



---

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
Építésmérnöki Kar  
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék  
Szilárdságtani Laboratórium

## A NAGY TÖRÉS laborbemutató

### ACÉL, SZINTETIKUS MAKRO ÉS MIKRO SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETONGERENDÁK VIZSGÁLATA



2012. november 9.

Dr. Sajtos István  
egyetemi docens  
tanszékvezető

Juhász Károly Péter  
laborvezető  
36 (70) 330-9149  
juhasz@szt.bme.hu

## Támogató partnereink:



**MAPEI Kft.**



**HOLCIM HUNGÁRIA Zrt.**



**LASSELSBERGER YORK kavicsbánya**



**KERA Bt.**



**FIBERGURU Kft.**

**A ZWICK Z150 típusú törőgépet  
TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 pályázat biztosította.**

## 1. Bevezetés

A kutatás a hazai forgalmazásban levő betonhoz készített acél- és szintetikus szálak gyártótól független bevizsgálását tűzte ki céljául. Egy olyan átfogó képet próbálunk adni a szálakról, amelynek segítségével mindenki kiválaszthatja az épületelemhez vagy műtárgyhoz legmegfelelőbb szálát, legyen az ipari padló, előregyártott beton elem vagy akár villamospálya.

A *műszál* a hazai szóhasználatban elsősorban *mikroszál*at jelent, holott léteznek *mikro* és *makro szintetikus szálak* is. A félreértések elkerülése érdekében így bevezettünk egy új elnevezést a szálakra:

- **mikro szálak**, amelyek statikai szerepe elhanyagolható, céljuk a friss beton szilárdulási folyamatában kialakuló mikro repedések meggátlása,
- **makro szálak**, amelyeknek hasonlóan az acélszálakhoz megfelelő adagolás mellett statikai szerepük is van.

A mikro szálak közül a kutatás során fibrillált és mono szálakat, míg makro szálak közül bordázott, csavart és hullámos szálakat is vizsgáltunk. Összehasonlításképp készültek etalon beton gerendák és két féle acélszállal erősített gerendák két féle adagolással.

## 2. Próbatestek

### 2.1. Geometria

Vizsgálat tárgya: 600 mm hosszú 150 x 150 mm keresztmetszetű szálerősítésű gerendák felezőpontos hajlító vizsgálata. A gerendák közepén, az alsó oldalon 3 mm széles és 25 mm mély bemetszés készül, a terhelés e fölött a felső oldalon történik.

Próbatest készítés helye: MAPEI betonlaboratóriuma

Próbatest készítés időpontja: 2012. szeptember 5-7.

Próbatestek jelölése:

ETALON	ée.hh.nn	gerenda száma
ACEL1-2	(gerenda készítésének időpontja)	
MAKRO1-5		
MIKRO 1-2		

### 2.2. Beton

Mivel a szálerősítésű betonokat elsősorban ipari padlókhöz használják, így olyan beton típust választottunk, amelyik erre a célra leginkább megfelelne.

A beton jele: **C30/37-XC4-XD2-XF1-XA1-XV2(H)-24-F3-CEM 42,5 ipari padlóbeton**

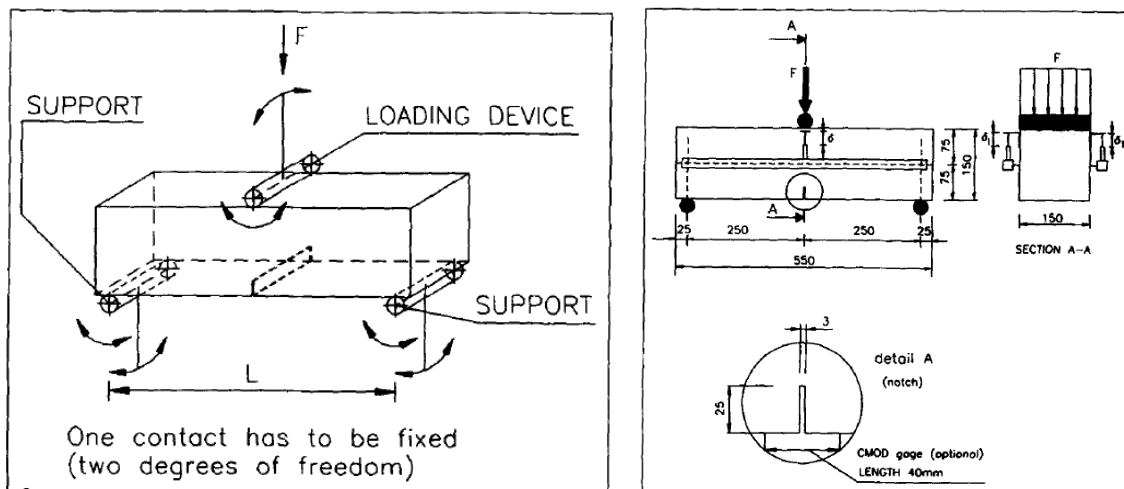
A pontos keverékterv az A jelű mellékletben található.

### 2.3. Szálak

Az egyes száltípusok megnevezése, fényképe és dokumentálása az eredmények részénél található. Ismertetjük a szálak geometriáját, alakját, anyagát, továbbá a keverés során tapasztalt viselkedését (pl.: csomósodási hajlam).

### 3. Vizsgálat

A gerenda támaszai, terhelése az 1. ábrán látható.



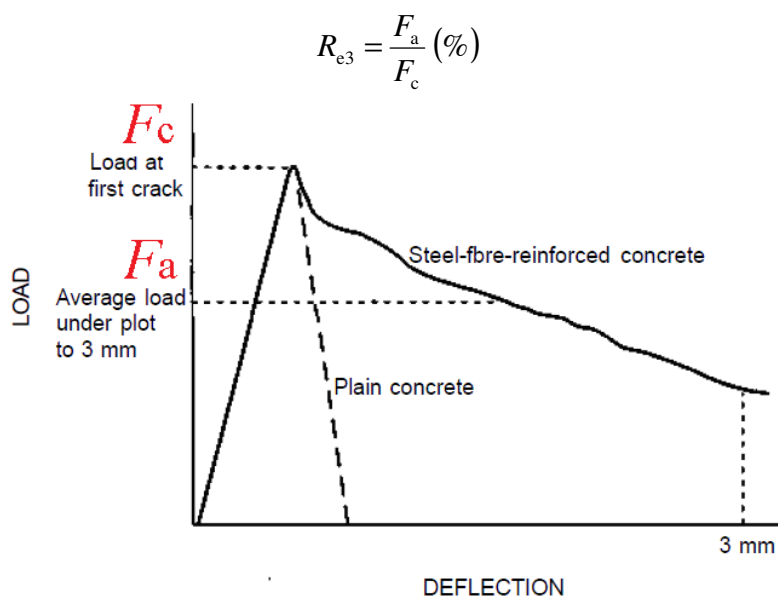
1. ábra: a RILEM által ajánlott elrendezés

A törést a következő irányelv alapján végeztük el:

**RILEM TC 162-TDF : Test and design methods for steel fibre reinforced concrete** (Vandewalle, L., et al., 2002).

#### 3.1. $R_{e3}$ érték

Ipari padlók méretezésére a legelterjedtebb a TR34 – Concrete industrial ground floors nevű angol irányelv (The Concrete Society UK, 2003). A szálerősítésű ipari padlók méretezéséhez az úgynevezett  $R_{e3}$  értéket használják fel, amit a japán JSCE SF-4 nevű irányelvben definiálnak (Japan Society of Civil Engineers, 1985). Az  $R_{e3}$  érték a maradó feszültség átlagának és a húzó-hajlító szilárdságnak a hányadosa %-ban mérve (2. ábra):



2. ábra: a törés utáni maradó feszültség meghatározása (JSCE SF-4)



### 3.2. Erő-lehajlás és erő-CMOD diagramok

A feszültség-megnyúlás diagram definiálásához legtöbb irányelv az erő-lehajlás diagramot használja, de akad olyan is, amelyik a pontosabb erő-CMOD (Crack Mouth Opening Displacement - repedés megnyílás tágasság) diagramot részesíti előnyben. Ez az érték közvetlenül méri az erő és hozzá tartozó repedés megnyílást, amiből a feszültség-megnyúlás diagram pontosabban definiálható.

A vizsgálatok során mindkét értéket kimértük.

A diagramokon egységesen a következő szín jelölést használtuk:

kék: xx1

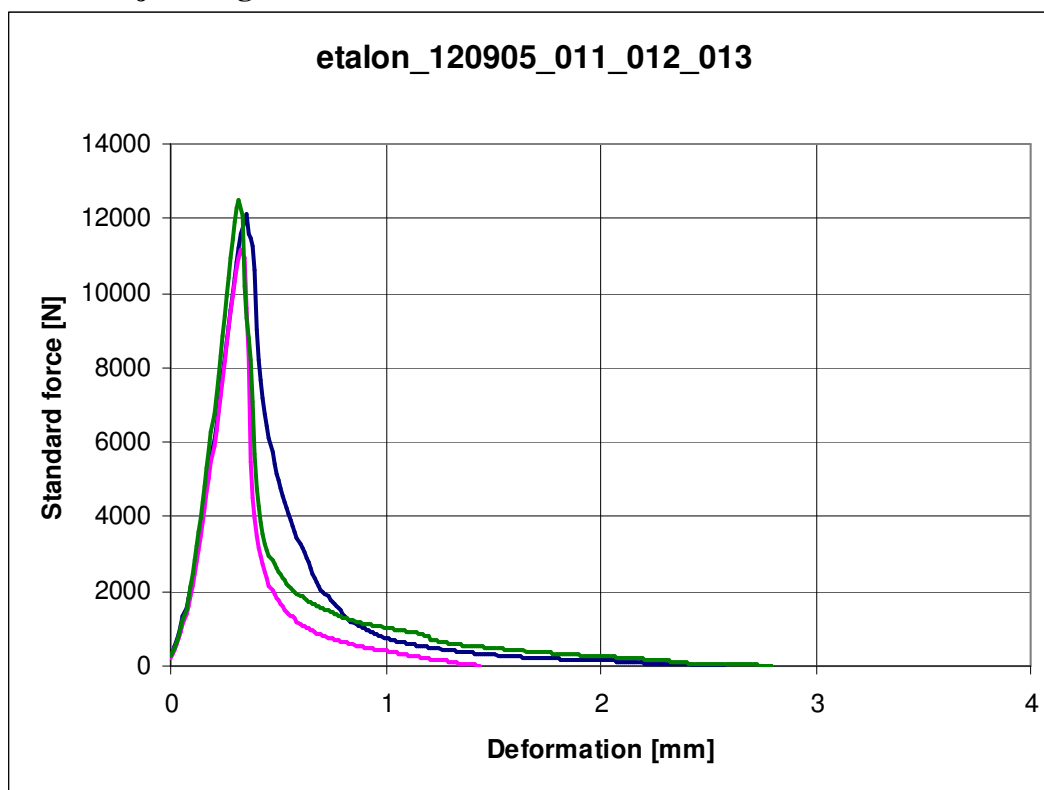
rózsaszín: xx2

zöld: xx3

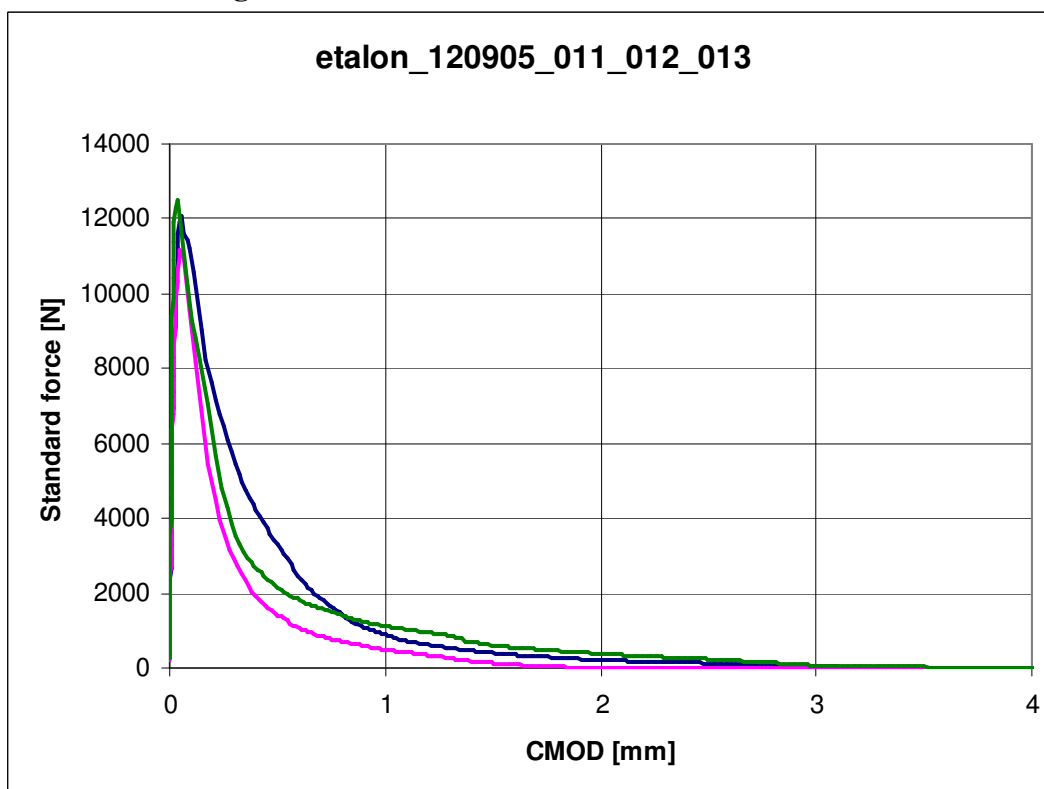
#### 4. Eredmények

##### 4.1. Etalon gerenda

##### 4.1.1. Erő-lehajlás diagramok



##### 4.1.2. Erő-CMOD diagramok



### 4.1.3. Fényképek



120905\_011



120905\_012



120905\_013

## 4.2. Acélszál erősítésű gerendák – 50 mm-es kampós végű acélszál, 20 kg-os adagolással

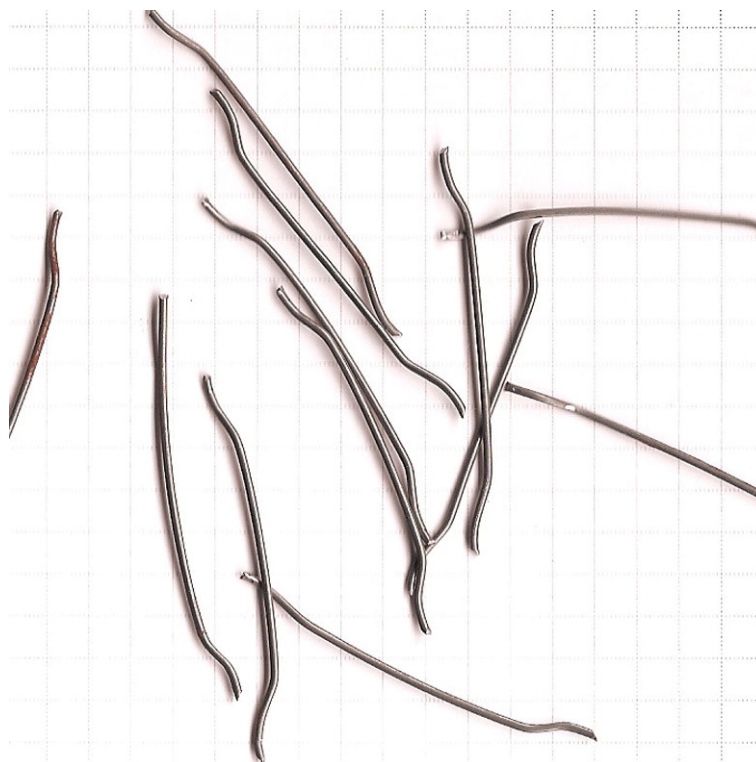
### Szál adatai

típusa:	kampós végű acélszál
keresztmetszet:	kör
hossz:	50 mm
átmérő:	1,1 mm
súly:	30,36 gramm / 100 db
darabszám 1 kg-ban:	3293 db

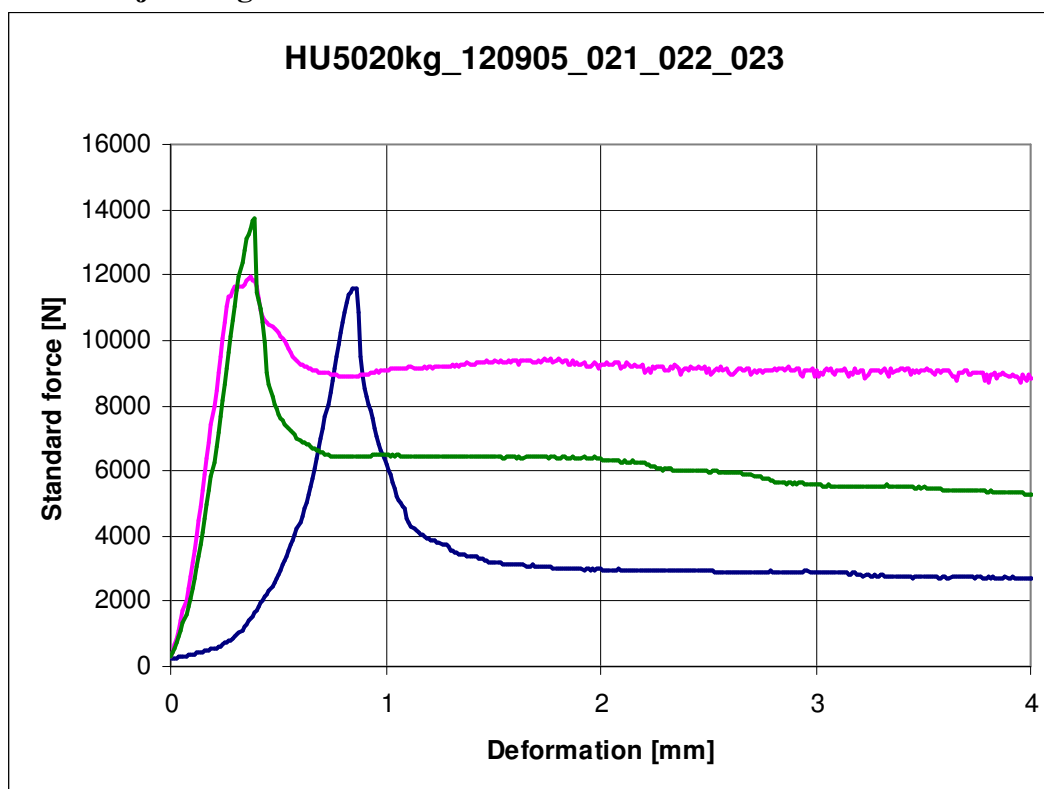
adagolása:	20 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	0,2586 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

### Megjegyzések

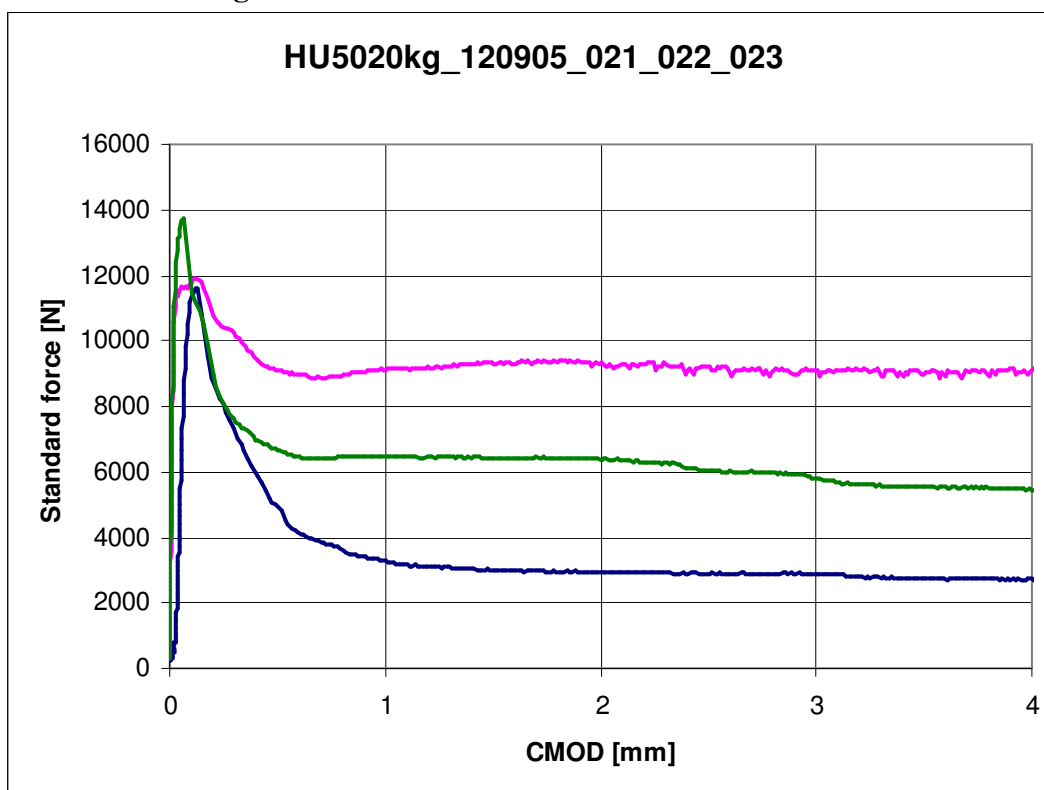
A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.



#### 4.2.1. Erő-lehajlás diagramok



#### 4.2.2. Erő-CMOD diagramok





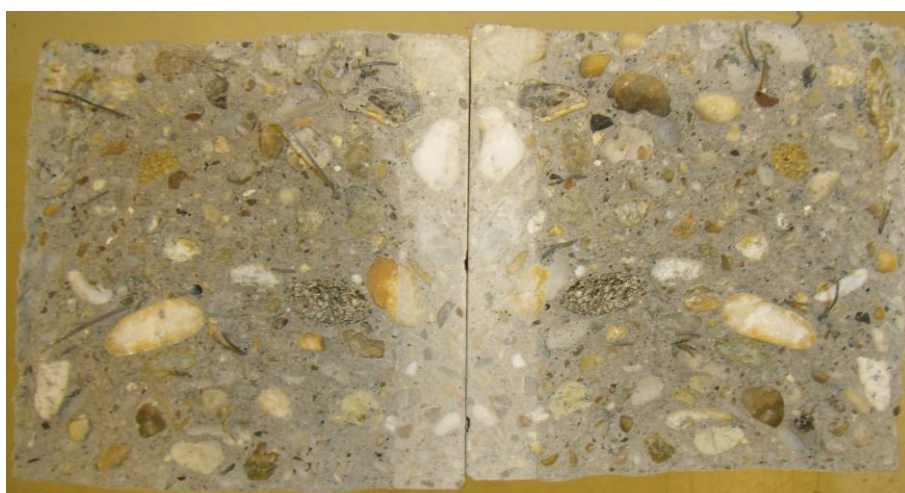
### 4.2.3. Fényképek



120905\_021



120905\_022



120905\_023

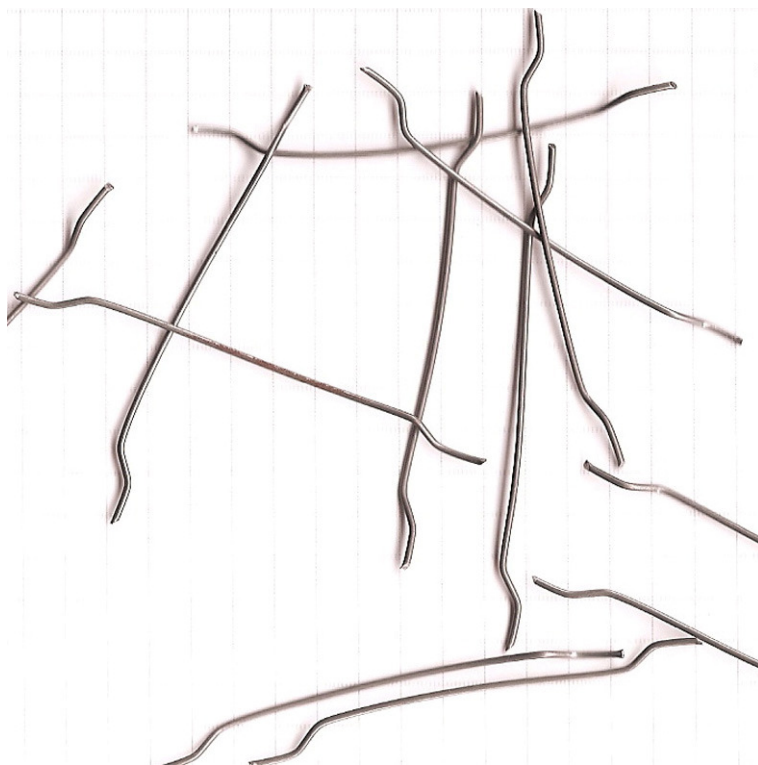
### 4.3. Acélszál erősítésű gerendák – 60 mm-es kampós végű acélszál, 20 kg-os adagolással

#### Szál adatai

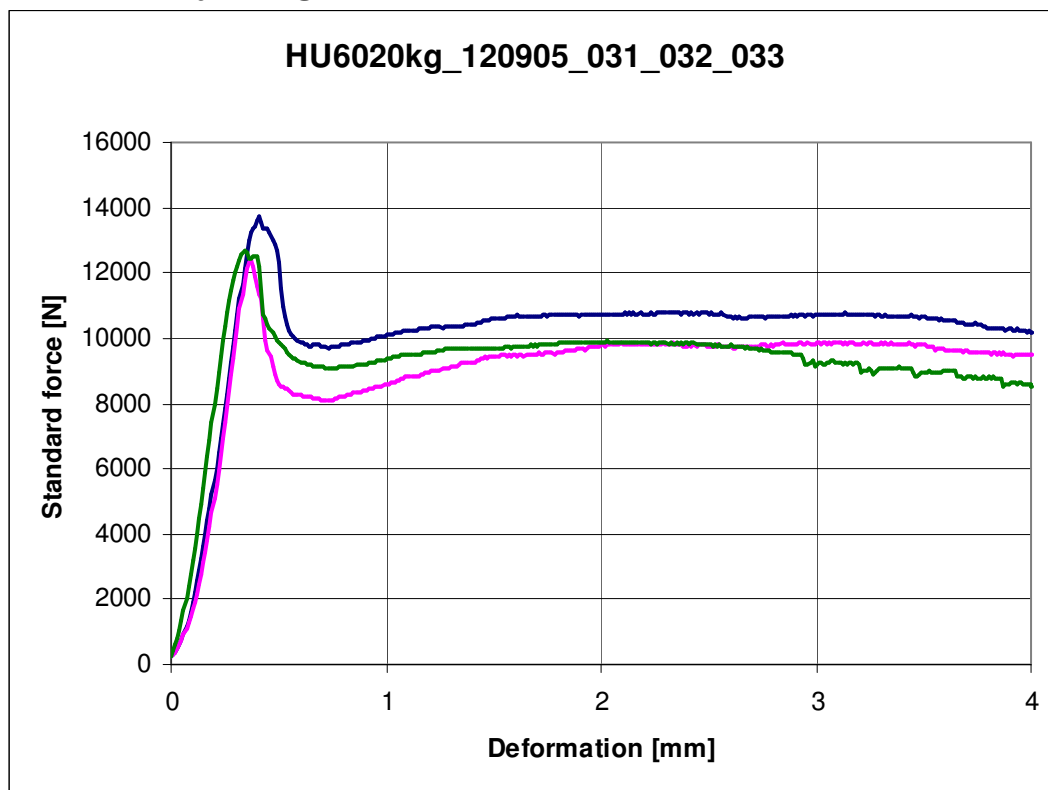
típusa:	kampós végű acélszál
keresztmetszet:	kör
hossz:	60 mm
átmérő:	0,9 mm
súly:	27,5 gramm/ 100 db
darabszám 1 kg-ban:	3636 db
adagolása:	20 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	0,2476 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

#### Megjegyzések

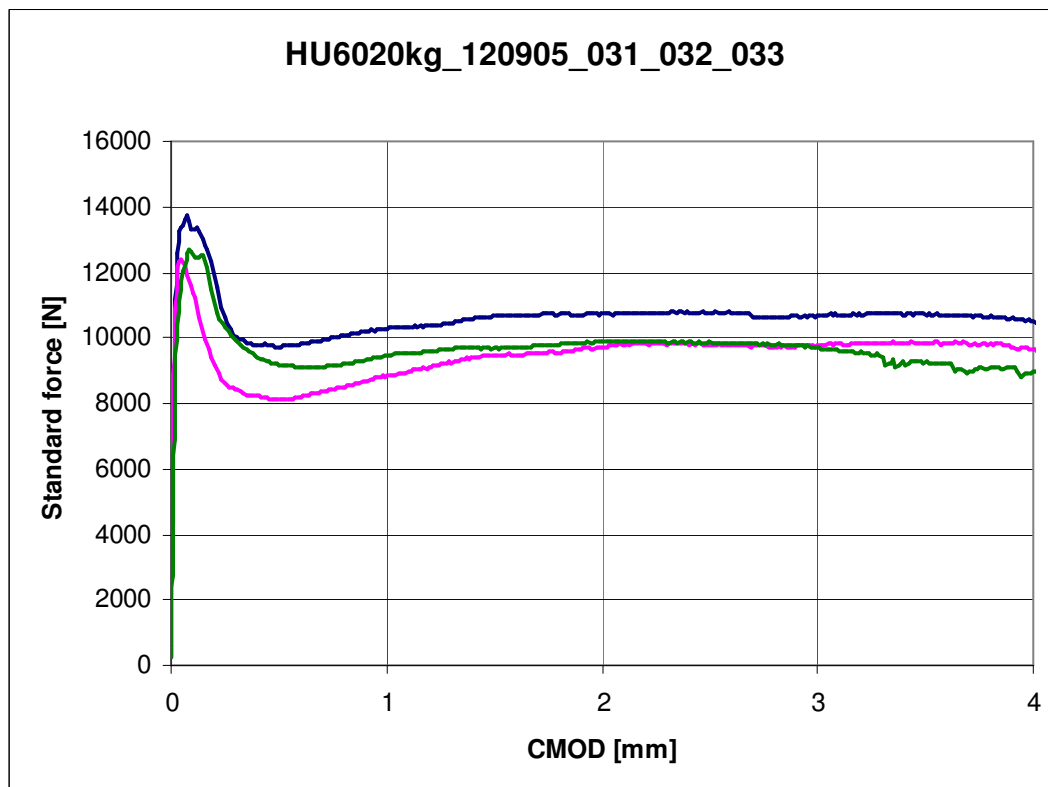
A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.



#### 4.3.1. Erő-lehajlás diagramok



#### 4.3.2. Erő-CMOD diagramok





### 4.3.3. Fényképek



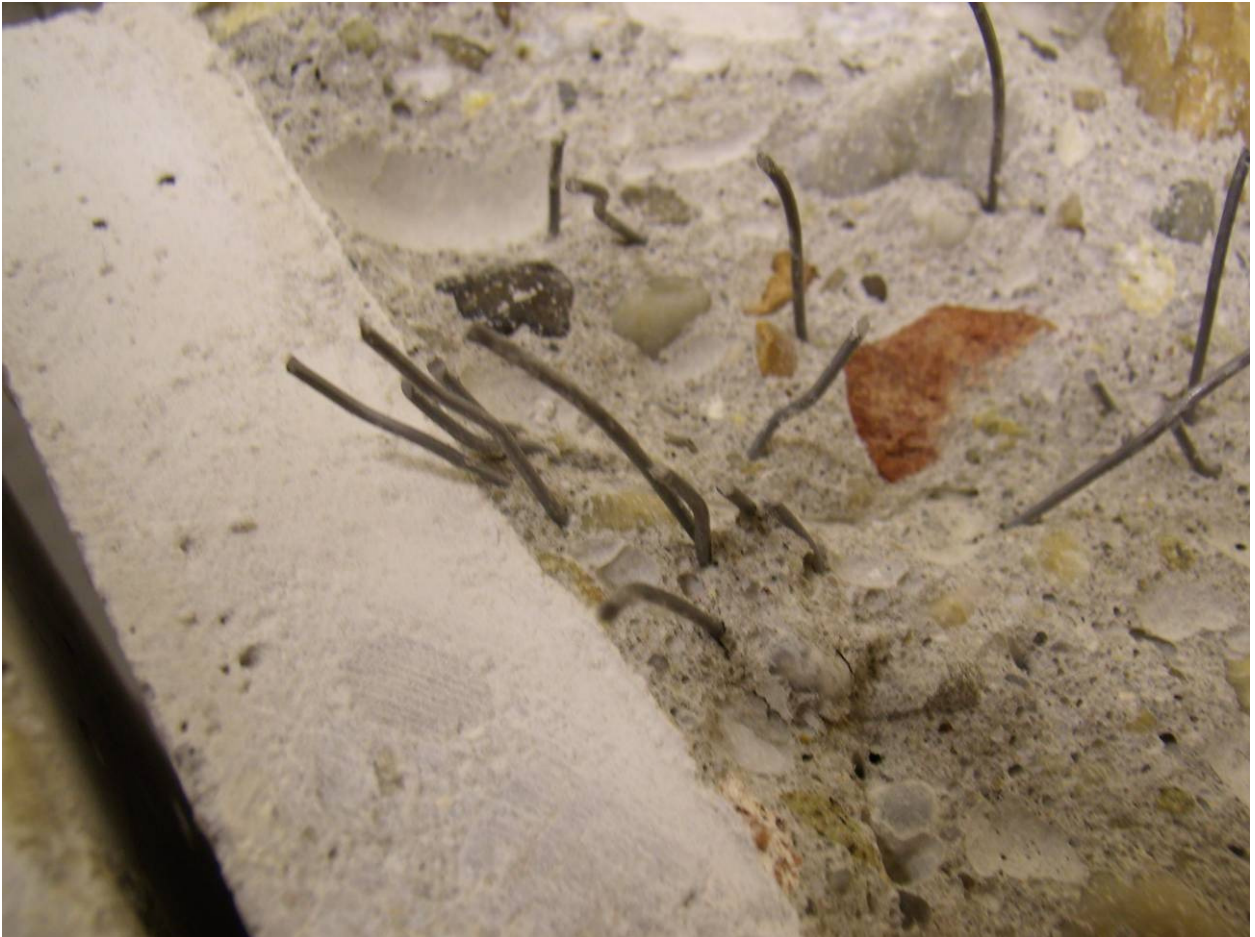
120905\_031



120905\_032



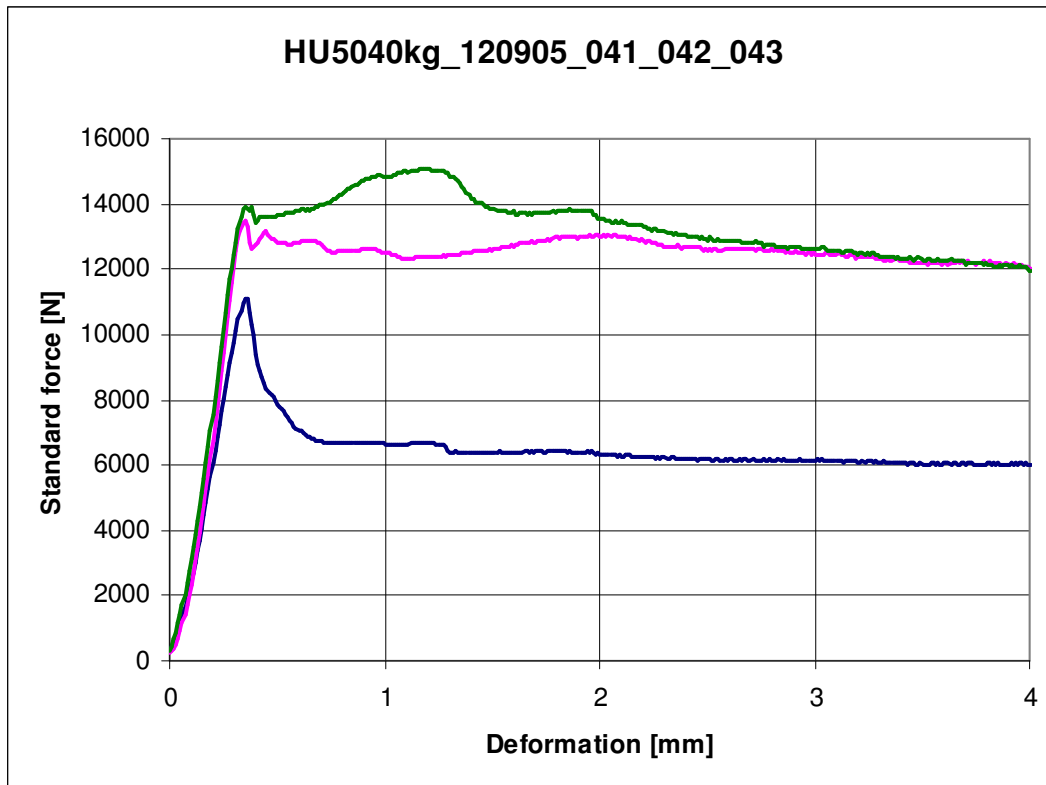
120905\_033



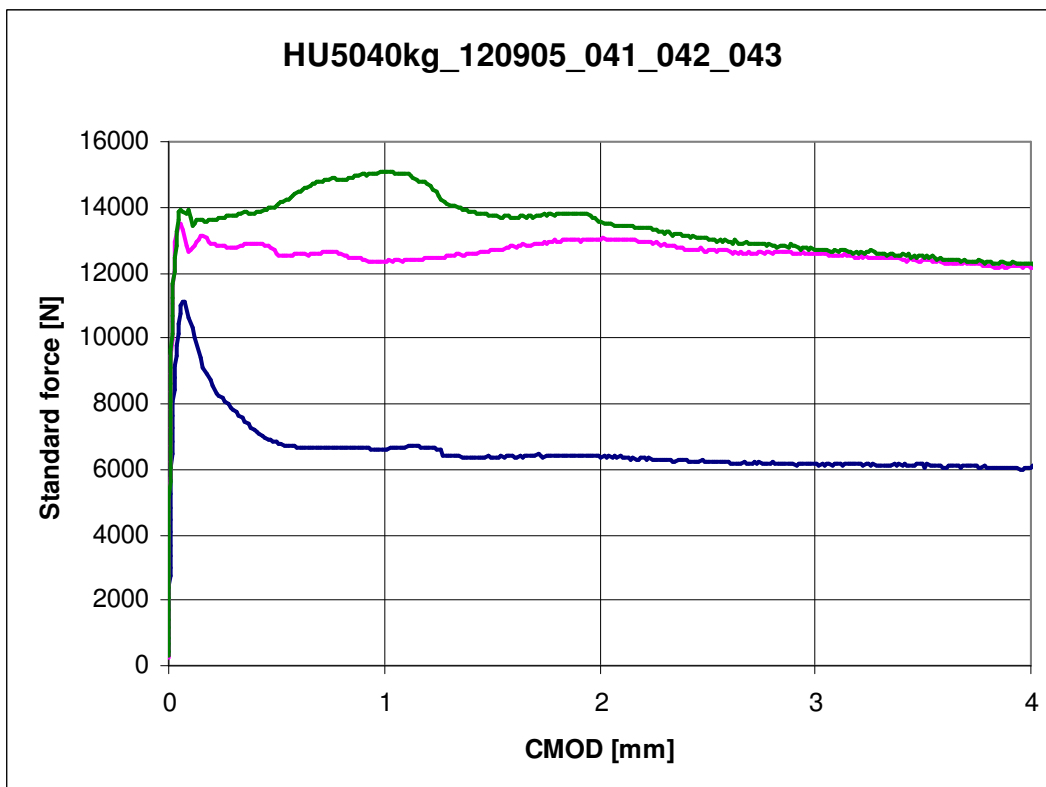
**120905\_033: szálak helyi tömörülése a felületen**

#### 4.4. Acélszál erősítésű gerendák – 50 mm-es kampós végű acélszál, 40 kg-os adagolással leírást lásd 4.2-nél

##### 4.4.1. Erő-lehajlás diagramok



##### 4.4.2. Erő-CMOD diagramok





#### 4.4.3. Fényképek



120905\_041



120905\_042



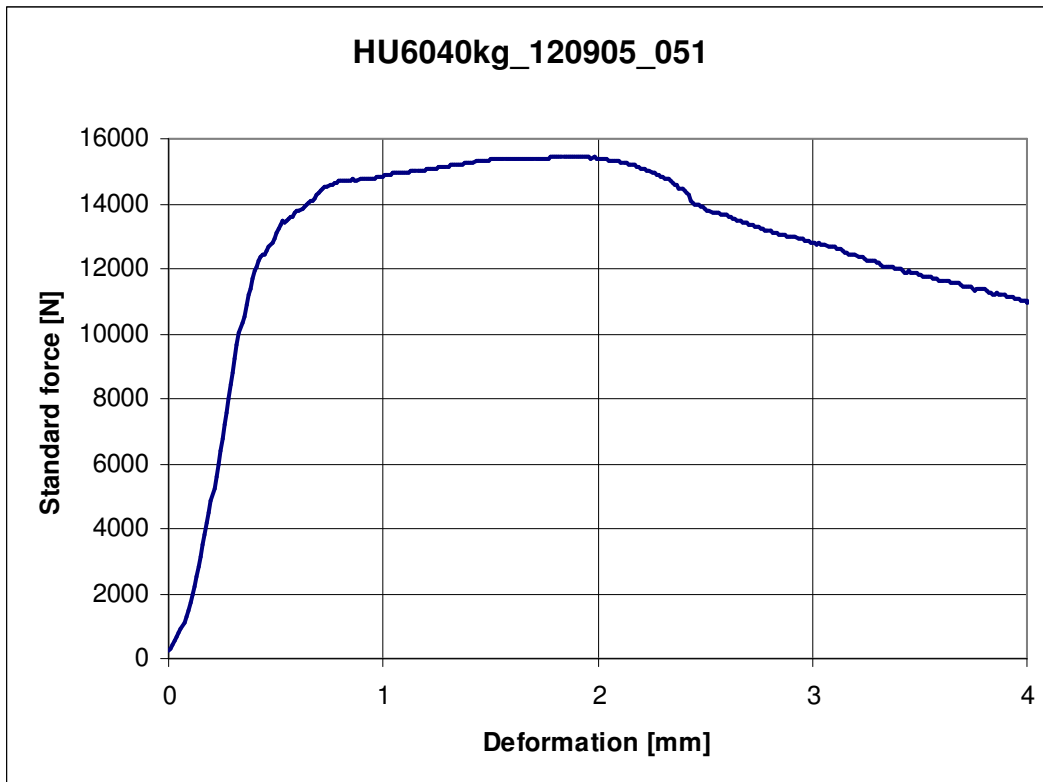
120905\_043



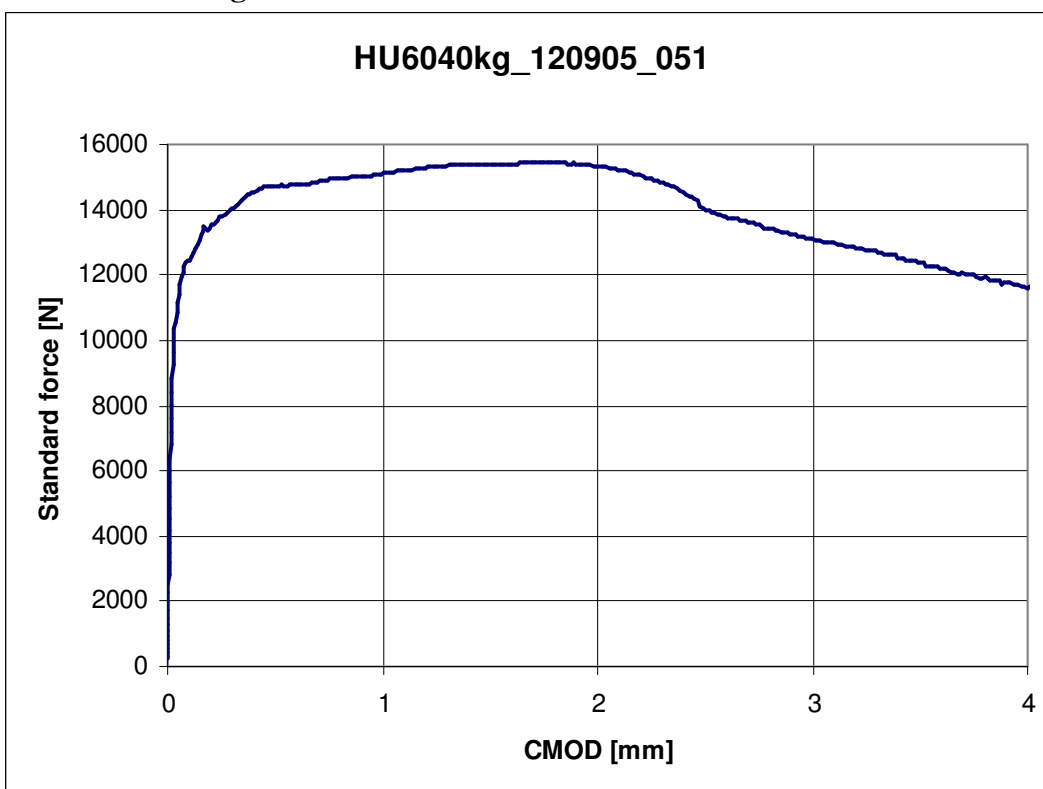
**120905\_042: szálak tömörülése a gerenda felső részén**

#### 4.5. Acélszál erősítésű gerendák – 60 mm-es kampós végű acélszál, 40 kg-os adagolással leírást lásd 4.3.-nál

##### 4.5.1. Erő-lehajlás diagram



##### 4.5.2. Erő-CMOD diagram





### 4.5.3. Fényképek



**120905\_051**



**120905\_051: szálak csomósodása**

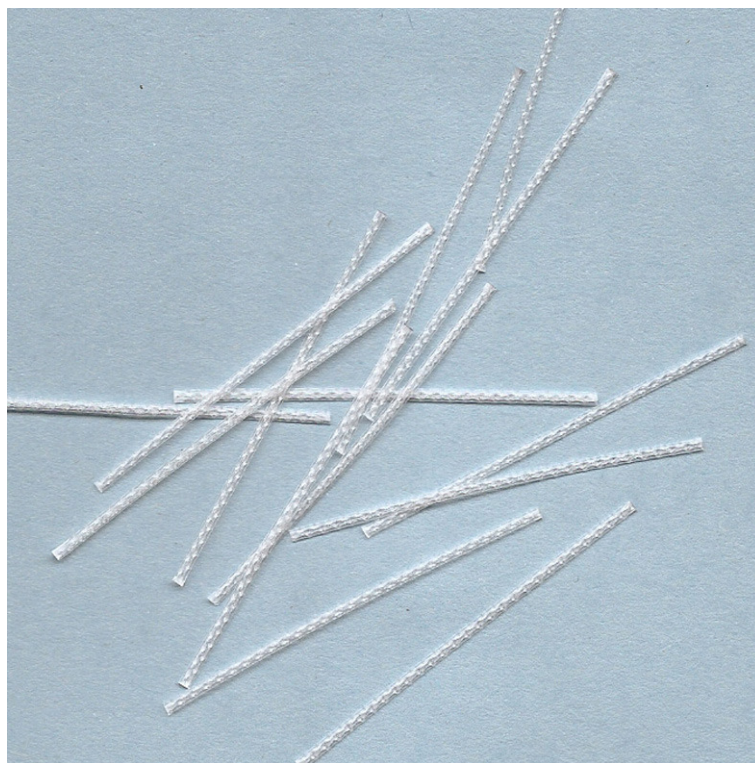
#### 4.6. MAKRO1 – 5 kg-os adagolással

##### Szál adatai

típusa:	felületén dombornyomott polipropilén makro szál
keresztmetszet:	ovális
hossz:	48 mm
átmérő:	1,3 x 0,5 mm
súly:	1,66 gramm / 100 db
darabszám 1 kg-ban:	60241 db
adagolása:	5 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	0,8674 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

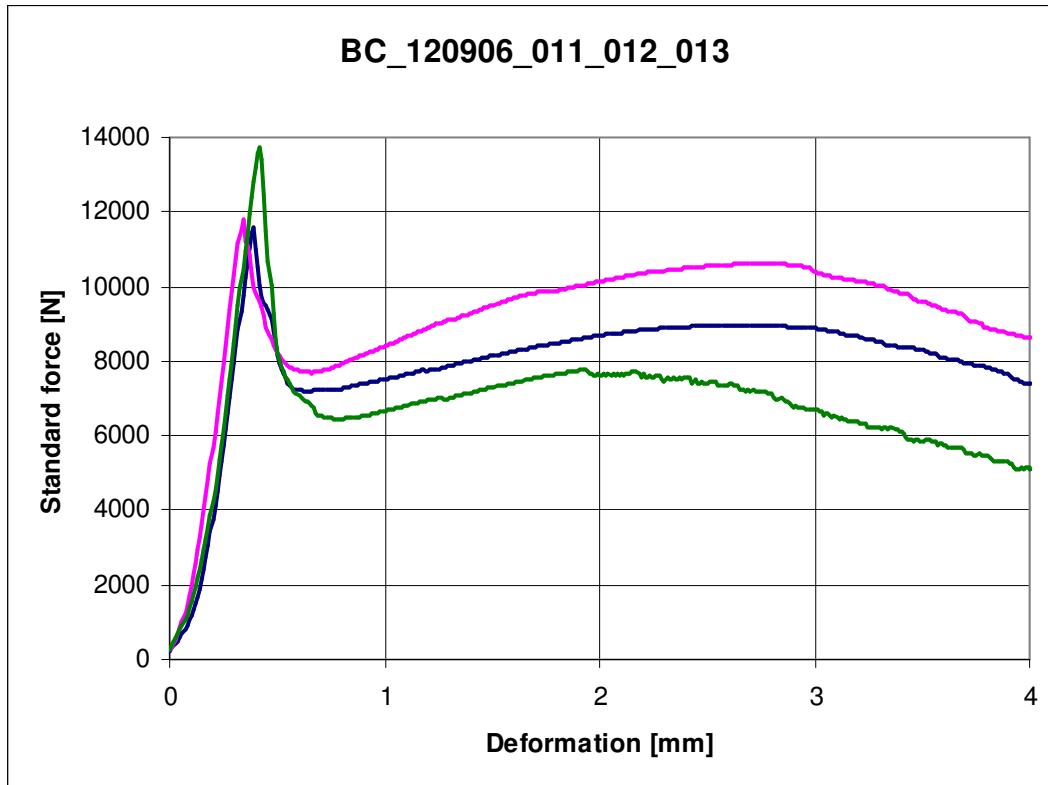
##### Megjegyzések

A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.

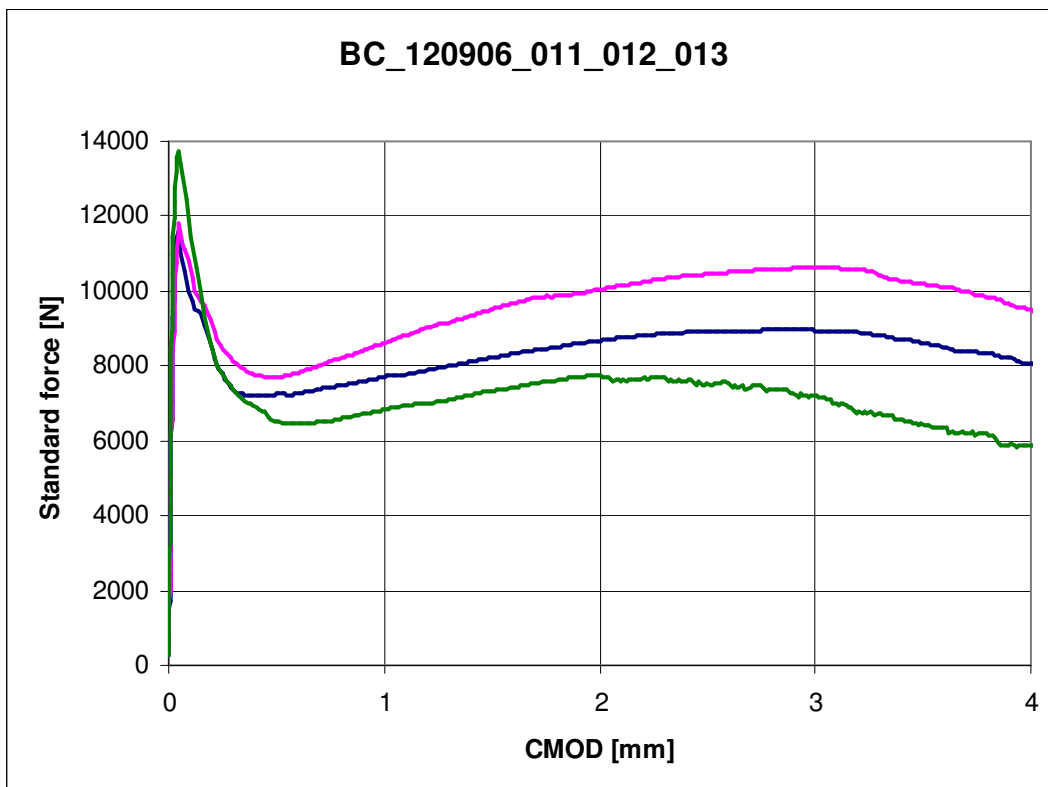




#### 4.6.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.6.2. Erő-CMOD diagram



### 4.6.3. Fényképek



120906\_011



120906\_012



120906\_013

#### 4.7. MAKRO2 – 5 kg-os adagolással

##### Szál adatai

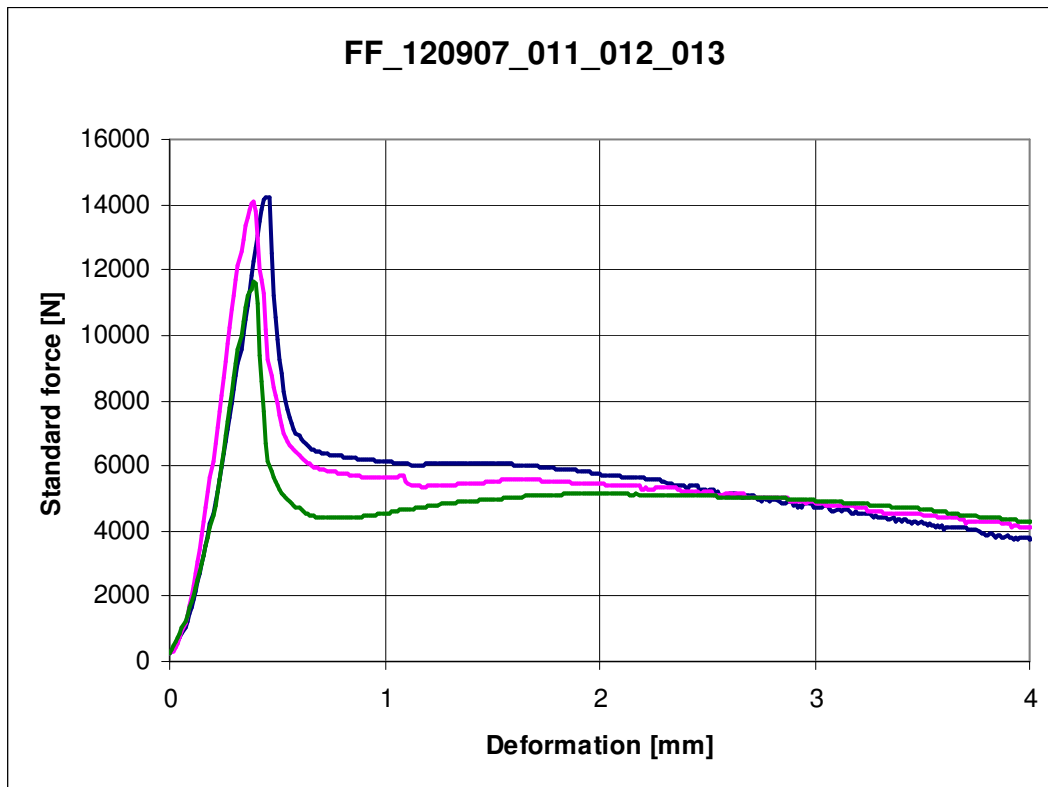
típusa:	csavart makro szál és fibrillált mikro szál keverék
keresztmetszet:	csavart szálakból
hossz:	50 mm
átmérő:	-
súly:	-
darabszám 1 kg-ban:	-
adagolása:	5 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	-

##### Megjegyzések

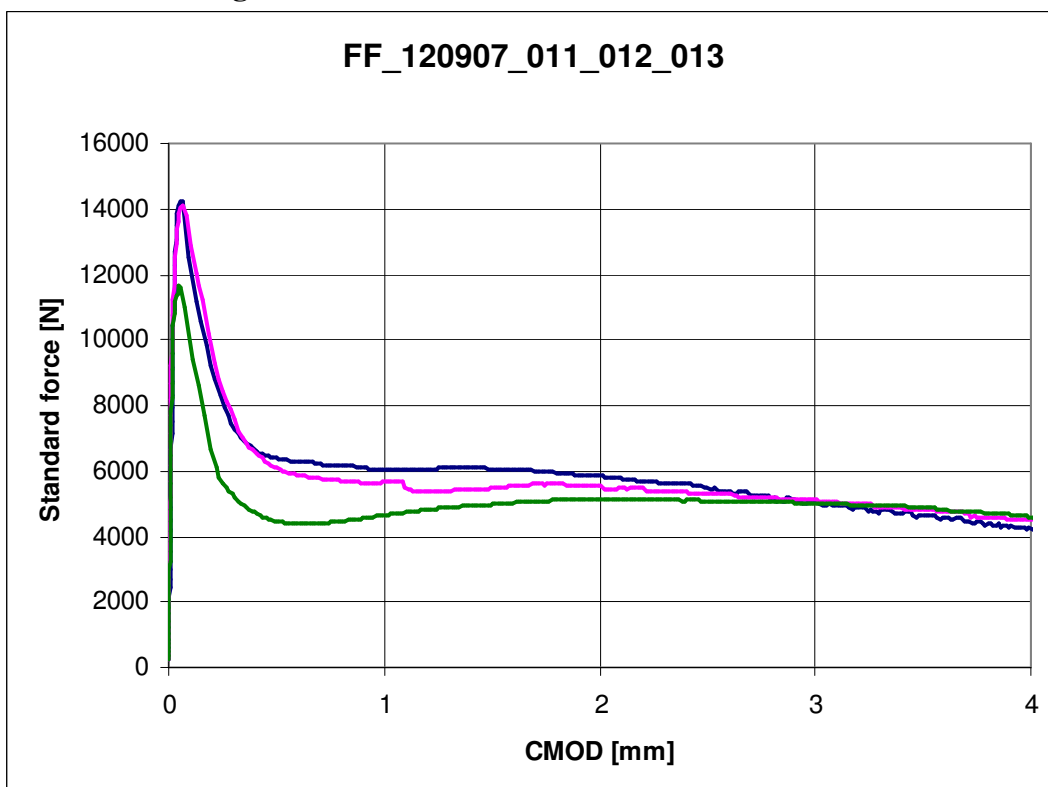
A szál a fent nevezett adagolás mellett nehezen keveredett, a betonhoz hozzáadott folyósító sem segített a keverésen. Betontechnológiai tervezés szükséges az adagoláshoz!



#### 4.7.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.7.2. Erő-CMOD diagram





**4.7.3. Fényképek****120907\_011****120907\_012****120907\_013**

#### 4.8. MAKRO3 – 5 kg-os adagolással

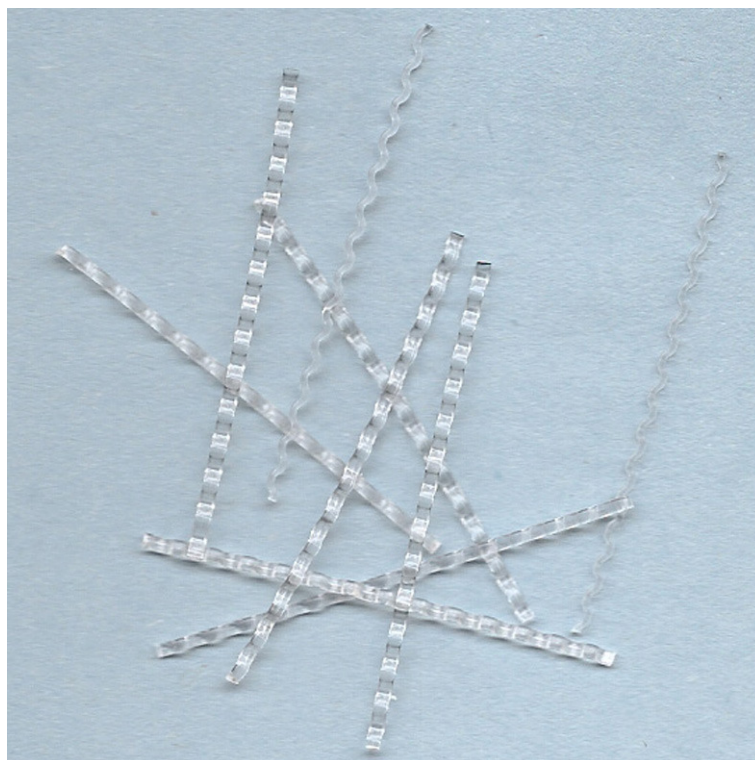
##### Szál adatai

típusa:	hullámos makro szál
keresztmetszet:	lekerekített négyszög
hossz:	45 mm
átmérő:	1,3x0,7 mm
súly:	3,1 gramm / 100 db
darabszám 1 kg-ban:	32258 db

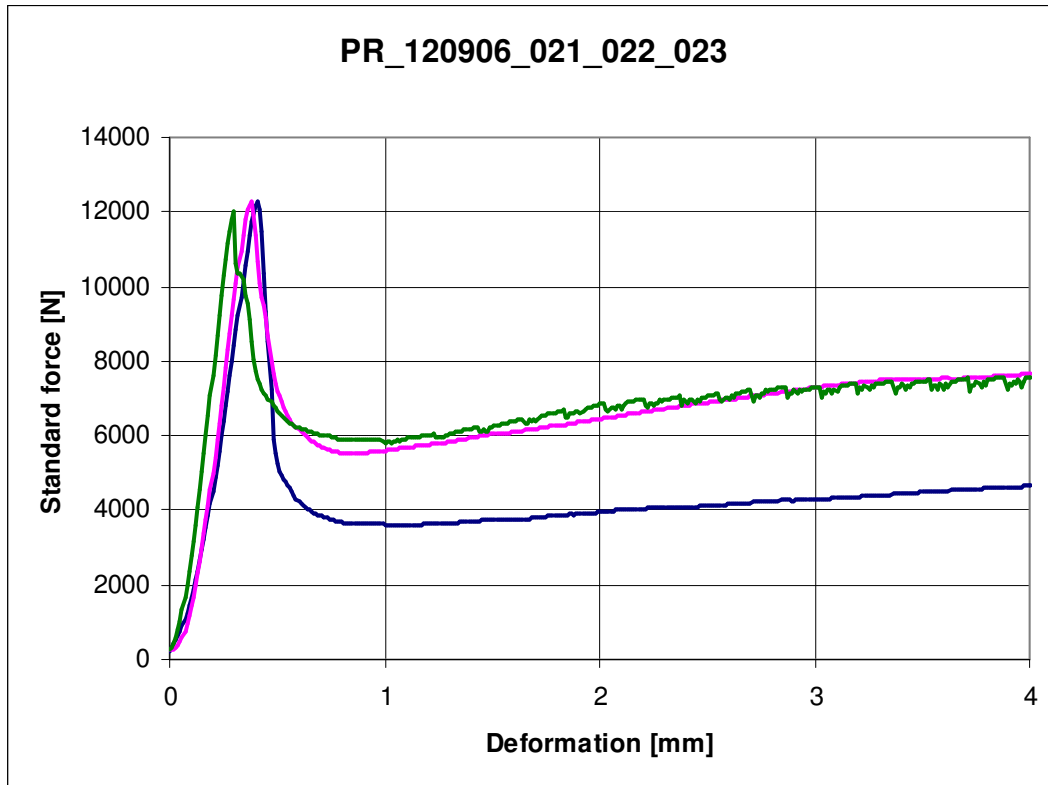
adagolása:	5 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	0,6604 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

##### Megjegyzések

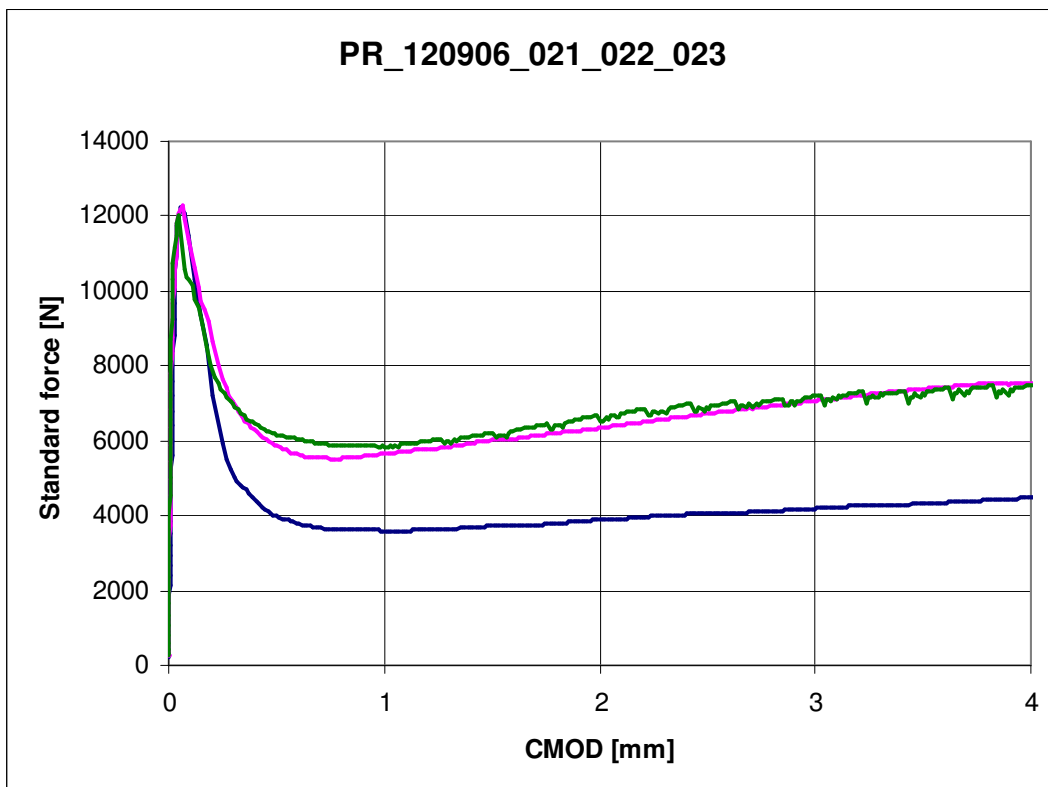
A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.



#### 4.8.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.8.2. Erő-CMOD diagram





### 4.8.3. Fényképek



120906\_021



120906\_022



120906\_023



#### 4.9. MAKRO4 – 5 kg-os adagolással

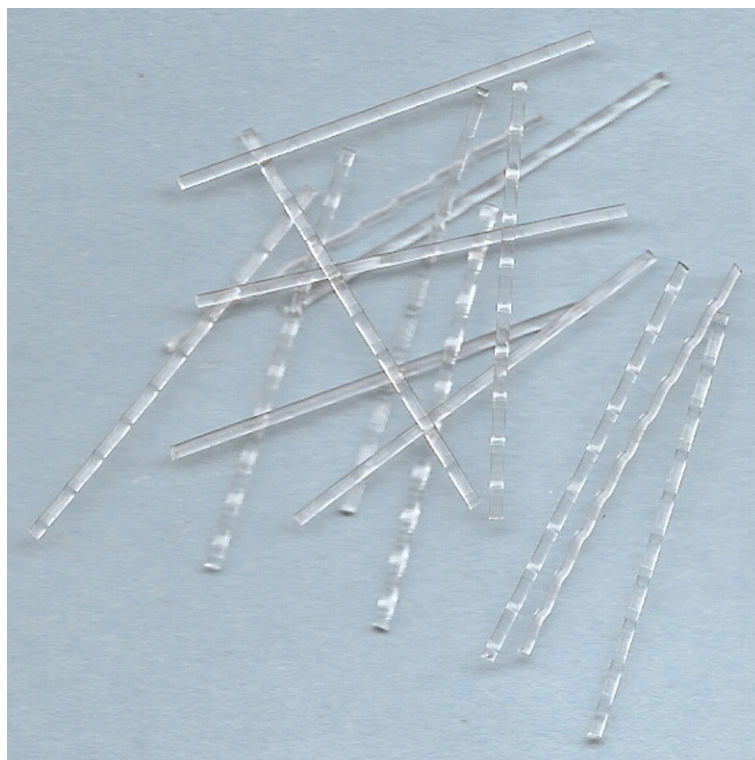
##### Szál adatai

típusa:	hullámos makro szál
keresztmetszet:	lekerekített négyszög
hossz:	40 mm
átmérő:	0,9x1,2 mm
súly:	3,2 gramm / 100 db
darabszám 1 kg-ban:	31250 db

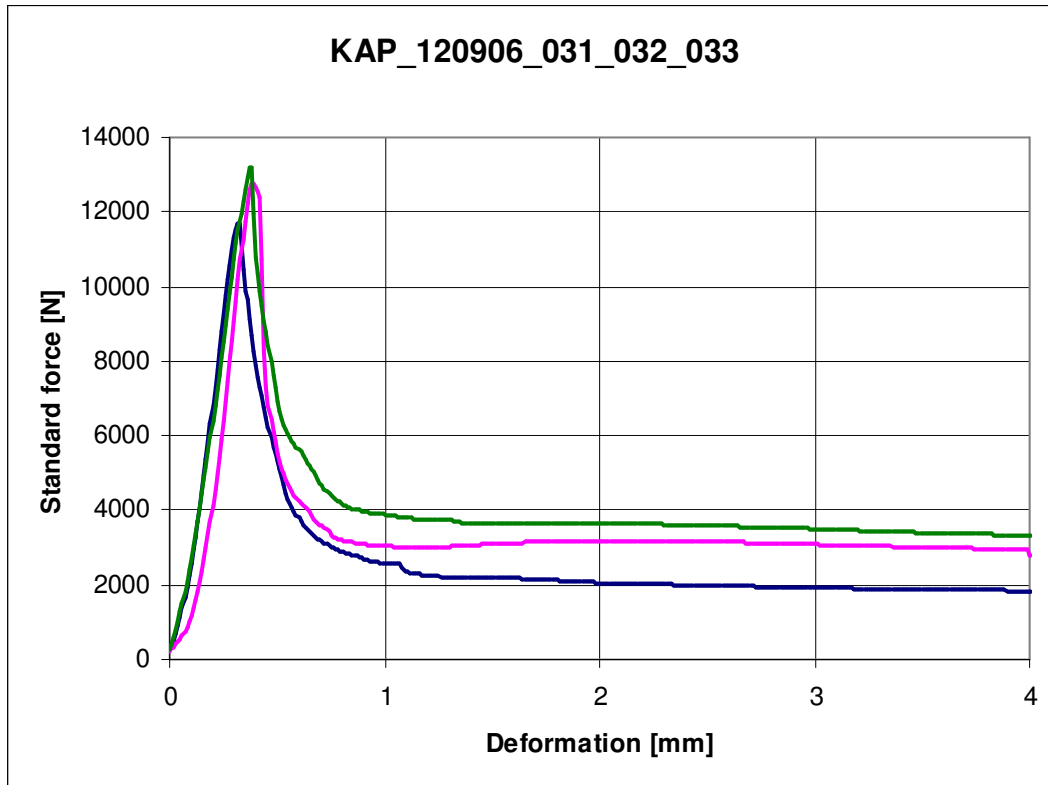
adagolása:	5 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	0,675 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

##### Megjegyzések

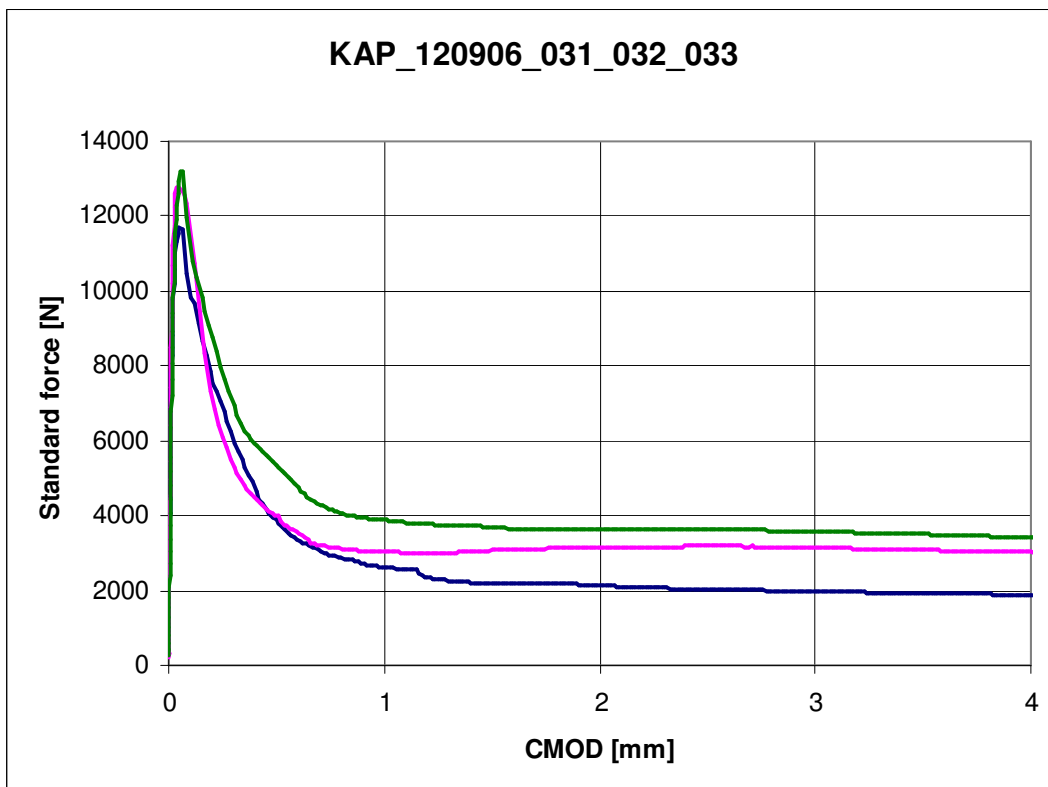
A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.



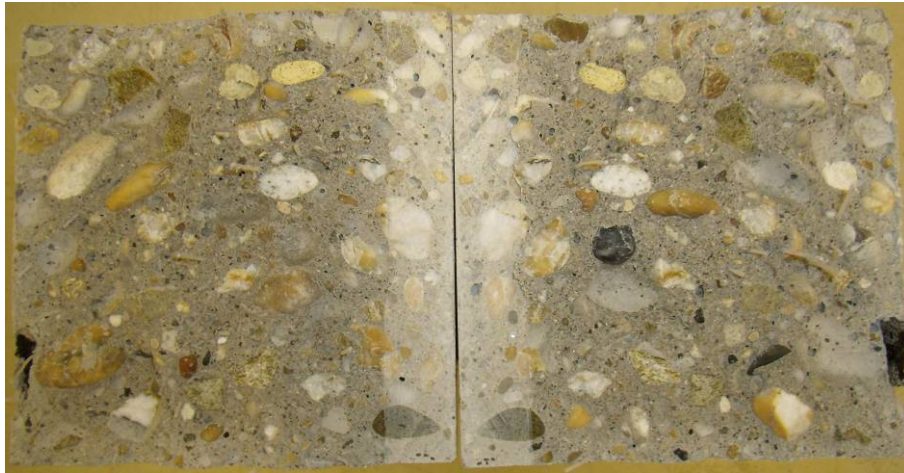
#### 4.9.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.9.2. Erő-CMOD diagram



### 4.9.3. Fényképek



120906\_031



120906\_032



120906\_033

#### 4.10. MAKRO5 – 5 kg-os adagolással

##### Szál adatai

típusa:	hullámos makro szál
keresztmetszet:	lekerekített négyszög
hossz:	48 mm
átmérő:	0,8x1,1 mm
súly:	2,02 gramm / 100 db
darabszám 1 kg-ban:	49505 db

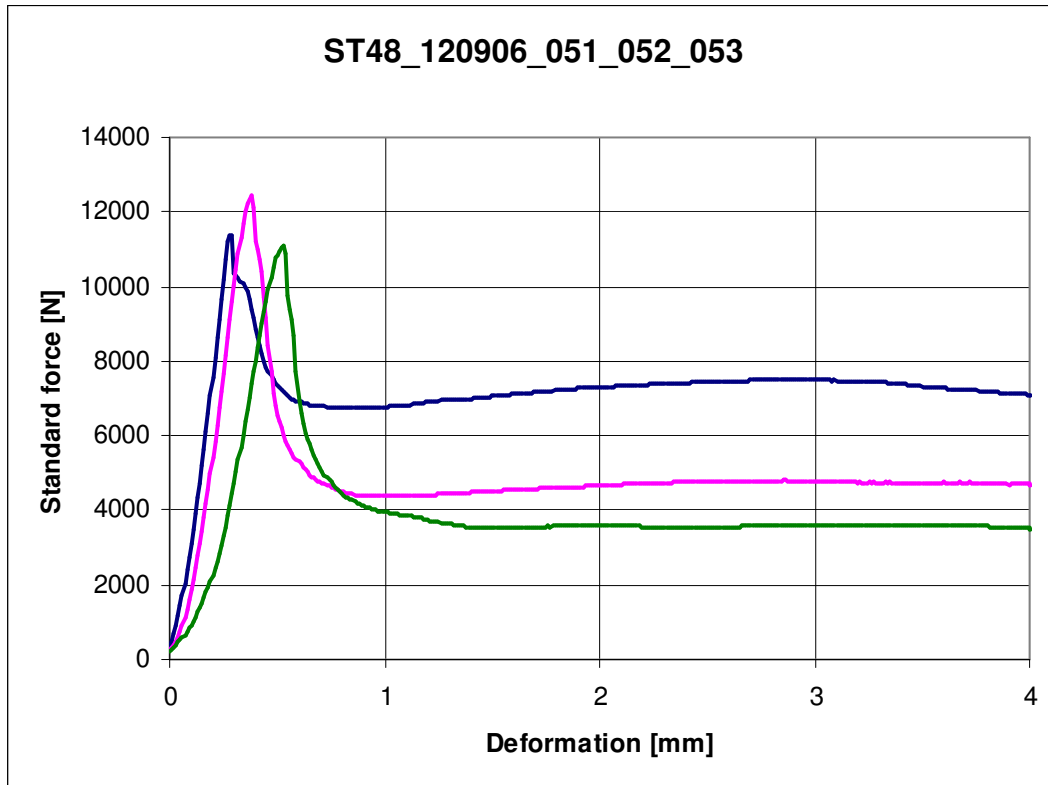
adagolása:	5 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	1,0455 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

##### Megjegyzések

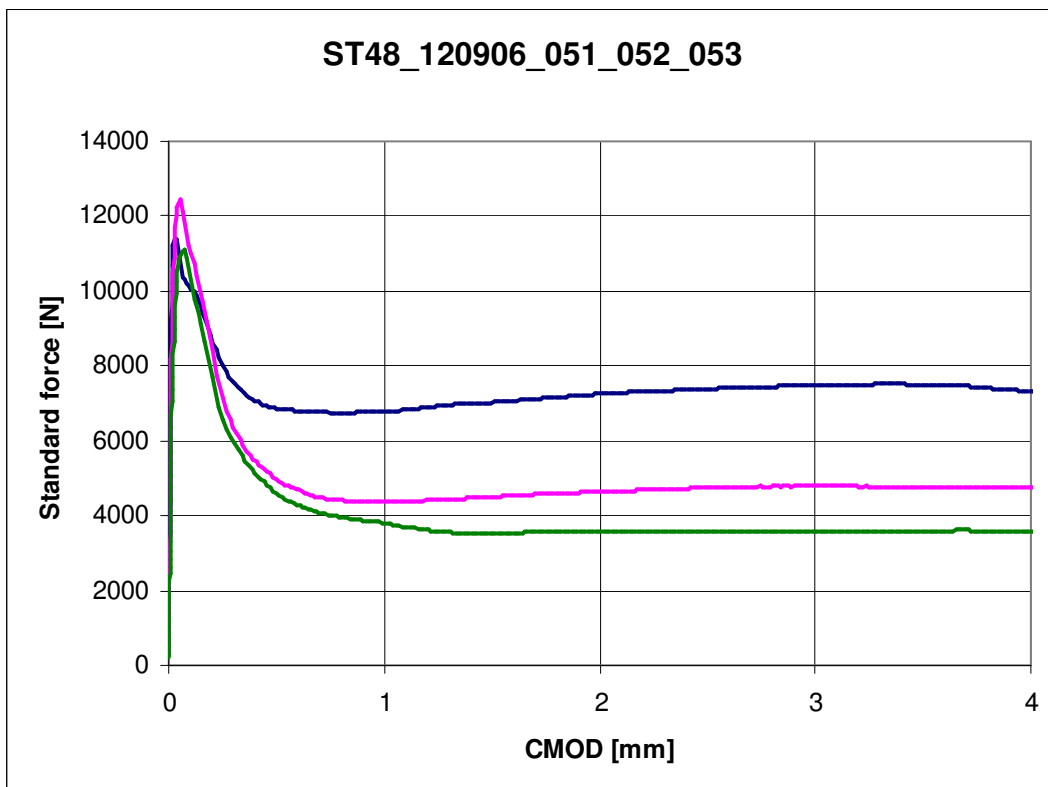
A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.



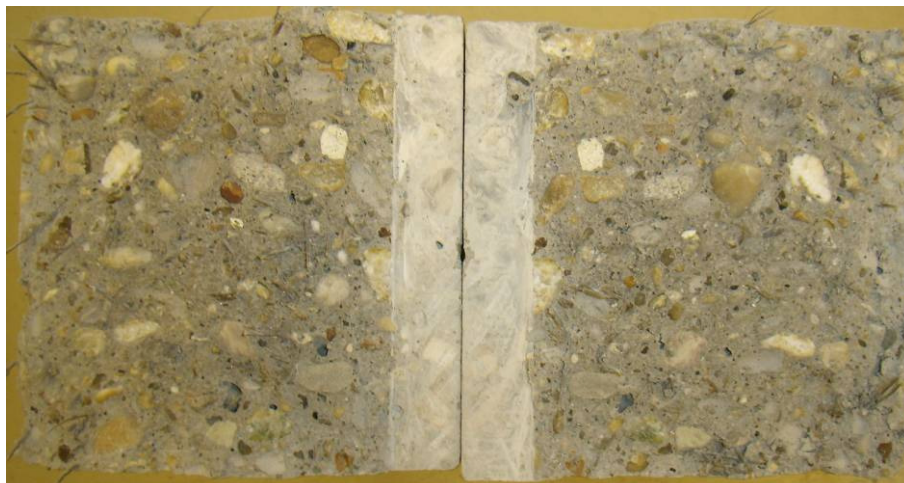
#### 4.10.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.10.2. Erő-CMOD diagram





**4.10.3. Fényképek****120906\_051****120906\_052****120906\_053**

#### 4.11. MAKRO6 – 5 kg-os adagolással

##### Szál adatai

típusa:	hullámos makro szál
keresztmetszet:	lekerekített négyszög
hossz:	24 mm
átmérő:	0,7x1,2 mm
súly:	1,14 / 100 db
darabszám 1 kg-ban:	87719 db

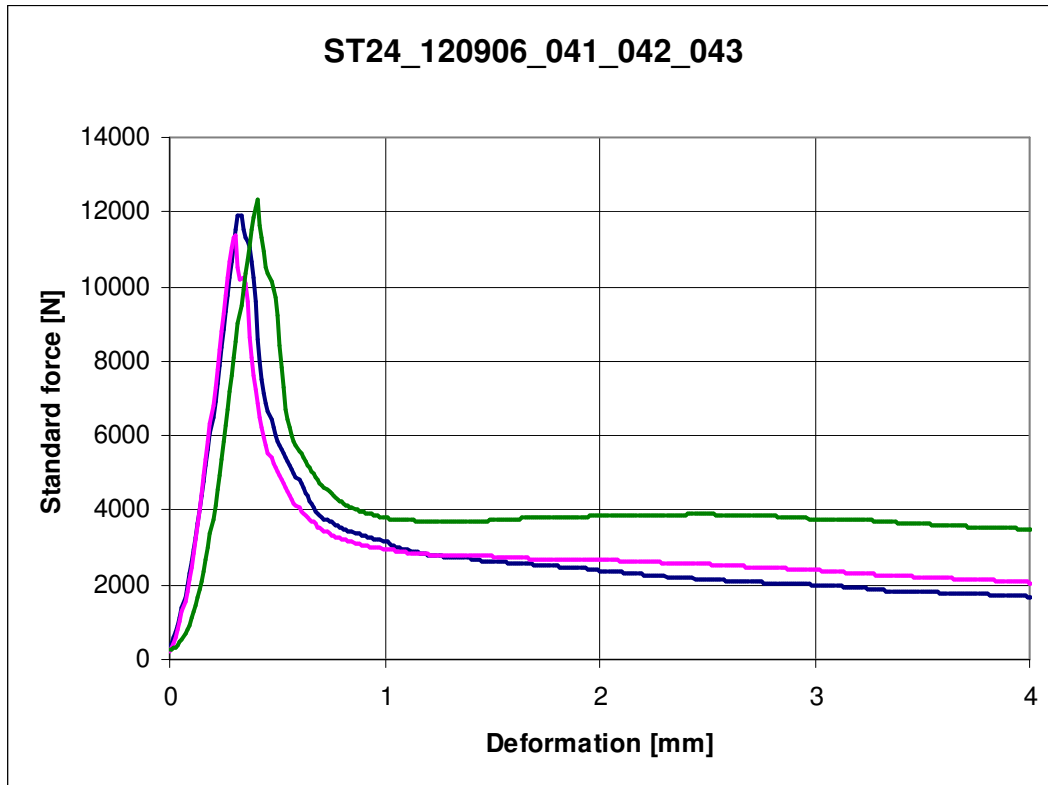
adagolása:	5 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	0,8842 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

##### Megjegyzések

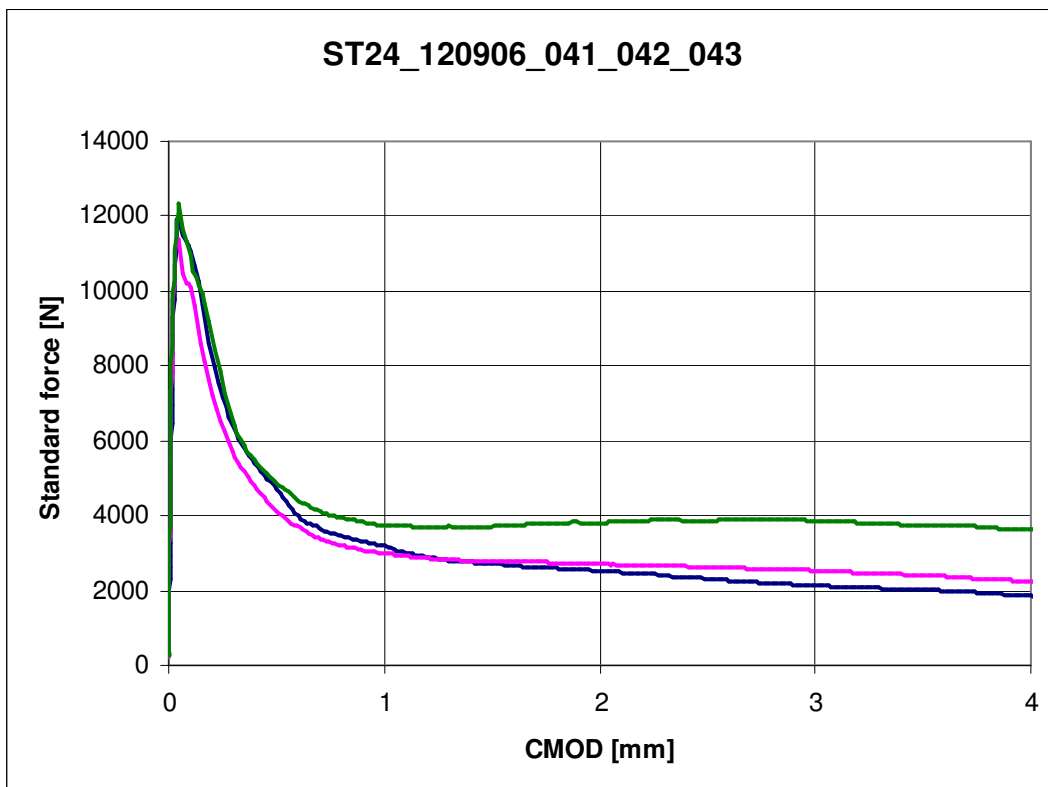
A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.



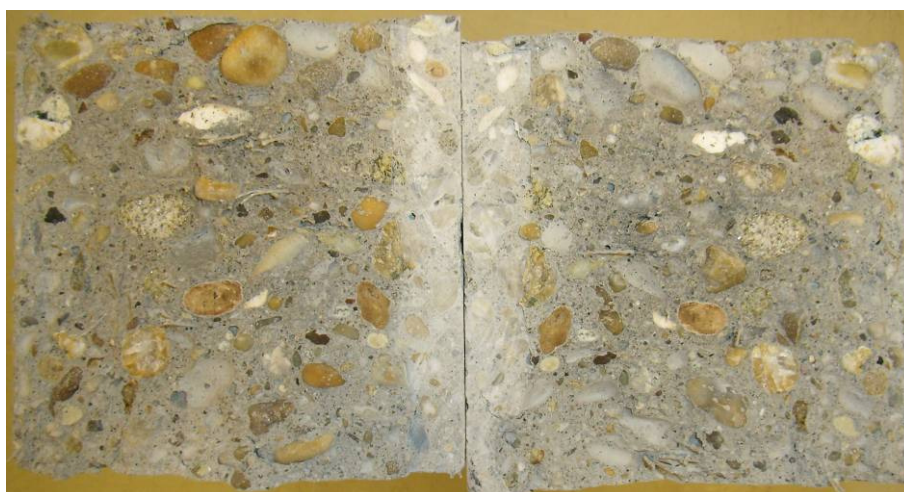
#### 4.11.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.11.2. Erő-CMOD diagram





**4.11.3. Fényképek****120906\_041****120906\_042****120906\_043**

#### 4.12. MIKRO1 (fibrillált) – 1 kg-os adagolással

##### Szál adatai

típusa:	fibrillált
keresztmetszet:	lapos
hossz:	19 mm
átmérő:	-
súly:	-
darabszám 1 kg-ban:	-

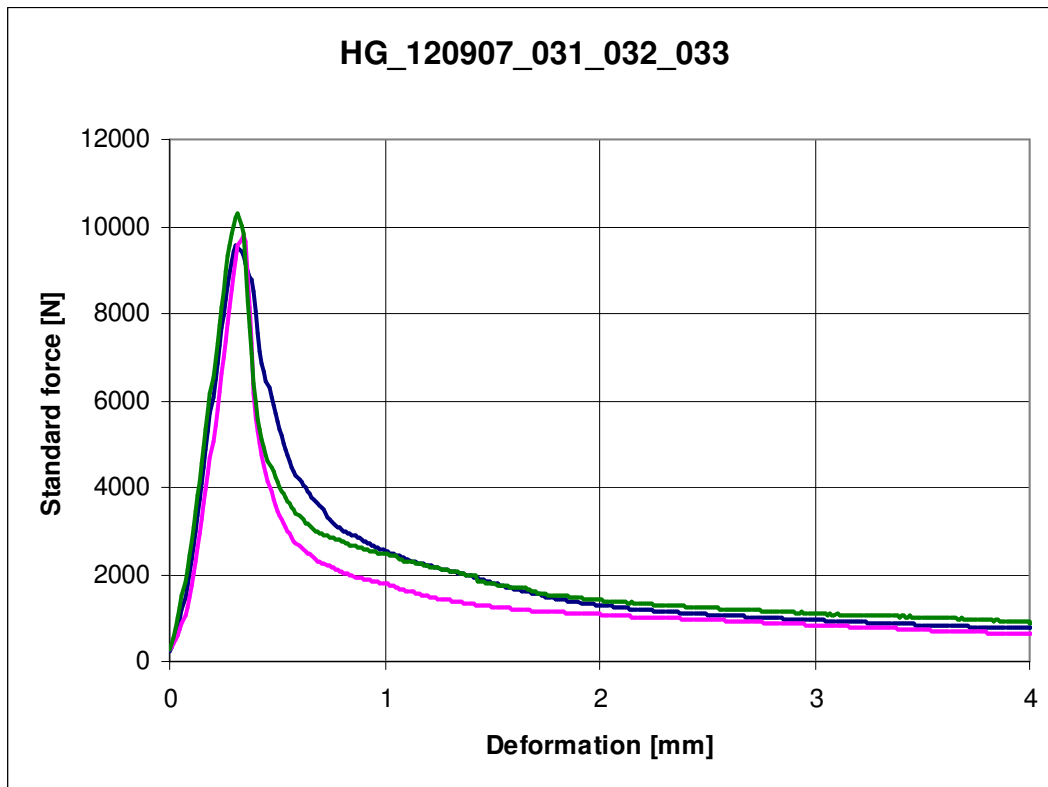
adagolása:	1 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	-

##### Megjegyzések

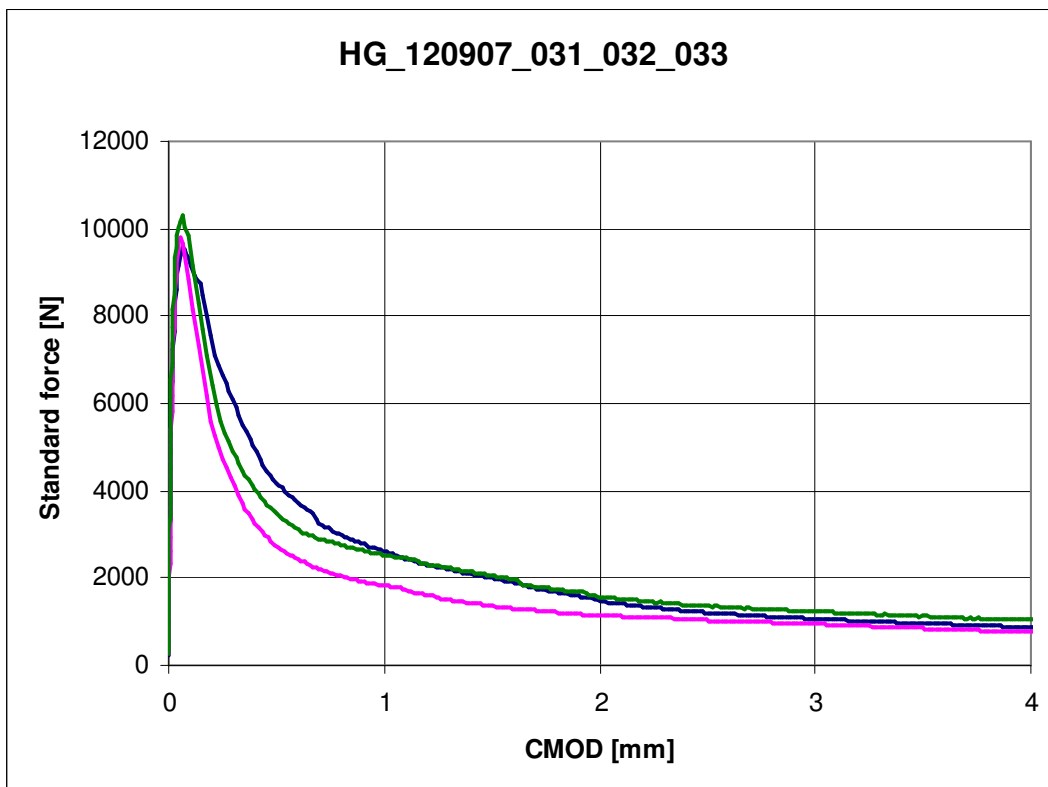
A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.



#### 4.12.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.12.2. Erő-CMOD diagram





**4.12.3. Fényképek**

120907\_031



120907\_032



120907\_033



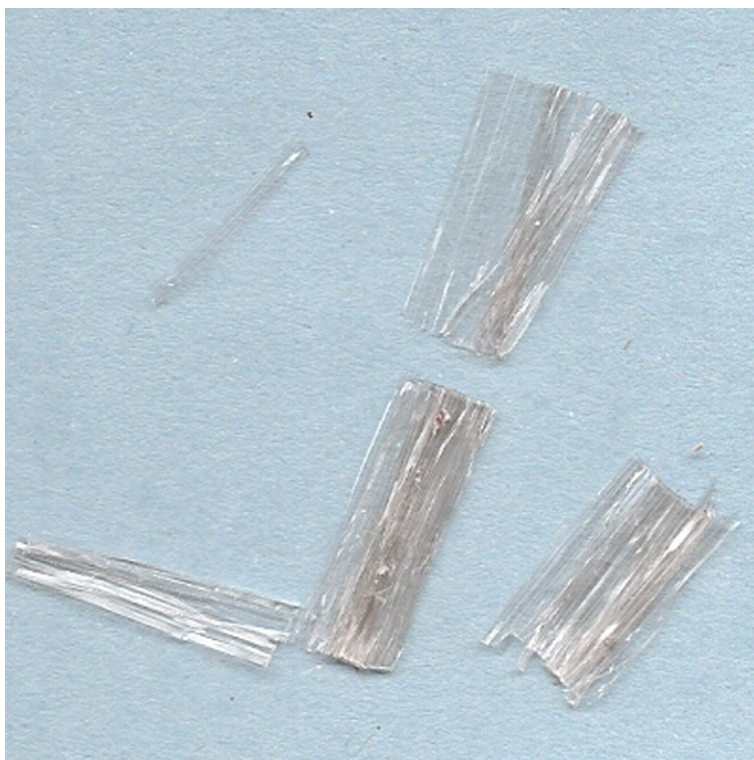
#### 4.13. MIKRO2 (fibrillált) – 1 kg-os adagolással

##### Szál adatai

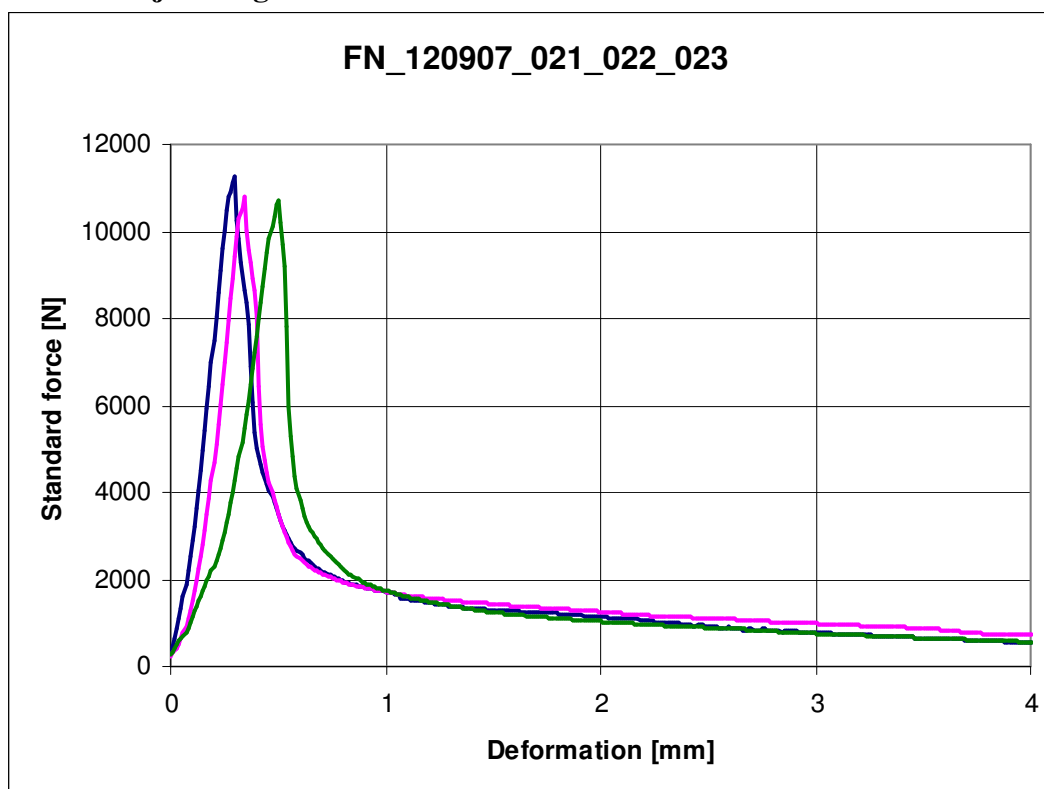
típusa:	fibrillált
keresztmetszet:	lapos
hossz:	19 mm
átmérő:	-
súly:	-
darabszám 1 kg-ban:	-
adagolása:	1 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	-

##### Megjegyzések

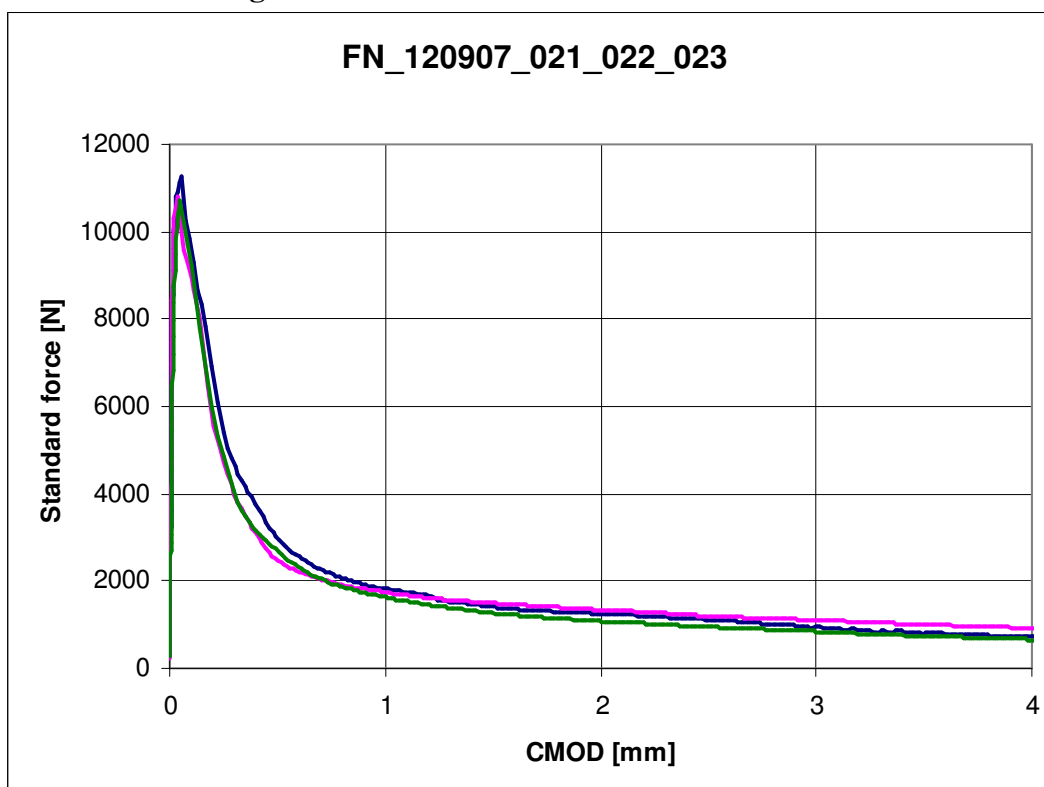
A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.



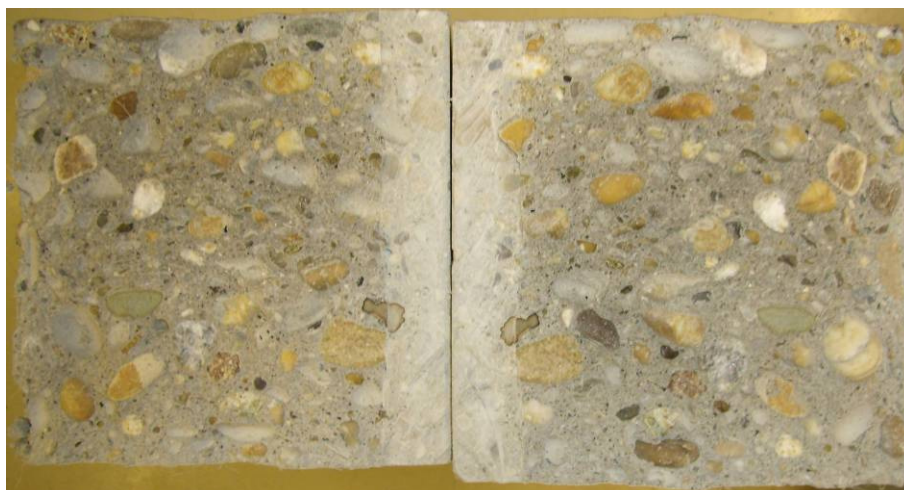
#### 4.13.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.13.2. Erő-CMOD diagram



### 4.13.3. Fényképek



120907\_022



120907\_023

#### 4.13. MIKRO3 (mono szál) – 1 kg-os adagolással

##### Szál adatai

típusa:	mono szál
keresztmetszet:	kör
hossz:	10 mm
átmérő:	-
súly:	-
darabszám 1 kg-ban:	-
adagolása:	1 kg/m <sup>3</sup>
térfogatszázalékban:	-

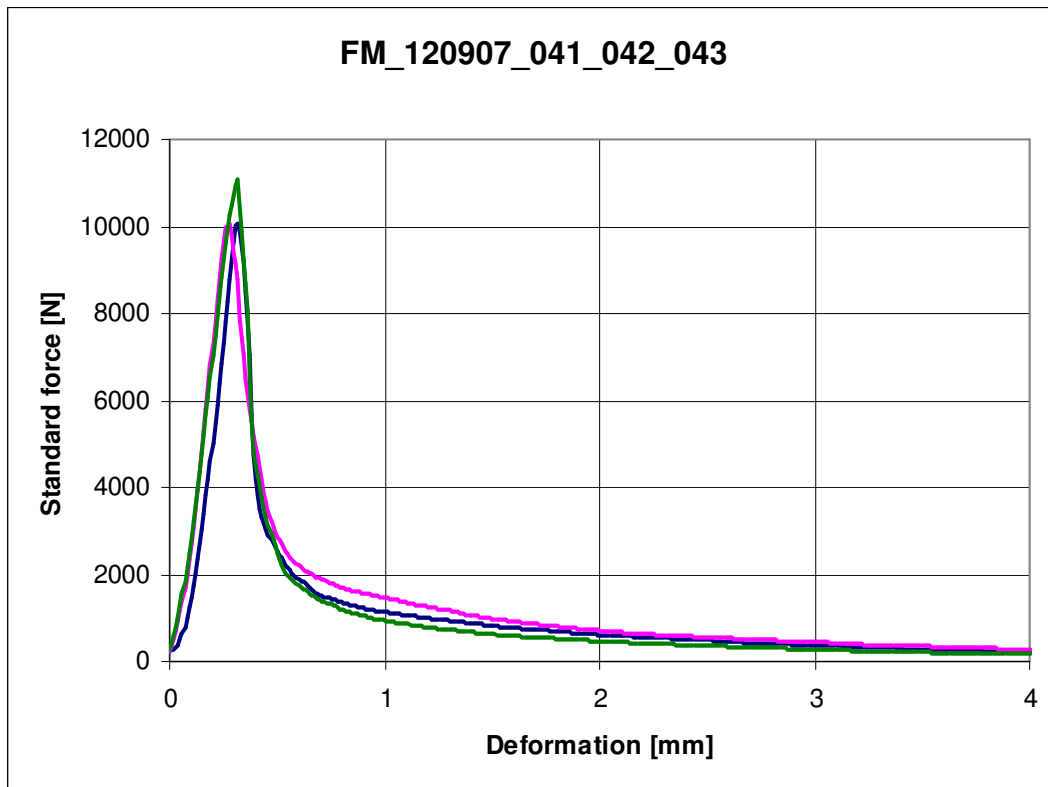
##### Megjegyzések

A szál a fent nevezett adagolás mellett jól keveredett, a friss szálerősítésű beton homogén, jól tömöríthető lett.

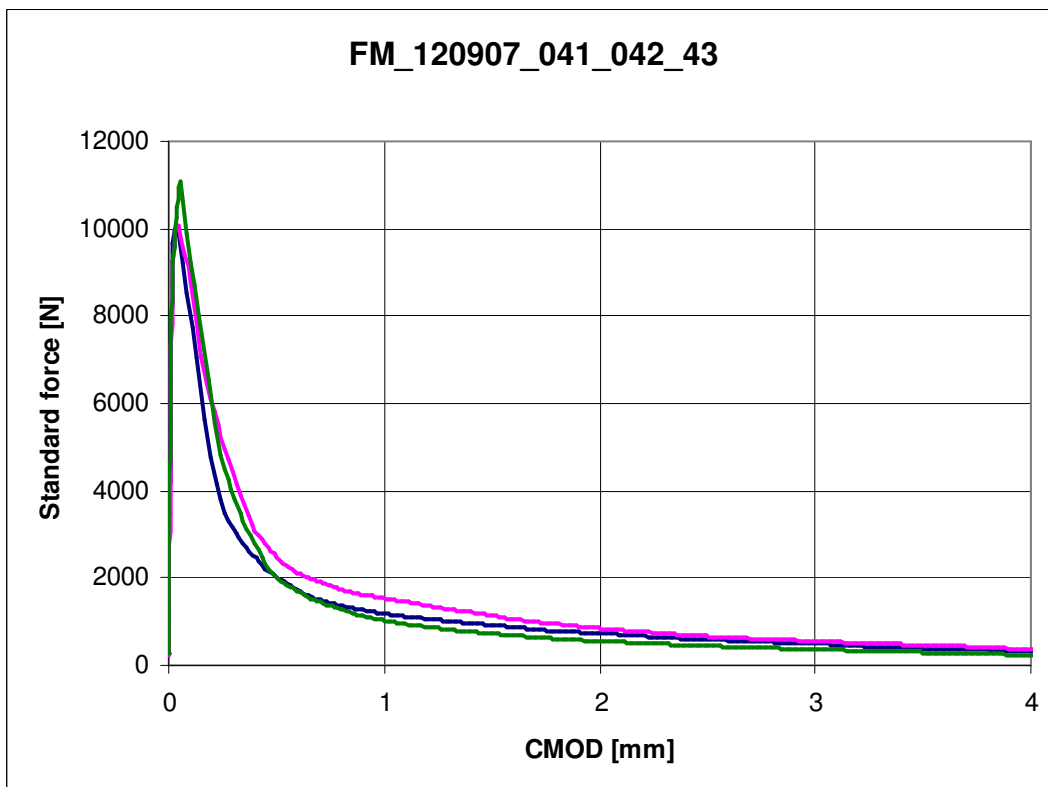




#### 4.13.1. Erő-lehajlás diagram



#### 4.13.2. Erő-CMOD diagram



**4.13.3. Fényképek****120907\_041****120907\_042****120907\_043**

## 5. Megállapítások

### 5.1. Minimális szálmennyiség kérdése

A minimális szálmennyiségre az irányelvek két féle feltételt adnak:

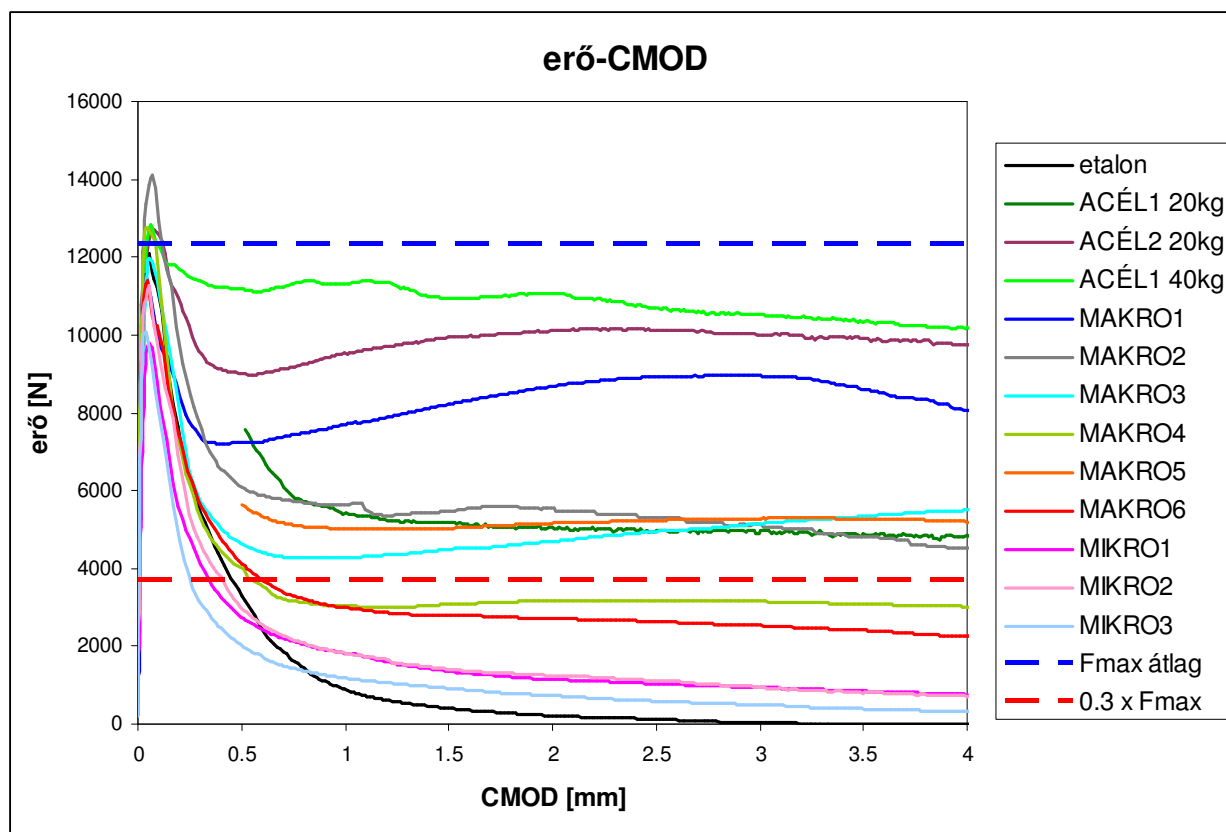
- geometriailag szükséges mennyiség
- előírt maradó feszültséghez kötött mennyiség.

A **geometriailag szükséges mennyiség** lényege, hogy egyenes elkeveredést feltételezve a szálak átfedjék egymást, azaz ne alakulhasson ki olyan törési felület, ahol nem halad át szál.

*Fontos kiemelni, hogy a felezőpontos (3 pontos) törési kísérletnél a bemetszett, gyengített keresztmetszetenél fog kialakulni a törés, azaz csak és kizárólag ezen a keresztmetszeten áthaladó szálak mennyisége a mértékadó. Az osztrák irányelv (Richtlinie Faserbeton, 2008) ajánlása szerinti harmadpontos (4 pontos) törésnél a két terhelési pont között a nyomatek állandó, így a leggyengébb keresztmetszetben fog kialakulni a törés. Előnye-hátránya így mindkettőnek van, de a CMOD érték csak a felezőpontos törésnél mérhető.*

Fontos az elkeveredés minősége is. Ha az elkeveredés nem egyenes, kialakulhat olyan gerenda, ahol a gyengített keresztmetszetben a szálak elhelyezkedése sűrűbb vagy épp gyengébb, így a kapott érték nem reális.

A **maradó feszültséget** az  $R_{e3}$  értékkel lehet jól jellemezni, erre adnak az irányelvek szükséges minimum értéket. A TR34-es irányelv az  $R_{e3}$  értékre a 30%-ot jelöli meg, ez alatt a szálak hatását nem szabad figyelembe venni.



4. ábra: szálak összesített eredményei

Az általunk vizsgált szálerősítésű gerendák átlagértékét egy diagramra helyeztük (4. ábra). Fontos megjegyezni, hogy egy szálerősítésű gerenda teljes vizsgálatánál az adatok kiértékelésénél figyelembe kell venni a szórást is.

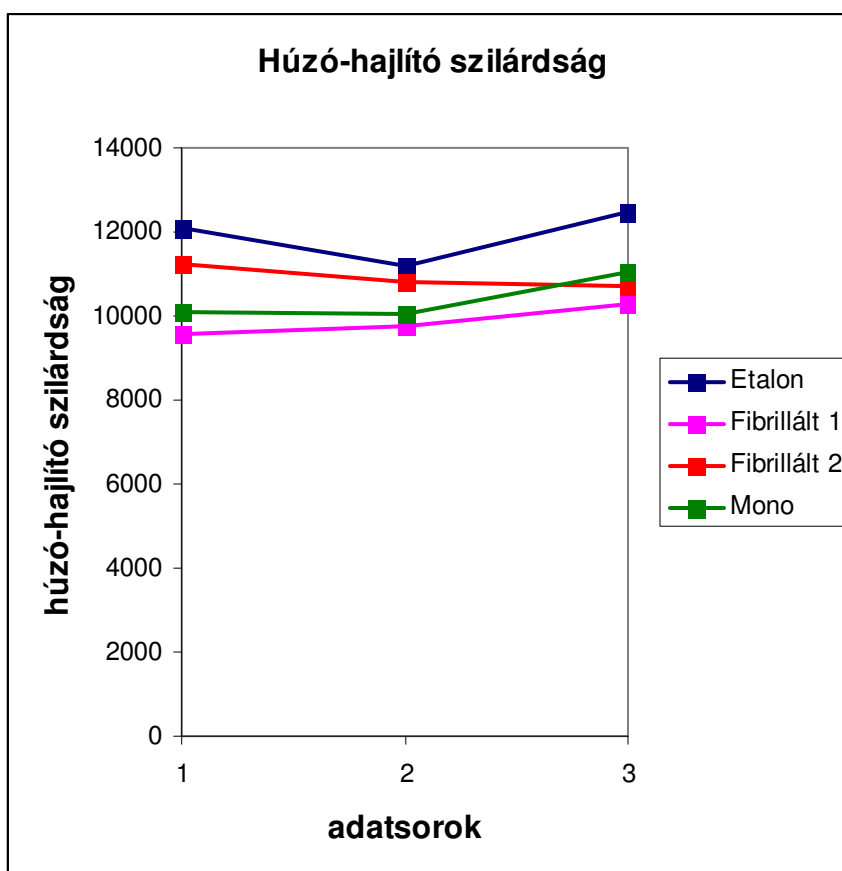
A kék szaggatott vonal jelzi a húzó-hajlító szilárdság átlagértékét, a piros szaggatott pedig ennek a 30%-át. Azok a szálak, amelyek törés utáni erő átlagértéke ezen piros szaggatott vonal felett van megfelelnek az ipari padló irányelvben leírtnak. A vizsgált szálak közül a MAKRO4 és a MAKRO6 és a MIKRO szálak nem felelt meg ennek a kritériumnak.

## 5.2. Mikroszálak hatása

A hazai építőipari gyakorlatban egyelőre még nem rögződött a mikro és makro szál elnevezés és annak különbsége. Ennek kapcsán sokan a makro szálak hatását becsülik alul, sokan pedig a mikro szálaknak tulajdonítanak túlzott értékeket.

Mivel a mikro, azaz fibrillált és mono szálak repedés utáni hatása elhanyagolható,  $R_{e3}$  értékük jóval a minimális 30% alatt van (lásd 4. ábra), így előnyük a kezdeti mikro repedések kialakulásának meggátlásában keresendő. Ezekre külön vizsgálat nem készült, meghatározásuk nehezen számszerűsíthető, habár az osztrák irányelv ad rá útmutatást.

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



5. ábra: szálerősítés nélküli és mikro szálerősítésű beton gerendák törőterhei



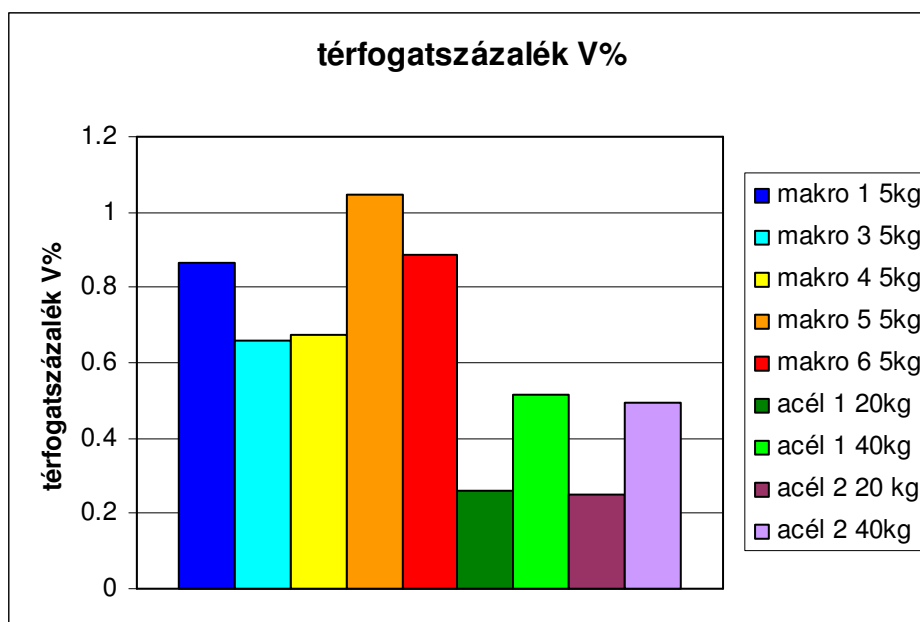
Erre pontos elméleti magyarázat csak további kutatásokkal adható, de a következő sejtés fogalmazódott meg bennünk: habár a szálak a mikro repedések kialakulását meggátolják a beton fiatal korában, megszilárdult betonnál azonban pont ellenkezőleg, csökkentik a szilárdságát.

További kutatásokra adhatnak okot az 5. ábrán látható értékek, de azt a következtetést levonhatjuk, hogy a mikroszálak olyan szerkezeteknél alkalmazhatók előnyösen, ahol a betonfelület esztétikai megjelenése fontos, de a beton elem későbbi használata során a statikai igénybevételek nem jelentősek. Nem ajánlanánk azonban ipari padlónál, ahol a betonszerkezet elsősorban statikai igénybevételekre lett tervezve, az esztétikai megjelenés másodlagos.

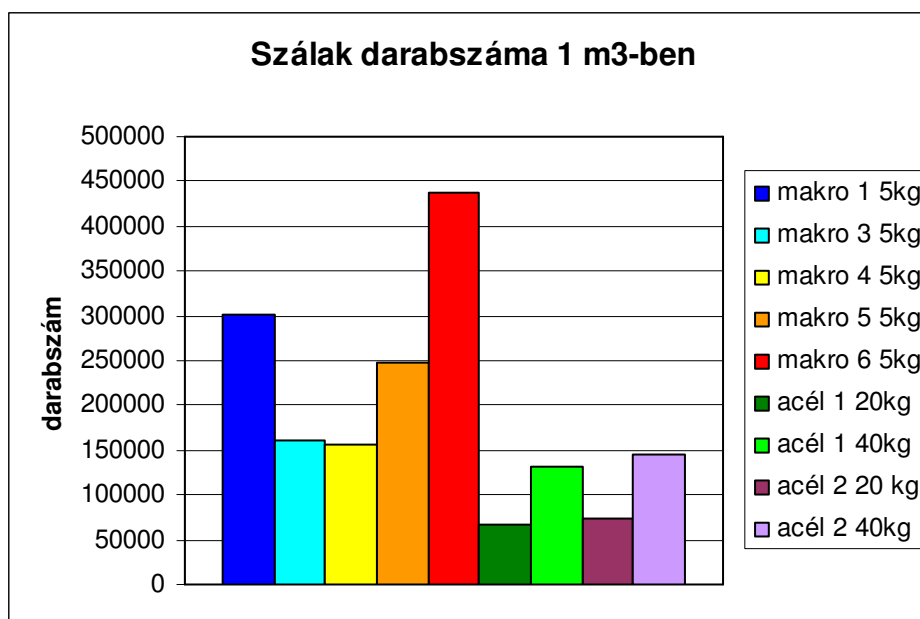
### 5.3. Milyen szálát válasszunk?

A szálerősítésű beton jellemzésére elsősorban a két támaszú gerenda tesztet használják. Alagútépítésben löttbetonoknál az ún. kör alakú panel tesztet is használják, amely 40 mm-es középponti lehajlásához tartozó elvégzett munkát mérik J-ban. Ez hasonló az  $R_{e3}$  értékhez. Bármelyik értéket is vesszük alapul a szálak teljesítőképessége összemérhető.

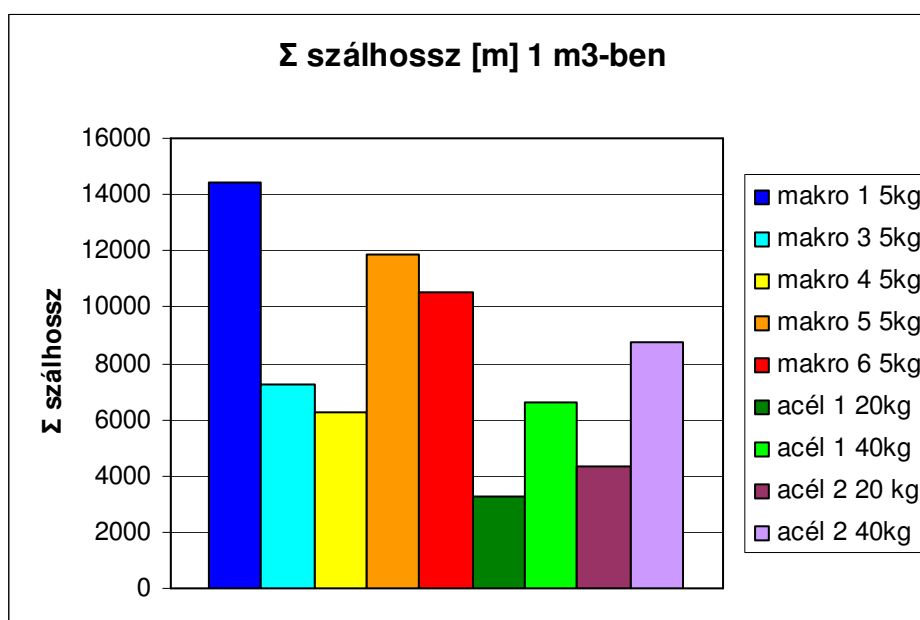
A hozzáadott szálak mennyiségének jellemzésére az  $1 \text{ m}^3$  betonba kevert szálak súlyát adják meg kg-ban ( $\text{kg/m}^3$ ). Míg az acél fajsúlyát állandónak vehetjük, így ezzel a módszerrel 2 féle acélszál könnyen összehasonlítható, a műanyag szálak fajsúlyában jelentős eltérés lehet. Acél- és műanyagszál összehasonlítása ezen az alapon nehézkes. Sokkal korrektebb az összehasonlítás, ha a térfogatszázalékot,  $1 \text{ m}^3$  betonban található szál darabszámot vagy szálhosszat vizsgáljuk.



6. ábra: a bekevert szálak térfogatszázaléka



7. ábra: a bekevert szálak darabszáma



8. ábra: a bekevert szálak összhossza

Ezekből az összehasonlító diagramokból egyértelműen látszik, hogy bár a hozzáadott makro szál adagolása minden száltípusnál 5 kg/m<sup>3</sup>-es értékű volt, térfogatszázalékra, szál darabszámra, szálhosszra nagyságrendileg különböző értékeket kaptunk. Mind ezek a diagramok, mind a mért értékek azt igazolják, hogy nem hasonlítható össze egyértelműen kizárólag az adagolással két makroszál, azaz **vizsgálat nélkül nem helyettesíthető egyik típus a másikkal!**

#### 5.4. Kiválthatja a vasalást?

Vasbeton keresztmetszettel ekvivalens szálerősítésű keresztmetszet tervezhető, de ezeknél a keresztmetszeteknél a vasalás általában a minimális vasmennyiség alatt van és általában repedések meggátlása a cél. Lemezszerű, statikailag határozatlan szerkezeteknél

legkedvezőbb a kiváltás (ipari padló, villamospálya), illetve olyan előregyártott elemeknél, ahol a vasalás szerepe nem elsősorban statikai (egyed előregyártott elemek).

Újabb kutatási irány a nyírási vasalás kiváltása vékony, nehezen szerelhető előregyártott elemeknél. Külföldi példák jó eredményekkel kecsegtetnek.

**Irodalomjegyzék**

Vandewalle, L., et al. (2002) „*Test and design methods for steel fibre reinforced concrete – Final*”, Materials and Structures, 35(253)

The Concrete Society UK (2003) „*Technical Report No. 34*”, The Concrete Society UK

Japan Society of Civil Engineers (1985) „*Method of test for flexural strength and flexural toughness of SFRC*”, Standard JSCE SF-4

Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (2008), „*Richtlinie Faserbeton, Ausgabe Juli 2008*”



## A jelű melléklet – keverési terv

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	FVM-v120504		Nr / Minta azon							Liter	Víztar-
2			ipari padlóbeton							22	talom
3			MAPEI - BME szálbeton vizsgálat	%	kg/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	Ft/kg	Liter	Ft	g	%
4			CEM 525			3,12	0,000	0			
5			EM II/A-S 42,5 N Holcim Rohoznik (SK)	100,0	325	3,10	0,000	105	0	7 150	
6			CEM 325			3,10	0,000	0			
7			k_v/c_v/(c+k*p)_v/c+PZ500	0,4	0,492	0,492	0,492		MSZ 4798	össz CEM	325
8			víz		160	1,00	0,000	160		3 307	
9			Filter Perye			2,10	0,000	0			
10			mikroszilika Mapeplast SF			0,60	0,000	0			
11			LB Tatabánya tech maradék			2,70	0,000	0			
12			Bazalt Liszt			2,80	0,000	0			
13	130	28,3	0/4 Yorks	42	799	2,64	0,000	302	0	17 743	1,00
14	130	28,3	4/8 Yorks	18	342	2,64	0,000	130	0	7 566	0,50
15	200	43,5	8/16 Yorks	22	418	2,64	0,000	158	0	9 202	
16			16/24 Yorks	18	342	2,64	0,000	130	0	7 529	
17						2,64	0,000	0			
18						2,64	0,000	0			
19						2,64	0,000	0			
20						2,64	0,000	0			
21	kg	%	Terv . Légtart.	1,5				15,0		42 040	1
22	460	100,0	Össz Adalék.	100	1 901		1m <sup>3</sup> =	1 000		1	v / c
23	váz rekonstrukció		Terv. Testsűr.		2 386		v / c			2	f / c
24			sr3	0,400	1,30	1,07	0,0	1,2	0	28,60	26,73
25			0								
26			0								
27			0								
28			Adalékszer érték	0,400	1,30			1,2	0	28,6	26,7
29			Beton érték						0		
30				%	kg/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	Ft/kg	Liter	Ft	g/kg	m/Lit



beton jele  
MSZ 4798 szerint

## Beton keverék számítás

C 30/37-XC4-XD2-XF1-XA1-XV2(H)-24-F3-CEM 42,5 ipari padlóbeton

KEVv8

MAPEI Betonlabor

2038 Sósokút, Küllerület 063/7

Tel/Fax 23/501-670, 23/560-522

Üzem / Munkahely:

Projekt / Szerkezet:

MAPEI Betonlabor

szálerősítéses ipari padlóbeton

Recept azonosító:

Adalékgörbe azon: 0,00

Különl. Tulajdon: ipari padlóbeton

Alkalmazhatóság MSZ 4798-1:2004													
Környezeti osztályok													
XOH	XC	XD	XS	XF	XFH	XA	XKH	XVH	vizzáró	fagyálló	pumpálható	agresszív e.	kopásálló
v	3	2	1	1	2	1	1	1	X	X			3

		Tervezett:	Előírt jellem.	MSZ 4798
Szilárdsági osztály C	N/mm <sup>2</sup>	30	40	30/37
Szemmagyság max D <sub>max</sub>	mm	24		24
Konzisztencia		K	Szüks. Rm	F3
Levegő tartalom	%	1,5	44	1,5
Cementtartalom	kg	325		CEM 42,5
Testsűrűség	kg/m <sup>3</sup>	2388	Várható Rm	2388
v/c		0,492	44	0,492
Eltarthatóság	óra	1		1

Vizzáró / Fagyálló / Kopásálló XC4-XD2-XF1-XA1-XV2(H)

ADALEKANYAGOK	
Fajta	Gyártó
OH 0-4	LB Yorks
OK 4-8	LB Yorks
OK 8-16	LB Yorks
OK 16-24	LB Yorks
0	0
0	0

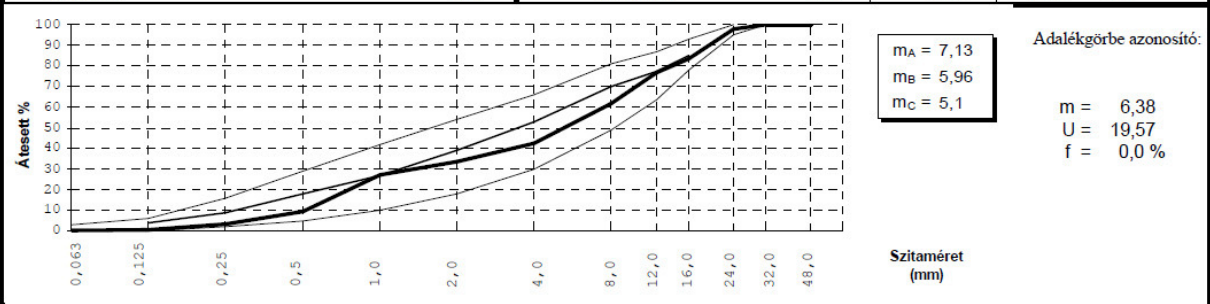
ALAPANYAGOK	
Cement gyártó	Holcim Rohoznik
Fajta	CEM II/A-S 42,5 N
Kiegészítő anyag gyártó	
Fajta	
Adalékszer gyártó	
Fajta	MAPEI
Főhatás	Dynamon SR 3
Vizmegtakarítás	HRWR+SRA

TERFOGATSZÁMITÁS			
	kg/m <sup>3</sup>	Sűrűség:	Térfogat l/m <sup>3</sup>
Szám. víztartalom	160	1,00	160
Cementtartalom	325	3,10	105
Kieg. anyag tart.	0	1,00	0
Levegőtartalom			15
Szám. ada. tart.	1901	2,64	720
Adalékszer 1. %	0,40	1,30	1,07
Adalékszer 2. %	0,00	0,00	1,00
Adalékszer 3. %	0,00	0,00	1,00
<b>Összesen :</b>	<b>2387</b>		<b>1001</b>

ADALEKANYAG KEVERÉK SZÁMITÁS:				
Adalék frakció	Rész %	Térfogat liter	Sűrűség	Tömeg kg/m <sup>3</sup>
OH 0-4	42 %	302	2,64	799
OK 4-8	18 %	130	2,64	342
OK 8-16	22 %	158	2,64	418
OK 16-24	18 %	130	2,64	342
0	0 %	0	2,64	0
0	0 %	0	2,64	0
<b>Összesen :</b>	<b>100 %</b>	<b>720</b>	<b>2,64</b>	<b>1901</b>

FINOMRÉSZ TARTALOM		
	%	kg/m <sup>3</sup>
0,25 mm alatti rész	3,41	65
Cement		325
Kiegészítő anyag		0
<b>Összesen :</b>		<b>390</b>

PEPTARTALOM		Pépigény:	Pépkulönbözet:
	liter/m <sup>3</sup>		
Víztartalom	160		
Cement tartalom	105		
Kiegészítő anyag tartalom	0		
<b>Összesen :</b>	<b>265</b>	<b>224</b>	<b>+ 40 l/m<sup>3</sup></b>



### 1 m<sup>3</sup> beton tervezett összetétele:

copyright @ 2005 All rights reserved.

	rész %	térfogat l/m <sup>3</sup>	tömeg kg/m <sup>3</sup>
Cement :	CEM II/A-S 42,5 N	105	325
Víz :	Összes víz	160	160
Kiegészítő anyag :		0	0
Adalékanyag :			
1	OH 0-4 42 %	302	799
2	OK 4-8 18 %	130	342
3	OK 8-16 22 %	158	418
4	OK 16-24 18 %	130	342
5	0 0 %	0	0
6	0 0 %	0	0
<b>Σ adalék</b>	<b>100 %</b>	<b>720</b>	<b>1901</b>
Levegőtartalom :	1,50 %	15	
Adalékszer 1 :	Dynamon SR 3 0,40 %	1,21	1,30
Adalékszer 2 :	0,00 %	0,00	0,00
Adalékszer 3 :	0,00 %	0,00	0,00
<b>Σ frissbeton</b>		<b>1001</b>	<b>2388</b>

Dátum 2011.07.07

Aláírás

Ellenőrizte

Jóváhagyta

Engedélyezte

Technológiai utasítás:

## **B jelű melléklet – előadás anyaga**



  
**BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék**  
**Szilárdságtani Laboratórium**  
**Juhász Károly Péter**

**„A nagy törés”**

acél- és szintetikus mikro és makro  
szálerősítésű beton gerenda törések laborbemutatója

2012. október 15.

**Köszönetnyilvánítás**

beton gerendák előállítása	<b>Mapei Kft betonlaboratóriuma</b> Miklós Csaba és Óvári Vilmos
	
cement	<b>Holcim Hungária Zrt.</b>
	
adalékanyagok	<b>Lasselsberger York homok- és kavicsbánya</b>
	
ZWICK Z150 típusú törőgép	<b>TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002</b> <b>pályázat</b>



## Tartalom

szálerősítésű  
betonok

Történelmi bevezetés  
Szálerősítésű betonok kialakítása  
Vizsgálati módszerek  
Eredmények és kiértékelésük  
Ipari padlók méretezése  
Acél- vagy szintetikus szál?  
Alkalmazási példák

a nagy törés  
bemutatása

Gerendák előállítása  
Gerenda teszt bemutatása (RILEM)

Összefoglalás

## Történelmi bevezetés

1855 Joseph-Luis Lambot  
Franciaország  
szabadalom: vas erősítésű  
beton csónak

19 →

1874 A. Berard  
USA, Kalifornia  
szabadalom: "szálerősítésű beton"  
szabálytalan acél hulladékkal

49



137

1903 első vasbeton szabályzat  
Svájc

1909 vasbeton szabályzat  
Magyarország

2012 csak irányelvek

- bonyolult méretezés
- nem ismert anyagtörvény
- alkalmazhatóság
- gazdaságosság
- megbízhatóság
- ...



Deák, Gy., Dulácska, E. (1994) "Vasbeton szerkezetek" BME  
Maidl, B.R. (1995) "Steel Fibre Reinforced Concrete" Ernst & Sohn

# Szálerősítésű betonok kialakítása

Szálak csoportosítása (ACI 544)

Szerkezeti anyagok

Kompozitok

Rövid szálak kompozitok

- ahol:
- mátrix: portland cement beton
  - szálak:
    - véletlen eloszlású
    - rövid szálak
    - különféle anyagú és alakú

SFRC acélszálak (acélhaj)	GFRC üvegszál	SNFRC szintetikus és karbon	NFRC természetes	
mikro acélszál	nem alkáliálló	polipropilén	sziszálkender	MIKROSZÁL
	alkáliálló	polyolefin	kókusz	
		nylon	cukornád	
kampósvégű	alkáliálló	polipropilén		MAKROSZÁL
lapított végű		polipropilén		
hullámos		poliolefin		

Kollár, L.P., Springer G.S. (2003) "Mechanics of composite structures" Cambridge University Press  
 Dulácska, E. (1999) "Az acélszálerősítésű beton és vasbeton méretezéselmélete" fib Magyar Tagozata

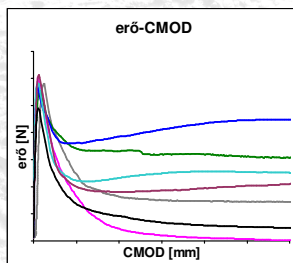
# Vizsgálati módszerek

Vizsgálati lehetőségek

Jellemző kísérleti erő-lehajlás / erő-CMOD diagram

Irányelvek szerinti kiértékelés

- húzó vizsgálat (uni-axial tension test) (Rilem)
- felezőpontos hajlító (3-point bending test) (Rilem)
- harmadpontos hajlító (4-point bending test) (NBN, JCI, ASTM, DBV, BS)
- kör alakú lemez (round panel test) (ASTM)
- hasító vizsgálat (splitting test) (ASTM, BS)
- "wedge splitting test" (ék hasító vizsgálat)



→  $R_{e3}$

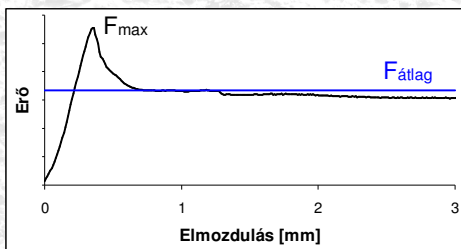
→  $\sigma(\epsilon)$



## Eredmények és kiértékelésük

**$R_{e3}$**

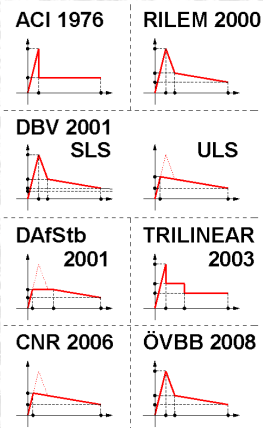
ipari padlók méretezése



$$R_{e3} = \frac{F_{\text{átlag}}}{F_{\text{max}}} > 30\%$$

**$\sigma(\epsilon)$**

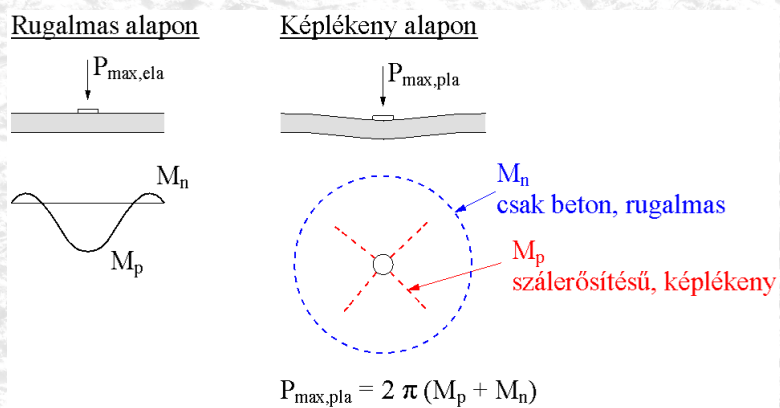
anyagmodell



Japan Society of Civil Engineers (1985) „Method of test for flexural strength and flexural toughness of SFRC” Standard JSCE SF-4  
Concrete Society (2003) „TR34 Concrete industrial ground floors”

## Ipari padló méretezése

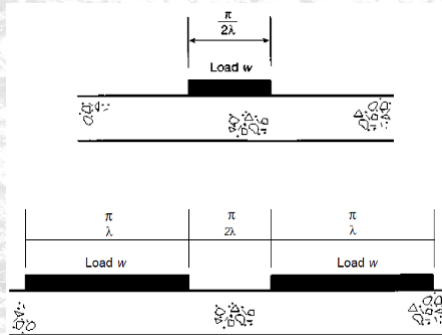
Pontszerű teher



## Ipari padló méretezése

### Felületen megoszló teher

méretezése rugalmas alapon → szálaknak nincs rá hatása!



**ipari padló nem földem – felületi teher nehezen értelmezhető  
mértékadó terhek a pontszerű terhek**

## Acél vagy szintetikus?

### Acélhaj

### Szintetikus (PP)



#### Előállítás – szén-dioxid kibocsátás

100

30

#### Szállítás, keverés, bedolgozhatóság (hazai ipari tapasztalat)

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nagyobb súly – magasabb szállítási költség</li> <li>• Keverőgép belső felületét rongálja</li> <li>• Acélhaj labdák („sündisznók”) képződése 20 kg/m<sup>3</sup> adagolás felett</li> <li>• 30 kg/m<sup>3</sup> adagolás felett Magyarországon pumpálást egyik betoncég sem vállalja</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kisebb súly – alacsonyabb szállítási költség</li> <li>• Lágú anyag, nem rongálja a keverőgépet</li> <li>• Minimális csomósodási hajlam, a keletkező csomók a vibrálásakor szétbomlanak</li> <li>• Pumpálható</li> </ul> |
|---|--|

#### Szál mechanikai tulajdonságai (Bekaert alapján)

Kúszási hőmérséklet:	+370 °C	-20 °C	☹ viszko-elasztikus anyag
Olvadási pont:	+1500 °C	+165 °C	☹ alacsony olvadási pont
Young modulus:	210 GPa	3 -10 GPa	☹ alacsony rug. modulus
Húzószilárdság:	500-2 000 MPa	200-600 MPa	

#### Kompozit mechanikai tulajdonságai (E. S. Bernard alapján)

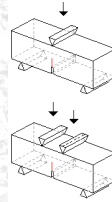
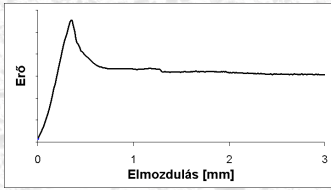
Korrózióállóság:	w<0,2 mm alatt	Korrózióálló
Tűzállóság:	☹	☹
Kúszás:	☹ ? ☹	☹ ? ☹
Duktilitás:	idővel csökken (akár 50%-ra)	megmarad
Zsugorodás:	☹	☹

Bernard, E. S. (2009) „Design of fibre reinforced shotcrete linings with macro-synthetic fibres” 2009 ECI Conference on Shotcrete for Underground Support

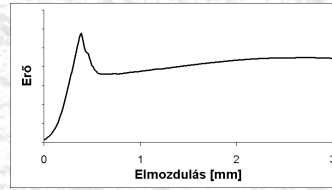


## Acél vagy szintetikus?

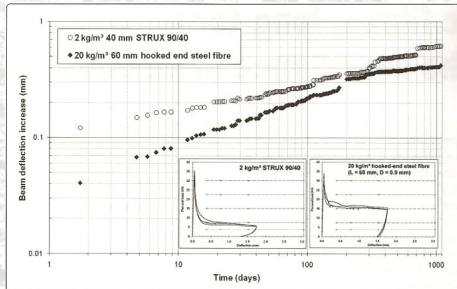
### Acélhaj



### Szintetikus



**Az erő-elmozdulás diagram jellegét tekintve hasonló!**  
További kérdés az időben elhúzódó alakváltozás...



- Strux 90/40 (Grace Concrete Products)
- 60 mm-es kampós végű acélszál

Szintetikus makroszállal és acélhajjal végzett 1000 napos kísérlet eredménye szerint a szintetikus szál kezdeti alakváltozása nagyobb, de az alakváltozás végértéke nagyságrendileg azonos.

A kísérlet az osztrák 2008-as irányelv ajánlásai alapján készült.

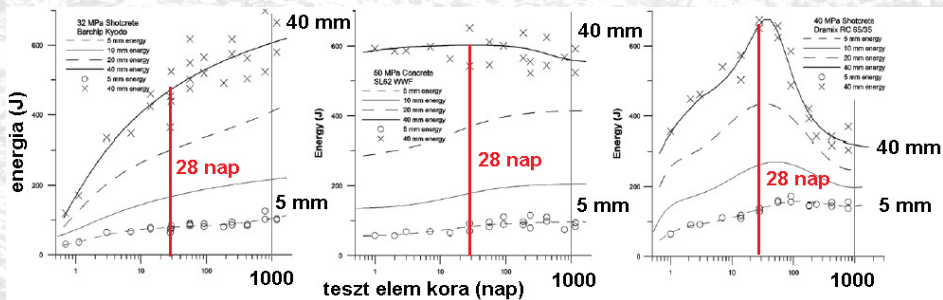
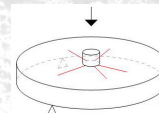
Publikáció: 2011 szeptember.

Gerard Attree (2011) „Macro-synthetic fibres, long-term behaviour and the importance of CE marking” Concrete Magazine 2011 September, www.concrete.org.uk

## Acél vagy szintetikus?

**Duktilitás változása az öregedéssel**  
Elemek vizsgálata 28 napos korban...

ASTM C1550  
Centrally Loaded Round Panel



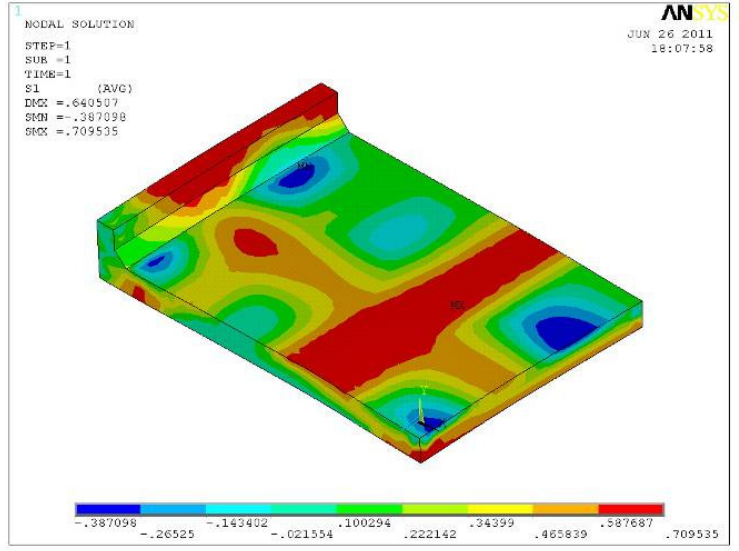
erősítés: szintetikus (BC)  
beton: 32 MPa

hálós vasalás  
50 MPa

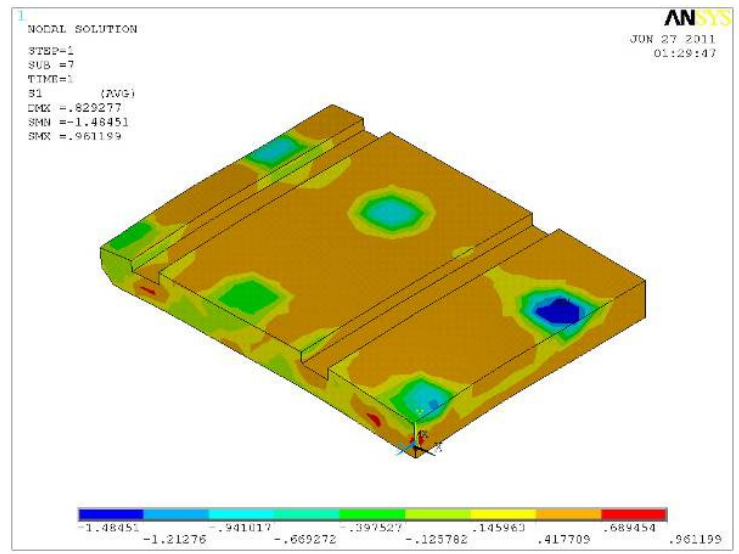
acélszál (Dramix)  
40 MPa

Bernard, E. S. (2008) „Embrittlement of Fiber-Reinforced Shotcrete” Shotcrete, Vol. 10, No. 3, pp16-21, American Shotcrete Association

## Alkalmazási példák – a szegedi villamospálya



## Alkalmazási példák – a szegedi villamospálya





**Alkalmazási példák – a szegedi villamospálya**



**Alkalmazási példák – a szegedi villamospálya**



**Alkalmazási példák – a szegedi villamospálya**



**Alkalmazási példák – a szegedi villamospálya**





## Alkalmazási példák – a szegedi villamospálya



NAGY ÉS TÁRSAI  
TERVEZŐ KIVITELEZŐ ÉS SZOLGÁLTATÓ BT.

5650 Mezőberény, Fő út 7.sz. Tel: 06-66/554-730; 06-66/554-731; Fax: 06-66/424-011  
mobil: 06-30/239-5874; e-mail: nagyestarsai@nagyestarsai.hu  
www.nagyestarsai.hu



## Alkalmazási példák – további villamospályák

2011-11-14 Szentpétervári orosz  
küldöttség látogatása Szegeden

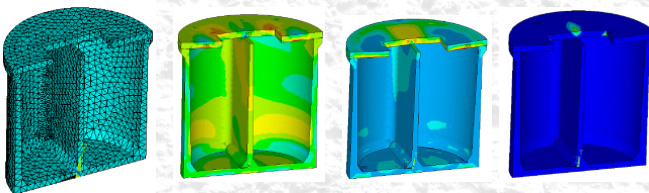


## Alkalmazási példák – további villamospályák

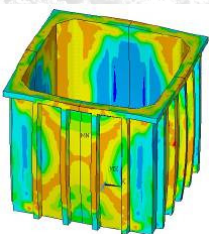


## Alkalmazási példák – tartályok

esővíz tartály – Molloy Precast, Írország

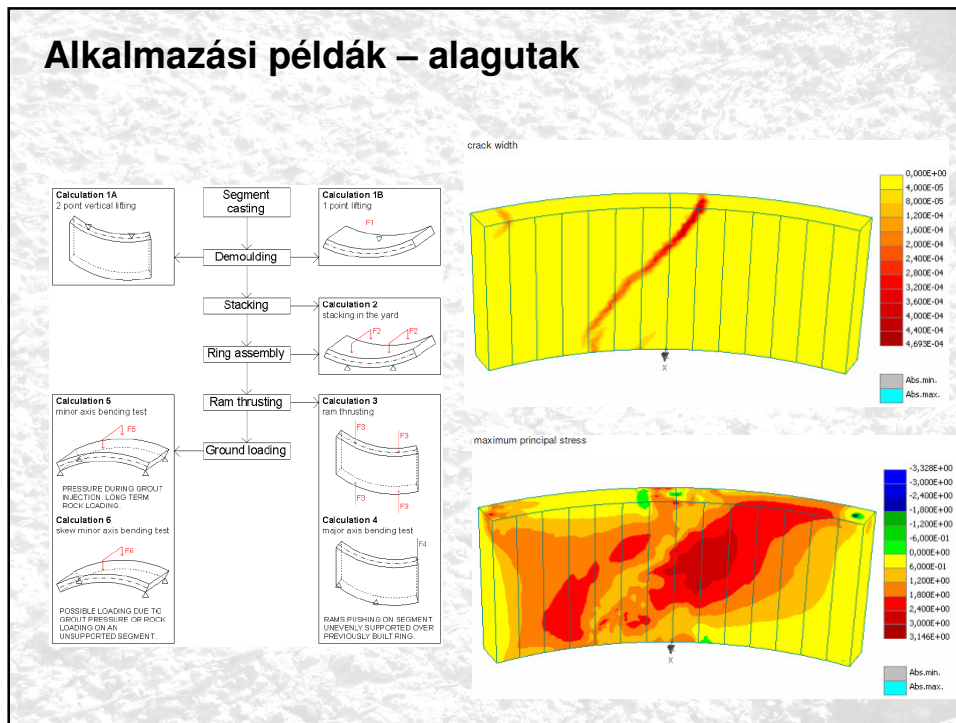


víz tartály – Molloy Precast, Írország





## Alkalmazási példák – alagutak



## Alkalmazási példák – utak



**Alkalmazási példák – utak**



**Alkalmazási példák – utak**





## Alkalmazási példák – utak



## Gerendák előállítása – MAPEI betonlabor



## Gerendák előállítása – MAPEI betonlabor



## Gerendák előállítása – MAPEI betonlabor





**Gerendák előállítása – MAPEI betonlabor**



**Gerendák előállítása – MAPEI betonlabor**



## Gerenda teszt bemutatása – RILEM TC162 szerint

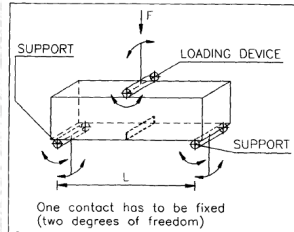


Fig. 3 – Position of the load and supports of the beam specimen.

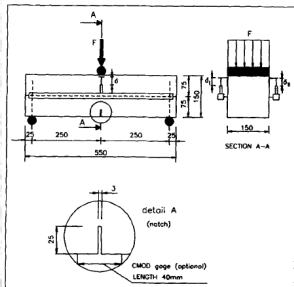


Fig. 4 – Arrangement of displacement monitoring gauges.



## Összefoglalás

	mikro ↔	makro
<b>mikro</b> szintetikus szálak fibrillált szálak is!	→	zsugorodási repedések ellen <b>nincs statikai szerepük!</b>
<b>makro</b> szintetikus szálak	→	hasonló viselkedés, mint az acélhaj acélhaj kiváltható vele <b>statikailag méretezhetőek!</b>
gerenda teszt	→	<b>R<sub>e3</sub></b> vagy <b>σ(ε)</b> diagramok
ipari padlók méretezése	→	TR34
szálerősítésű szerkezetek	→	végeselem (ANSYS, ATENA)

**...és most tekintsük meg a kísérleteket a laborban!**

**Köszönöm a figyelmet!**