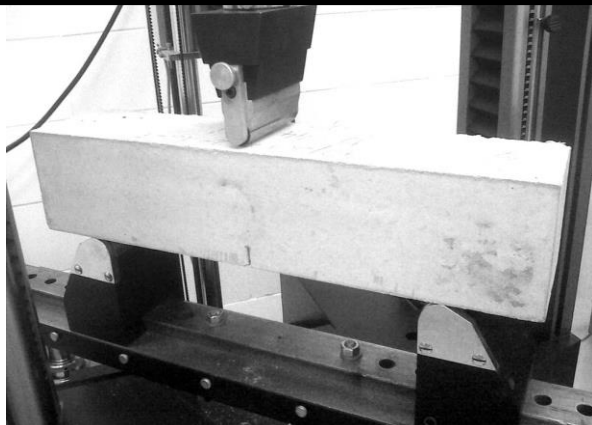
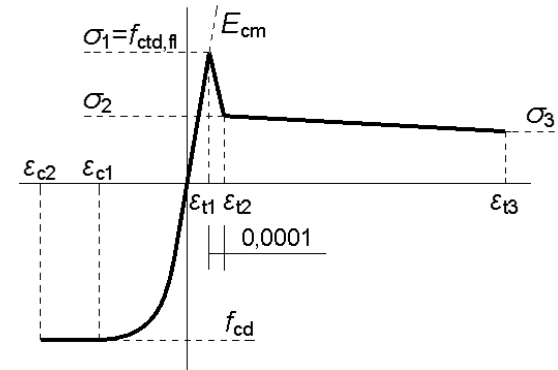


Dr Juhász Károly Péter

Szálerősítésű betonok acél és szintetikus, mikro és makro



RILEM TC162-TDF



szakmérnöki előadás
BME

Tartalom

Szálerősítésű betonok acél és szintetikus, mikro és makro

Bevezetés

történelmi előzmények

szálerősítésű betonok kialakítása, csoportosítása

vizsgálati módszerek, anyagra jellemző paraméterek

Számítási módszerek

ekvivalens számítási módszer

végeselem módszer

Acél vagy szintetikus?

szálerősítésű beton mechanikája

acél és szintetikus összehasonlítása

Mikro vagy makro?

Összefoglalás

Bevezetés

Bevezetés: történelmi előzmények

1855

Joseph-Luis Lambot
Franciaország
szabadalom: vas erősítésű
beton csónak

19 →

1874

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

49



139

1903

első vasbeton szabályzat
Svájc

2013

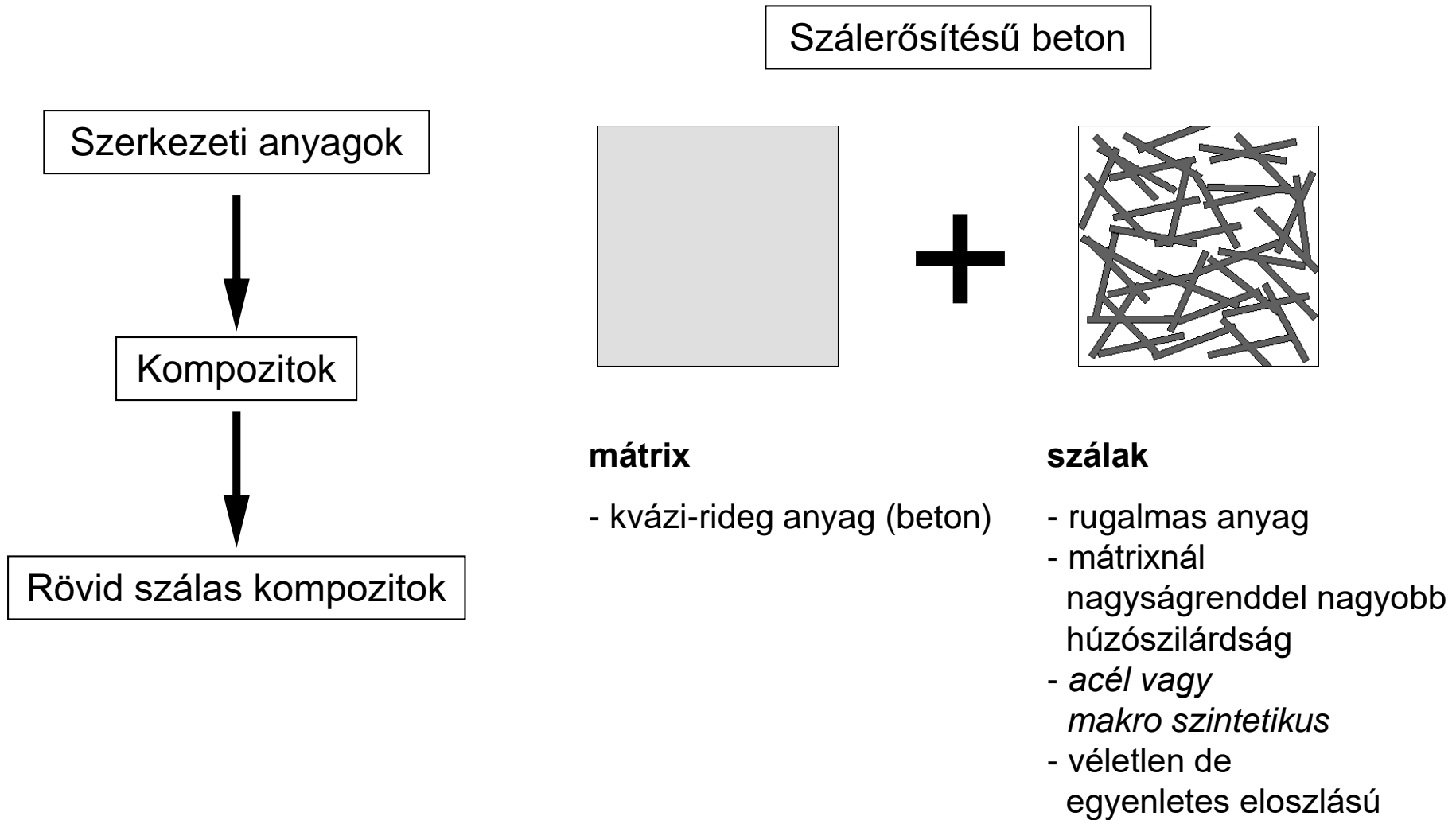
csak irányelvek

1909

vasbeton szabályzat
Magyarország


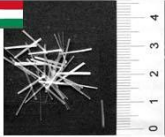











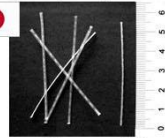


- *bonyolult méretezés*
- *nem ismert anyagtvörvény*
- *alkalmazhatóság*
- *gazdaságosság*
- *megbízhatóság*
- ...

Bevezetés: szálerősítésű betonok kialakítása



Bevezetés: szálerősítésű betonok csoportosítása

Szálak csoportosítása anyaguk szerint (ACI 544)

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

$d < 0,30 \text{ mm}$

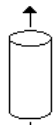
$d > 0,30 \text{ mm}$

Szálak csoportosítása geometriájuk szerint (BS EN 14889)

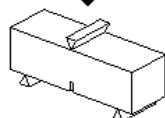
Bevezetés: vizsgálati módszerek

Vizsgálati lehetőségek

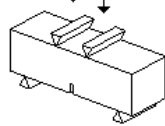
uni-axial tension test
(Rilem)



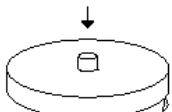
3-point bending test
(Rilem)



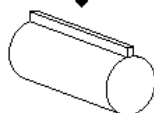
4-point bending test
(NBN, JCI, ASTM, DBV, BS)



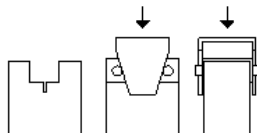
round panel test
(ASTM)



splitting test
(ASTM, BS)

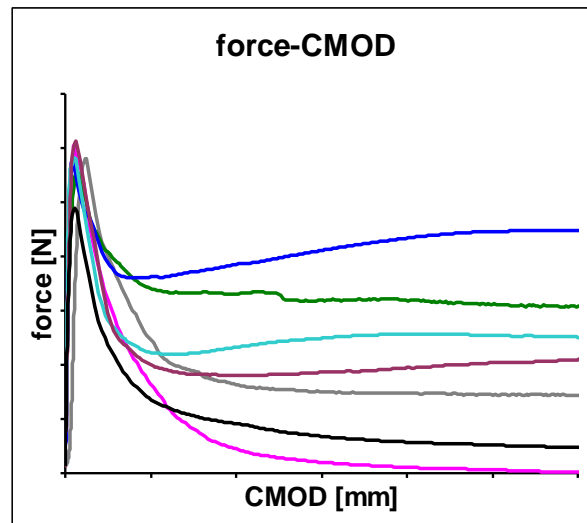


wedge splitting test



Jellemző kísérleti
erő-lehajlás vagy
erő-repedéstágasság
diagram

Anyagjellemzők



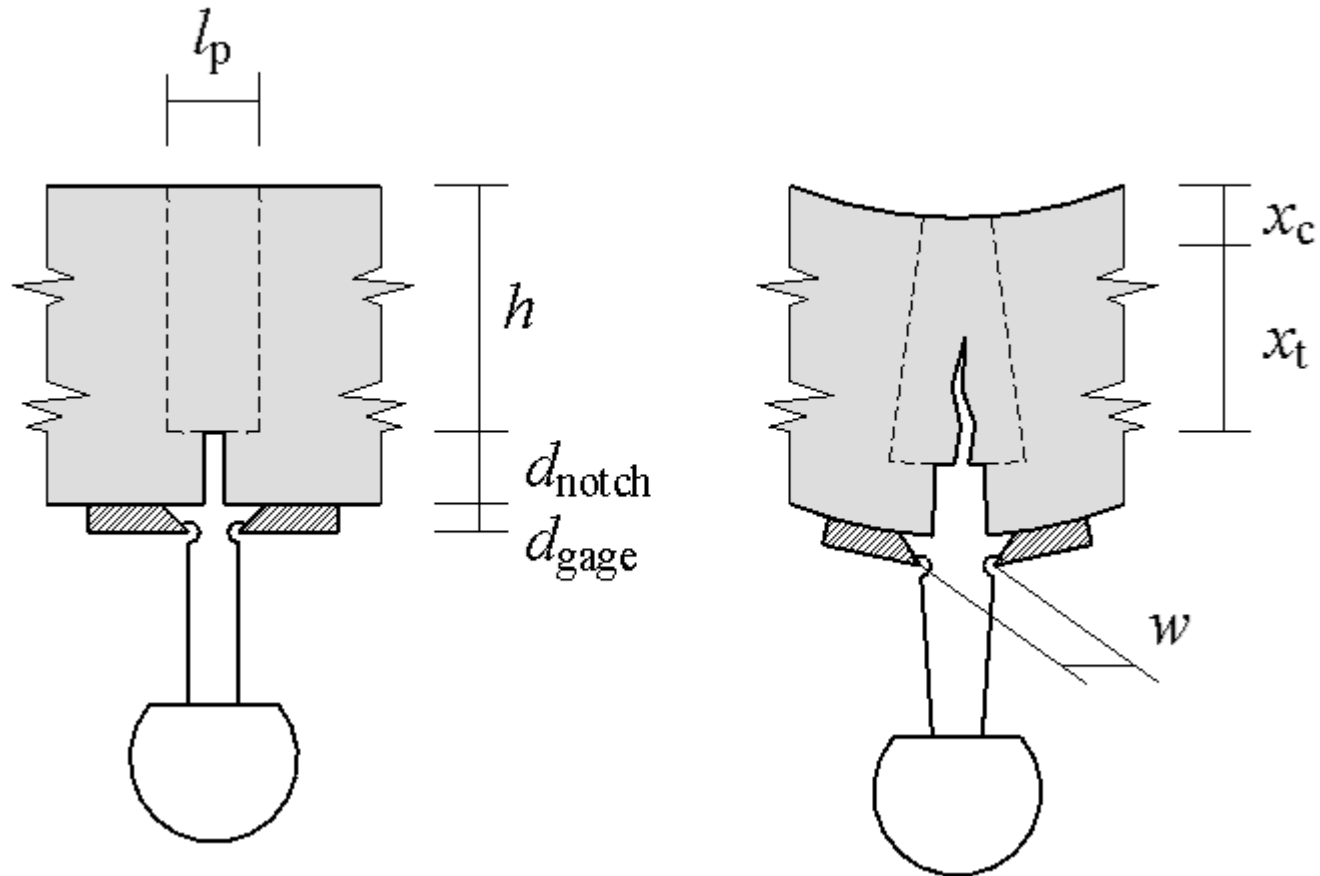
R_{e3}



$\sigma(\epsilon)$

Bevezetés: miért CMOD?

CMOD működési elve: közvetlen erő-repedéstágasság mérése

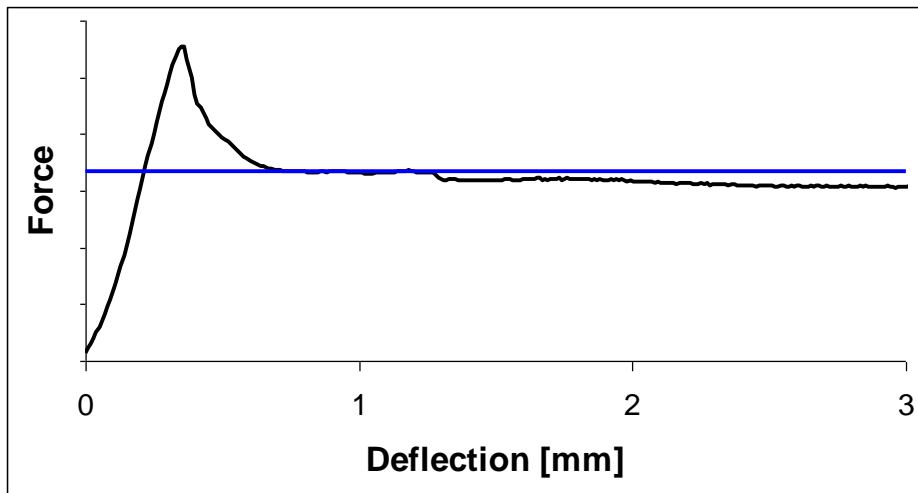


mérési pontosság: mikrométer 2 tizedesjegyig

Bevezetés: anyagra jellemző paraméterek

R_{e3}

főképp ipari padlókhöz ill. ekvivalens számítási módszerhez

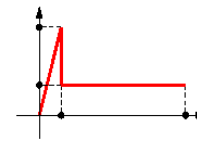


$$R_{e3} = \frac{F_{average}}{F_{max}} > 30\%$$

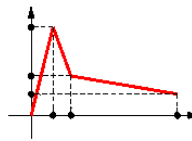
$\sigma(\varepsilon)$

végelem számításokhoz

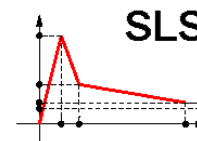
ACI 1976



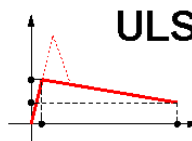
RILEM 2000



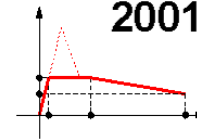
DBV 2001
SLS



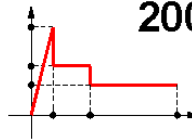
ULS



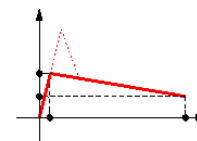
DAfStb
2001



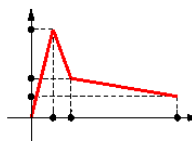
TRILINEAR
2003



CNR 2006



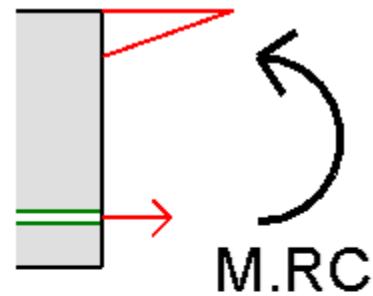
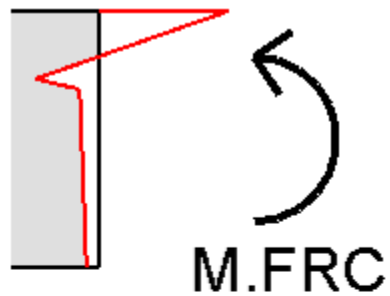
ÖVBB 2008



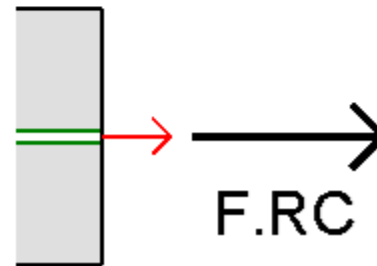
Számítási módszerek

Számítási módszerek: ekvivalens számítási módszer

Ekvivalens nyomaték



Ekvivalens húzó normálerő

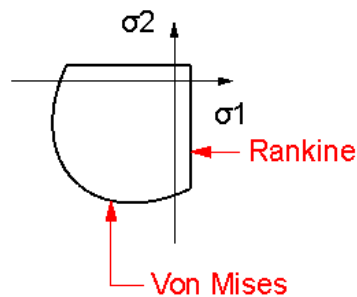


Számítási módszerek: végelem anyagmodell – beton

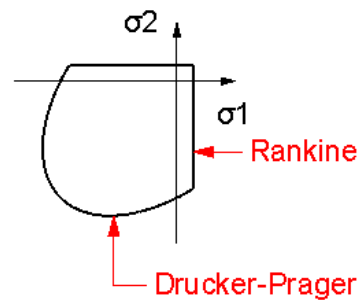
1) Más viselkedés húzásra és nyomásra

törési feltételek

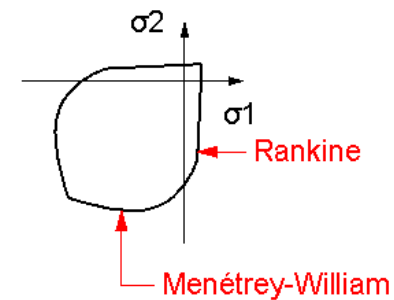
Ansys



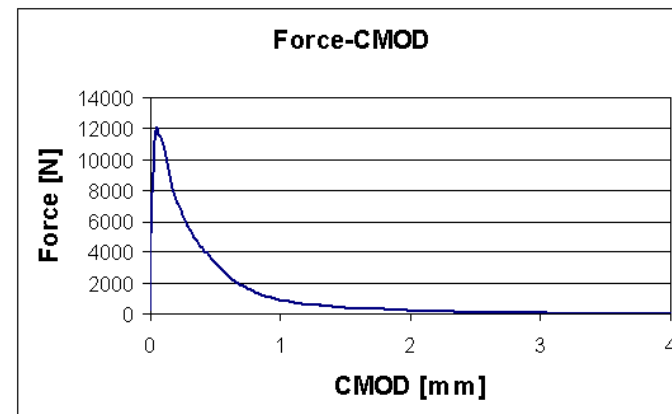
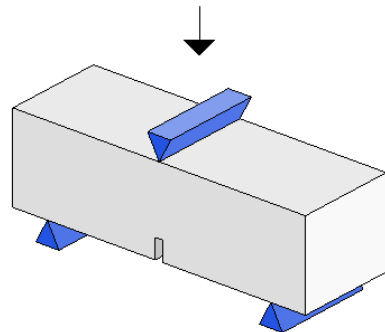
Diana



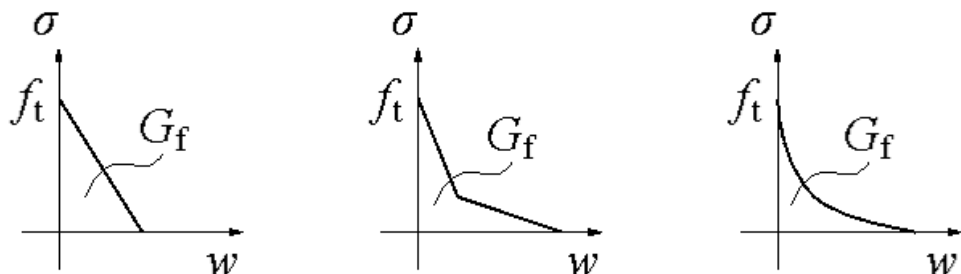
Atena



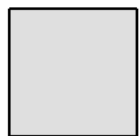
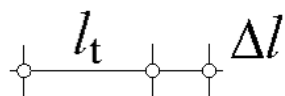
2) Kvázi-rideg anyag – kis duktilitás törés után



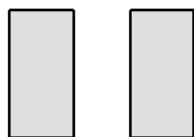
3) Repedések – $\sigma(\epsilon)$ helyett $\sigma(w)$



repedés kialakulásakor
nem érvényes a
Bernoulli-Navier
hipotézis...



$$w = \Delta l (l_t)$$



„crack band size model”

σ - w diagram \rightarrow σ - ϵ diagram

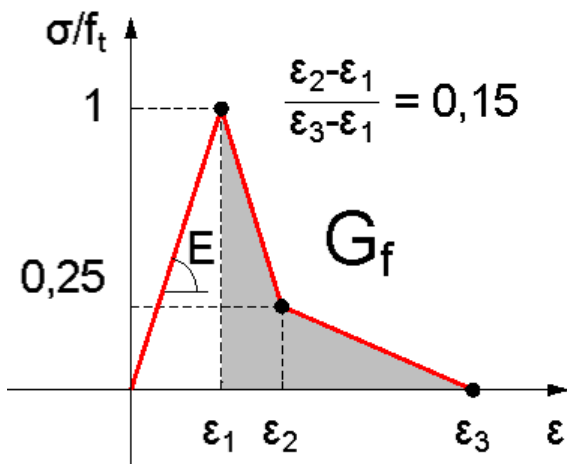
végelem programok:

SBeta, Diana, **Atena**

Számítási módszerek: végelem anyagmodell – szálerősítésű beton

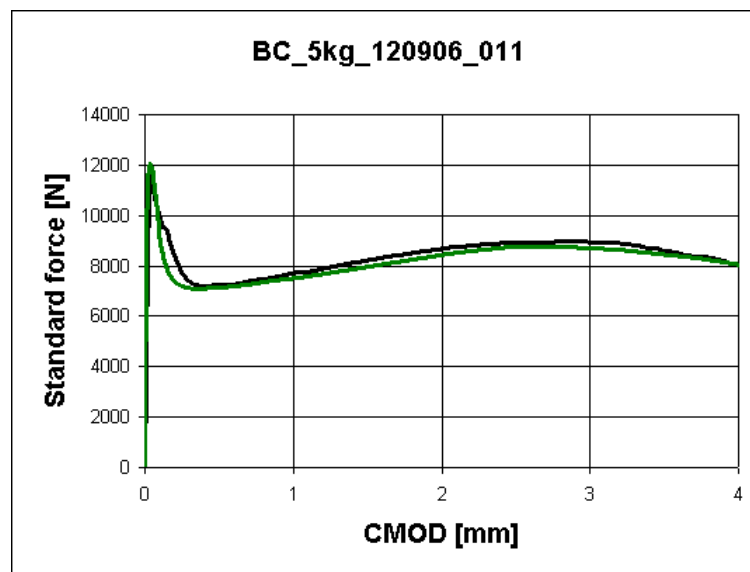
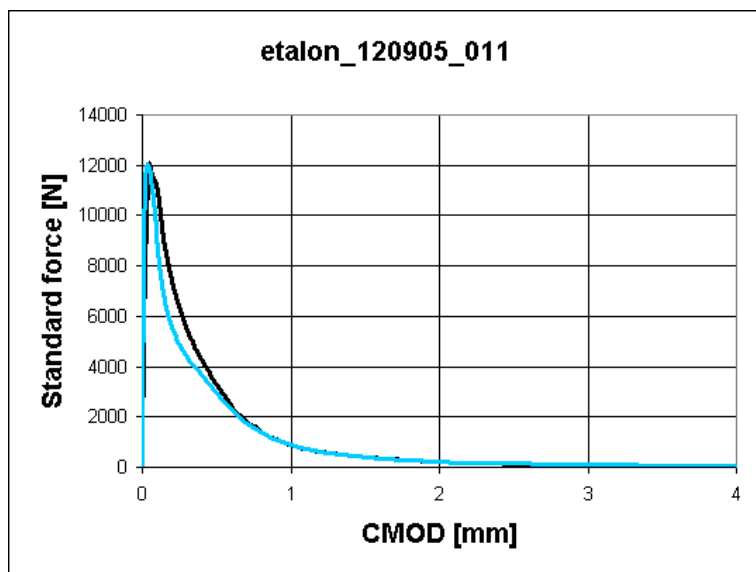
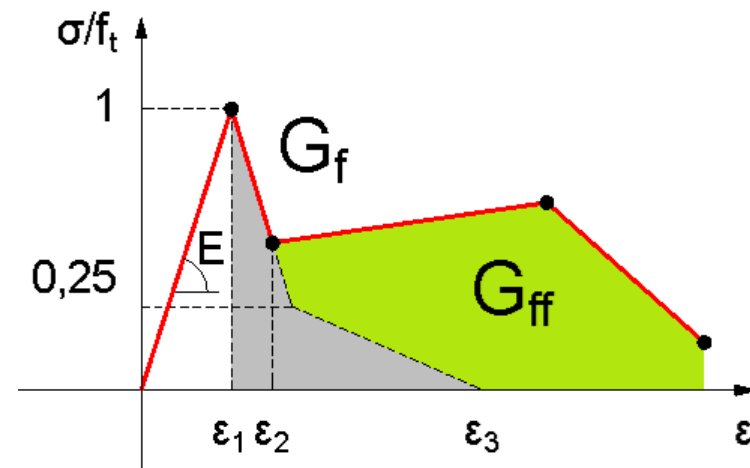
Fracture Energy Method

J. Cervenka és V.K. Papanikolaou



Modified Fracture Energy Method

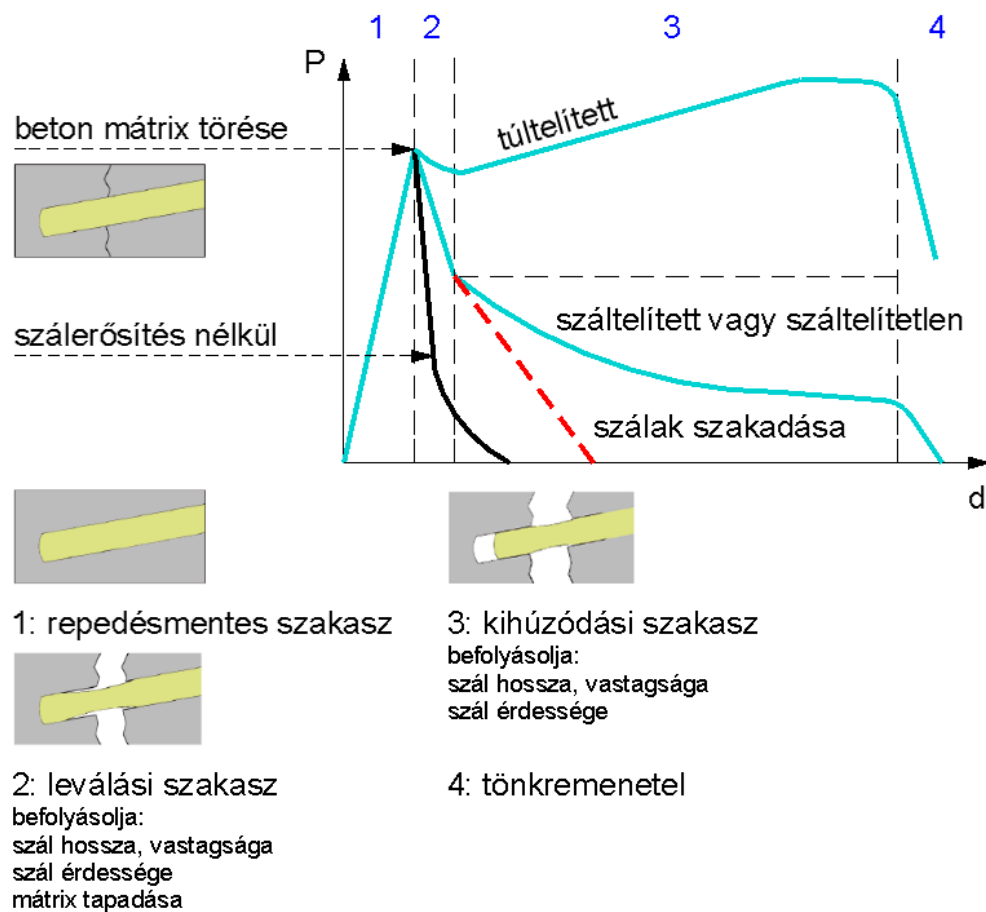
Juhász Karoly Peter



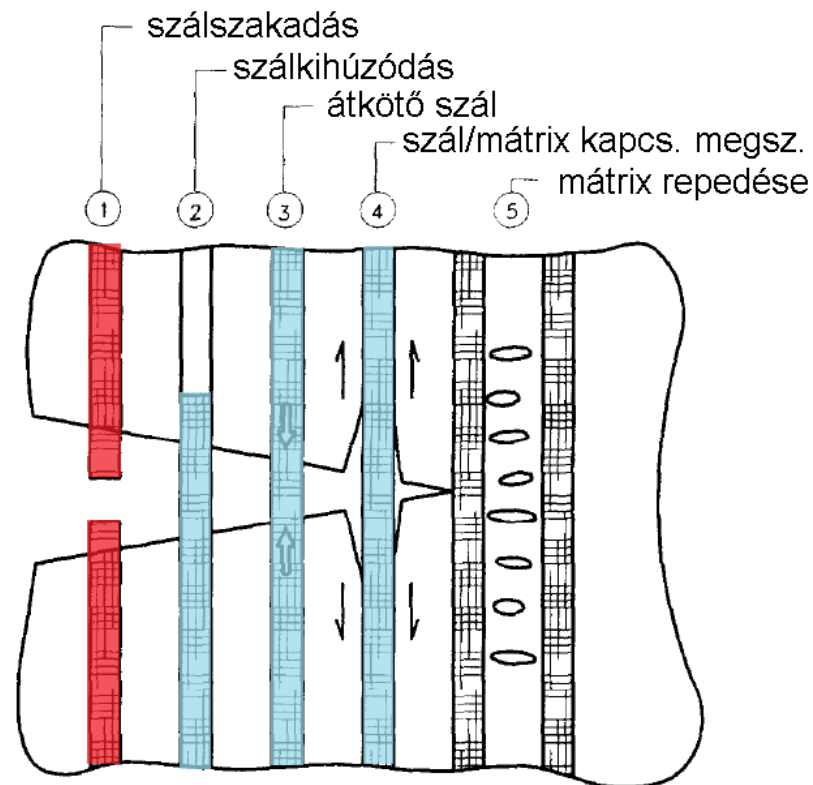
Acél vagy szintetikus?

Acél vagy szintetikus: szálerősítésű betonok mechanikája

Szálerősítésű betongerenda erő-lehajlás elméleti diagramja



Szálerősítésű beton energia abszorpciója



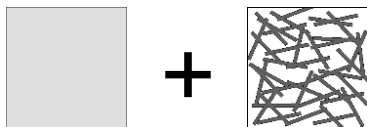
Ref: "Fracture Mechanics" by
T.L. Anderson, CRC Press,
1991.

Fig. 4. Energy-absorbing fiber/matrix mechanisms.

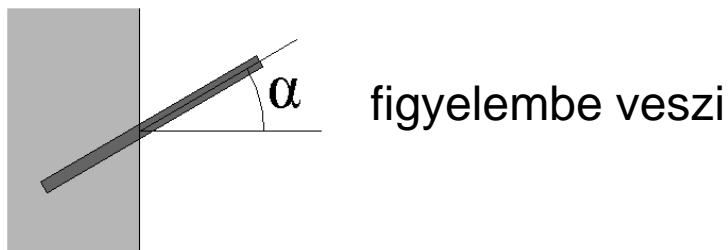
Acél vagy szintetikus: VEM (Variable Engagement Model) és módosítása

VEM

1) FRC = mátrix + szál

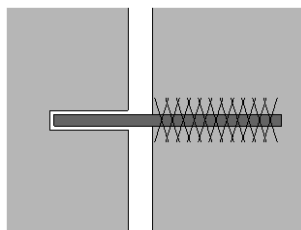


2) kihúzóási szög figyelembe vétele



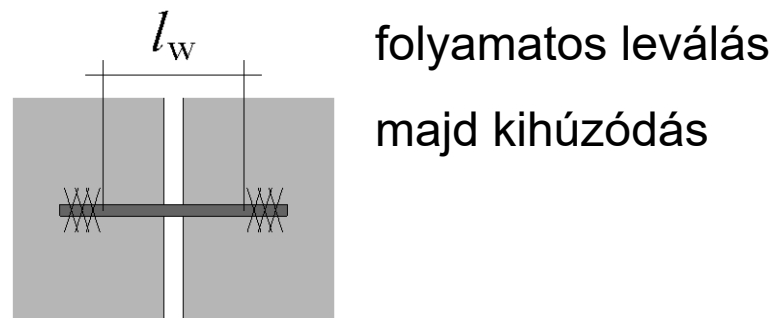
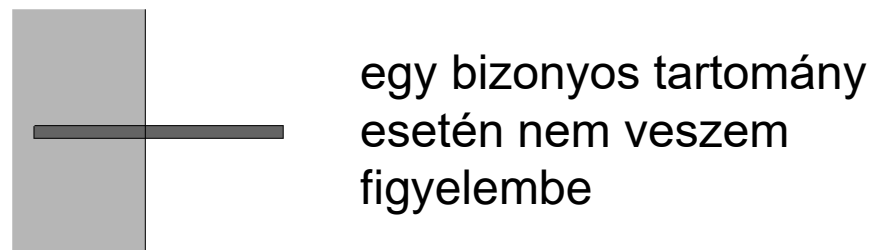
3) kihúzóási szabály

rövidebb vége húzódik ki



VEM módosítása

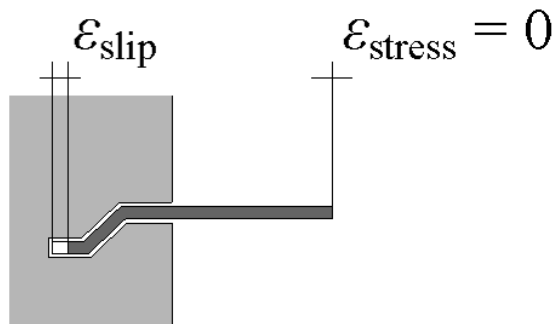
u.a.



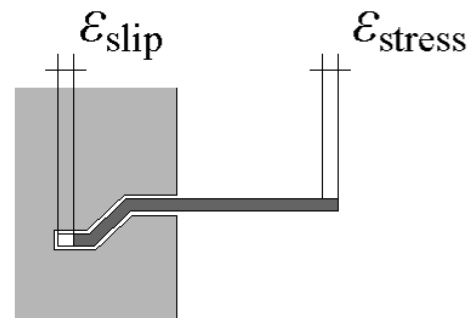
Acél vagy szintetikus: VEM (Variable Engagement Model) és módosítása

VEM

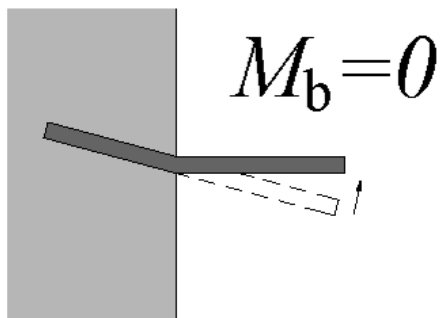
4) megnyúlás



VEM módosítása



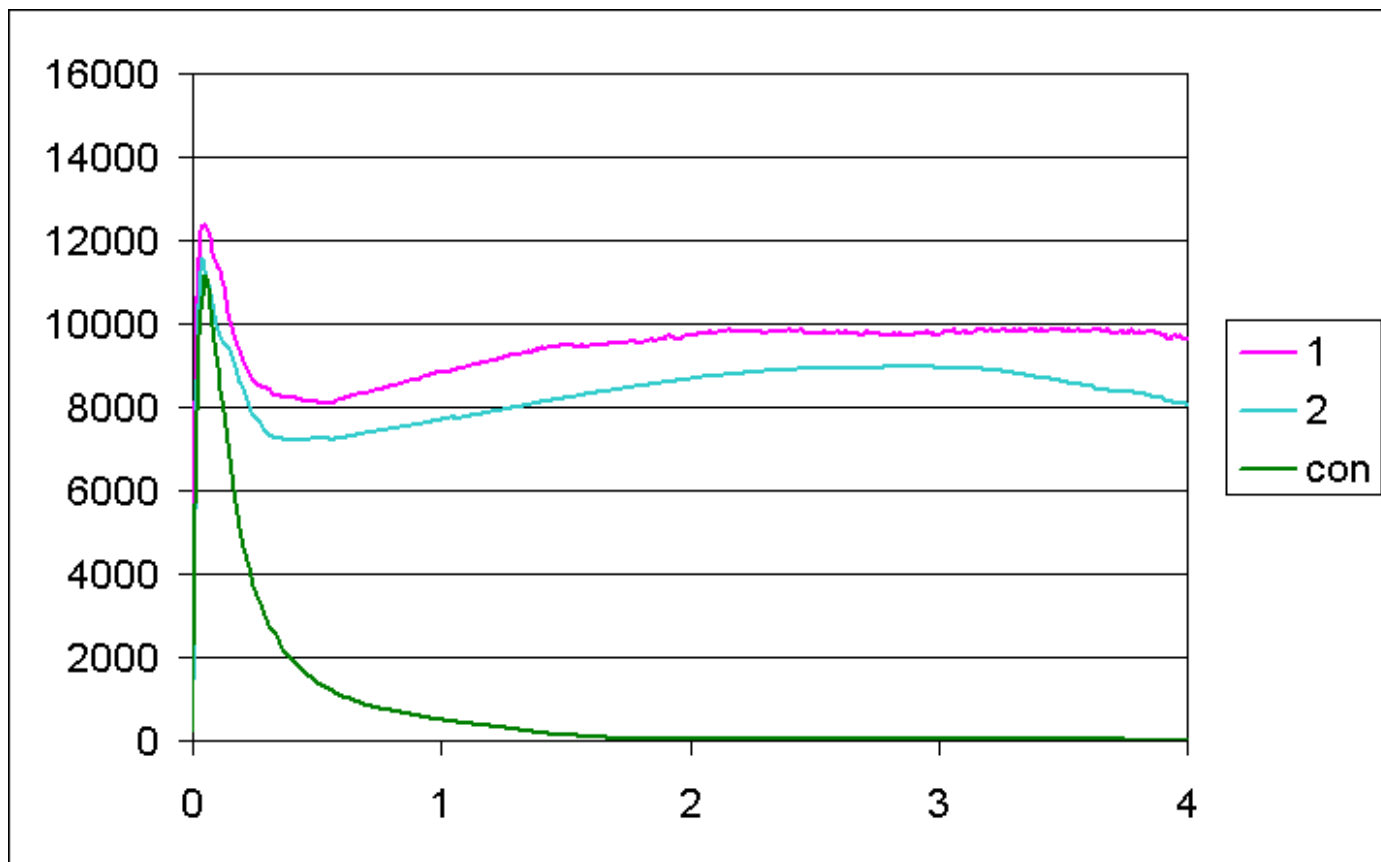
5) szál hajlítási ellenállása



u.a.

Acél vagy szintetikus: VEM (Variable Engagement Model) és módosítása

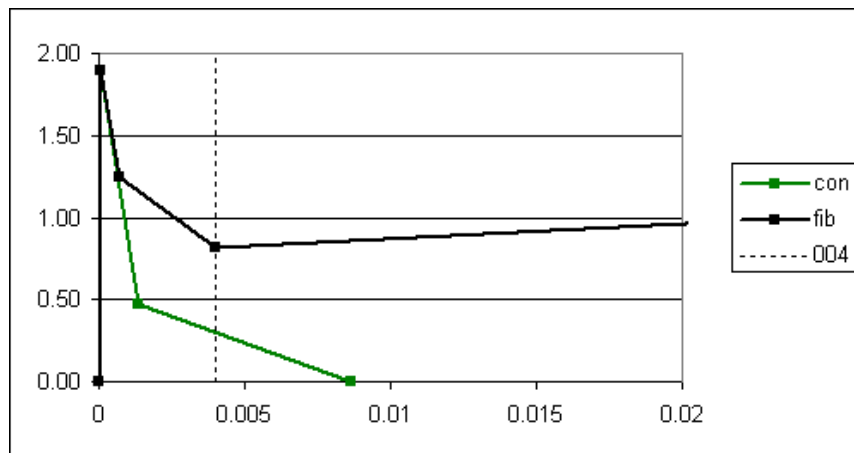
acél és szintetikus szál illetve beton erő-CMOD diagramja
melyik-melyik?



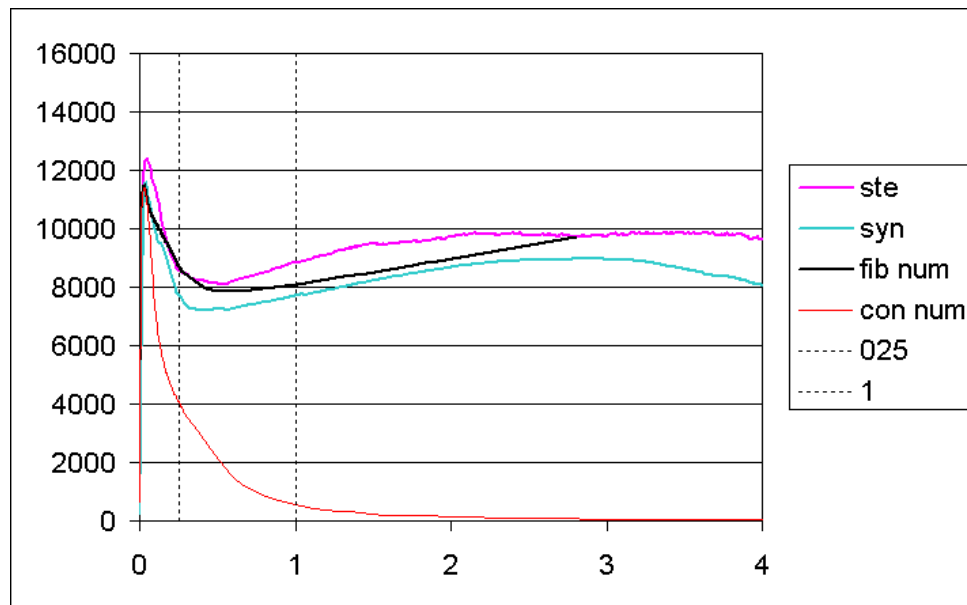
Acél vagy szintetikus: VEM (Variable Engagement Model) és módosítása

anyagmodell

$\sigma(\varepsilon)$ -Lt ábra

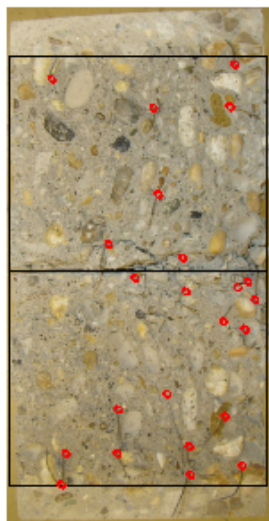


numerikus
eredmények

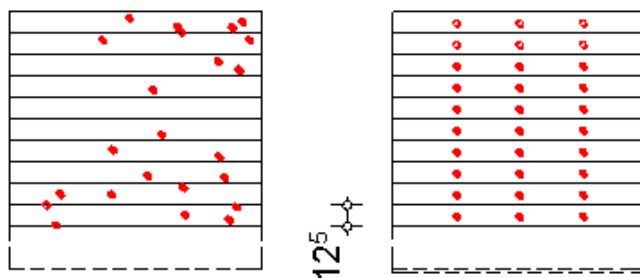


Acél vagy szintetikus: VEM (Variable Engagement Model) és módosítása

törési felület



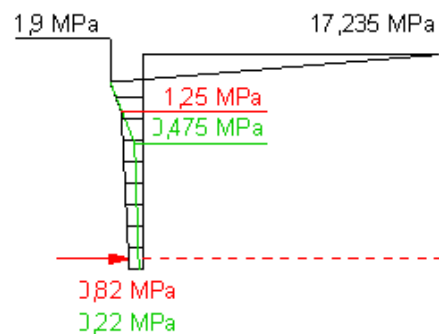
szálak elhelyezkedése
valós - modell



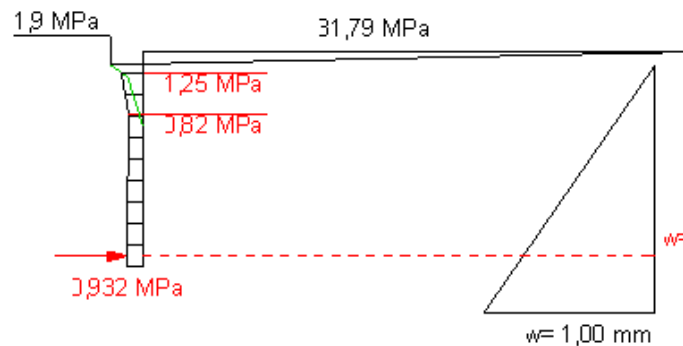
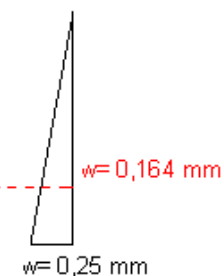
12⁵

12⁵

feszültségábrák



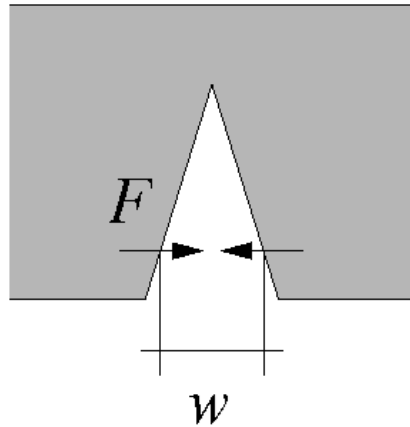
repedések



w=0,77 mm

w=1,00 mm

Acél vagy szintetikus: VEM (Variable Engagement Model) és módosítása



$$w = \varepsilon.\text{slip} + \varepsilon.\text{stress}$$

$$F = \sigma * n * A$$

Acél (n=4)

CMOD = 0,25 mm

$l_w = 78,6 \text{ mm}$

$\sigma_{st} = 438 \text{ MPa}$

CMOD = 1,00 mm

$l_w = 237,02 \text{ mm}$

$\sigma_{st} = 682 \text{ MPa}$

Szintetikus (n=4x4)

$l_w = 9,58 \text{ mm}$

$\sigma_{sy} = 171 \text{ MPa}$

$l_w = 28,89 \text{ mm}$

$\sigma_{sy} = 266 \text{ MPa}$

Acél vagy szintetikus: különbségek – előnyök – hátrányok

Acélhaj

Szintetikus (PP)



Előállítás – szén-dioxid kibocsátás

100

30

Szállítás, keverés, bedolgozhatóság (hazai ipari tapasztalat)

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Nagyobb súly – magasabb szállítási költség • Keverőgép belső felületét rongálja • Acélhaj labdák („sündisznók”) képződése 20 kg/m³ adagolás felett • 30 kg/m³ adagolás felett Magyarországon pumpálást egyik betoncég sem vállalja | <ul style="list-style-type: none"> • Kisebb súly – alacsonyabb szállítási költség • Lágy anyag, nem rongálja a keverőgépet • Minimális csomósodási hajlam, a keletkező csomók a vibrálásakor szétbomlanak • Pumpálható |
|---|--|

Szál mechanikai tulajdonságai (Bekaert alapján)

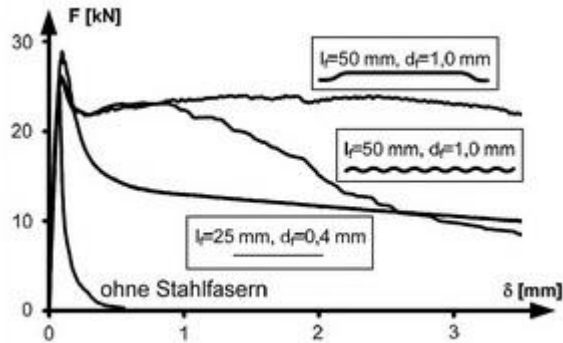
Kúszási hőmérséklet:	+370 °C	-20 °C	☹ viszko-elasztikus anyag
Olvadási pont:	+1500 °C	+165 °C	☹ alacsony olvadási pont
Young modulus:	210 GPa	3 -10 GPa	☹ alacsony rug. modulus
Húzószilárdság:	500-2 000 MPa	200-600 MPa	

Kompozit mechanikai tulajdonságai (E. S. Bernard alapján)

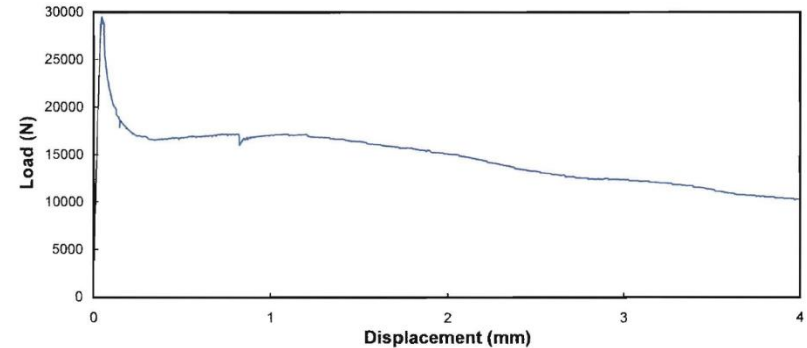
Korrózióállóság:	w<0,2 mm alatt	Korrózióálló
Tűz:	☹	☹
Kúszás:	☺ ? ☹	☹ ? ☺
Duktilitás:	idővel csökken (akár 50%-ra)	megmarad
Zsugorodás:	☺	☺

Acél vagy szintetikus: különbségek – előnyök – hátrányok

Acélhaj

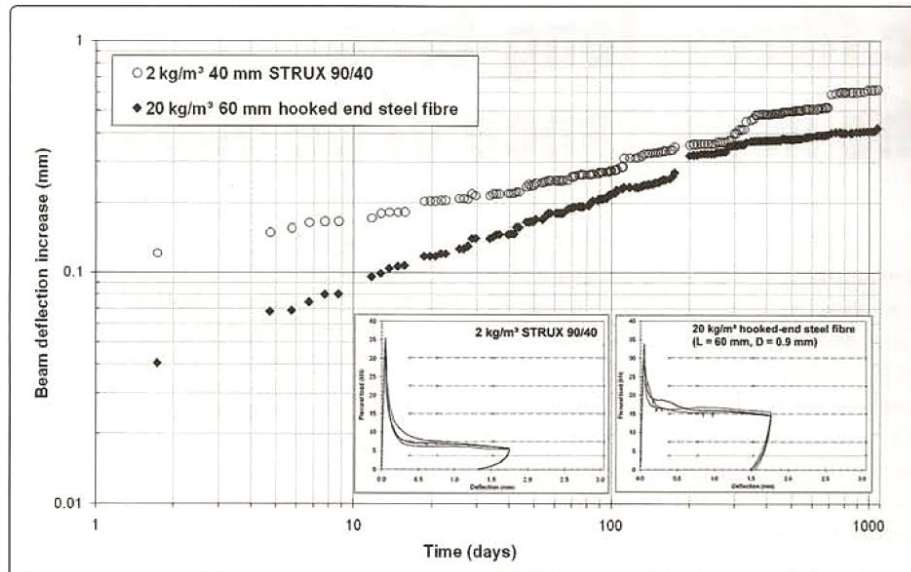


Szintetikus



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 készültek.

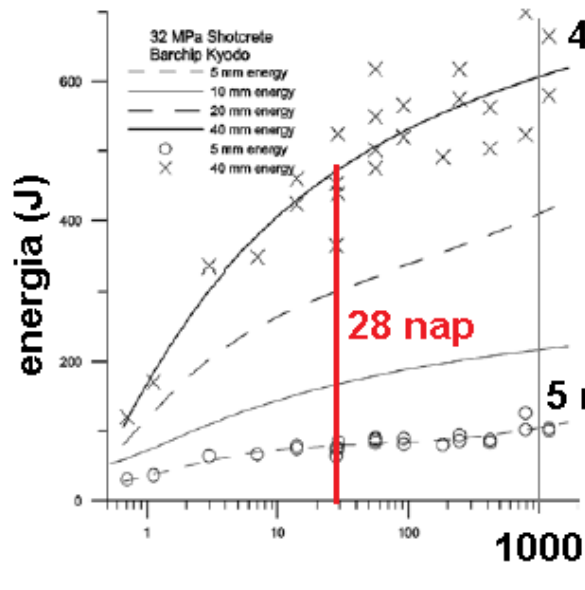
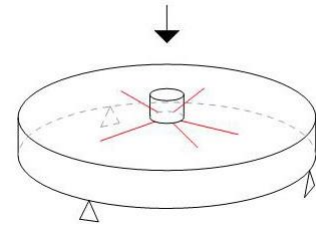
Publikáció: 2011 szeptember.

Acél vagy szintetikus: különbségek – előnyök – hátrányok

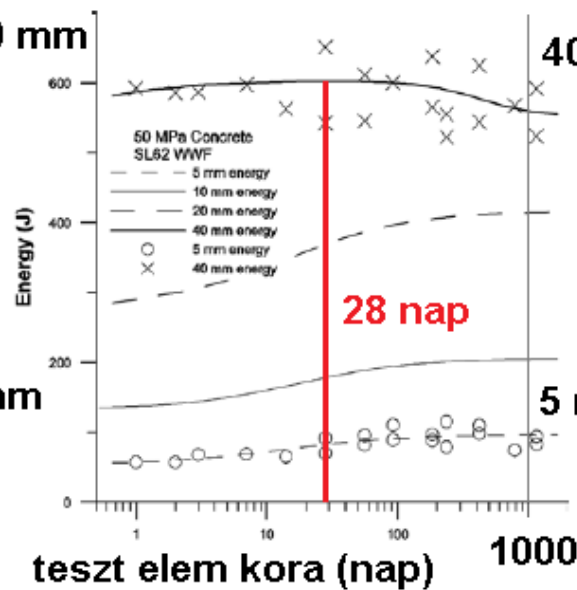
Duktilitás változása az öregedéssel

Elemek vizsgálata 28 napos korban...

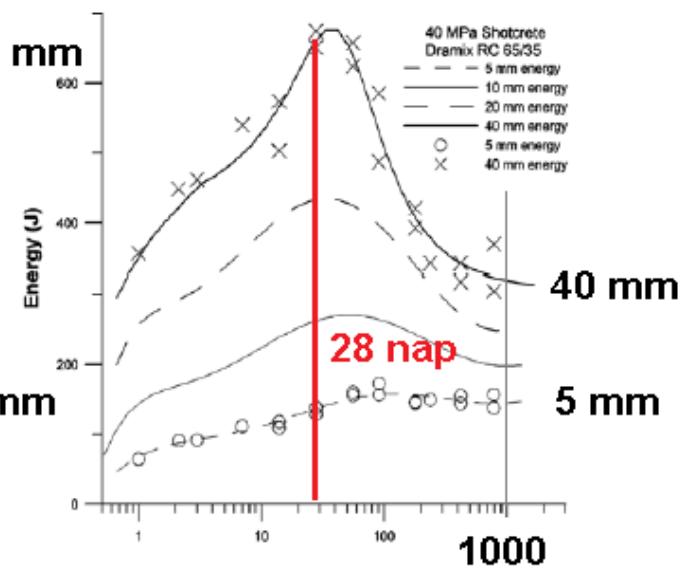
ASTM C1550
Centrally Loaded Round Panel



erősítés: szintetikus (BC)
beton: 32 MPa



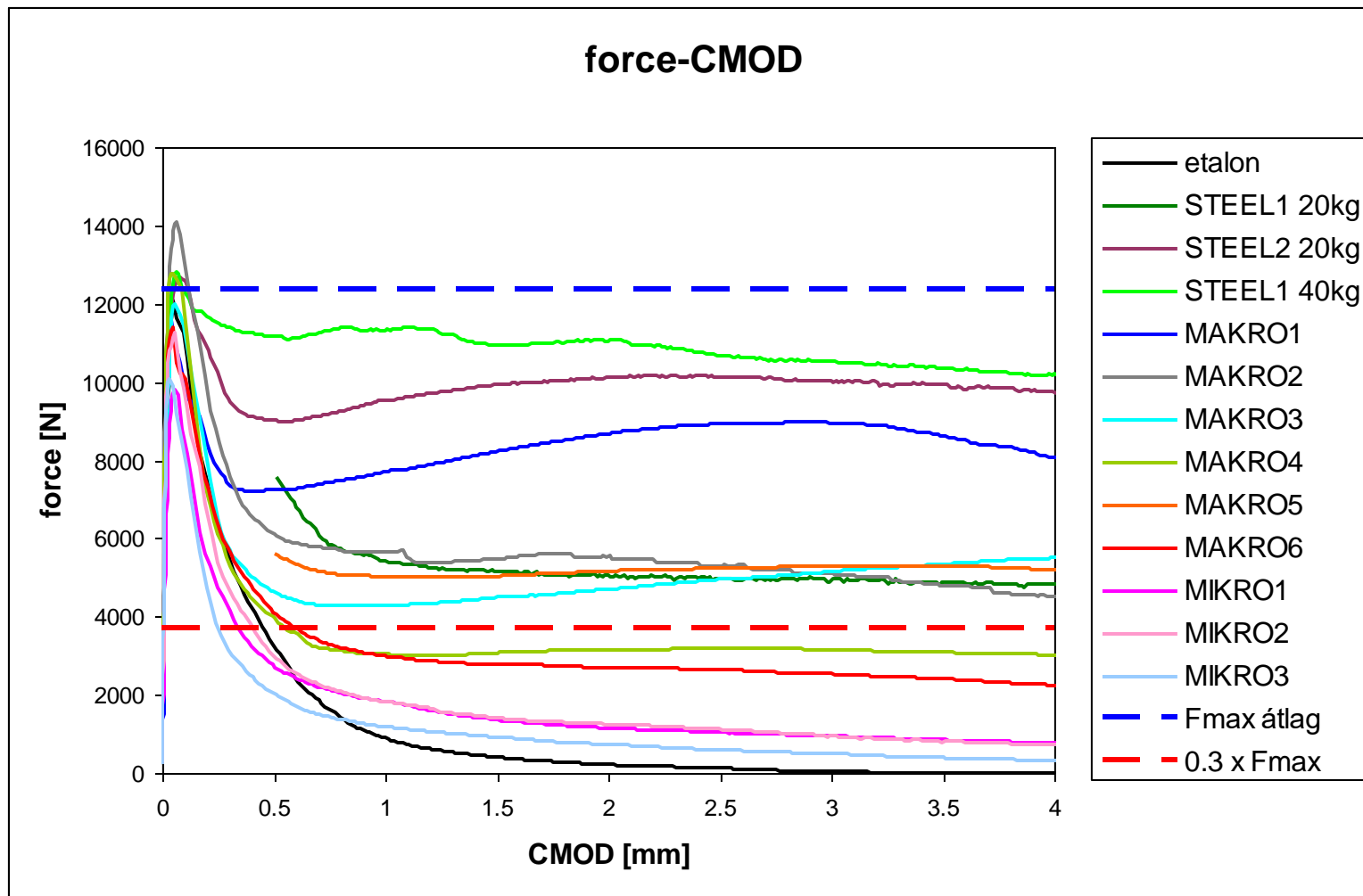
hálós vasalás
50 MPa



acélszál (Dramix)
40 MPa

Mikro vagy makro?

Mikro vagy makro: a Nagy törés eredményei



letölthető tanszék honlapjáról: <http://www.szt.bme.hu/index.php/hu/labor>

Mikro vagy makro: a fibrillált szálak

teljesítmények

robogó <

trabant <

Lamborghini Diablo SV



analógia

mikroszál <

fibrillált <

makroszál

Összefoglalás

Acél vagy szintetikus ?

RC / SFRC / SNFRC \longrightarrow mindent a maga helyén
*szálerősítés csak másodlagos
teherhordó szerkezeteknél**

Miért használjunk szálerősítést?

- beton duktilitásának növelése
- repedéstágasság csökkentése
- nyírasi ellenállás növelése
- kevésbé rideg nyírasi viselkedés
- kisebb alakváltozás

Miért szintetikusat?

- kezelés
- korrózióállóság

Miért ne szintetikusat?

- nagyobb kúszás, kúszási tönkremenetel (?)
- gyenge mechanikai tulajdonság (?)

Két tanács a gyártókkal/forgalmazókkal kapcsolatban:

- kérjük el az $Re3$ értékeket vagy a szigma-epszilon diagramokat különböző adagolás és beton szilárdság függvényében
- ne higgyünk el nekik semmit !!!

* "A leghalványabb jele sincs annak, hogy a nukleáris energia valaha is hasznosítható lesz."

Köszönöm a figyelmet!