegebb anyag a beton, a kevésbé ridegebb pedig a szálerősítésű beton. Ebből kifolyólag a betonban a repedések száma akár kevesebb is lehet, azonban a repedés jobban megnyílik; szálerősítésű betonban azonban akár több repedés is lehet, viszont sokkal kisebb repedéstágassággal.

A repedéseket hosszuk mentén 4 cm-es szakaszokra osztottuk, ezen 4 cm-es szakaszoknak az átlagos repedéstágasságát mértük meg, ezek jele w_i , ahol i a szakasz jelölése.

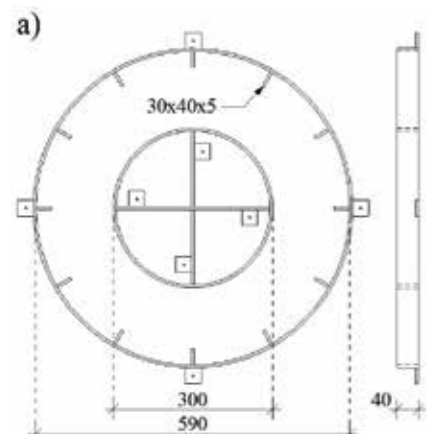
Ennek mérésére és megfelelő szemléltetésére két értéket használtunk: repedési felület csökkentésének hatékonysága (η_a) és repedéstágasság csökkentésének hatékonysága (η_w), melyeket az alábbi képletek segítségével számoltunk ki [2]:

$$\eta_a = \frac{A_{total,plain} - A_{total,FRC}}{A_{total,plain}} \times 100$$

$$\eta_w = \frac{w_{max,plain} - w_{max,FRC}}{w_{max,plain}} \times 100$$

$$A_{total} = \sum_{i=1}^n w_i l_i$$

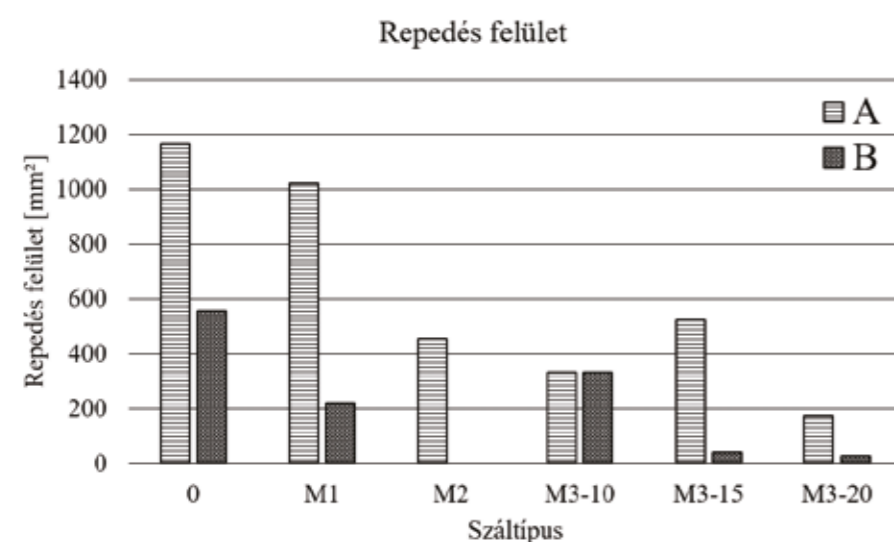
ahol
 $A_{total,plain}$ » szálerősítés nélküli beton teljes repedésfelülete
 $A_{total,FRC}$ » szálerősítésű beton teljes repedésfelülete
 $w_{max,plain}$ » szálerősítés nélküli beton maximális repedéstágassága
 $w_{max,FRC}$ » szálerősítésű beton maximális repedéstágassága
 w_i » átlagos repedéstágasság a mért repedésszakaszon
 l_i » repedésszakasz hossza



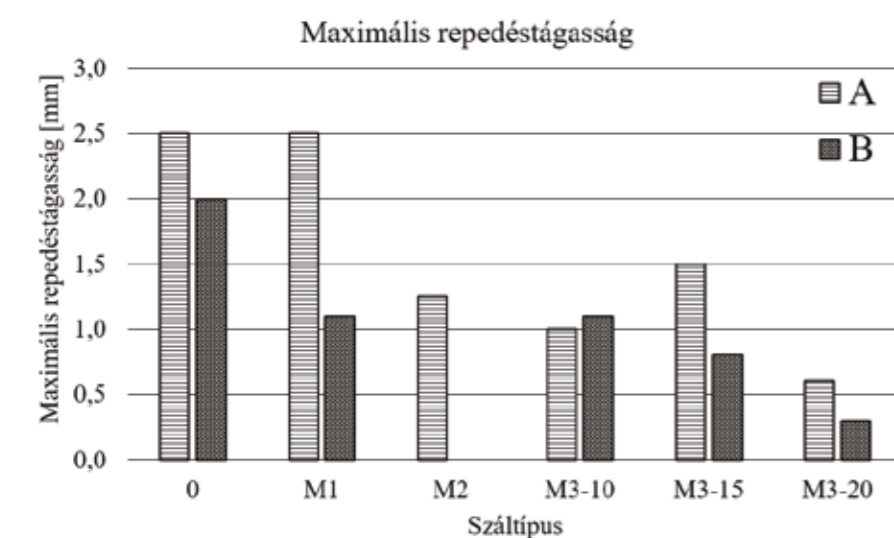
1. ábra. a) acél zsaluzat méretei, b) próbatest

Vizsgálat típus	Beton	Szál
A-0	A	-
A-M1	A	M1 - 1 kg/m ³
A-M2	A	M2 - 1 kg/m ³
A-M3-10	A	M3 - 1 kg/m ³
A-M3-15	A	M3 - 1.5 kg/m ³
A-M3-20	A	M3 - 2.0 kg/m ³
B-0	B	-
B-M1	B	M1 - 1 kg/m ³
B-M2	B	M2 - 1 kg/m ³
B-M3-10	B	M3 - 1 kg/m ³
B-M3-15	B	M3 - 1.5 kg/m ³
B-M3-20	B	M3 - 2.0 kg/m ³

3. táblázat. Kísérleti mátrix



4. ábra. Repedésfelület a betonok és az alkalmazott szálak szerint



5. ábra. Maximális repedésméret a különböző vizsgálatoknál

4. Eredmények

A megrepedt gyűrűkön a repedéshozsokozatokat és -tágasságokat megmértük, meghatároztuk a repedések felületét, majd az azonos típusú vizsgálatoknál ezeket öss-

szegeztük. Az így számított teljes repedésfelületet ábrázoltuk a 4. ábrán a beton- és száltípusok szerint.

Az azonos típusú vizsgálatoknál a maximális repedéstágasságot is megmértük,

ezt az 5. ábrán ábrázoltuk. A mérési eredményekből a repedésfelület-csökkentés hatékonyságát (η_s) és a maximális repedésméret-csökkentés hatékonyságát (η_w) is kiszámítottuk, melyet a 4. táblázatban közlünk.

A kiértékelésekből a következő megállapításokat tehetjük:

- a fibrillált szál (M1) hatékonysága az A jelű betonban a leggyengébb, a repedésfelületet csak 12%-ban csökkentette, a maximális repedés mértékét pedig nem csökkentette a referenciabetonhoz képest;
- a makro szál 1,0 kg/m³-es adagolással (M3-10) hatékonysága a B jelű betonban a leggyengébb, a repedésfelületet 39%-kal csökkentette, 45%-os hatékonysága van a legnagyobb repedéstágasság tekintetében;
- az A jelű betonban a makro szál 2,0 kg/m³-es adagolással (M3-20) adja a legjobb hatékonyságot, 85%-kal csökkentette a repedésfelületet és 76%-kal a legnagyobb repedéstágasságot;

- míg a B jelű betonban a mikro mono (M2) szállal készült elemeken szabad szemmel látható repedések nem jelentek meg.

Összességében elmondható, hogy a B jelű beton kevésbé volt repedésérzékeny, mind a repedésfelület, mind a maximális repedésmérete kisebb volt, mint az A jelű betonnál mért értékek. A szálak hatékonysága szintén jobb volt a B jelű betonban. A száltípusok közül a fibrillált volt a legkevésbé hatékony, a mono és a magasabb adagolással vett makro szálak hatékonysága sokkal jobb volt. Megfigyelhető volt az is, hogy a makro és mikro mono szálak esetében a szál már a mikrorepedések szintjén elkezdett dolgozni, így több esetben szemmel látható repedés nem is alakult ki.

5. Összefoglalás

Betonerosztó szintetikus mikro (mono és fibrillált) és makro szálak hatását vizsgáltuk a beton kezdeti zsugorpedéseinek kialakulására. A szálak adagolását a szokásos ipari alkalmazásnak megfelelően határoztuk meg. A szintetikus makro szálakat elsősorban a repedés utáni maradó feszültségük miatt alkalmazzák, ugyanakkor kísérleteink szerint használhatók a kezdeti zsugorpedések megállítására is.

A kísérleteket a Richtlinie Faserbeton ajánlásai alapján készítettük el, kisebb eltérésekkel. A beton szárítását Fenyvesi ajánlásai alapján készített szélcsatornában végeztük el, illetve korábbi kutatások alapján a beton maximális szemnagyságát 16 mm-ről 8 mm-re csökkentettük. A maximális szemnagyság csökkentését elsősorban a vékony méretű gyűrű miatt tartottuk szükségesnek, illetve a beton kisebb törési energiája miatt repedésre érzékenyebb betont állítottunk elő.

Kísérlet	Repedési felület csökkentésének hatékonysága (η_s) [%]	Repedéstágasság csökkentésének hatékonysága (η_w) [%]
A-0	-	-
A-M1	12.69	0
A-M2	61.18	50
A-M3-10	71.39	60
A-M3-15	55.38	40
A-M3-20	85.17	76
B-0	-	-
B-M1	59.94	45
B-M2	100.00	100
B-M3-10	39.88	45
B-M3-15	92.31	60
B-M3-20	94.98	80

4. táblázat. Szálak hatékonyságának kiértékelése

A vizsgálatok alapján a mikro fibrillált szálaknak volt a legkisebb hatásuk a repedések megállítására. A mikro mono szálak nagyon jól teljesítettek, míg a makro szálak teljesítőképessége az adagolástól függött: 2,0 kg/m³-es adagolásnál már szinte teljesen repedésmentes maradt a beton.

Az előzetes vizsgálatok alapján a kis méretű gyűrűnél nem mindig keletkeztek repedések, sokszor a teljes gyűrű repedésmentes maradt. Ez főleg a kis mérete és a kevésbé repedésérzékeny alakja miatt lehetett. Érdemes az RF ajánlásait módosítani, a későbbiek során a gyűrű alakját is

optimalizálni, hogy nagyobb eséllyel keletkezzenek repedések.

Felhasznált irodalom

- [1] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (2008). Richtlinie Faserbeton. Vienna.
- [2] Fenyvesi, O. (2017). Betonok korai zsugorodási repedésérzékenysége. PhD-értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar. <http://hdl.handle.net/10890/5551>
- [3] Weisheit, S. és Metzler, G. (2014). Kombifaserbeton – Entwicklung einer rissfreien Bahnschwelle durch den Einsatz eines kombifaserbewehrten Hochfesten Betons, VIF2011 projekt.
- [4] Juhász, K. P. (2015). Szintetikus szálerősítésű betonok hozzáadott törési energiája az adalékanyag függvényében. Építés-Építéstudomány 43, No. 3-4, pp. 317-329.
- [5] Juhász, K. P., Nagy, L. és Schaul, P. (2015). Modelling of the early age shrinkage cracks with steel or synthetic macro fibre reinforcement in jointless floors. In: Fibre Concrete 2015, Technology, Design, Application. Csehország: Prága. (fotó: JKP STATIC Kft.)

Komplett osztályozó üzemek tervezése és gyártása

3B

3B Hungária Kft.
 H-8900 Zalaegerszeg, Wlassics Gyula u. 13. • Tel.: +36 92/549-033
 info@3bh.hu • www.3bh.hu

HIVATALOS MAGYARORSZÁGI metso KÉPVISELET