

MIKRO ÉS MAKRO SZINTETIKUS SZÁLAKKAL KÉSZÍTETT BETON PRÓBATESTEK VIZSGÁLATA

JUHÁSZ KÁROLY PÉTER

laborvezető. BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. K. II. 61. Tel.: (36-1) 463-1317. Fax: (36-1) 463-1773.
E-mail: juhasz@szt.bme.hu

Hazai gyakorlatban a beton szintetikus szálerősítésről a mérnököknek, kivitelezőknek, de gyakran még a betontechnológusoknak is a *szintetikus mikroszál* jut eszükbe, habár léteznek *makroszálak* is, ráadásul a közöttük lévő különbségek jelentősek. Míg a szintetikus mikroszálaknak a repedés után gyakorlatilag nincs statikai hatásuk a szerkezetre, addig a makroszálak hasonlóan viselkednek az acélszálakhoz.

A BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Laborjában a hazai forgalmazású szintetikus mikro- és makroszálakat vizsgáltam egy előadással egybekötött laborbemutató keretében. Jelen cikkben ennek a kutatásnak az eredményeit közlöm és azok felhasználást a jelenlegi irányelvek szerint.

Kulcsszavak: szálerősítésű beton, szintetikus szálak, acélszálak

1. BEVEZETÉS

A szálerősítésű betonok a szerkezeti anyagok csoportján belül a kompozitok osztályába tartoznak, azon belül pedig a rövid szálak kompozitok közé, ahol a szálak a szerkezet vagy keresztmetszet méreteihez képest relatív rövidek, véletlen és homogén eloszlásúak és különféle anyagú és alakúak lehetnek (Kollár – Springer, 2003).

Anyaguk szerint az ACI (ACI 544, 2002) 4 fő csoportra osztja a szálakat, míg a polipropilén szálakat geometriai méretük alapján a brit BS EN 14889 nevű szabvány (BS EN 14889, 2006) másik két fő csoportra. Ezt az *1. táblázatban* foglaltam össze.

A mikro- és makroszálak jelölése a szálak geometriai méreteivel adott, így nem csak a szintetikus szálakat jellemzi. A brit irányelv szerinti csoportosítás másik célja a szálak repedés utáni hatásának figyelembevétele.¹ Míg a mikroszálak szerepe elsősorban a beton szilárdulásakor keletkező mikrorepedések kialakulásának

¹ “Class II fibres are generally used where an increase in residual flexural strength is required.”

1. táblázat. A szálak csoportosítása ACI és brit szabvány alapján, d a szálátmérő

ACI 544					
SFRC acélszálak	GFRC üvegszálak	SNFRC szintetikus és karbon	NFRC természetes		
	– alkáliálló – nem alkáliálló	Ia) monoszálak Ib) fibrillált szálak	– sziszálkender – kókusz – cukornád – stb.	Class I MIKRO $d < 0,30$ mm	BS EN 14889
különböző alakú acélszálak	– alkáliálló	II) különböző alakú szintetikus és karbonszálak		Class II MAKRO $d > 0,30$ mm	

meggátlásában kereshető, addig a makroszálak szerepe elsősorban a repedés után jelentkezik, a betont duktilisabbá teszik, aminek köszönhetően statikailag határozatlan szerkezeteknél a globális teherbírást meg tudja növelni (pl.: ipari padlók), illetve szálerősítésű vasbeton szerkezeteknél a berepedt zóna is figyelembe vehető húzásra.

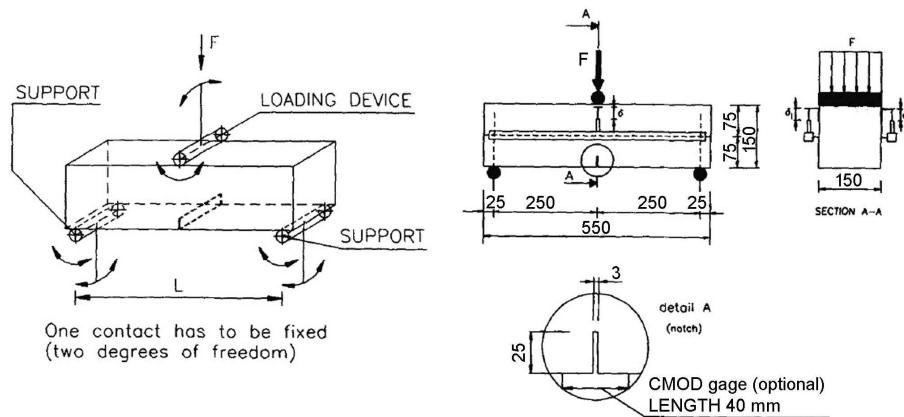
Az egyetemen elvégzett kutatás és laborbemutató szerepe elsősorban ennek a lényeges különbségnek a szemléletes bemutatása kéttámaszú, RILEM (RILEM TC162, 2003) által ajánlott központosan terhelt gerendatöréssel, amely eredményekből a két száltípus hatásának különbsége egyértelműen látszódik. Bár a szintetikus makroszálak adagolása kg/m^3 -ben megadva azonos volt, ennek ellenére a mért erő-lehajlás és erő-CMOD (Crack Mouth Opening Displacement) diagramok eső ágának lefutásában és értékében lényeges különbségek adódtak. A kísérletekben szerepelt kétfajta acélszál is kétfajta adagolással, ezek eredményeivel is összehasonlítottam a szintetikus szálakét. A szintetikus szálerősítést ért legfontosabb vádakra is válaszolok a hivatkozott cikkek segítségével, amely a szálak anyagának időhöz kötött változásával, viszko-elasztikus anyagtulajdonságával, illetve alacsony rugalmassági modulusával foglalkozik.

Végül megmutatok néhány szálerősítésű beton irányelvet és azok hogyan veszik figyelembe a szálak hatását.

2. VIZSGÁLATI MÓDSZER ÉS AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A vizsgálatot a RILEM TC 162-TDF (Vandewalle et al., 2002) irányelvben megjelent ajánlások alapján végeztük el (1. ábra). A tesztben egy 500 mm támasz-

közü, kéttámaszú, közepén alul bemetszéssel gyengített 150×150 mm keresztmetszetű, C30/37-es szilárdsági osztályú szálerősítésű betongerendát terheltünk elmozdulás vezérelt módon $0,2$ mm/perc sebességgel, középső részen 4 mm-es lehajlásig. Az irányelv acélszál erősítésű betonokra vonatkozik, de a későbbi irányelvek ilyen kikötést már nem tesznek: mind az olasz (CNR-DT 204/2006), mind az osztrák irányelv (Richtlinie Faserbeton, 2008) már *acélszál erősítésű betonok* helyett csak *szálerősítésű betonokról* beszél, majd külön részben foglalkoznak a különféle anyagú (pl.: műanyag) szálakkal. Az újabb irányelvekben a harmadpontos hajlítást (4 point bending test) preferálják, míg a TC 162-ben a felezőpontos hajlítási tesztet (3 point bending test). Választásunk azért esett a felezőpontos tesztre, mert csak ezzel lehet kimérni a középső, bemetszett keresztmetszetenél kialakuló repedés megnyílás közvetlen növekedését, amely törésmechanikai szempontból pontosabb eredményt ad. A harmadpontos vizsgálat előnye, hogy a terhelőfejek között a nyomaték állandó, így a gerenda a leggyengébb helyen törik el. A felezőpontos hajlítási tesztnél a gyengített keresztmetszetben fog kialakulni a törés, aminek az előnye az, hogy a törés helye, így a keletkező repedés helye is előre ismert, a repedés növekedése műszerrel mérhető.



1. ábra. RILEM TC 162-TDF által javasolt hajlítási kísérlet (RILEM, 2002)

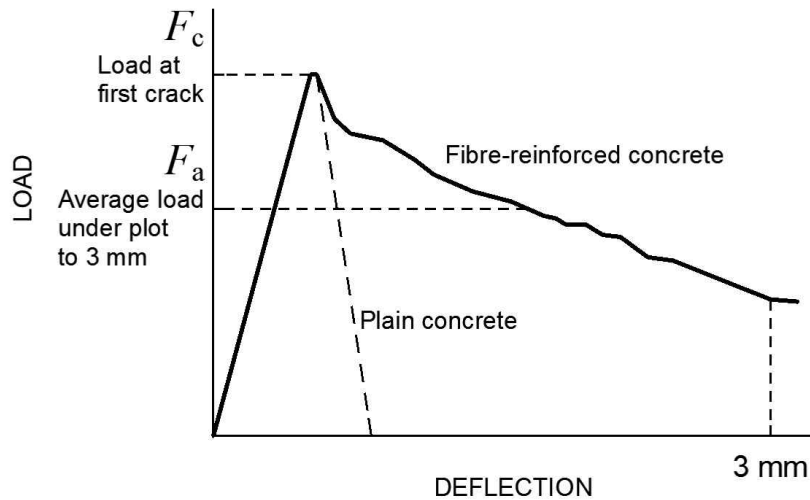
A kapott eredmények a gerenda erő-elmozdulás és erő-CMOD diagramjai lettek. A diagramokból számos irányelv alapján definiálhatunk anyagra jellemző tulajdonságokat, ezeket két fő csoportba soroltam:

- R_{e3} érték,
- σ - ε diagram.

Az R_{e3} értéket a japán JSCE SF-4 nevű irányelvben (Japan Society of Civil Engineers, 1985) definiálnak, amelyet leginkább a *duktilitás mérőszámának* neveznek: a törés után maradó erő átlaga 3 mm-es lehajlásig és a törőerő hányadosa

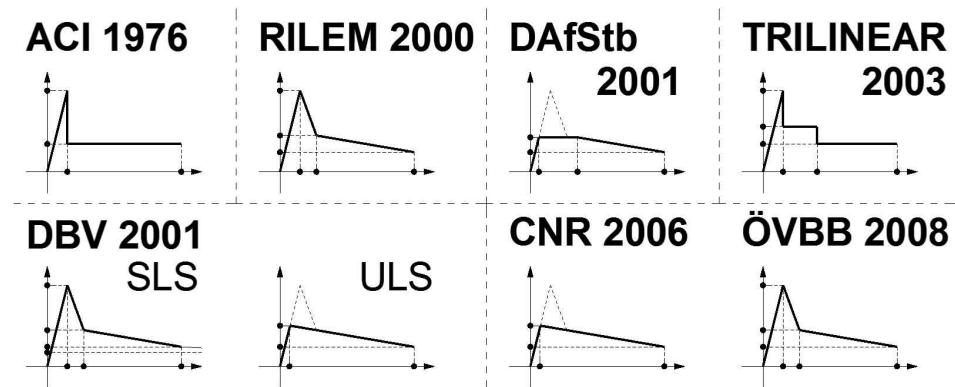
százalékban mérve (2. ábra). Meghatározása egyszerű és nagyon közkedvelt az ipari padlók méretezésénél és ekvivalens nyomatékok meghatározásánál.

$$R_{cs} = \frac{F_a}{F_c} (\%) \quad (1)$$



2. ábra. A törés utáni maradó feszültség meghatározása (JSCE SF-4, 1985)

A σ - ε diagram meghatározására számos előírás létezik, a legismertebbekből egy összefoglalás látható a 3. ábrán.



3. ábra. σ - ε diagram meghatározásának módjai, áttekintés

3. ACÉLSZÁL VAGY SZINTETIKUS SZÁL?

Az acél és szintetikus makroszálak alkalmazásával kapcsolatban a gyártóktól sok információt kapunk, miért jobb a saját termékük és miért rosszabb a konkurenciáé. A gyártóktól kapott információk sokszor megkérdőjelezhetőek. A hazai piacon még olyan fibrillált mikroszálakkal is találkozhatunk, amelyek esetében a gyártó az acélbetétek kiváltásával reklámozza termékét, holott ez még makroszálak esetében sem mindenhol lehetséges. Nézzük végig az acélszálak és szintetikus makroszálak közötti különbségeket, előnyeiket és hátrányaikat!

KÖRNYEZETVÉDELEM

Hazánkban még nem kapott olyan nagy hangsúlyt az ökológiai lábnyom (carbon footprint) szerepe mint külföldön. Az ökológiai lábnyom röviden összefoglalva az építmény előállításánál a levegőbe jutó CO₂ mennyiségét jelenti, amibe beletartozik az anyagok előállítása és szállítása is. Ezt egy példával szemléltetem. Vegyünk két, azonos teherbírású ipari padlót, amelyeknél az egyikbe 30 kg acélszálát tettek, a másikba pedig 4 kg műanyagszálát beton m³-enként. Míg az acélszálak előállításához 100 egység CO₂ került a levegőbe, addig ugyanez az érték egyes műanyagszálak esetében csak 30 (Bernard, 2009).

SZÁLLÍTÁS, KEVERÉS, BEDOLGOZHATÓSÁG

Szállításnál a szintetikus szálak tömege mintegy hatoda-nyolcada az ugyanazon teljesítőképesség eléréséhez szükséges acélszálaknak, így itt egyértelmű az előny.

Keverésnél az acélszálak a keverőgép belső felületét rongálják, míg szintetikus szálaknál a puhább anyag miatt ez nem jelentkezik.

Talán a legfontosabb különbség a szál-labdák keletkezése, ami lényegében olyan összecsomósodott szálakat jelent, amelyek nem esnek szét elemi szálakra, hanem folyamatosan növekednek, megnehezítve ezzel az elkeveredést. Ilyen leginkább acélszálaknál fordul elő, ezeket a betonozás során kiveszik, ezzel is csökkentve a száltartalmat. Szintetikus szálaknál ritkábban fordul elő, de ha mégis, akkor a vibrálás során a labda szétesik elemi szálakra és megfelelően el tud keveredni.

Acélszál erősítésű beton pumpálását 30 kg/m³-es adagolásig (0,38 V%) vállalják a hazai betongyárak, szintetikus szálaknál a felső határ nem ismert, de 5 kg/m³-es adagolásra (0,86 V%) már volt hazai példa.

A SZÁLAK MECHANIKAI TULAJDONSÁGA

A szintetikus szálak használata ellen szól az anyag viszkoelasztikus volta, acélhoz viszonyított alacsony olvadási pontja (acél: $+1500^{\circ}\text{C}$, polipropilén: $+165^{\circ}\text{C}$) és alacsony rugalmassági modulusa (acél: 210 GPa, polipropilén: 3–10 GPa). Ezeket a tulajdonságokat vizsgálva az acélszálakhoz képest egyértelműen háttérbe szorulnak. Ennek ellenére a szálerősítésű beton mint kompozit anyag tulajdonsága más, mint amit az alkotó anyagok tulajdonságaiból lehet következtetni. Mechanikai szempontból nézve a szálak anyagi tulajdonságai kevésbé érvényesülnek a kompozit anyag tulajdonságainál (pl.: duktilitás, kúszás), viszont más szempontoknál fontos különbséget tenni (pl.: tűzterherre való méretezésnél a szintetikus szálak megolvadnak).

A KOMPOZIT MECHANIKAI TULAJDONSÁGA

Korrózióállóság szempontjából egyértelműen a szintetikus szál az előnyösebb. Itt a versenyt talán csak a horganyzott acélszál veheti fel, de ennek ára nagyon magas. A beton felületi sérülése, a kiálló acélszál azonnali rozsdásodást idéz elő, amely további betonfelület leválását okozza. A szálak betontakarása nem biztosítható, a legkisebb repedés esetén rozsdásodás léphet elő. A problémát tovább fo-

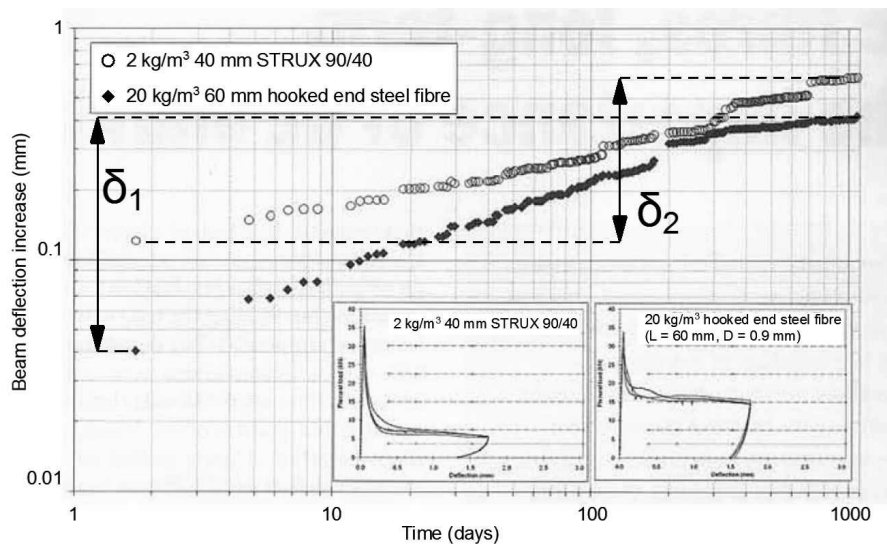


4. ábra. Acél szálerősítésű beton sérülés utáni rozsdásodása (a szerző felvétele)

kozza a beton szélső kérgében lejátszódó karbonátosodási folyamat, amely során kialakuló alacsonyabb pH érték az acélszálakat nem óvja meg a korróziótól, vagyis a korrózió repedés nélkül is bekövetkezhet (betonacél esetén ezt a szerepet tölti be a betontakarás).

IDŐBEN VÁLTOZÓ VISELKEDÉSEK: KÚSZÁS ÉS ÖREGEDÉS

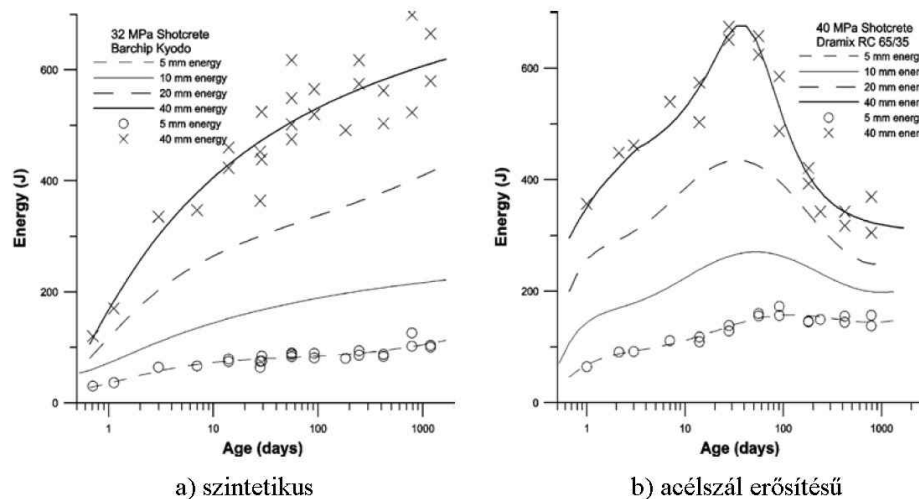
Kúszás mérésére az osztrák irányelv ad egy kísérleti módszert, amely kapcsán úgy fogalmaz, hogy acél- és műanyagszál gerendák kúszását egyszerre kell vizsgálni, amely során az acélszál erősítésű gerendát, mint etalon gerendát kell tekinteni. 2011-ben ért véget egy 1000 napos kúszási vizsgálat (Attree, 2011) az osztrák irányelv ajánlásai alapján, amely meglepő eredménnyel szolgált. A mérések alapján az acélszál erősítésű beton relatív kúszása nagyobb volt mint a szintetikusú: $\delta_1 > \delta_2$ (5. ábra). A kúszást nem a szálak anyagi szintű kúszása okozza, hanem mechanikai viselkedése a betonban: a szálak kihúzódnása. Ez a példa is jól mutatja, hogy nem anyagi szinten kell vizsgálni a szálakat, hanem a betonnal együtt kompozit anyagként.



5. ábra. Kúszási viselkedés 1000 napon keresztül (Attree 2011)

Az időben bekövetkező másik változás a kompozit öregedése, ami szálak biztosította maradó feszültség csökkenésében, ezáltal energiaelnyelő képességében (duktilitásában) mutatkozik meg. A beton szabványos vizsgálata 28 napos korban történik, ezt alkalmazzák a szálerősítésű betonra is. Ez az energiaelnyelő

képesség a kísérletek eredménye szerint azonban időben változik, acélszálak esetében csökkenhet, míg szintetikus szálak esetében nőhet. Bernard (2008) végzett kutatásokat szálerősítésű lőttbetonokkal, amelyeket ASTM C1550 (Centrally Loaded Round Panel) jelű irányelv szerint vizsgált. Az irányelv alapján 3 ponton alátámasztott kör alakú, szálerősítésű lőttbeton paneleket kell eltörni, majd 40 mm-es lehajlásig terhelni és az ehhez szükséges energiát mérni J-ban (hasonló az R_{e3} értékhez). A paneleket különböző korban vizsgálta és azt figyelte meg, hogy magasabb betonszilárdsági osztályoknál az acélszál erősítésű betonok duktilitása csökken, míg a szintetikus szálaké nő (6. ábra). Ezt a szálak kihúzómechanikájával magyarázta: míg a kihúzó szálak sok energiát abszorbeálnak, addig a betonba belekötött szálak nem kihúzódnak, hanem szakadnak, ami a duktilitást csökkenti (7. ábra). Ezt a kötést az acélszálak és a beton között idővel létrejövő kémiai kötésnek tulajdonítja.



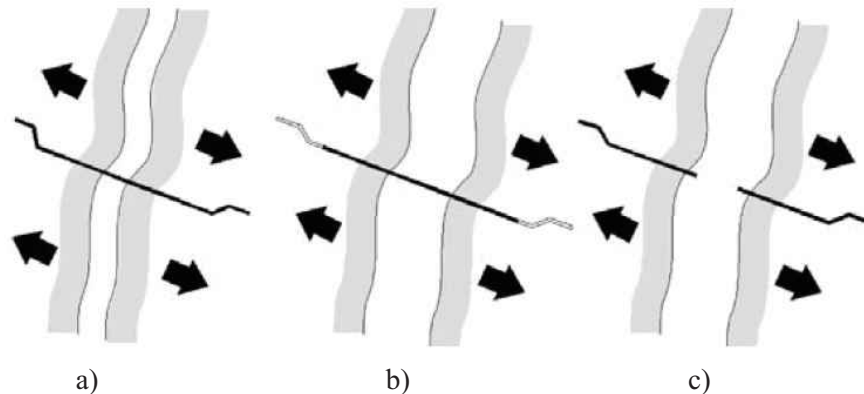
6. ábra. Duktilitás változása az idővel (Bernard 2008)

A fentiek alapján a következő megállapítások tehetőek:

- a szálerősítésű beton mint kompozit anyag kúszását az alkotó anyagok kúszása mellett a szálak betonból való kihúzódnása is okozza,
- a szálak kihúzódnási képességének csökkenése, azaz a szálak a beton mátrixhoz való idővel történő erősebb tapadása a szálerősítésű beton mint kompozit anyag duktilitásának csökkenését idézi elő.

A szál és a mátrix kapcsolata az előzőek alapján kényes pontja az anyag időhöz kötött tulajdonságainak tekintetében: kis tapadás esetén nagyobb lesz a kúszás,

nagy tapadás esetén pedig a duktilitás fog csökkenni. Ezeknek a jelenségeknek a tisztázására jelenleg is folynak kutatások.



7. ábra. Szálak mechanikája (Bernard, 2008)
 a) kezdeti repedés, b) kihúzódás – magas duktilitás,
 c) szálak szakadása – alacsony duktilitás

4. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

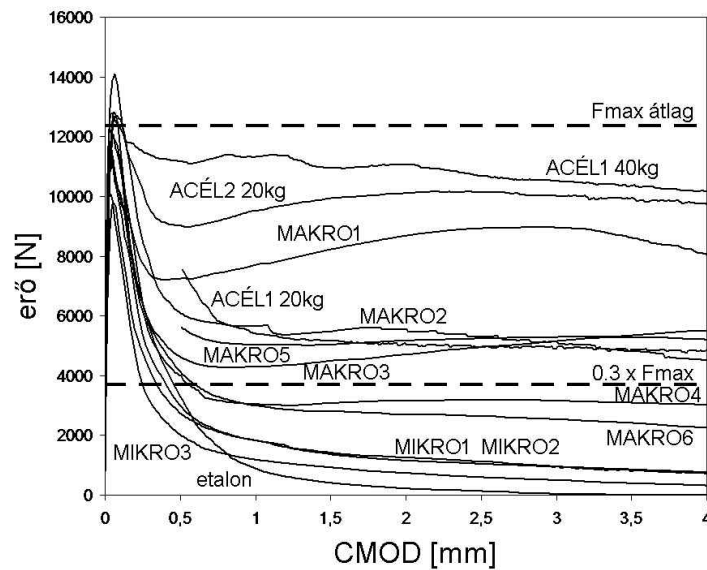
„A Nagy Törés” (2012. október 15.) elnevezésű laboratóriumi vizsgálat részletes vizsgálati jegyzőkönyve letölthető a BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék honlapjáról: www.szt.bme.hu/labor. A 2. táblázatban összefoglaltam a kísérletben vizsgált szálerősítések fontosabb tulajdonságait. A próbatestek száma minden esetben 3 darab volt.

„A Nagy Törés” célja kettős volt: tudományos eredmények szolgáltatása későbbi kutatásokhoz, illetve a hazai szálak gyártótól független, azonos alapon való összehasonlítása. Ennek elérése céljából minden gerenda azonos betonból készült (C30/37-XC4-24-F3-CEM II/A-s 42,5N), azonos keveréssel és tárolással és azonos időpontban, 28 napos korban lettek eltörve. A beton víz-cement tényezője 0,49 volt, cementtartalma 325 kg/m^3 . Adalékanyaga gömbölyű szemű kavics volt. Ezzel az összehasonlításhoz megfelelő alapot teremtünk, a szálak egymáshoz viszonyított teljesítményéről (húzószilárdságra gyakorolt hatás, maradó feszültség értéke) valós képet kapunk. A szálerősítések hatásának legszembetűnőbb összehasonlítása az erő-CMOD diagramok átlaga (8. ábra).

2. táblázat. A vizsgált szálerősítések tulajdonságai

Szál neve	ACÉL1	ACÉL2	MAKRO1	MAKRO2	MAKRO3	MAKRO4
Anyaga	acél	acél	poli- propilén	poli- propilén	poli- propilén	poli- propilén
Alakja	kampós végű	kampós végű	felületén dombor-nyomott	csavart és fibrillált keverék	hullámos	hullámos
Keresztmetszet	kör	kör	ovális	–	lekerekített négyyszög	lekerekített négyyszög
Átmérő [mm]	1,1	0,9	0,5 × 1,3	–	0,7 × 1,3	0,9 × 1,2
Szállhossz [mm]	50	60	48	50	45	40
Adagolás [kg/m ³]	20 és 40	20 és 40	5	5	5	5

Szál neve	MAKRO5	MAKRO6	MIKRO1	MIKRO2	MIKRO3
Anyaga	poli- propilén	poli- propilén	poliolefin	poli- propilén	poli- propilén
Alakja	hullámos	hullámos	fibrillált	fibrillált	mono
Keresztmetszet	lekerekített négyyszög	lekerekített négyyszög	–	–	–
Átmérő [mm]	0,8 × 1,1	0,7 × 1,2	–	–	–
Szállhossz [mm]	48	24	19	19	10
Adagolás [kg/m ³]	5	5	1	1	1



8. ábra. Erő-CMOD diagramok

4.1. MINIMÁLIS SZÁLMENNYISÉG KÉRDÉSE

A minimális szálmennyiségre az irányelvek kétféle feltételt adnak:

- geometriailag szükséges mennyiség;
- minimális R_{e3} érték.

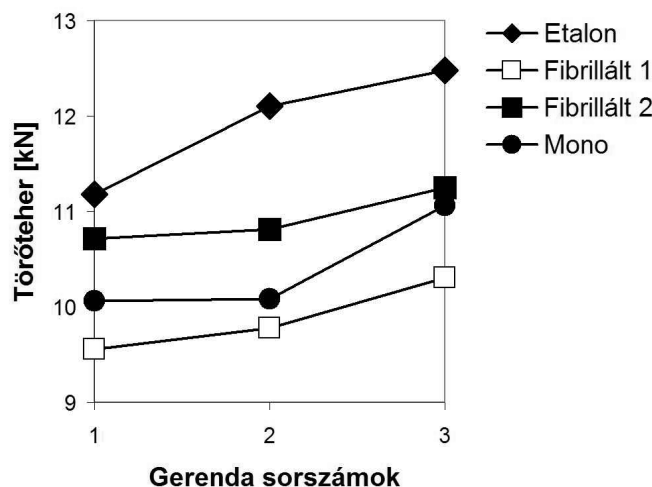
A *geometriailag szükséges mennyiség* lényege, hogy egyenletes elkeveredést feltételezve ne alakulhasson ki olyan törési felület, ahol nem halad át szál. Ennek érdekében fontos az elkeveredés minősége is. Ha az elkeveredés nem egyenletes, kialakulhat olyan tesztgerenda, ahol a középső, gyengített keresztmetszetet több vagy éppen kevesebb szál keresztezi. Mivel a 3 pontos hajlítási tesztnél a gerenda ebben a keresztmetszetben fog megrepedni, így a mért érték nem lesz reális.

A *maradó hajlító-húzófeszültséget* az R_{e3} értékkel lehet jól jellemezni, erre adnak az irányelvek szükséges minimum értéket. A TR34-es irányelv az R_{e3} értékre 30%-ot jelöl meg, ez alatt a szálak hatását nem szabad figyelembe venni. Ezt a 8. ábrán az alsó szaggatott vonallal jelöltük, ez alatti szálakat nem szabadna ipari padlónál szálerősítésként figyelembe venni. Jól látszódik az ábrán, hogy a mikroszálakkal kapott eredmények jóval ez alatt vannak, de vannak olyan makroszálak is, amelyek ugyancsak nem felelnek meg az adott adagolás mellett ennek a kritériumnak. Fontos tehát itt megjegyeznünk, hogy egyik makroszál nem helyettesíthető másik makroszállal, pusztán azonos adagolást figyelembe véve.

4.2. MIKROSZÁLAK HATÁSA

A 8. ábrából egyértelműen kitűnik és igazolódik az állításunk a mikroszálakra vonatkozóan: statikai hatásuk elhanyagolhatóan kicsi repedés után. Előnyük a mikrorepedések kialakulásának meggátolásában keresendő. Ezekre külön vizsgálatot nem végeztünk, meghatározásuk nehezen számszerűsíthető, habár az osztrák irányelv ad rá útmutatást.

Azzal a gondolatmenettel élve, hogy minden makrorepedés egy mikrorepedésből indul, feltételezhetjük, hogy a mikroszálaknak mégis van statikai hatásuk, mégpedig a hajlító-húzószilárdság növelésében. Azonban ezt az elméleti feltevést nem támasztják alá a kísérleti eredmények, sőt: a fibrillált mikroszálaknál egyenesen csökkent a törőteher, azaz a húzó-hajlítószilárdság az etalon, szálerősítés nélküli betonhoz képest!



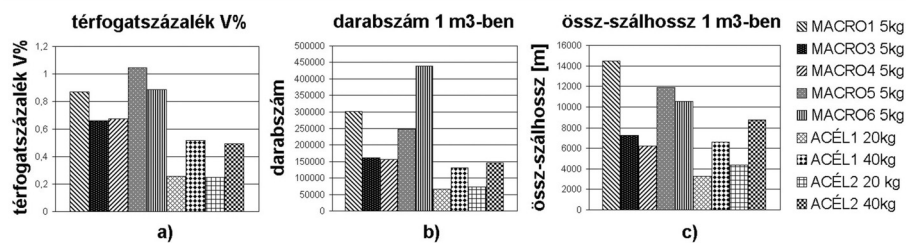
9. ábra. Szálerősítés nélküli és mikroszálerősítésű beton gerendák törőterhei (növekvő sorrendbe rendezve)

Erre pontos elméleti magyarázat csak további kutatásokkal adható, de a következő sejtés fogalmazódott meg bennem: habár a szálak a mikrorepedések kialakulását meggátolják a beton fiatal korában, megszilárdult betonnál azonban pont ellenkezőleg, csökkentik a szilárdságát.

További kutatások nélkül is levonhatjuk azt a következtetést, hogy a mikroszálak olyan szerkezeteknél alkalmazhatók előnyösen, ahol a betonfelület esztétikai megjelenése fontos, de a betonelem későbbi használata során a statikai igénybevételek nem jelentősek. Nem ajánlanám azonban ipari padlónál, ahol a betonszerkezet elsősorban statikai igénybevételekre lett tervezve, az esztétikai megjelenés másodlagos.

4.3. SZÁLAK HATÁSÁNAK ÖSSZEHOSONLÍTÁSI MÓDJAI

A hozzáadott szálak mennyiségének jellemzésére az 1 m³ betonba kevert szálak súlyát adják meg kg-ban (kg/m³). Míg az acél fajsúlyát állandónak vehetjük, így ezzel a módszerrel kétféle acélszál könnyen összehasonlítható, addig a műanyag szálak fajsúlyában jelentős eltérés lehet. Acél- és műnyagszál összehasonlítása ezen az alapon ugyancsak nehézkes. Sokkal korrektebb az összehasonlítás, ha a térfogatszázalékot, 1 m³ betonban található szál darabszámot vagy összhosszat vizsgáljuk.



10. ábra. Szálerősítés mennyisége különböző értékekben mérve

a) térfogatszázalékban, b) szálak darabszámában, c) szálak összhosszában szálak: MAKRO1, MAKRO3, MAKRO4, MAKRO5, MAKRO6, ACÉL1 20 kg, ACÉL1 40 kg, ACÉL2 20 kg, ACÉL2 40 kg

A szintetikus szálak esetében az adagolás minden száltípusnál 5 kg/m³ volt, ennek ellenére az erő-CMOD diagramokban lényeges eltérések adódtak. Ha az 1 m³-hez adott szálak térfogatszázalékát, darabszámát vagy összhosszát vizsgáljuk, ugyancsak jelentős eltéréseket találhatunk. Mindezekből az következik, hogy nem hasonlítható össze egyértelműen kizárólag az adagolással két makroszál, azaz *vizsgálat nélkül nem helyettesíthető egyik típus a másikkal!*

5. SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETON MÉRETEZÉSI IRÁNYELVEI

A szálerősítésű betonhoz irányelveket számos országban találunk. Ezek többsége tartalmazza az ajánlott vizsgálati módszert, mért értékek kiértékelési módját és számításban való felhasználását szálerősítésű beton és szálerősítésű vasbeton esetére is.

A RILEM TC 162 a $\sigma(\varepsilon)$ diagram definiálását mutatja be, majd teherbírási és használhatósági állapotok szerinti méretezést taglalja.

Az osztrák irányelvben (Richtlinie Faserbeton, 2008) is megtalálható a $\sigma(\varepsilon)$ diagram definiálása ún. kézi és numerikus számításokhoz, de itt már mintapéldákat is

bemutat: épület alapozásánál és pincefalnál való alkalmazását, kitér a hajlított, nyírt és külpontosan nyomott szerkezetekre, továbbá repedéstágasságra is. A szálak definíciójában kitér a műanyag szálakra is, azzal a feltétellel, hogy kúszási viselkedésük megfelelőségét laboratóriumi vizsgálattal kell igazolni.

Az olasz irányelv (CNR-DT 204/2006, 2006) egydimenziós, tárcsa és lemezelemek méretezésére ad képleteket teherbírási és használhatósági határállapotban. A repedéstágasság méretezése az Eurocode képleteinek bővítésével készült, ami jól alkalmazható vasbeton szerkezetek méretezésekor a hozzáadott szálak figyelembevételére.

Talán a legjobban kezelhető és széles körben elfogadott ipari padló méretezési irányelv a brit TR34-es nevű irányelv (Concrete Society, 2003), amelynek egyik fejezete statikai számításokkal foglalkozik. Képleteiben az említett R_{e3} értékkel számol. A méretezést hajlításra és nyírásra végzi el. Szálak tekintetében csak annyit emel ki: R_{e3} értéke legyen 30% felett, ez alatti értéknél a szálak hatása nem vehető figyelembe. A nyírásnál a szintetikus szálak hatására nem ad megoldást, a kérdést a gyártóra hárítja. Hasonlóan tesz kültéri ipari padlók estében a zsugorodási és hőmérsékleti hatásokból keletkező feszültségek tekintetében, a hajlítószilárdság 1,5 MPa-os csökkentésével hidalja át ezt a bonyolult igénybevételt. Ezek ellenére az ipari padlók méretezéséhez ez a létező legkidolgozottabb irányelv, amely átfogóan tárgyalja az ipari padlókat a tervezéstől a kivitelezésig, beleértve a műszaki ellenőri feladatokat is.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A szintetikus szálerősítésű beton egyre elfogadottabbá válik külföldön, lassan idehaza is. A polipropilén kedvezőtlen anyagi tulajdonságai alig fedezhetőek fel a végső kompozit anyag tulajdonságainál. Számos előnye az acél szálerősítéssel szemben egyre népszerűbbé teszi az anyagot.

Hazai elfogadásának fő akadálya a gyártók és forgalmazók rossz marketingje volt: túlzott előnyöket tulajdonítottak a szintetikus mikroszálaknak, mialatt a makroszálakat sem a tervezők, sem a kivitelezők nem ismerték. Így a szakmában a szintetikus szálakat a mikroszálakkal azonosították, amelyek betonra gyakorolt hatása a kezdeti repedések szintjén értelmezhető, statikai hatása elenyésző, sőt, akár negatív irányú is lehet (hajlító-húzószilárdság csökkenése). A betervezett mikroszálak nem hozták a várt eredményt, így idővel a szintetikus anyagok népszerűsége csökkent a beton szálerősítéseknél.

A hazai szintetikus mikro- és makroszálak összehasonlítására mutattam be egy megfelelő módszert a BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Laboratóriumában. Az összehasonlítás számszerűsíthető volt, azonos feltételek mellett vizs-

gáltuk a különböző szálakat. A szálak vizsgálati eredményeiből a tervezéshez szükséges szilárdsági értékek meghatározására bemutattam az általam ismert irányelveket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző itt szeretne köszönetet mondani a betongerendák elkészítésében nyújtott nagy segítségért a MAPEI Kft. sóskúti betonlaborjának, Miklós Csaba és Óvári Vilmos betontechnológusoknak. A cementet a HOLCIM HUNGARIA Zrt. szolgáltatta, az adalékanyagokat pedig a YORK bánya.

HIVATKOZÁSOK

- ACI Committee 544: State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.1R-96 (2002).
Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction: CNR-DT 204/2006 Guide for the Design and Construction of Fiber-Reinforced Concrete Structures. Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction, Rome 2006.
- Attree, Gerard: Macro-synthetic fibres, long-term behaviour and the importance of CE marking. *Concrete Magazine* 2011 September.
- Bernard, E. S.: Embrittlement of fiber-reinforced shotcrete. *Shotcrete*, Vol. 10 (2008) No. 3, pp. 16–21.
- Bernard, E. S.: Design of fibre reinforced shotcrete linings with macro-synthetic fibres. *Shotcrete for Underground Support XI*, Eds. ECI Symposium Series, Volume P11 (2009) <http://dc.engconfintl.org/shotcrete/14> (Megtekintve: 2013. június 15.)
- Concrete Society: *TR34 Concrete Industrial Ground Floors*. Concrete Society, Crowthorne 2003.
- Japan Society of Civil Engineers: Method of test for flexural strength and flexural toughness of SFRC. *Standard JSCE SF-4* (1985).
- Kollár, L. P. – Springer, G. S.: *Mechanics of Composite Structures*. Cambridge University Press, Cambridge 2003.
- Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik: *Richtlinie Faserbeton*. Wien 2008.
- Technical Committee B/517: Fibres for Concrete – Part 2: Polymer Fibres. *British Standard BS EN 14889* (2006).
- Vandewalle, L. et al.: RILEM TC 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete. *Materials and Structures*, Vol. 33 (2002), January–February 2000, pp. 3–5.

RESEARCH ON CONCRETE BEAMS REINFORCED BY MICRO AND MACRO SYNTHETIC FIBRES

Summary

The synthetic fibre reinforcement for concrete mainly refers to *micro fibre* in Hungary for engineers, contractors, even for concrete technologists; however, there are also *macro fibres* and the difference between them is very significant. While synthetic micro fibres have practically no static effect on the cracked structure, the macro fibres act similarly to the steel fibres.

I have made a research in the Laboratory of the Department of Mechanics, Materials and Structures (Budapest University of Technology and Economics) on synthetic fibres for concrete reinforcing distributed in Hungary, and showed it in a laboratory presentation. This article presents the results of this research and shows how to use them according to the current guidelines.

Keywords: fibre reinforced concrete, synthetic fibres, steel fibres