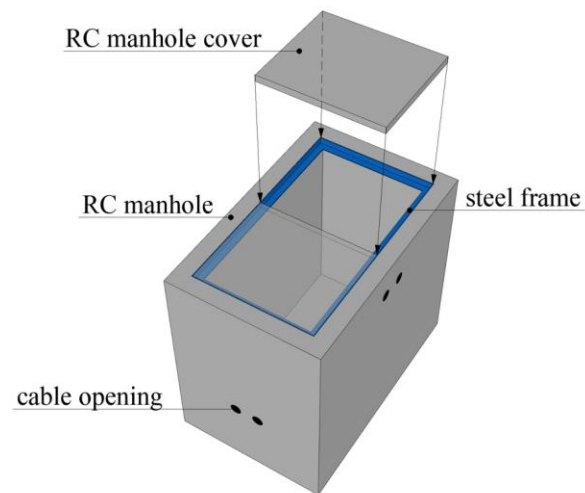


# VASÚTI HIDAK

alapítvány 1996

Dr. Juhász Károly Péter  
JKP STATIC Kft.

## Makroszál erősítésű beton távközlési aknák



**Dr. Juhász Károly Péter**

JKP STATIC Kft. – [www.jkpstatic.com](http://www.jkpstatic.com) – [www.jkp.hu](http://www.jkp.hu)

Tartószerkezeti vezető tervező, tartószerkezeti szakértő

Betontechnológus szakmérnök

## **2019: doktori a szintetikus makro szálerősítésű betonokról**

- The effect of synthetic fibre reinforcement on the fracture energy of the concrete
- Modified fracture energy method – szálerősítésű betonok anyagmodell paramétere
- 2016-2019 közös pályázat keretében MFEM felhasználásra került az ATENA-ban

BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék laborvezetője 2020-ig

- témavezető 4 első helyezést elért TDK dolgozatnál
- Tongji Egyetem (Sanghaj, Kína) külső konzulense

**2020-tól saját akkreditált betonlabor: [www.jkp.hu/betonlabor](http://www.jkp.hu/betonlabor)**

Főbb érdeklődési területek:

- betontechnológia – szálerősítésű betonok (FRC), szálerősítésű polimerek (FRP)
- beton, szálerősítésű beton és vasbeton szerkezetek fejlett végelelemes modellezése

**Tagja a *fib* WG2.4.2: szálerősítésű betonszerkezetek modellezése munkacsoportnak**

Publikációk: [www.jkpstatic.com/publications](http://www.jkpstatic.com/publications)

# HOGYAN KEZDŐDÖTT

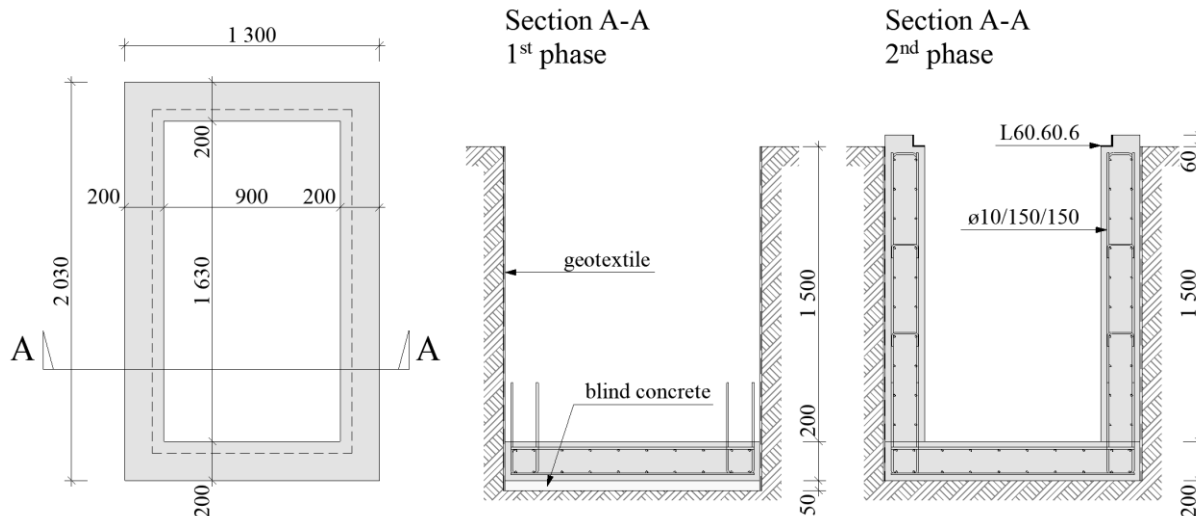
## MÁV vasút melletti távközlési aknák

### Helyszínen gyártott vasbeton (RC) aknák, felmerülő igények:

- eredetileg vasalt szerkezet
- igény a szerkezet kivitelezési folyamatának egyszerűsítésére, gyorsítására
- talán a vasmennyiség is túlzó?

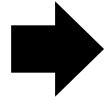
### Szintetikus szálerősítésű beton (FRC), mint egy lehetséges megoldás:

- betonba bekeverve érkezik, nem kell a vas armatúrát elkészíteni, pozícionálni
- nincs korrózióveszély
- gyorsabb és gazdaságosabb
- karbon lábnyom és fenntarthatóság

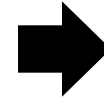


# SZINTETIKUS MAKRO FRC

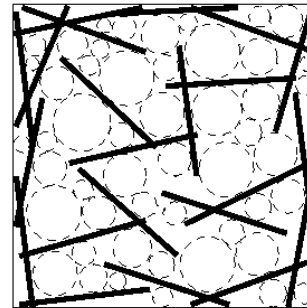
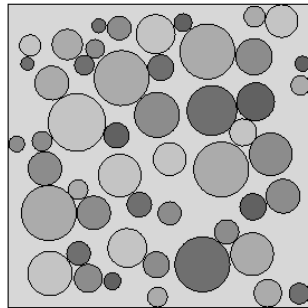
Kompozitok



Rövid szálas kompozitok



Szálerősítésű beton



## MÁTRIX (ÁGYAZÓANYAG)

Beton

Kvázi-rideg anyag

Kétfázisú anyag:

- habarcs (cementpép és homok) -  
adalékanyagok (kavicsok > 4 mm)

## SZÁLAK

Acélszálak: egyenes, merev rövid szálak

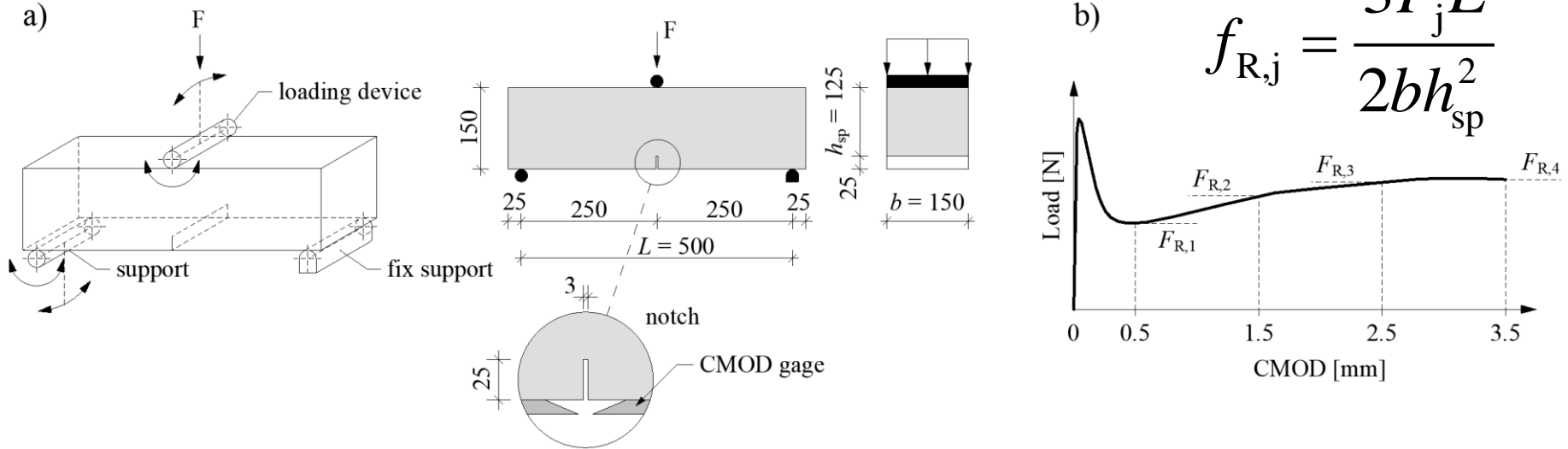
Szintetikus: egyenes, rugalmas rövid szálak – **nem mikro szálak!**

Mátrixnál nagyságrenddel nagyobb húzószilárdság

Véletlen-egyenletes eloszlású  
de a zsaluzott zóna közelében részben irányított

## Szálerősítésű beton anyagparamétere

Anyagparaméter meghatározása 3 pontos gerenda hajlítási vizsgálattal.



- Anyagparaméterek:  $f_{R,1}; f_{R,2}; f_{R,3}; f_{R,4}$

- Anyagparaméterek meghatározása:

→ adott betonszilárdsághoz és adott adagolással, több labor eredményeinek átlagaként, úgymond gyártói adatszolgáltatás

→ az adott szerkezethez tervezett betonnal és az adott adagolással meghatározva – pontosabb módszer jelentős méretű beruházások esetében

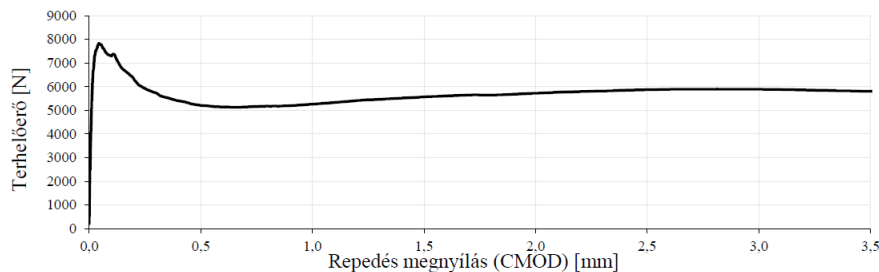
**Egyik szál a másikkal nem helyettesíthető!**

## VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

Fémsházalas beton vizsgálati módszere. A hajlító-húzó szilárdság mérése.  
MSZ EN 14651 alapján

Munka szám: LAB-2023-019 Iktatószám: JKP-23-01-0105.04  
Megrendelő:  
Mintavételi jegyzőkönyv sz.: 230608  
Mintavételért felelős:  
Mintavétel időpontja: 2023.06.08 Vágás időpontja: 2023.08.11  
Mintavétel helye:  
Mintavétel módja: MSZ EN 12390-2:2012 szerint  
Beérkezés időpontja: 2023.08.01  
Vizsgálat kért időpontja: -  
Próbatestek jele: FP-G Minta szám: 3  
Vizsgálat időpontja: 2023.08.14  
Minta kora: 67 nap  
Utókezelés (tárolás): Vegyes  
Minta felülete vizsgálatkor: Légszáraz

#	Jel	Méretek [mm]					Hajlító-húzószilárdságok [MPa]				
		$b$	$h_{sp}$	$l$	$x$	$y$	$f_{ctL}^f$	$f_{R,1}$	$f_{R,2}$	$f_{R,3}$	$f_{R,4}$
3	FP-G-3	152,7	125,0	500	2,0	4,0	2,5	1,6	1,7	1,8	1,8
		CMOD [mm]					0,5	1,5	2,5	3,5	



Megjegyzés: -

Magyarázat: szélesség  $b$ , magasság  $h_{sp}$ , fesztáv  $l$ . CMOD adapter lapkák vastagsága  $x$ , távolsága  $y$ .  
A terhelés sebessége szabvány szerint 0,05 mm/min, majd CMOD = 0,1 mm után 0,2 mm/min.

A vizsgálatot az MSZ EN 14651:2005+A1:2008 alapján végeztük.

## Szabványi háttér

- nincs szabványi háttére a szálerősítésű betonoknak – sem acél, sem szintetikus
- az új EUROCODE már fog tartalmazni méretezési módszert szálerősítésű betonokra
- amíg nincs szabvány a *fib* Model Code használható, mint irányelv
- ugyanakkor szabványként nem lehet rá hivatkozni

## Tartószerkezeti feltételek:

- ① az aknának biztonsággal kell hordania a keletkező terheket
- ② az akna tönkremenetelének duktilisnak kell lennie

## Szabványi háttér hiányának kiküszöbölése, megfeleltetés a feltételekre:

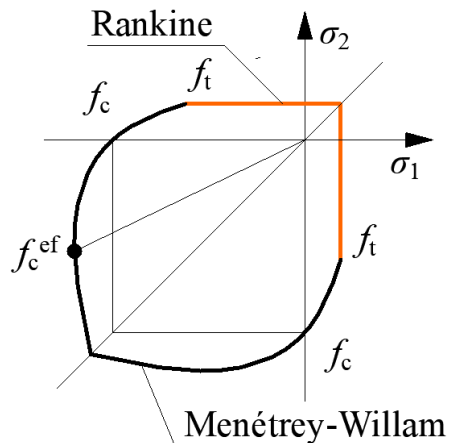
- ① méretezés elvégzése beton (PC) szerkezetre: ULS, SLS és FAT határállapotokban, beton (PC) anyagmodell, EUROCODE alapján csökkentő tényezővel
- ② duktilitás vizsgálat elvégzése szálerősítésű beton (FRC) szerkezetre, figyelembe véve a szálak hatását, FRC anyagmodell, *fib* Model Code alapján, pontosan meghatározva a szerkezet duktilitását (D)

Mindkét méretezés ATENA térbeli végeelem szoftverrel készült.

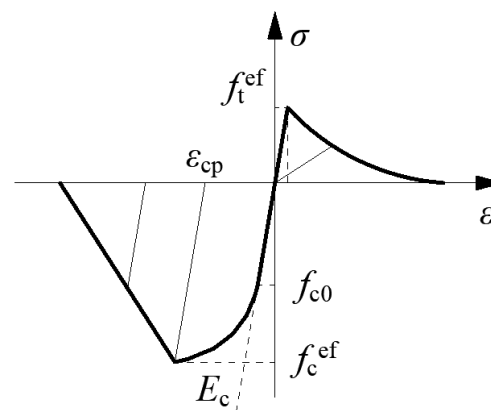
## ATENA térbeli végeselemes méretezés

- speciális szoftver beton, szálerősítésű beton és vasbeton szerkezetek méretezésére
- más viselkedés húzott és nyomott oldalon: Menétrey-Willam és Rankine kombinált törési feltételt használ
- repedés utáni törési energia figyelembe vétele
- szálerősítés figyelembe vétele a módosított törési energia módszer alapján
- karakterisztikus hossz (crack band theory) figyelembe vételével hálóméret független a számítási eredmény

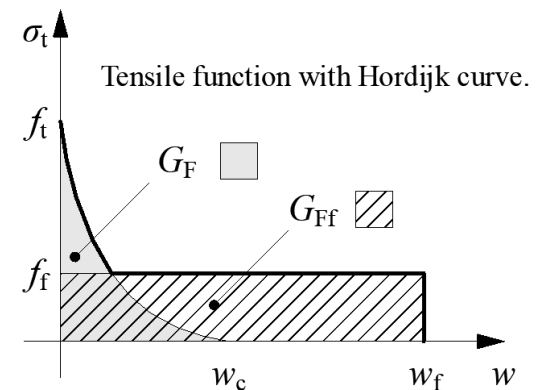
Biaxial Failure Law



Stress-strain Law



Tension Function



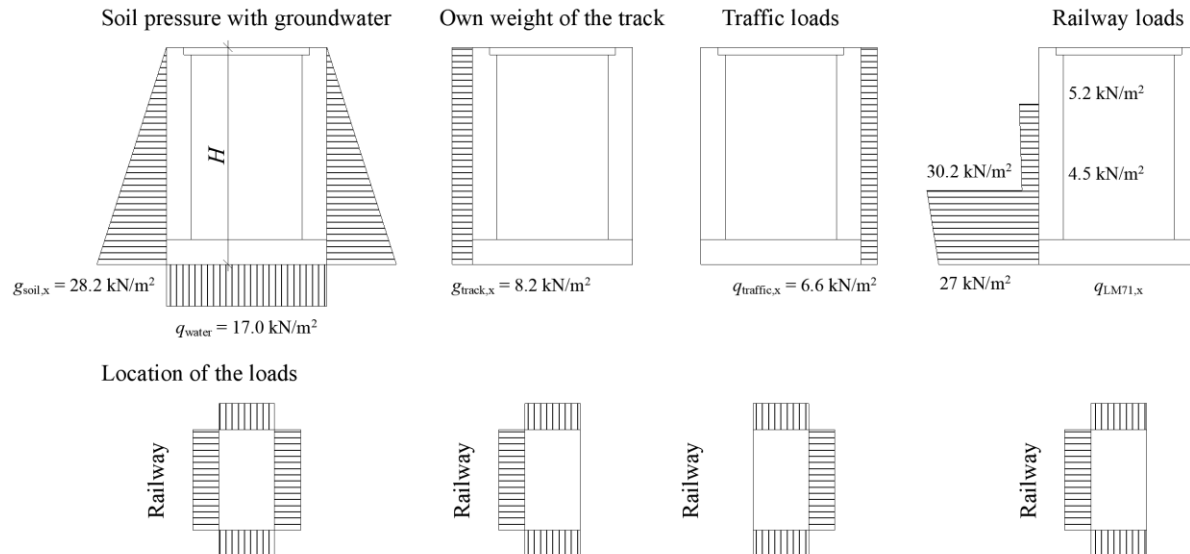
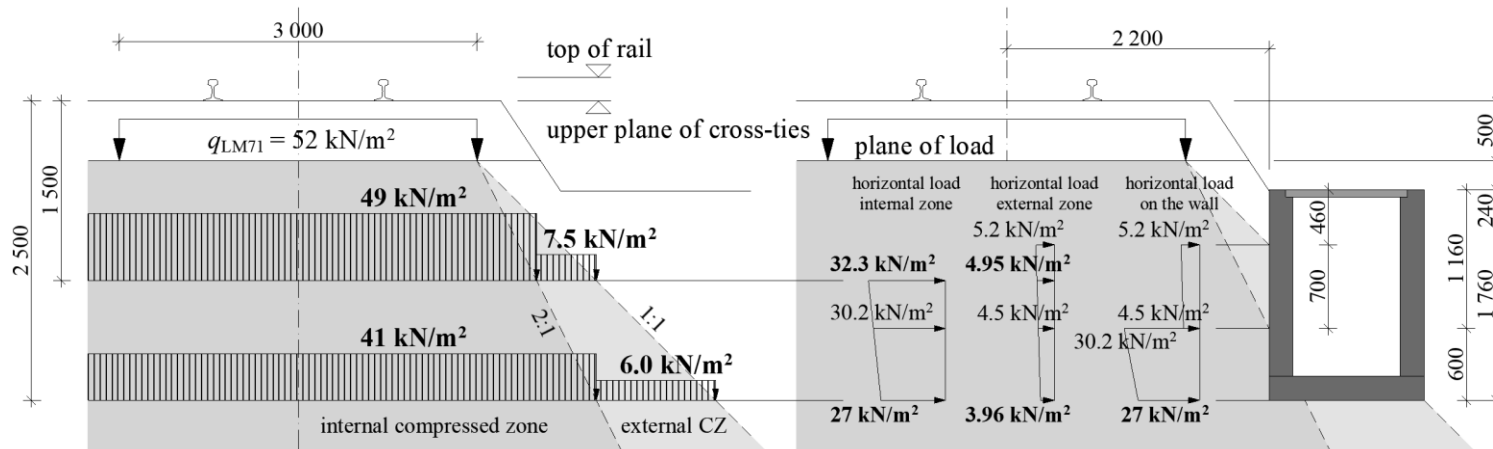
Červenka V., Jendele L., Červenka J., *Advanced Tool for Engineering Nonlinear Analysis (ATENA) 5.9.1c*, Prague, 2023, <https://www.cervenka.cz/products/atena/>

Bazant, Z.P., Oh, B.H., Crack Band Theory for Fracture of Concrete, *Materials and Structures*, RILEM, 1983 Vol. 16, 155-177.



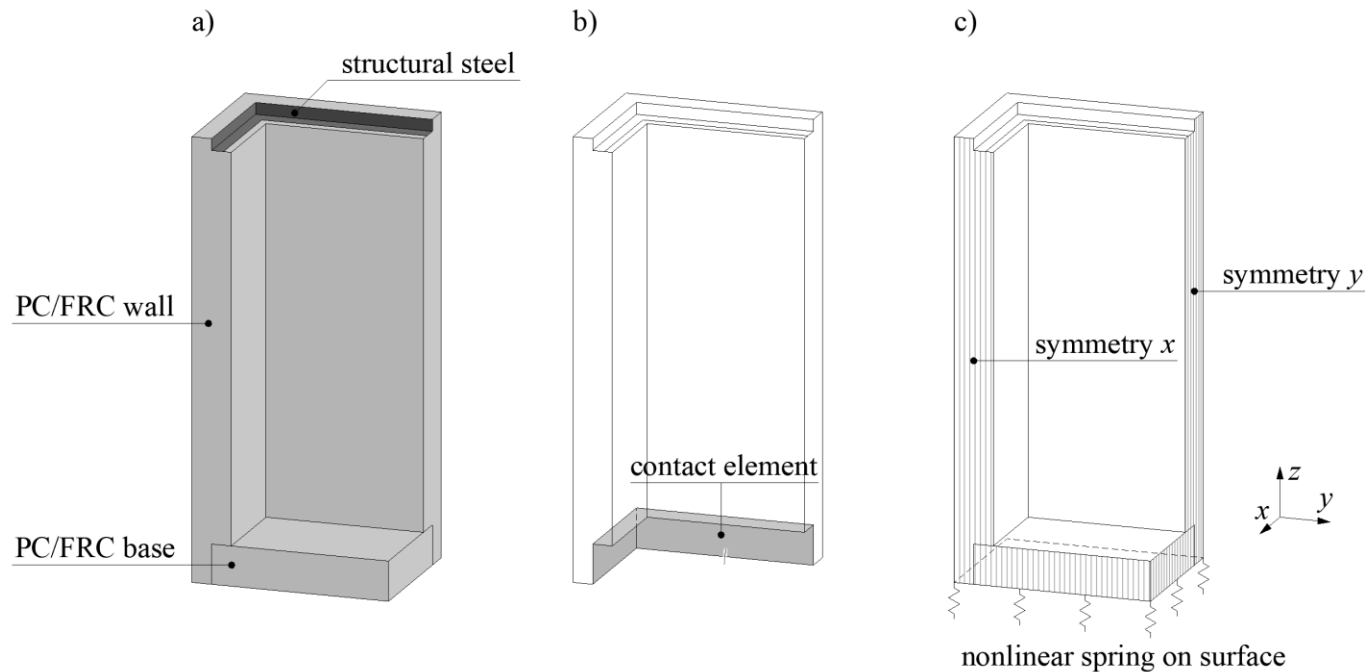
## ATENA térbeli végeelemes méretezés

- terhek meghatározása e-VASUT 02.10.20: 5.4 fejezet alapján, LM71 terhelésre



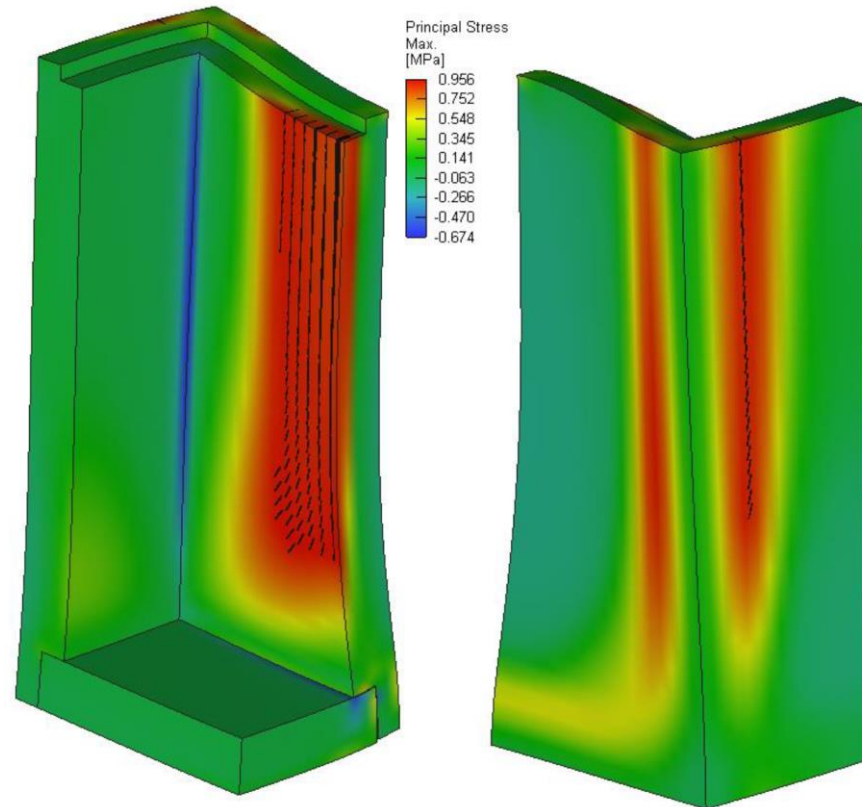
## ATENA térbeli végelelemes méretezés

- a szerkezet negyede lett méretezve, a biztonság javára minden oldalon lett működtetve a mértékadó terhelés
- a szimmetria síkokban felületi támaszt működtettünk, míg az alsó lemez alatt nemlineáris rugós megtámasztást (csak nyomásra)



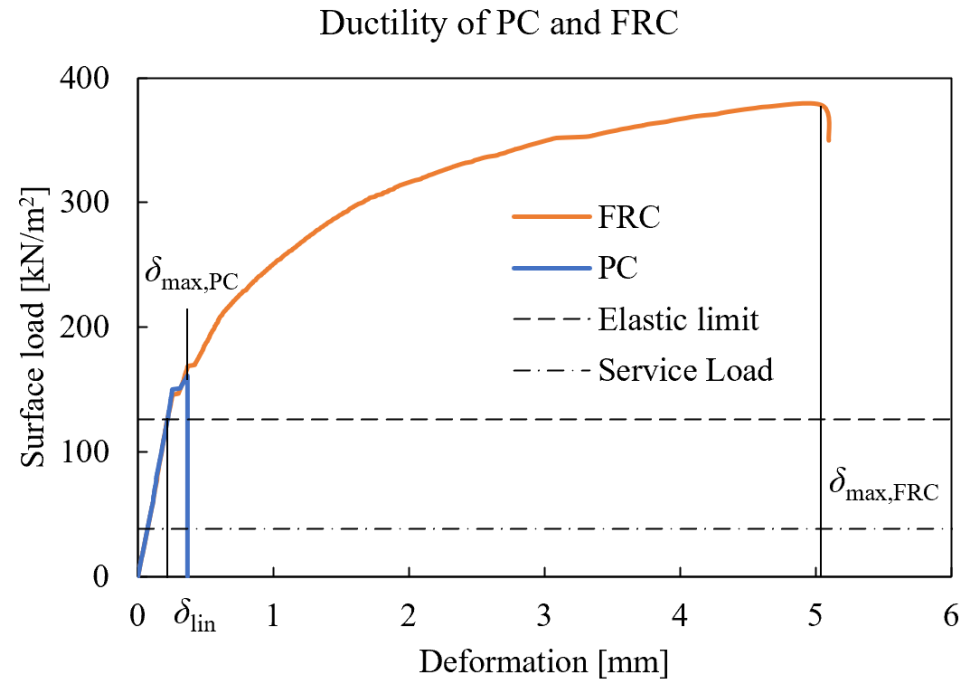
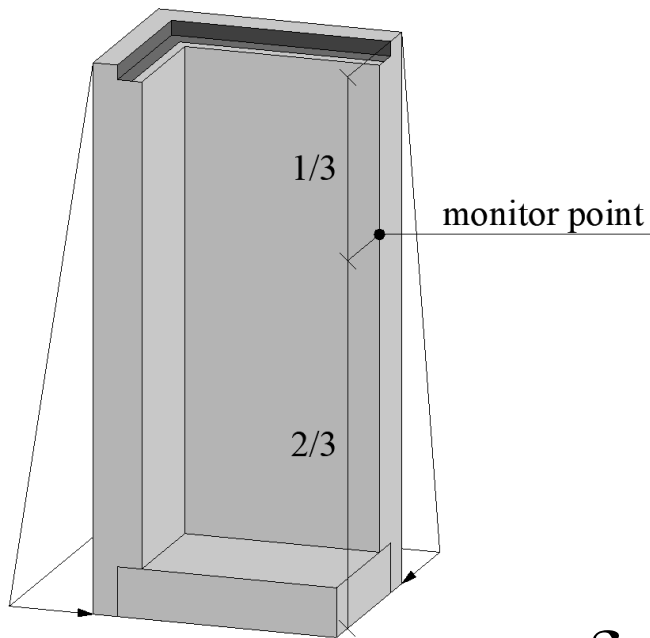
## ATENA térbeli végelelemes méretezés

- az eredmények kiértékelésénél megmutathatóak a szerkezetben keletkező feszültségek, repedéstágasság, repedés irány, deformációk
- ULS esetében a szerkezetnek stabilnak kellett maradnia
- SLS és FAT esetében a repedéstágassági korláton belül kellett lenni



## ATENA térbeli végelelemes méretezés

- duktilitás vizsgálatnál egy felületi terhet adtunk a szerkezetre, amelyet folyamatosan növeltünk, egy helyen mérve a vízszintes elmozdulást
- ezzel a módszerrel a szerkezet a tönkremenetelig terhelhető, majd meghatározható a szerkezet duktilitása
- a számítást elvégeztük mind beton, mind szálerősítésű beton akna esetére is, majd a duktilitás ( $D$ ) meghatározható



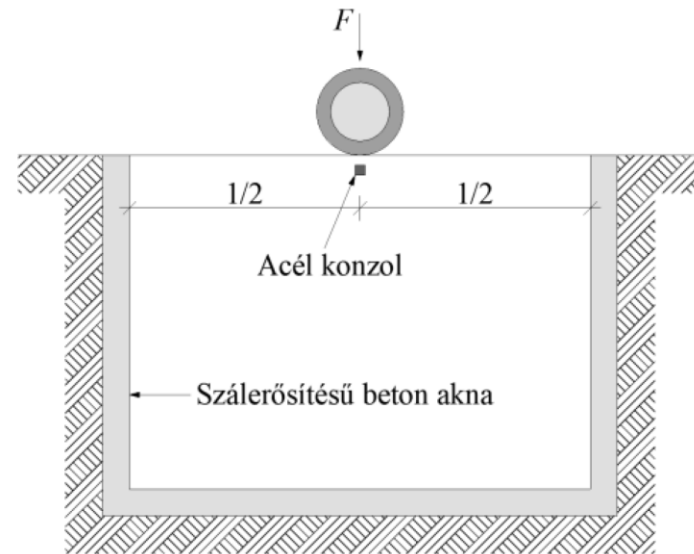
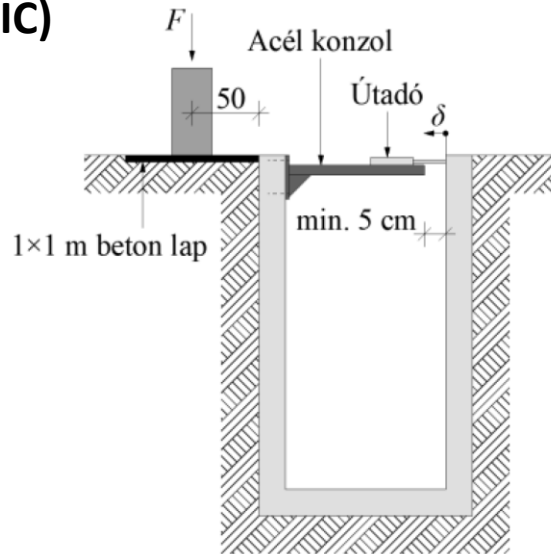
$$D = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{\text{lin}}}$$

$$D_{\text{PC}} = 1,67$$

$$D_{\text{FRC}} = 22,95$$

# PRÓBATERHELÉS

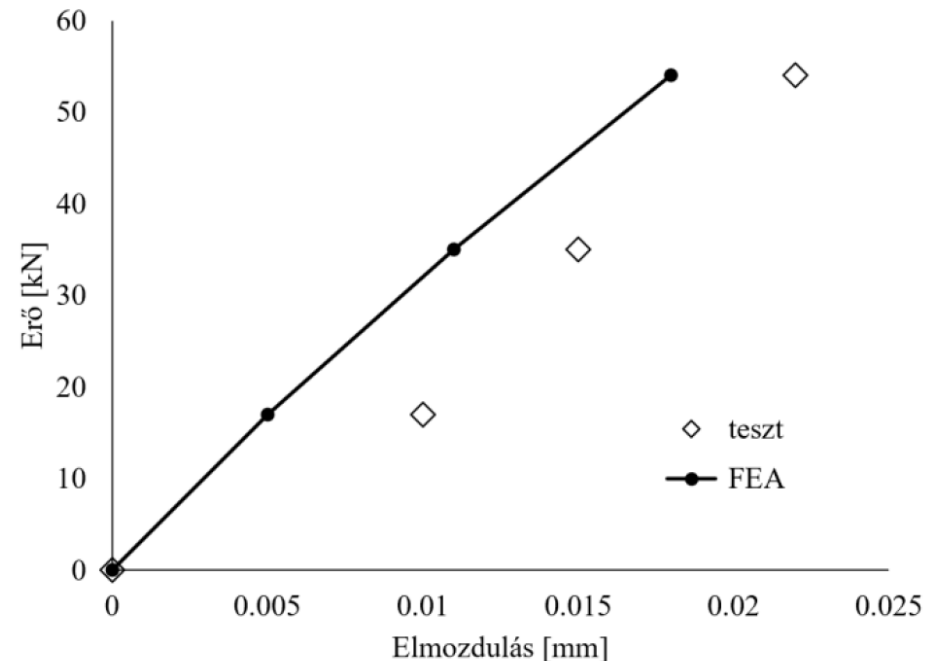
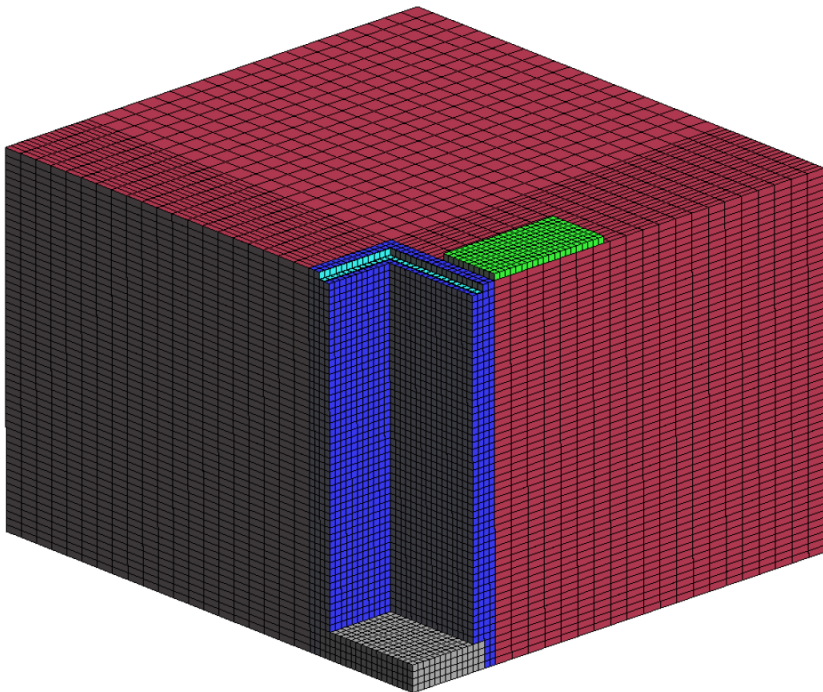
Első próbaterhelés: elmozdulás mérése kerékterheléssel  
(JKP STATIC)



## Első próbaterhelés: elmozdulás mérése kerékterheléssel (JKP STATIC)

- numerikus modellt építettünk a helyszíni mérés alapján
- a numerikus modell eredményei jól közelítették a helyszíni mérés eredményeit, ugyanakkor a teherbírás továbbra is csak numerikusan volt meghatározható
- szükségessé vált egy olyan próbaterhelés, ahol az akna teherbírása meghatározható

*Megjegyzés: az irodalmi kutatások és saját számításaink alapján a talaj teherbírásának kimerülése (talajtörés) hamarabb következik be, mint az akna tönkremenetele.*

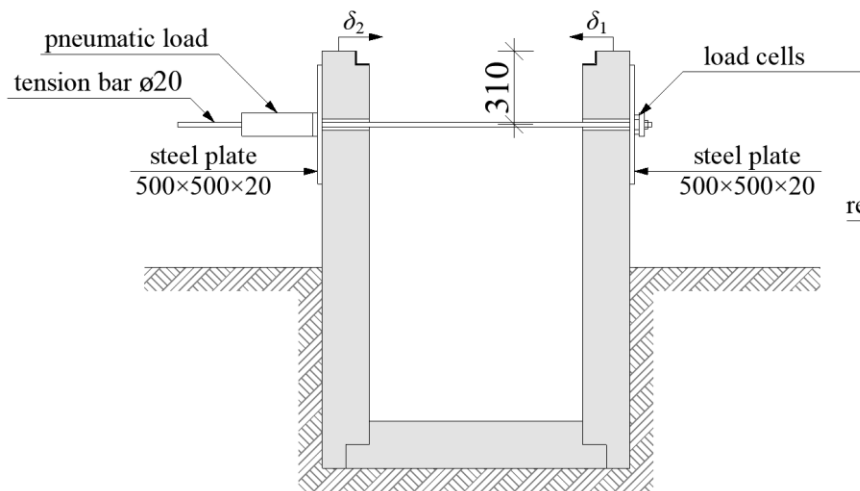


## Második próbaterhelés: PC és FRC akna teherbírásának meghatározása (BME)

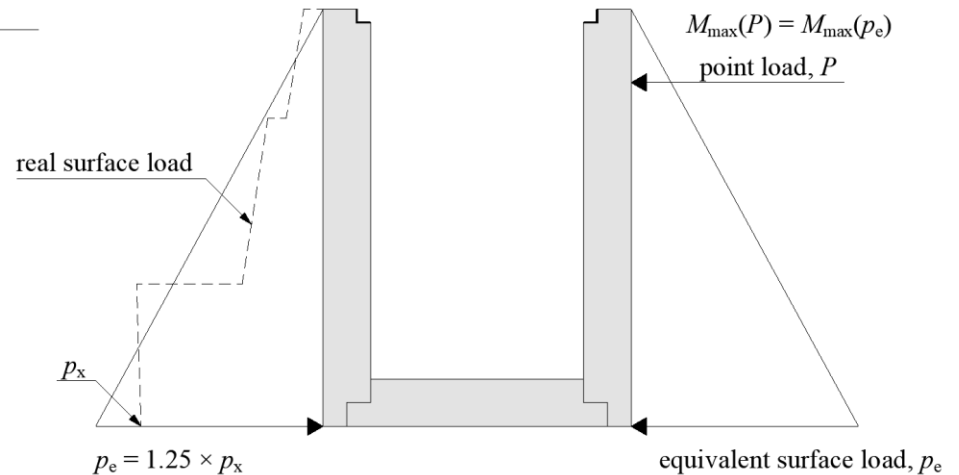
- PC és FRC aknák készítése, azonos geometriával
- pontszerű teherrel terhelve az alábbi ábra alapján
- erő-elmozdulás mérése, duktilitás meghatározása
- a pontszerű teherből ( $P$ ) egy ekvivalens háromszög alakú felületi teher ( $p_e$ )
- az ekvivalens teherből a valós felületi teher mértékére következtetni lehet
- globális biztonság meghatározása:

$$\gamma_R = \frac{p_{x,\max}}{p_x} = \frac{0.8 p_{e,\max}}{p_x}$$

a) Test loading setup



b) Equivalent surface load



# PRÓBATERHELÉS

## Második próbaterhelés: PC és FRC akna teherbírásának meghatározása (BME)

Képek a terhelésről:

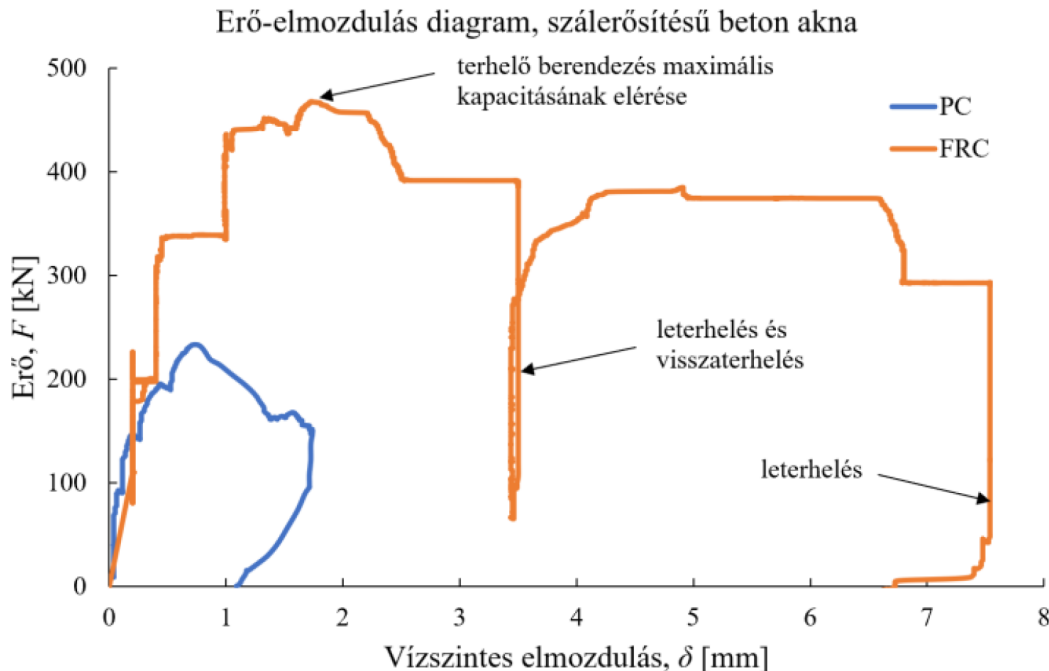




## Második próbaterhelés: PC és FRC akna teherbírásának meghatározása (BME)

Erő-elmozdulás görbék:

- mind teherbírásban, mind duktilitásban jóval nagyobb tartalék van az FRC aknában
- az FRC akna terhelésénél elértük a terhelő rúd teherbírását (~550 kN), így tehermentesítettük, majd újraterheltük
- a próbaterhelés végén is maradt benne tartalék
- PC akna esetében a maximális teher elérése után a terhelő erő hirtelen csökkent, a repedés végigfutott az akna falán és az alaplemezen



$$\gamma_{R,PC} = 7,17$$

$$\gamma_{R,FRC} = 13,55$$

$$D_{PC} = 5,96$$

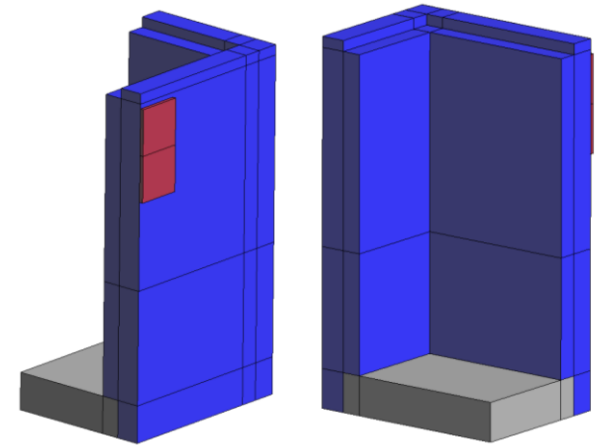
$$D_{FRC} = 21,51$$

# PRÓBATERHELÉS

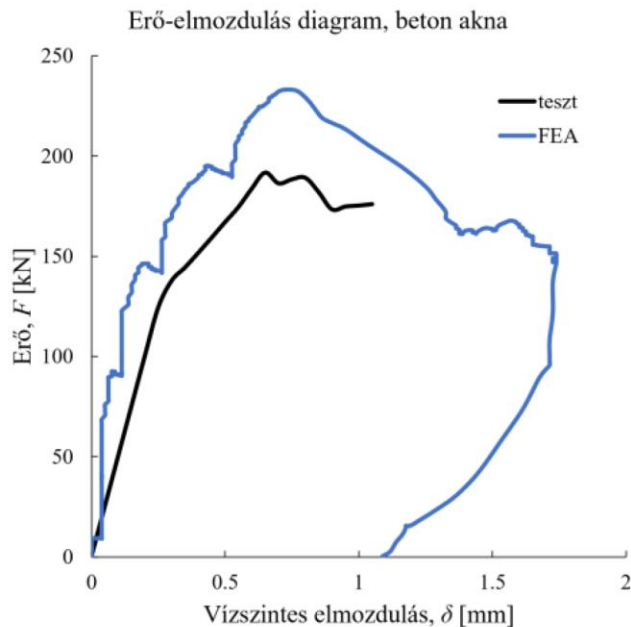
## Második próbaterhelés: PC és FRC akna teherbírásának meghatározása (BME)

A valós terhelés numerikus modellel is vizsgálva lett, a két görbe egy diagramon ábrázolva az alábbi ábrán.

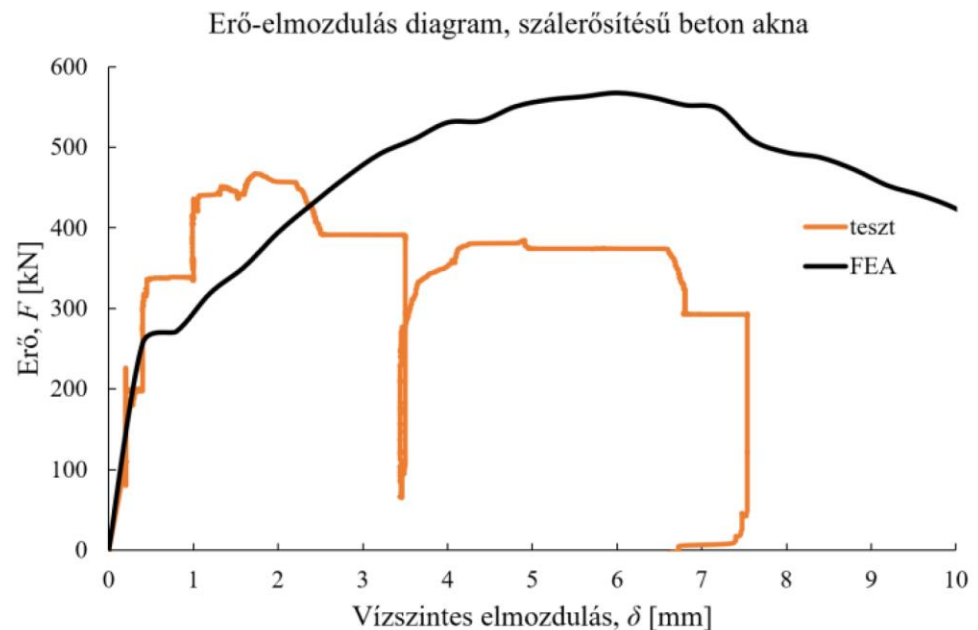
- mind karakterisztikájában, mind teherbírásban jól közelíti a numerikus modell a valós vizsgálatot
- a verifikált modellel az FRC akna teherbírása is becsülhető, amely így ~600 kN lett volna



a)



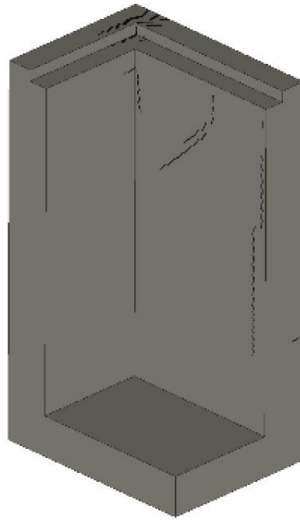
b)



# PRÓBATERHELÉS

## Második próbaterhelés: PC és FRC akna teherbírásának meghatározása (BME)

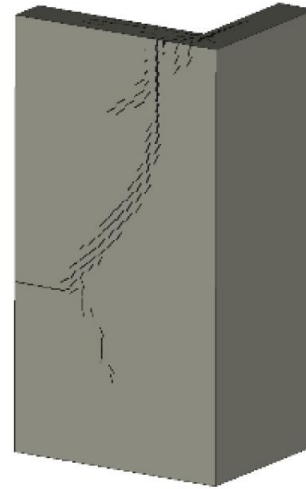
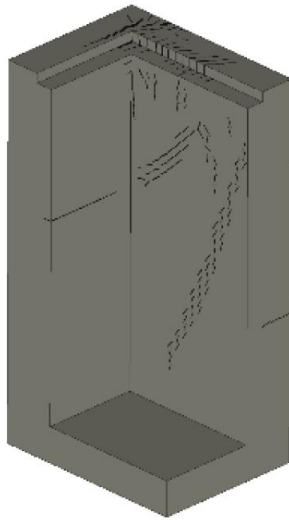
A numerikus és valós repedések jó egyezést mutattak:



# PRÓBATERHELÉS

## Második próbaterhelés: PC és FRC akna teherbírásának meghatározása (BME)

A numerikus és valós repedésképek jó egyezést mutattak:



## CO2 lábnyom és fenntarthatóság

Általánosságban, egy szerkezet előállítása során CO2 keletkezik:

- tervezési folyamat során (~1%)
- anyagok gyártása során (~90%)
- anyagok szállítása során (~3%)
- szerkezet építése során (~6%)

de ez az érték szerkezetenként változhat.

A szintetikus szálak használatával kiváltottuk a hagyományos vasalást, ezzel a munka felgyorsult, és jelentős mennyiségű, magas környezeti lábnyommal rendelkező betonacélt takarítottunk meg.

BarChip 48 szintetikus szál GWP értéke (Global Warming Potential) az EPD szerint 1.99 kg CO<sub>2</sub>e/kg, ami azt jelenti hogy egy akna esetén **18.7 kg CO<sub>2</sub>e**.

Betonacél esetében ugyanez az érték **263.5kg CO<sub>2</sub>e/kg** (ACI alapján).

**Kb. 14-szer több a betonacél CO<sub>2</sub>e értéke, mint a BarChip48 szintetikus szálnál.**

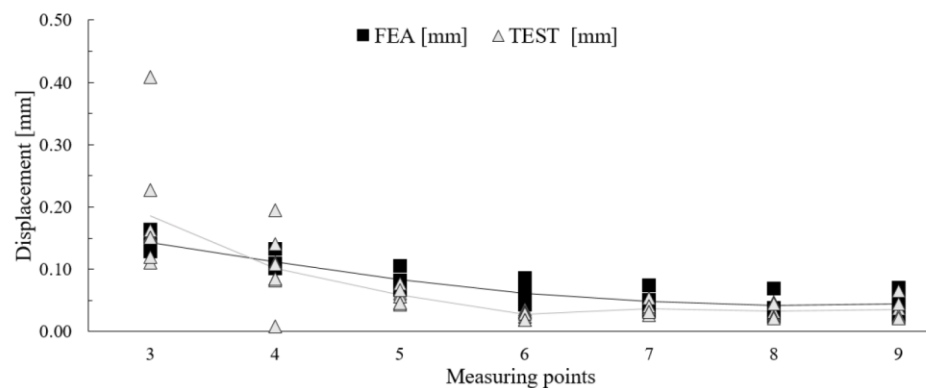
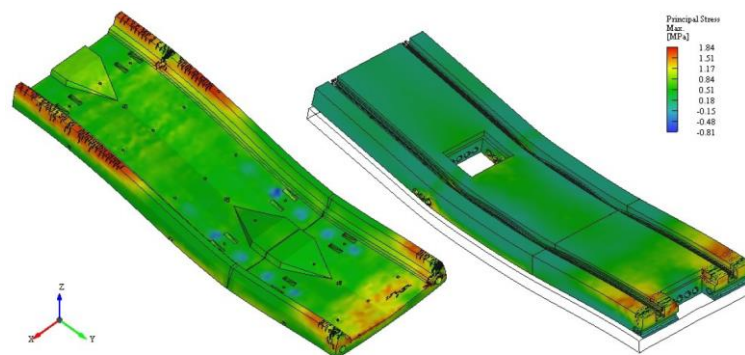
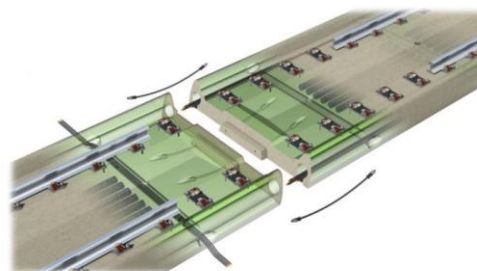
Megjegyzés: a termék előállításáról beszélek csak, nincs benne szállítás, beépítés stb., illetve CO<sub>2</sub>e nem CO<sub>2</sub>. A részletes számítás még folyamatban van, az tartalmazni fogja a szállítási és beépítési lábnyomot is.

# EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

## FRC és RC akna

- bizonyos szerkezetekben a szálerősítésű beton használatával magas teherbírású, duktilis szerkezeteket készíthetünk, akár a vasalás is kiváltható
- olyan környezeti feltételeknél, ahol a beton karbonátosodása erősebb, a vasalás korróziójának veszélye jelentősebb, mindenképp jó megoldás a teljesen korróziómentes szintetikus makroszálak használata
- tipikusan ilyen a szabadban álló, földdel érintkező, vagy föld alatti szerkezetek, műtárgyak: alapozások, aknák
- jelen munkánkkal meghatároztuk az aknák teherbírását, globális biztonságát, próbaterhelésekkel igazoltuk ezt, illetve verifikáltuk a numerikus modellünket
- a tervezési folyamat és a megvalósítás egy szép példa egy szerkezet újragondolására, új anyagokkal és fejlett méretezési módszerekkel

# TOVÁBBI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK



PCAT, előregyártott vasúti pályalemez

# TOVÁBBI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK



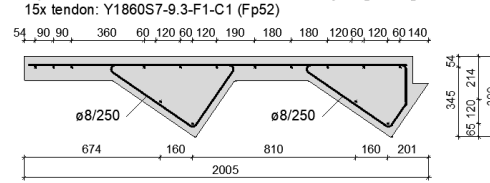
Szeged, villamos pályalemez



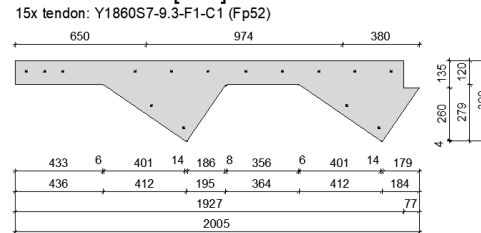
# TOVÁBBI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK



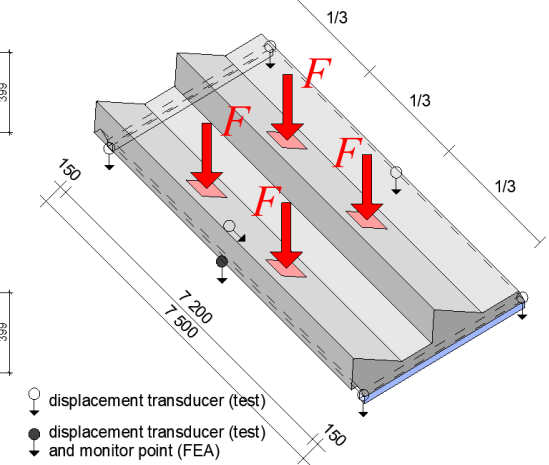
a) Cross section - steel stirrups [mm]



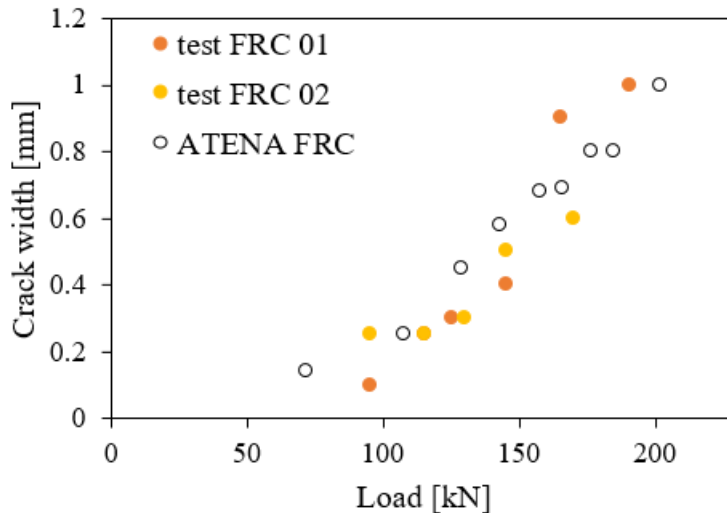
Section - FRC [mm]



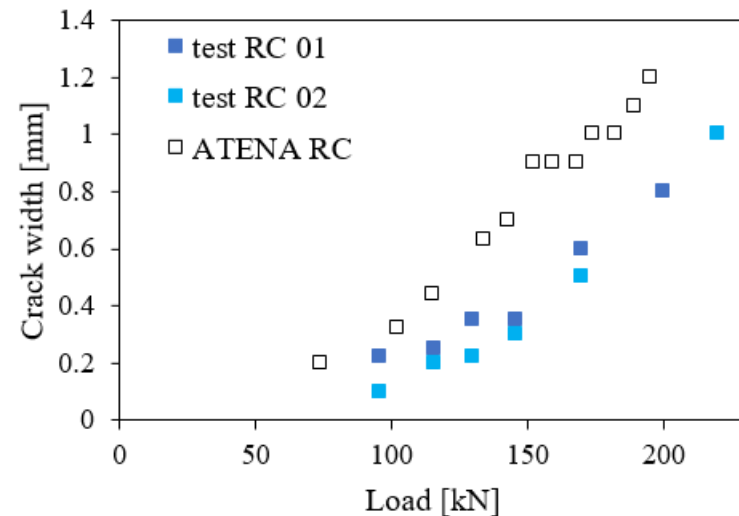
b) Laboratory setup [mm]



Crack width bottom



Crack width bottom



Debrecen, előregyártott tribünelem, nyírési vasalás csökkentése

**KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!**

