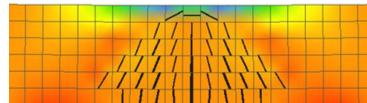


FRP erősítésű betonok

Anyagismeret és méretezés



2014.12.12



Schaul Péter
okl. építőmérnök

Tartalom

1. FRP anyag: gyártás, alkalmazás, viselkedés
2. Épületrekonstrukció
3. Gerendatesztek eredményei
4. FRP erősítésű szerkezetek méretezési lehetőségei

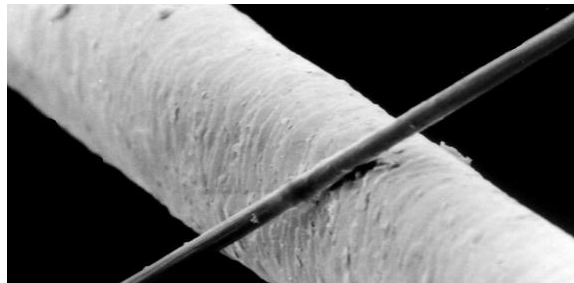
1. FRP: gyártás, alkalmazás, viselkedés

- FRP= Fiber reinforced polymer – szálerősítésű polimer
- 1960-as évektől alkalmazzák
- Építőiparban megjelenési mód: rúd, szalag, kábel, háló, szövet



FRP kompozit

- **Összetétel: Szál+mátrix**
- **Szál:**
 - Kb. 10 μ m-es szálátmérő
 - húzófeszültség felvétele
 - nagy húzószilárdság
 - nem rozsdásodik
 - nem mágnesezhető
- **Mátrix:**
 - szálakmechanikai védelme
 - összefogása
 - erő továbbítása a szálakra
- **Jellemző anyagok:**
 - Szál: üveg, szén, bazalt, aramid
 - Mátrix: hőre keményedő műanyagok: epoxi gyanta, poliészter, vinil-észter



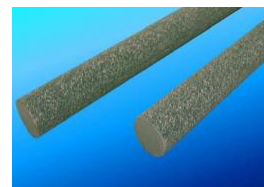
Anyagtulajdonságok

Erősítő anyag	Folyáshatár [MPa]	Húzószilárdság [MPa]	Rugalmassági modulus [GPa]	Határnyúlás [%]
Acél	276-517	N/A	200	25
Glass FRP (GFRP)	N/A	480-1600	35-55	1,2-3,1
Basalt FRP (BFRP)	N/A	1035-1650	45-59	1,6-3,0
Aramid FRP (AFRP)	N/A	1720-2540	41-125	1,9-4,4
Carbon FRP (CFRP)	N/A	1720-3690	120-580	0,5-1,9

- Leggyakrabban használt:
- GFRP- kedvező ár, alacsony sűrűség
- Gyanta: leggyakrabban epoxi, nagy szilárdság, alacsony hőmérsékleten kikeményíthető

GFRP- üvegszál erősítésű polimer

- Gyártása: platinalemezre folyatás-húzás
- Három fő típus: E-Glass, S-Glass, AR-Glass
- Legnagyobb mennyiségben gyártott
- Kedvező környezeti hatás
- Jó elektromos ellenállás
- Hátránya: nem alkáli álló szál



CFRP- szénzál erősítésű polimer

- Előállítás

- Poli-akril-nitril (PAN):

- nagy molekulájú polimer
 - Drágább, időigényesebb
 - Jobb minőségű

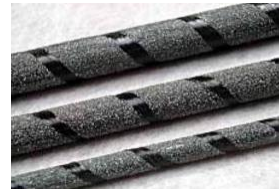


- vagy kőszénkátrány

- 20%-kal elmarad a PAN-tól

- Jó alkáli és elektromos ellenállás

- Kb. 3x nagyobb húzószil. és rug. mod. mint az üvegnek



BFRP- bazaltszál erősítésű polimer

- Legkörnyezetkímélőbb

- Ugyanúgy készül mint az üveg, csak kevesebb energiával

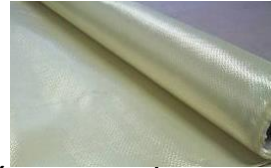
- Természetben jelenlévő anyagból

- Legújabb, kísérleti fázis



AFRP- aramid erősítésű polimer

- '80-as évektől
- Kristályos szerves vegyületből, aromás poliamid
- Mesterséges szálak közül a legnagyobb húzószil, és rug.mod.
- Erős savak és lúgok rombolják a másodlagos kötéseket
- Beton időtartamban alkáli álló
- Jó elektromos szigetelő
- Kevlar



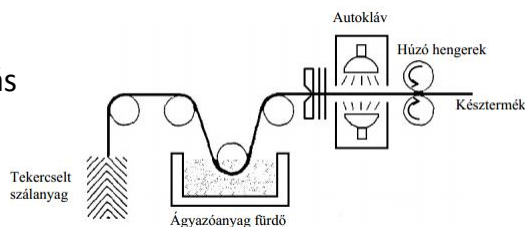
Gyanták

- Hőre keményedő műanyagok
- **Epoxi:** nagy szilárdságú, jó hőállóságú, alacsony zsugorodás, jó vízálló
- **Poliészter:** Jó egyensúly az elektromos, a mechanikai és kémiai tulajdonságok közt
- Aránylag olcsó
- **Vinil-észter:** jó alkáli álló – GFRP-hez



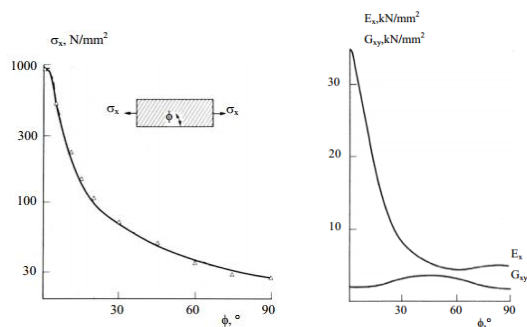
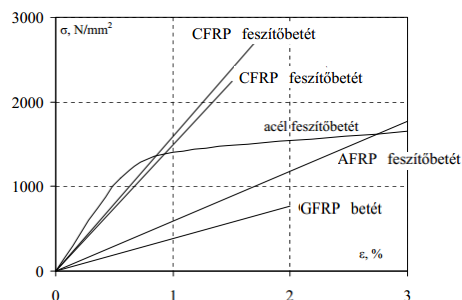
FRP betétek

- Gyártás: leggyakrabban pultrúziós eljárás
- 70% szál+30% mátrix
- Kis tömeg
- Felületkezelés:
 - Jó tapadás a betonnal, anyagon belüli nyírás elkerülés.
- Típusok:
 - Homokfűvás
 - Külső menet
 - Belső menet
- Alkalmazás: autópálya, alagút, híd, kórház, villamos pálya



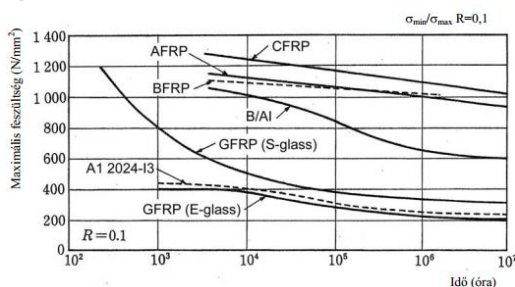
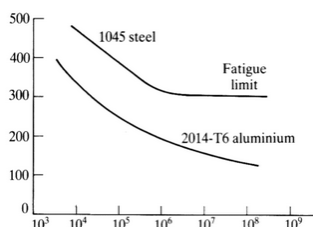
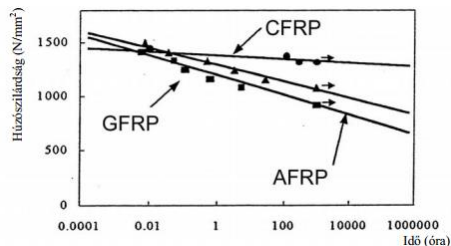
Mechanikai viselkedés

- Lineárisan rugalmas, rideg anyag
- Kisebb rugalmasság, nagyobb szilárdság minden tulajdonság szálirány függő
- Nyomószilárdság kb. 80%
- Utólag nem megmunkálható, nincs lokális folyás



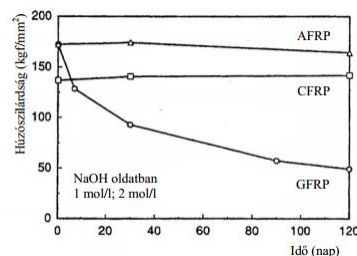
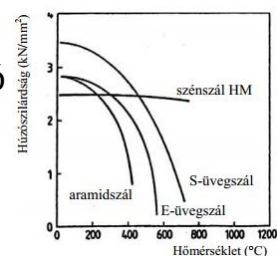
Kúszás, fáradás, tűz-, víz- és savállóság

- Kúszási folyamat tapasztalható, CFRP pászma kb. 90% AFRP 65%
- Fáradási szilárdság szénszálak esetén magasabb, mint acéloknál
- Japán kutatócsoport: FRP Wöhler diagram



Kúszás, fáradás, tűz-, víz- és savállóság

- Tűzállóság a gyanta miatt maximum 200°C-ig biztosítható
- Betonfedés növelése
- A gyanták általában vízállóak
- Aramid kötéseit reverzibilisen változtatja a víz
- Szénszál nem képes vízfelvételre
- Sav és lúgállóság, sósvízi tesztek



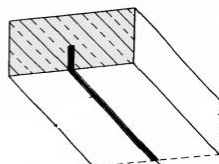
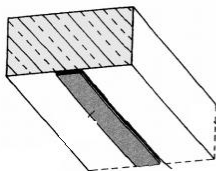
2.FRP szalag, szerkezet megerősítés

- Cél a meglévő, szerkezet megerősítése a felületén
- Mátrix és a szalag/szövet a helyszínen kerül kölcsönhatásba
- Alkalmazás:
 - Fontos szerkezet előkészítése, a betonszerkezet ellenőrzése
 - A károsodott betonfelületek eltávolítása, a felület kiegyenlítése. Szükség esetén habarcsjavítás vagy a repedések injektálása.
 - A CFRP szalagok alkalmazása előtt általában a felületet homokszórással kell megtisztítani.
 - A csatlakozó felületek közötti különbség ne legyen több mint 1 mm
 - A sarkokat le kell kerekíteni (az ívek sugara ne legyen kevesebb 20 mm-nél).



FRP szalag, szerkezet megerősítés

- A ragasztót a felületre általában hengerrel kell felhordani.
- Az alkalmazott mennyiség a beton felületétől függ (pl. a negatív sarkokban több anyagot kell felhordani mint a sík felületeken a jobb tapadás biztosítása érdekében)
- CFRP szalagok méretre vágása
- A szalagok felhelyezése és megfelelő nyomással való rögzítése a felületen, általában hengerrel.
- A szalagok átfedésének biztosítása (~20 cm)

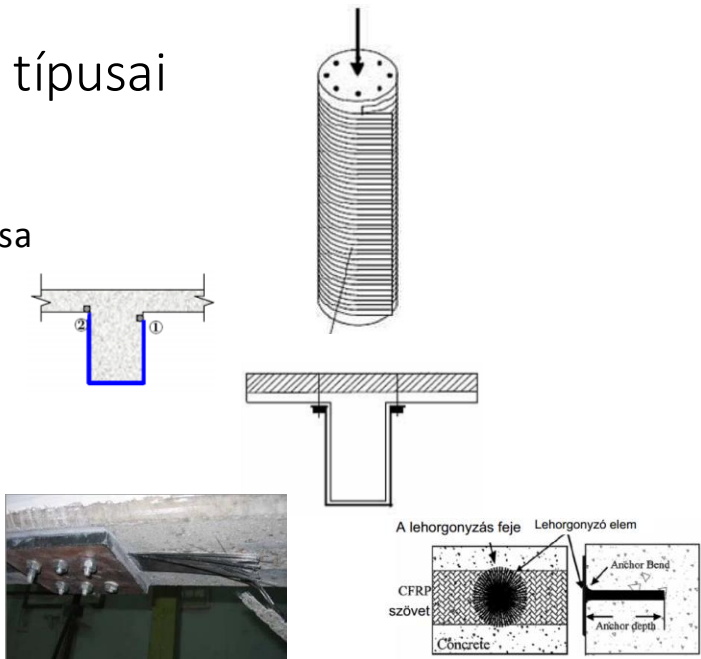


FRP megerősítések típusai

- Húzott oldal megerősítése
- Nyomott oszlop abroncsolása
- Erősítés nyírásra

- Lehorgonyzások típusa:

- Nyomott övbe
- Acél elemmel
- FRP lehorgonyzás FRP-vel



3. GFRP laborkísérlet

- 6db teszterenda (150x150x550)
 - **A1. betonacél erősítéssel**
 - **A2. ekvivalens üveg kompozit erősítéssel**
 - **B1. nyírási erősítés nélkül betonacél erősítéssel**
 - **B2. nyírási erősítés nélkül üveg kompozit erősítéssel**
 - **C1. szálerősítésű beton betonacél erősítéssel**
 - **C2. szálerősítésű beton üveg kompozit erősítéssel**



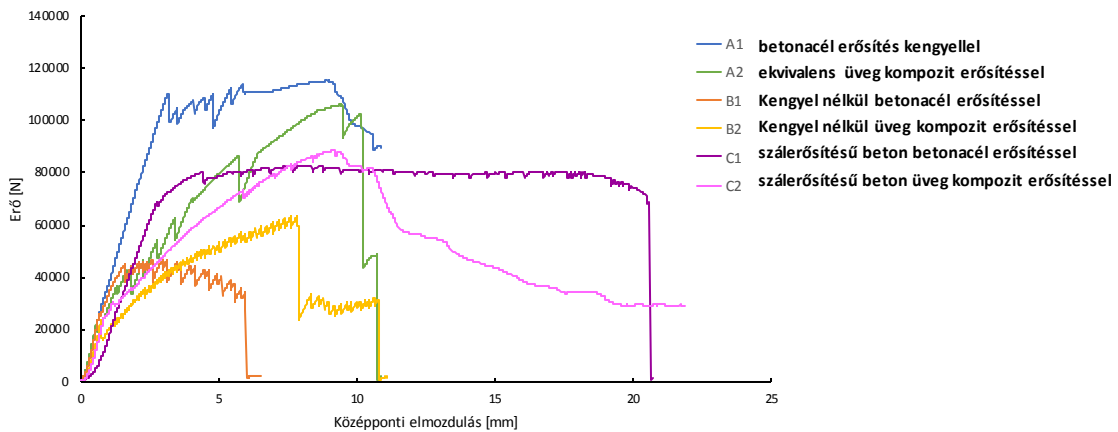
- Hárompontos hajlítási vizsgálat

- Anyagminőségek:

- Beton: C40/50 , CEM I 42,5 cementből, $d_{\max} = 16 \text{ mm}$
- Acél: fővas: B500
kengyel: B240
- GFRP: Armastek (GFRP)
- FRC: BarChip48 – 7,5 kg/m³



GFRP laborkísérlet eredmények



- Kezdeti lehajlás nagyobb mint a célnál (SLS), de a törőerő majdnem minden esetben az a cél fölötti

GFRP laborkísérlet eredmények

- Törésképek:




4.FRP erősítésű beton méretezése

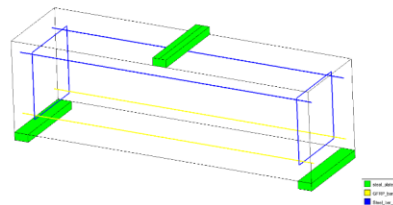
- Amerikai ajánlás:
 - Tapasztalati jellegű, különböző szabványos etekre kidolgozott
 - Hátrány: új szerkezetípusoknál nehezen használható
- Végeelemes modellezés:
 - Pontos, jól követi a valóságot, tetszőleges szerkezetre használható
 - Hátrány: bonyolult program
- „Veszélyes” méretezés

	Betonacél	FRP
Szakító szilárdság MPa	490	1200
Rugalmassági modulus MPa	200 000	55 000
Fajlagos nyúlás %	25	2.2
Aggresszív anyagok hatása	korrodál	nem korrodál
Hővezetés	hővezető	nem hővezető
Elektromos vezetőképesség	vezető	szigetelő
Gyártott átmérő	6-40	4-20
Gyártott szál hossz	6-15	a vevő igénye szerint
Környezeti hatás	környezetbarát	nem toxikus, környezetbarát
Élettartam	a vonatkozó szabványok szerint	legalább 80 év
Azonos erősségű szerkezeti elemekhez használt átmérők (mm)	10	7
	12	9
	14	10
	16	12
	18	14

GFRP végeelemes modellezés

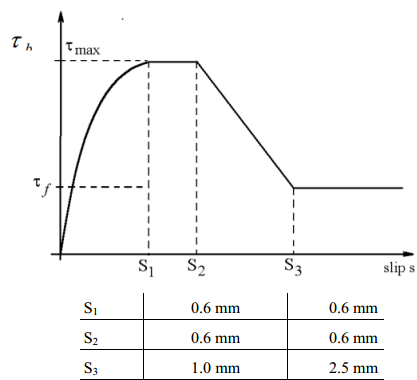
- ATENA Studio V5. 
- Laborkísérlettel megegyező geometria, megtámasztási/terhelési viszonyok
- Alkalmazott anyagminőségek

Anyag	Acél B500	GFRP, polimer bázisú (ARMASTEK)
Határ húzószilárdság [MPa]	500	1300
Rugalmassági modulus [MPa]	210000	55000
Határnyúlás [%]	20	2,2
Hővezetés [W/m °C]	46	0,35
Hőtágulási együttható [10^{-5} 1/°C]	12	10
Sűrűség [Ton/m ³]	7,8	1,9



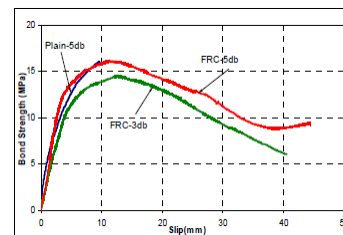
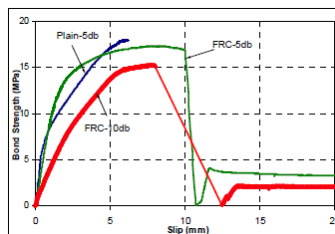
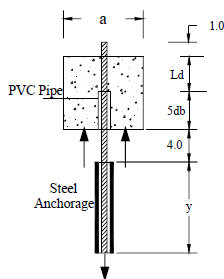
GFRP végelemes modellezés

- Anyagmodell: lineárisa rugalmas, folyás/felkeményedés nélkül
- „Bond-slip law”
- Acélra több ajánlás (CEB-FIP; Bigaj)
- Csak keresztmetszet kerületétől és betonminőségtől függ

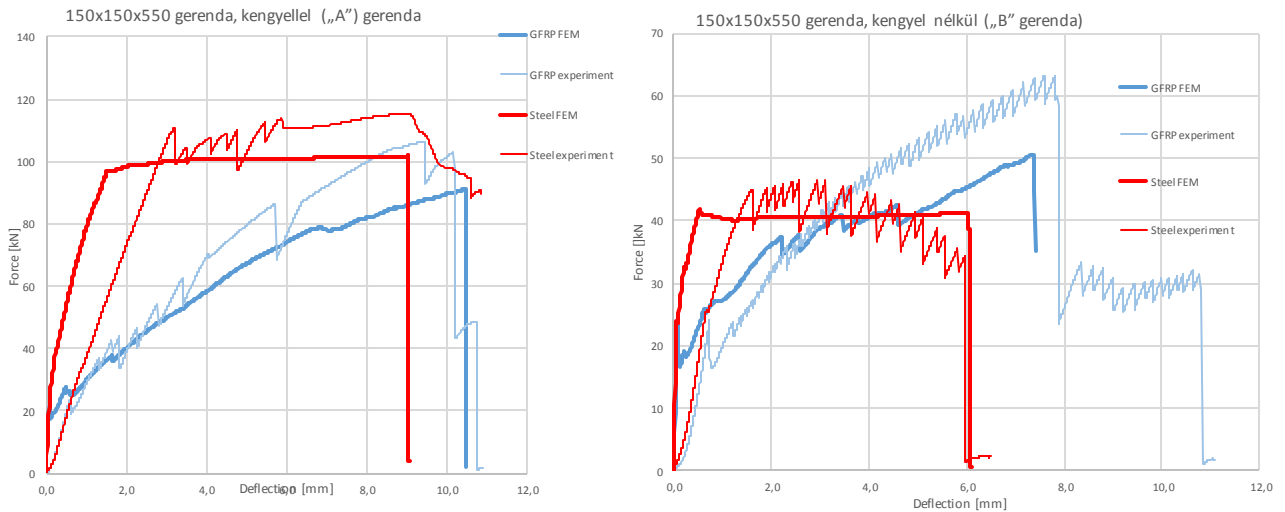


GFRP végelemes modellezés

- GFRP-nél alakra hasonló
- Teszt elvégzése bonyolult
- Beágyazási hosszától, keresztmetszettől jelentősen függ
- Kevés szakirodalom, kutatási fázis

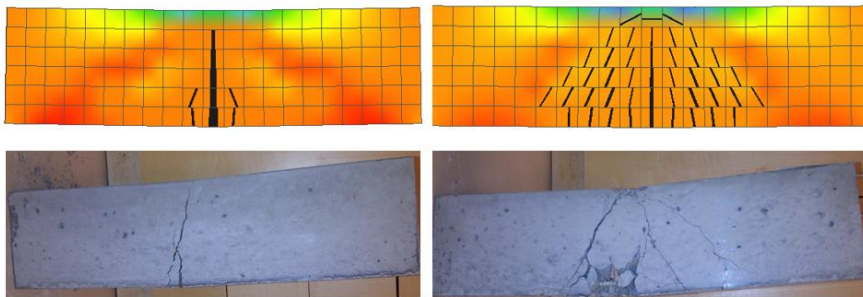


VEM eredmények



VEM eredmények

- A modell jól követi a kísérleti görbét: tönkremenetelhez tartozó erő, kezdeti meredekség, duktilitás, töréskép jó egyezést mutat
- Eltérések okai:
 - VEM nem veszi figyelembe a két vas nem egyidejű szakadását
 - A kísérleti eredmények kezdeti meredekségében a gerenda „beállása” is megjelenik



GFRP kutatások a jövőben

- Nagyobb méretű, több keresztmetszetű gerenda vizsgálata
- Több szál (anyag, felület, átmérő) tesztelése
- Túl- és alul „vasalás” vizsgálata

- Kicsúszási törvény pontosabb vizsgálata
- Hibrid szálak vizsgálata
- Feszítőpázmák, és lehorgonyzásuk
- FRP betétes szerkezetek duktilitása