



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Építőmérnöki Kar

Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

RÖGZÍTŐELEMENK VISELKEDÉSE SZÁLERŐSÍTÉSŰ BETONBAN

TDK DOLGOZAT

Marosi Bence

Építőmérnök BSc hallgató

KONZULENSEK:

Dr. Majorosné Dr. Lublós Éva egyetemi adjunktus

Hlavička Viktor, PhD hallgató

Kovács-Sebestény Szabolcs műszaki osztályvezető, FISCHER Hungária Bt.

Budapest, 2014. október

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	4
2. CÉLOK MEGFOGALMAZÁSA	5
3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
3.1 Rögzítéstechnika	6
3.1.1 A rögzítőelemek építőipari felhasználása.....	6
3.1.2 Rögzítőelemek csoportosítása.....	8
3.1.3 A rögzítőelemek igénybevételei és erőátadási módjai.....	9
3.1.4 Kapcsolatok jellemző tönkremeneteli módjai.....	10
3.1.4.1 Ragasztott kapcsolatok.....	10
3.1.4.1.1 Kihúzódasos tönkremenetel.....	10
3.1.4.1.2 Szakadókúpos tönkremenetel.....	11
3.1.4.1.3 A próbatest felhasadása.....	12
3.1.4.1.4 Acél menetes szár szakadása.....	12
3.1.4.2 Mechanikus kapcsolatok.....	13
3.1.4.2.1 Rögzítőelem kihúzódasása.....	13
3.1.4.2.2 Szár szakadása.....	13
3.1.4.2.3 Szakadókúpos tönkremenetel.....	13
3.2 Szálerősítésű beton	14
3.2.1 Történeti kitekintés.....	14
3.2.2 Száltípusok.....	15
3.2.3 Szálak geometriája.....	15
3.2.4 Előállítás és adagolás.....	17
3.2.5 Felhasználási területek.....	17
3.2.6 Műanyag szálerősítés hatása a beton tulajdonságaira.....	18
3.2.7 Acél szálerősítés hatása a beton tulajdonságaira.....	18
3.2.8 Szálerősítésű betonnal épült szerkezetek.....	20
4. FELHASZNÁLT ANYAGOK	22
4.1 A beton fogadóanyag	22
4.1.1 Alkalmazott betonreceptúra.....	22
4.1.2 A próbatestre vonatkozó minimális geometriai követelmények.....	23
4.1.3 A beton keverése és a próbatestek kialakítása.....	23
4.2 A kapcsolatok	24
4.2.1 Választott rögzítőelemek.....	24
4.2.2 Rögzítőelemek szakszerű installálása.....	25
4.3 Az alkalmazott szálak	26
5. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK	27
5.1 Nyomószilárdság vizsgálat	27
5.2 Hajlító-húzószilárdság vizsgálat	27
5.3 Látszólagos porozitás vizsgálat	28
5.4 Kihúzókérdés	28

5.4.1 A kísérlethez használt terhelő gép.....	28
5.4.2 Mérési összeállítás	29
6. KISÉRLETI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE.....	32
6.1 Nyomószilárdsági eredmények értékelése	32
6.2 Hajlító-húzószilárdsági eredmények értékelése	34
6.3 A porozitás vizsgálat eredményeinek kiértékelése.....	36
6.4 A teherbírás változása különböző kapcsolatok esetében	37
6.4.1 Epoxi alapanyagú ragasztott kapcsolatok	37
6.4.2 Vinilészter-hibrid ragasztásos kapcsolatok.....	38
6.4.3 FBN mechanikus kapcsolatok.....	40
6.4.4 A teherbírás változásának összegzése a különböző kapcsolati kialakítások függvényében.....	42
6.5 Kapcsolati teherbírás a szálerősítés függvényében	44
6.5.1 Szálerősítés nélküli referenciaértékek	44
6.5.2 Műanyag szálerősítés.....	44
6.5.3 Acél szálerősítés	45
6.5.4 A kapcsolati teherbírás változásának összegzése a szálerősítés függvényében	46
7. ÖSSZEGZÉS ÉS MEGÁLLAPÍTÁSOK.....	47
8. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK.....	48
9. ABSTRACT IN ENGLISH	49
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	50
11. FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM	51
Képhivatkozások	53
MELLÉKLET.....	56

1. BEVEZETÉS

Az építőipar az egyik legrégebbi, ugyanakkor az egyik legdinamikusabban fejlődő iparág. Folyamatos kutatások zajlanak minden területre kiterjedően, legyen szó akár új méretezési eljárások fejlesztéséről, új építőanyagok alkalmazásáról, új technológiák, kialakítások teszteléséről, vagy a létező anyagok és technikák újszerű felhasználásáról, esetleg szokatlan kombinációiról.

Az építőiparon belül az építőipari anyagtudomány egy – a többi tudományterülettel szervesen összefüggő – külön kutatási, fejlesztési szakterület a legszerteágazóbb irányokkal. A beton, mint napjaink legalapvetőbb építőanyaga egy önálló kutatási téma, amelynek célja a beton minél alaposabb megismerése, mechanikai tulajdonságainak javítása, valamint speciális megoldások vizsgálata, alkalmazási körének feltárása.

Az egyik ilyen speciális megoldás a szálerősítés alkalmazása. Ezeknek a megoldásoknak a lényege, hogy növelik a beton szívósságát, duktilitását, maradó húzószilárdságát, kopásállóságát, dinamikus teherrel szembeni ellenállását, és meggátolják a zsugorodási repedések kialakulását, valamint a különböző típusú szálak számos egyéb előnyös tulajdonsággal rendelkeznek [1].

A folyamatban lévő kutatások igazolják, hogy az iparnak és rajta keresztül a társadalomnak igénye van az új megoldások kidolgozására. A kutatások az elmúlt években foglalkoztak például a kókuszszálak földrengés teherre adott válaszával [2], a nano karbonszálakkal kapcsolatos fejlesztésekkel, [3], [4] a szálerősítés hatásával a nyírási teherbírásra triaxiális vizsgálat esetén [5], a műanyag palackokból újrahasznosítással készült szálak viselkedésével [6], valamint a szálerősítés szívósságra és szilárdságra gyakorolt hatásával [7].

Egy másik terület az építőiparban a rögzítéstechnika. A növekvő terhelések, a folyamatos igény az egyszerűbb és esztétikusabb kivitelezésre napról napra kihívások elé állítják a gyártókat, így csak az tud éleiben maradni a piacon, aki meg tud felelni az egyre növekvő elvárásoknak. Mára az utólagosan installált rögzítőelemek teherbírása kezdi elérni a bebetonozottakét, és számos más előnyük miatt (például a tervezésnél biztosított szabadság) térhódításuk egyre nő. Mivel a rögzítési rendszerek ilyen dinamikusan fejlődnek hamarosan eljutunk oda, hogy a teherbírást (legalábbis beton esetén) a fogadóanyag húzószilárdsága határozza meg.

A fenti két tudományterület metszete a rögzítőelemek alkalmazása szálerősítésű betonban. Bár a szálerősítés egyre terjed és egészen extrém kutatások folynak a megismerésére mégis alig-alig találni olyat [8], amely a rögzítéstechnika és a szálerősítés kapcsolatát vizsgálná, pedig látható hogy a rögzítéstechnika iparágának is szüksége lenne ilyen irányú fejlődésre.

A TDK dolgozatban kétféle szálerősítésű beton viselkedését hasonlítjuk össze a szálerősítés nélküli referenciabetonéval két ragasztott és egy mechanikus rögzítéstechnikai rendszer alkalmazása esetén. A munka során 27 kihúzókérdés, valamint a hozzájuk tartozó anyagjellemzők megállapításához szükséges vizsgálatok eredményei kerülnek feldolgozásra és kiértékelésre.

A vizsgálatok elvégzését indokolják a fent leírtak: egyrészt, hogy a rögzítéstechnika fejlődése társadalmi elvárás, másrészt hogy a teherbírás immáron a fogadóanyag szilárdságán múlik. Erre a problémára keresünk az iparban is használható megoldást.

2. CÉLOK MEGFOGALMAZÁSA

Ahogy arról a bevezetésben is szó esett, a szakirodalmi kutatások során nem találtam információt a szálerősítés rögzítőelemekre gyakorolt hatásáról. Az általam hozzáférhető publikációk alapján (magyar illetve angol nyelven) arra a következtetésre jutottam, hogy ezt a területet nem vizsgálták még, vagy az ilyen irányú kutatások eredményei nem érhetőek el széles körben.

A szakirodalmi hivatkozások alapján a szálerősítés jelentősen befolyásolhatja a beton maradó húzószilárdságát [9] [10] [11]. Ebből adódik a következtetés, hogy a szálerősítésű betonban alkalmazott rögzítőelemek teherbírására is hatással lehetnek az alkalmazott szálak (2.1 ábra).

A kísérletekhez két típusú szálát választottunk, amelyek jelentősen eltérő mechanikai tulajdonságokat és viselkedést mutatnak. Az egyik fajta egy 35 mm hosszú hullámos acél szál, míg a másik egy 18 mm hosszú egyenes polipropilén szál.

A kísérletek célja egy adott betonreceptúrán három típusú (egy epoxi ragasztós, egy vinilészter-hibrid ragasztós, és egy mechanikus) rögzítőelem viselkedésének vizsgálata. Mindhárom rögzítőelem viselkedését megvizsgáljuk acél, illetve műanyag szálerősítésű betonban is, majd a kapott eredményeket összehasonlítjuk a szálerősítés nélküli referenciaértékekkel [12]. Az esetleges eltérések magyarázata, konklúziók levonása, illetve a további kutatási területek vázolása szintén a TDK munka részét, alapvető célkitűzését képezi.

A végső cél egy olyan megoldás kifejlesztése, amely a szálerősítésnek köszönhetően nagyobb teherbírást biztosít az utólagos rögzítéseknél, biztonságosan méretezhető és ezzel az iparban is elterjedhet, azon keresztül az ipart használók, vagyis a társadalom javát szolgálva.



2.1 ábra: A kihúzókérdésnél tapasztalt egyik jellemző tönkremeneteli mód a részleges szakadókúp

3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 Rögzítéstechnika

3.1.1 A rögzítőelemek építőipari felhasználása

A rögzítéstechnika az építőipar egyik legdinamikusabban fejlődő ága. A különböző területeken végzett kutatások egyre több és egyre szerteágazóbb elvárások elé állítják a gyártókat. A teherbírási igények növekedése mellett mára már fontos szemponttá vált a tűzterherre, illetve a földrengésre való méretezés, valamint az esztétikus megjelenés is.

Az igények mellett a fogadóanyagok, illetve maguk a rögzítőelemek és rögzítési technikák is egyre sokszínűbbek. Például míg régen a rögzítéstechnika anyagai kimerültek a fában (*3.1 ábra*), vagy égetett agyag téglában, azóta újabb és újabb anyagok kerültek a fogadóanyagok közé. A beton már régen nem nevezhető a legújabb technológiának, de széles kutatási területet tudva maga mögött dinamikusán fejlődik és egyre újabb és újabb felhasználási módjai és különböző összetételei jelennek meg, ezzel mindig új kihívások elé állítva a rögzítéstechnika iparágát. Ezzel szemben például az üveg, vagy a szénszálas anyagok jóval modernebbek, és szintén érintettek a rögzítéstechnika területén. Mindezek mellett pedig természetesen megtalálhatók az előbbieken kimaradt vázkerámiák, mindennemű téglá, sőt a műanyag építőanyagok is.

Azonban nem csak a fogadóanyagok skálája egyre szélesebb. Megnövekedett terhelések jelennek meg (*3.2 ábra*) akár dinamikus terhekre akár a fent említett tűzterherre vagy földrengésteherre gondolunk, és a mindezeknek való megfelelést gazdaságosan és könnyen kivitelezhető, gyorsan installálható módon kell biztosítaniuk a gyártóknak.



3.1 ábra: Faszervezetek rögzítése a magasépítésben (www1)



3.2 ábra: Megnövekedett dinamikus terhelés a hídépítésben (Verdigris River Bridge, Rogers, Co USA) (www2)

Jól látható tehát, hogy megnövekedett igényeknek kell megfelelni és egyre szerteágazóbb piacot lefedni (3.3 ábra). Az érzéketesség kedvéért egy egyszerű lakóházon mutatom be a rögzítőelemek felhasználásának sokszínűségét.

A 3.4 ábrán látható felhasználási lehetőségek: 1. Ablakrögzítések ; 2. Ablak és ajtótok rögzítések; 3. Világítási csövek rögzítése; 4. Elektromos rögzítések; 5. Lépcsőrögzítések; 6. Erkély és korlátrögzítések; 7. Könnyűszerkezetek (fa) rögzítése homlokzaton; 8. Hűtés, fűtés és épületgépészeti rögzítések; 9. Burkolathorog rögzítés; 10. Fürdőszobai szaniter rögzítések; 11. Liftrögzítés; 12. Csövek rögzítése; 13. Daruk és gépek rögzítése; 14. Nehéz homlokzati szerkezetek (fém, kő) rögzítése; 15. Szekcionált és billenő garázkapuk rögzítése; 16. Légszűrővezeték rögzítése; 17. Konzolok; 18. Kültéri korlátok és lépcsők rögzítése; 19. Állvány rögzítések; 20. Homlokzati rendszerek, szerkezetek rögzítése; 21. Nagy terhelhetőségű injektált rögzítések; 22. Szigetelések rögzítése [13].



3.3 ábra: Nabucco gázvezeték (www3)

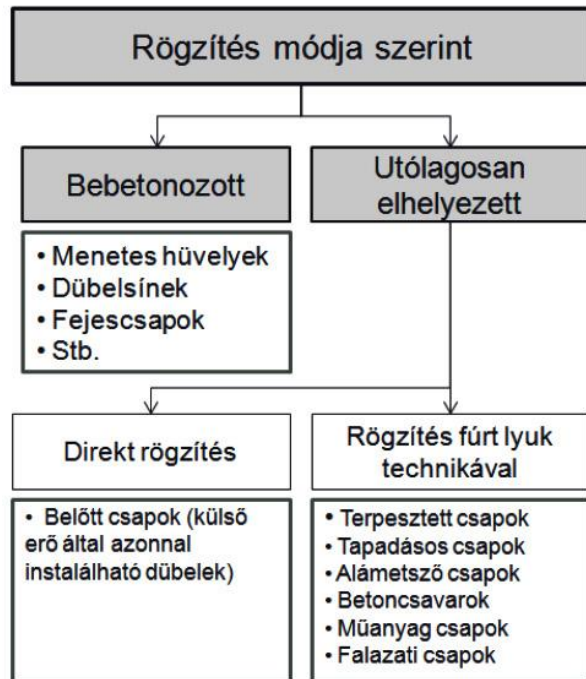


3.4 ábra: Rögzítéstechnikai rendszerek felhasználási lehetőségei [13]

3.1.2 Rögzítőelemek csoportosítása

A rögzítőelemeket két fő csoportba sorolhatjuk a rögzítés módja szerint. A rögzítés történhet a betonozás pillanatában, vagy utólag a beton megszilárdulása után.

A szerkezet betonozása során elhelyezett kapcsolatok előnye a nagyobb teherbírás, viszont hátránya, hogy sokkal nagyobb méretpontosságot követelnek meg (ami nehezebbé, és így költségesebbé és időigényesebbé is teszi a kivitelezést), valamint már a tervezés során alapos átgondolást igényel a rögzítőelemek kiosztása. További hátránya az ilyen rögzítőelemeknek, hogy a később felszerelendő szerkezetektől is nagy méretpontosságot követelnek meg, ami sok esetben problémához vezet. Ebbe a csoportba a fejes csapok, a bebetonozott menetek, sínek, betonacélok tartoznak. A TDK dolgozat során ezen rögzítőelemek viselkedését nem vizsgáljuk.



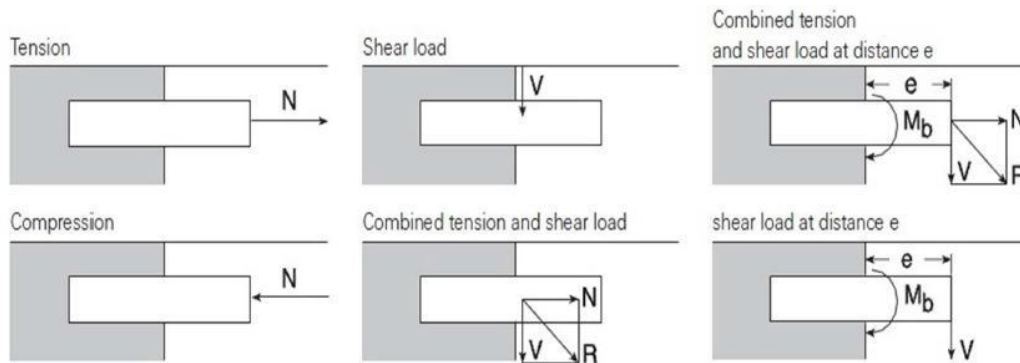
3.5 ábra: A rögzítőelemek csoportosítása [14]

Ezzel szemben az utólagosan elhelyezett rögzítőelemek egyik nagy előnye, hogy szabadságot biztosítanak a tervezés során, így sokkal később is lehetséges a kiosztásuk meghatározása. Az ipar fejlődése az új kísérleteknek és összetevő anyagoknak hála egyre inkább lehetővé teszi a bebetonozott kapcsolatok határteherbírásának megközelítését utólagosan elhelyezett kapcsolatok esetében is.

Ez a rögzítéstechnikai csoport két további alcsoportra osztható a következőképpen: a direkt installálással készült rögzítőelemek és dübelek csoportjára – amiket külső erő segítségével rögzítünk, valamint a fúrt lyukat igénylő rögzítőelemek csoportjára – ide tartoznak többek között a terpesztett- és alámetsző csapok, a tapadásos-, valamint a műanyag csapok és a betoncsavarok is [14] [15]. Ilyen, fúrt lyukat igénylő rögzítéstechnikai rendszerek vizsgálata a dolgozat tárgya. A rögzítőelemek installálás szerinti csoportosítását a 3.5 ábra szemlélteti.

3.1.3 A rögzítőelemek igénybevételei és erőátadási módjai

A rögzítőelemekre ható igénybevételeket hat fő csoportba sorolhatjuk be [16] (3.6 ábra). Ezek föntről lefelé, balról jobbra a következők: tiszta húzás, tiszta nyomás, tiszta nyírás a három egyszerű igénybevétel, húzás és nyírás, húzás és külpontos nyírás, ami hajlító igénybevételt okoz, valamint a külpontos nyírás, ami szintén hajlító igénybevételt okoz. Ezen igénybevételeket a rögzítőelemek három módon továbbíthatják a fogadóanyagra (3.7 ábra).



3.6 ábra: Rögzítőelemek egyszerű és kombinált igénybevételei [16]

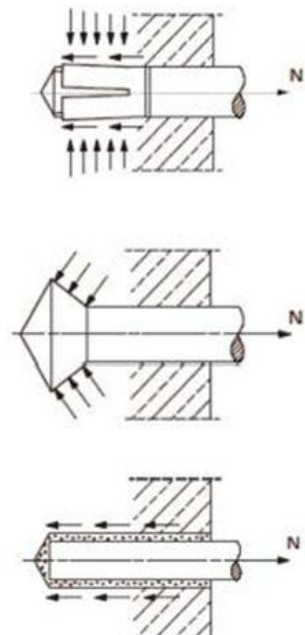
Súrlódásos zárás, vagy más néven terpesztés útján. Az előírt nagyságú csavarónyomatékkal, vagy beütésszámmal rögzített dübel szoknyája szétnyílik, ezzel nekifeszül a furat falának, ahol az átadódó súrlódási erőt így nagymértékben megnöveli, ezzel véve fel a húzó igénybevételeket.

Formazárás, vagy más néven alakzárás útján. A speciális fúrófejjel elkészített furat végén kialakítanak egy üreget a dübel számára, amibe annak feje rögzítéskor szét tud nyílni, ezzel adva át a húzó igénybevételeket a fogadóanyagnak.

Anyagzárás, vagy egyszerűbb nevén ragasztás útján. Ennek a rögzítéstechnikai módnak a lényege, hogy a ragasztó beszivárog mind a fogadóanyag pórusai, vagy felületi egyenetlenségei közé, mind a rögzítendő menetes szár menetei közé. A kivitelezésnél a rögzítendő szárnál nagyobb átmérőjű furat létrehozása szükséges, hogy a ragasztó 360°-ban körbe tudja fogni a rögzítőelemet. A terheléskor a ragasztóanyagban nyíró igénybevétel keletkezik [16] [17].

A húzóerő először a rögzítőelem felületén súrlódással adódik át a ragasztóra, majd a ragasztó adhézióval kombinált mikro-súrlódások útján továbbítja azt a fogadószerkezetre.

Az epoxi ragasztók nagy viszkozitásuk miatt jobban beszivárognak a fogadóanyagba, így itt az erőátadás nagyobb részben történik adhézió útján, ezzel szemben a kevésbé viszkozus viniélszter-hibrid ragasztóknál, inkább a mikro-súrlódások viszik át az erőt.

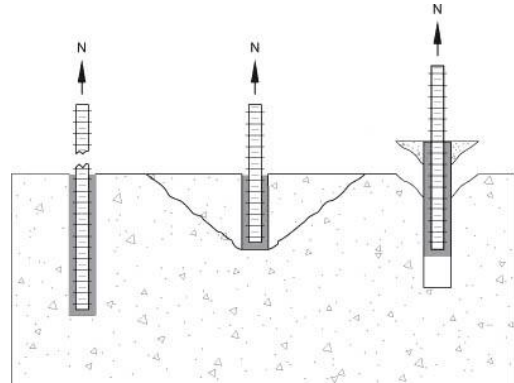


3.7 ábra – Erőátadási módok (súrlódásos -, forma- és, anyagzárás) [16]

3.1.4 Kapcsolatok jellemző tönkremeneteli módjai

3.1.4.1 Ragasztott kapcsolatok

Mivel a vizsgálataim többségében ragasztott kapcsolatokkal dolgoztam, először ezeket mutatom be. A ragasztott kapcsolatok tönkremeneteli módjai alapvetően három nagy csoportba sorolhatók be a 3.8 ábra szerint: a rögzítőelem tönkremenetelére, a fogadóanyag tönkremenetelére, illetve a rögzítőelem kihúzódására. Ezen homogén tönkremeneteliken kívül megkülönböztetünk úgynevezett összetett tönkremenetelket, amik a fenti három variáció valamilyen kombinációjából keletkeznek.



3.8 ábra: Egyszerű tönkremeneteli módok (www4)

3.1.4.1.1 Kihúzódásos tönkremenetel

Kihúzódásos tönkremenetel ragasztott kapcsolatok esetén alapvetően háromféleképpen jöhet létre

Ragasztó elnyíródás: Ragasztott kapcsolatok esetén a ragasztóanyag végzi az erőátadást a rögzítőelem és a fogadóanyag között. Ekkor a rögzítőelem húzása esetén a ragasztóban nyíró igénybevételek keletkeznek, aminek hatására bizonyos esetekben a ragasztó teljes felülete mentén elnyíródik, és így a rögzítőelem kiszakad a fogadóanyagból. (3.9 ábra) [17], [18], [19], [20].



3.9 ábra: Ragasztó elnyíródásos tönkremenetel [21]

Tapadószilárdság kimerülése: Ragasztott kapcsolatok esetén a ragasztóanyag a rögzítőelem húzásakor keletkező igénybevételt tapadással adja át a fogadóanyagra. Amennyiben ez a tapadási erő nem kellően nagy ahhoz, hogy felvegye a húzásból rá háruló igénybevételeket, a rögzítőelem kiszakad a furatból. Ennek a fajta tönkremenetelnek az oka lehet például a nem megfelelő előkészítés, amelynek során por marad a furatban, így a ragasztóanyag nem tud kellően beszivárogni a fogadóanyagba, és csak az ottmaradt porhoz köt hozzá. (3.10 ábra) [17], [18], [19], [20].



3.10 ábra: Tapadószilárdság kimerülése [21]

Részleges kihúzóadás (kombinált tönkremenetel): Ragasztott kapcsolatoknál előfordulhat a két fent említett tönkremeneteli mód kombinációja is. Ekkor az ágyazási hossz egy részén a ragasztó elnyíródik (ahogy az első esetben láttuk), majd a fennmaradt rövidebb hosszán a ragasztó már nem tudja az összes, a rögzítőelem húzásából rá háruló igénybevételt átadni, a tapadószilárdság kimerül és a rögzítőelem kihúzóódik (ahogy a második esetben láthattuk) (3.11 ábra) [17], [18], [19], [20].



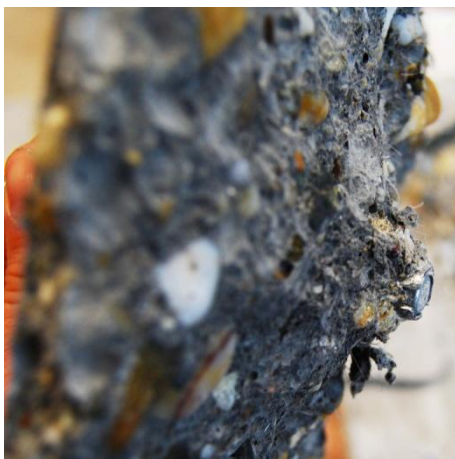
3.11 ábra: Kombinált tönkremenetel

3.1.4.1.2 Szakadóképos tönkremenetel

Szakadóképos tönkremenetel ragasztott kapcsolatok esetén alapvetően kétféleképpen jöhet létre.

Teljes szakadóképos: A fib MODELCODE szerinti „teljesen kihasznált” tönkremeneteli mód [18], melynek jellemzője, hogy a szakadóképos a rögzítési mélység aljáról indul el. Ekkor a beton húzószilárdsága a szakadóképos teljes palástfelülete mentén kimerül, így alakul ki a tönkremenetel (3.12 ábra).

Részleges szakadóképos: Kombinált tönkremeneteli mód, amikor a rögzítési mélység alsó szakaszán fellépő ragasztó elnyíródás, illetve a ragasztóanyag és a fogadóanyag közötti tapadószilárdság kimerülése, vagy ezek együttese kombinálódik a – jellemzően a rögzítési mélység felső egyharmadán kialakuló – szakadóképpal (3.13 ábra).



3.12 ábra: Teljes szakadóképos



3.13 ábra: Részleges szakadóképos

3.1.4.1.3 A próbatest felhasadása

Általános esetben (nem szálerősített betonoknál) a próbatestek felhasadásos tönkremenetele (*3.14 ábra*) nem jellemző, ha mégis kialakul, azt valamilyenfajta hibára vezetjük vissza. Ezek a hibák a következők lehetnek [16], [22], [23].

A kapcsolati elemek geometriai elosztása nem megfelelő. Ez az ok leginkább kettő, vagy annál több rögzítőelem alkalmazása esetén áll fenn. Jelen TDK munka minden vizsgálata egy rögzítőelem használatával készült, így ezt a hibát kizárhatjuk.

A próbatest széleitől illetve sarkaitól való távolságokra, valamint a próbatest vastagságára vonatkozó előírások nem lettek figyelembe véve. Jelen TDK munka minden vizsgálata ugyanakkora (300 mm x 300 mm x 100 mm-es) próbatesten készült, melyben egyetlen rögzítőelemet helyeztem el annak középpontjában.



3.14 ábra: Próbatest felhasadása

Laboratóriumi vizsgálatok esetén a rossz befogás (amely nem teszi lehetővé a próbatest elfordulását), vagy a ferdén installált rögzítőelem a kapcsolatban nyomatókat is eredményez, ami a próbatest felhasadásához vezethet. Ezt a hibát tökéletesen kizárni lehetetlen, de később látni fogjuk, hogy a felhasadásos tönkremenetel csak egyetlen összeállításra volt jellemző, így annak valószínűsége, hogy mindhárom esetben (de csak abban a három esetben) követtünk el hibát csekély.

3.1.4.1.4 Acél menetes szár szakadása

A menetes szárak teherbírása azok anyagminőségéből (szakítószilárdságából) és kisebbik átmérőjükből (illetve az abból származtatott keresztmetszeti területből) számítható. A menetes szár teherbírásának tervezetten nagyobbak kell lennie, mint a kapcsolat feltételezett szilárdsága. Mivel kellően nagy szilárdságú (10.9-es anyagminőségű) menetes szárakkal dolgoztam, ilyen tönkremenetel a ragasztott kapcsolatos vizsgálataim során nem fordult elő (*3.15 ábra*).



3.15 ábra: Menetes szár szakadása [21]

3.1.4.2 Mechanikus kapcsolatok

Az általam végzett kísérletek során FISCHER® FBN típusú mechanikus

rögzítőelemet alkalmaztam (3.16 ábra).



3.16 ábra: FBN típusú mechanikus röghítőelem (www5)

3.1.4.2.1 Rögzítőelem kihúzódnása

Bizonyos esetekben előfordul mechanikus rögzítőelemeknél, hogy a rögzítési mélység alján elhelyezett befeszülő csavarvég és a próbatest közötti feszítőerő nem képes ellen tartani a rögzítőelem húzásából keletkező igénybevételeknek, és a rögzítőelem kicsúszik, kihúzódnak a furatból (3.17 ábra).



3.17 ábra: Rögzítőelem kihúzódnása

3.1.4.2.2 Szár szakadása

Jellemzően a FISCHER® FBN típusú rögzítőelemeket a biztonságosabb méretezhetőség kedvéért az acél rögzítőelem szárának szakadására méretezik, tehát ez a legkívánatosabb tönkremeneteli mód, mivel ez méretezhető a legkevesebb közelítéssel, pusztán a rögzítőelem anyagának (szakítószilárdságának) és legkisebb átmérőjének (keresztmetszeti területének) felhasználásával (3.18 ábra).



3.18 ábra: Szár szakadása

3.1.4.2.3 Szakadóképus tönkremenetel

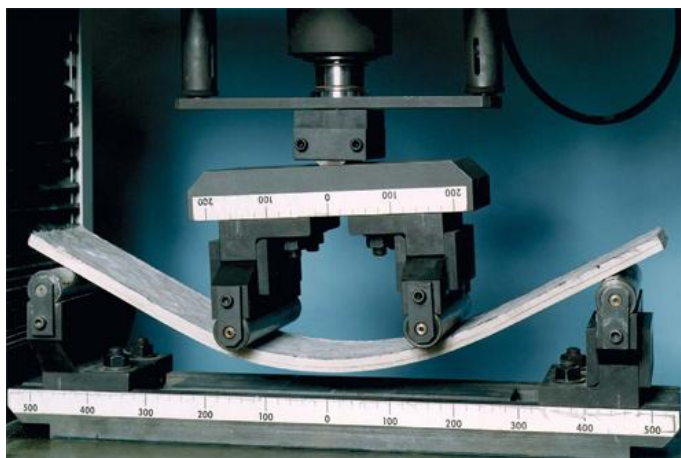
Mivel mechanikus rögzítőelemeknél a rögzítés helye a furat legmélye, ezért itt csak teljes szakadóképus tönkremenetel figyelhető meg, részleges nem (3.19 ábra).



3.19 ábra: Szakadóképus tönkremenetel

3.2 Szálerősítésű beton

A szálerősítésű betonok a szerkezeti anyagok csoportján belül a kompozitok osztályába tartoznak [24], a rövid szálak kompozitok közé, ahol a szálak a szerkezet vagy keresztmetszet méreteihez képest rövidnek tekinthetők, eloszlásuk pedig véletlennek és homogénnek. A szálak különféle anyagúak, méretűek és alakúak lehetnek, valamint felhasználási területük is eltér (könnyűbetonoknál és öntömörödő betonoknál is előfordulnak). [7], [25] A hozzákevert szálak szerepe elsősorban a beton duktilitásának (képlékeny alakváltozásának), illetve repedésáthidaló képességének növelése [9], [10], [11], (3.20 ábra).



3.20 ábra: Szálerősítésű beton harmadpontos hajlítás vizsgálata (www6)

3.2.1 Történeti kitekintés

A szálerősítésű anyagok története egészen az ókorig nyúlik vissza [1], ahol a vályogot erősítették különféle állati vagy növényi szálakkal (3.21 ábra). A beton esetében a szálerősítés alkalmazása 1874-ben kezdődik, amikor A. Berard (USA, Kalifornia) szabadalmat adott be a beton erősítésére szabálytalan acél hulladékkal.

A szálerősítésű beton fejlődésének története két periódusra osztható. Az elsőt, ami az 1960-as évek elejéig tartott az anyag ritka használata jellemezte. A használat gyakorisága az 1960-as évek elején indult gyors növekedésnek [10], [26].



3.21 ábra: Szalmavályog téglák (www7)

A szálerősítésű beton az anyagtudományban azóta is aktuális kutatási téma, az anyagok fejlődésével az acélon kívül újabb és újabb anyagú és alakú szálakkal folynak kísérletek.

3.2.2 Száltípusok

A történelem során különböző anyagú szálakat adagoltak vályogtéglához, égetett kerámiákhoz és betonhoz egyaránt annak anyagtulajdonságai javítása érdekében. Ennek megfelelően az első csoportosítás a szálak anyaga szerint történik. Az első ilyen szálak növényi eredetű, természetes szálak voltak, például szalma, vagy a kókuszszál. [2] Acélszálak adagolásáról csak a XIX. század végétől, A. Berard óta beszélhetünk.



3.22 ábra: Karbon szálak (www8)

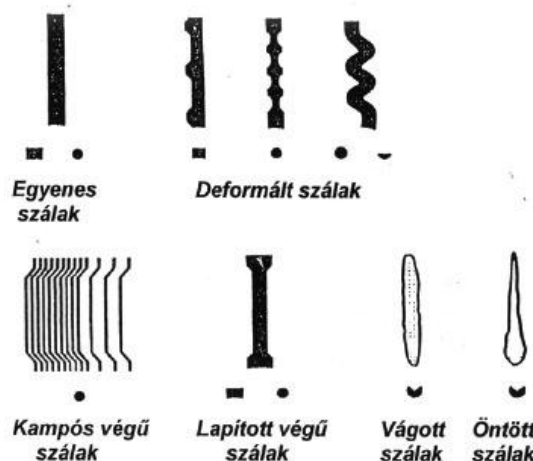
Mára azonban – bár mind a mai napig fennmaradtak növényi szálas betonok is, mint például a Durisol márkanéven bejegyzett bécsi szabadalmat forgalmazó cég, amely fabetont gyárt – a két leggyakoribb száltípus az acél, illetve a polimer szálak. (Részletes bemutatásuk a 3.2.6 és a 3.2.7 fejezetekben). Ki kell azonban emelni a mai modern anyagok közül az üvegszálakat, valamint a szénszálakat (karbon szálak) 3.22 ábra. Ez utóbbiak rendkívül kedvező mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, húzószilárdságuk meghaladja az acélszálak másfélszeresét (max. 2500 N/mm², míg az acélszálaké max. 1500 N/mm²), ám rendkívül magas árak miatt viszonylag ritkán, csak nagyon indokolt esetben alkalmazzák őket. A legújabb kutatási irányok közt szerepel karbon nanoszálak alkalmazhatóságának vizsgálata [3], [4], [10], [27].

3.2.3 Szálak geometriája

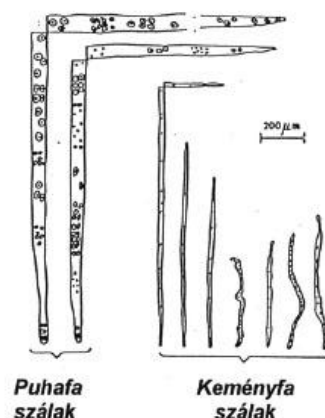
A szálak geometriája igen sokszínű, ezért felsorolásuk csak az alapvetőbb típusokra tér ki, bár a gyártók és az ipar ennél sokkal többfélét próbált már ki. (3.23. ábra)

NÉHÁNY SZÁLTÍPUS

a) ACÉLSZÁLAK (Balaguru és Shah 1992)




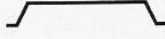

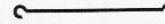

b) PUHA- ÉS KEMÉNYFA SZÁLAK (Soroushian és Marikunte 1992)



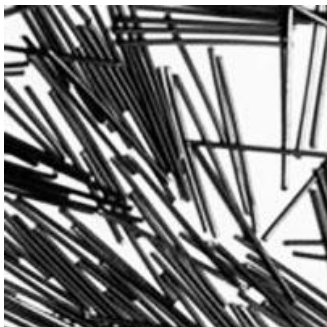
3.23 ábra: Jellemző acél és fa szálfarmák (www9)

Az ipar hamar rájött, hogy tapadás szempontjából az egyenes szálak nem annyira kedvezőek, mint például a kampózott végű, vagy a hullámos szálak (3.24 és 3.25 ábrák). Ez utóbbi talán a két legelterjedtebb forma, de létezik még hajlított végű, valamint gömb lehorgonyzású szál is.

A jellemző méretek acélszálak esetén. Egyenes szálnál az átmérő 0,175 és 0,42 mm közötti, míg a hossz 6 és 25 mm között változik lépcsőzetesen. Kampózott végű száknál a vastagság 0,4 mm-től 1,05 mm között van, a hozzátartozó hossz pedig 25-60 mm. Hullámos száknál az átmérők 0,5 mm-től indulnak és szintén 1,05 mm-ig tartanak, akár a kampózott végű száknál, a hosszok pedig 30, 40, 50 és 60 mm-esek lehetnek. Ezek természetesen nem örök érvényű méretek, de a szálak hozzávetőleges méreteit jól érzékeltetik.

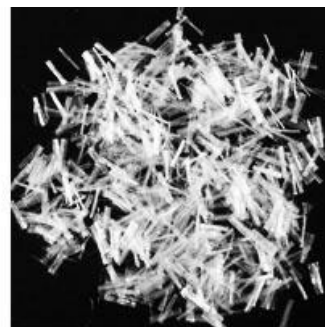
ALAK	KERESZTMETSZET	
Egyenes		• Kör - Félkör
Hajlított végű		■ Négyzet ◡ Félhold
Hullámos		
Kampózott		Acélszálak geometriája
Gömb lehorgonyzású		

3.24 ábra: Különböző acélszálak alakja és jellemző keresztmetszeti kialakítása [10]



3.25 ábra: Egyenes, hullámos és kampózott végű acélszálak (www10)

Műanyag szálak esetén még nagyobb a szórás a különböző típusok mérete között. A 3.26 ábra szemlélteti bal oldalt a hullámos acélszállal lényegében egyező geometriájú műanyag szálakat, jobb oldalt pedig a lényegesen kisebb, (20-30 mm hosszú és mindössze pár mikrométer vastagságú) szálakat.



3.26 ábra: Különböző kialakítású polipropilén száltípusok (www11)

3.2.4 Előállítás és adagolás

Betonkeverésnél a szálakat kétféleképpen adagolhatjuk. Az előnyösebb, ha száraz keverék (adalékanyag és cement) elkészítése után adagoljuk a szálakat, keverjük el őket, majd ezután adagoljuk a vizet és az adalékanyagokat, és keverjük el az egészet. Megengedett emellett a száraz keverék elkészítése után a víz és adalékszerek adagolása és keverése, majd végül a szálak hozzáadása és elkeverése. Ez utóbbi történhet akár a mixerkocsiban is, de a megfelelően homogén keverék előállításához legalább 10 percig kell a mixerkocsinak a legnagyobb fordulatszámom üzemelnie. Ha az adagolás vagy a keverés nem megfelelő, a szálak összeragadhatnak, összecsomósodhatnak, és így nem tudják ellátni majdani feladatukat, tehát a keverék értéktelenné, használhatatlanná válik [10], (3.27 ábra).



3.27 ábra: Összecsomósodott acélszálak [10]

Az adagolás mennyiségét kétféleképpen mérhetjük. Vagy sűrűség szerint, az 1 m³ betonkeverékre jutó kg-ban [kg/m³], vagy térfogatszázalékban [V%]. Az 1 V%-nyi acélszál így 78,5 kg/m³, míg az ugyanennyi műanyag szál 9 kg/m³ [1], [9], [10].

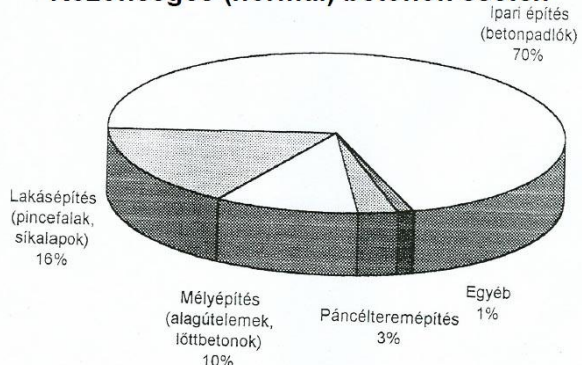
3.2.5 Felhasználási területek

A szálerősítésű betonok felhasználási területe igen széles, és egyre bővül. Legjellemzőbb megjelenési formájuk az ipari építésnél jelentkezik (3.28 ábra), itt elsősorban kis és nagyterhelésű padlóknak használják különböző fajta polimer, illetve acél szálakat például a kopásállóság növelése céljából. Az ipari építés mellett azonban a lakásépítésnél is megjelenik a szálerősítés, első sorban pincefalak és síkalapok esetében, ahol fontos lehet a duktilitás növelése. A harmadik fő csoport, ahol fontos a szálerősített betonok szerepe, az a mélyépítés. Itt főleg az alagútépítésben, valamint lövellt betonok alkalmazása esetén kerül beépítésre. A felsorolt példák mellett számtalan különböző területen kerülnek felhasználásra szálerősítésű betonok, például pánccélermeknél, trafóépületeknél, tartályoknál, nagy terhelésű utaknál, vakolatokban, esztrichekben. A fent felsorolt példák mindegyikében fontos szerep jut a rögzítőelemeknek is, akár egy ipari padlóhoz rögzített többemeletes polcsorról, vagy nagyméretű gépről van szó, akár a metróépítésnél szükséges kábelezésről, vagy a sínek rögzítéséről [1], [9], [10], [27].

ACÉLSZÁLAK FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEI

(németországi példa)

Közönséges (normál) betonok esetén



3.28 ábra: Acélszálak felhasználási területei [10]

3.2.6 Műanyag szálerősítés hatása a beton tulajdonságaira

Amikor műanyag szálakról beszélünk, kétféleképpen különböztetünk meg: mikro- és makroszálakat. Mivel a mikroszálak statikailag nem erősítik a betont, megkülönböztetésükre elterjedt a szálbeton elnevezés. Ezek a szálak elsősorban a beton szilárdulás közbeni plasztikus zsugorodási repedéseinek kialakulását gátolják meg, valamint a megszilárdult beton tűzállóságát javítják azáltal, hogy kb. 150°C-on kiégnek, helyükön pórusok maradnak vissza, amelyek csökkentik a betonban lévő hőmérsékletnövekedés hatására elpárolgó víz gőznyomását.



3.29 ábra: Polipropilén mikroszálak (www12)

Az általam használt szálak mikroszálak voltak (3.29 ábra). A mikroszálakat jellemzően kis terhelésű ipari padlóhoz alkalmazzák a zsugorodási repedések meggátlására, de kisebb mértékben az acélszálak előnyei (duktilitás növelése, törési összenyomódás növelése) is mutatkoznak műanyag szálak alkalmazása esetén [1], [10].

3.2.7 Acél szálerősítés hatása a beton tulajdonságaira

Az acélszálak legjellemzőbb felhasználási területe, ahogy azt a 3.2.5 fejezetben láthattuk, az ipari építkezés. Ilyen épületek lehetnek például hipermarketek, gyártócsarnokok, logisztikai központok, raktárak, hűtőházak, teremgarázsok, parkolóházak (3.30 ábra). A beltéri mellett a kültéri felhasználás sem elhanyagolható. Acél szálerősítést használnak például kamionparkolók, benzinkutak, hulladéklerakók, valamint konténerterminálok építésénél. Magyarországon évente körülbelül egymillió négyzetméter ipari padló készül el, és ezek döntő többsége alkalmazza az acél szálerősítést [9].



3.30 ábra: Acél szálerősítésű padló készítése, Thaiföld (www13)

Az acél szálerősítésnek számos előnye van. Homogén, háromdimenziós erősítést biztosít, megnövekedett szívósság [7] (energiaelnyelő képesség) és hatékony repedéskontroll mellett kihúzóvizsgálatoknál a próbatest felhasadásának valószínűségét nagyban csökkenti [8]. Emellett jelentősen növeli a szerkezet egyes hatásokkal szembeni teherbírását úgy, mint a lökés- és ütésállóság, valamint az extrém és hirtelen hőmérsékletváltozással szembeni ellenállás [1], [10].

A mechanikai pozitívumok mellett gazdaságossági szempontból is lehet előnyös az acél szálerősítésű beton alkalmazása. Számos esetben alacsonyabb anyagköltséggel valósítható meg a szerkezet, nagyban rövidíthető a kivitelezési idő, elhanyagolhatóvá válnak bizonyos gépek, például a szivattyú (de a beton emellett szivattyúzható marad), illetve bizonyos szerkezeti elemek, például a szerelőbeton, illetve nincs szükség vasszerelésre. Gyári körülmények között előkevert és erősített beton kerül beépítésre, ami egyenletesebb minőséget jelent (amennyiben megfelelően ügyelnek a kivitelezők a szálak homogén elkeverésére).

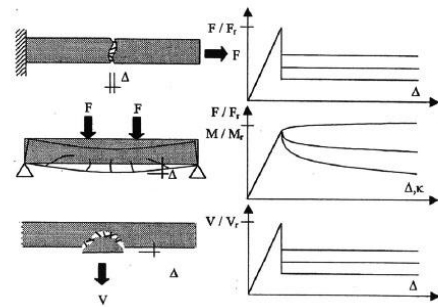
Az acél szálerősítéses beton szívóssága az első repedés után (amikor a beton saját húzószilárdsága kimerül) kap jelentőséget a II. feszültségi állapotban [9]. Az acél szálerősítéses beton további teherfelvételre képes, melynek mértéke az acélszálak szilárdságától ($600 - 1500 \text{ N/mm}^2$), alakjától, lehorgonyzódási képességétől, méreteitől ($\varnothing = 0,5 - 1,2 \text{ mm}$; $L = 25 - 60 \text{ mm}$) és mennyiségétől függ ($20 - 50 \text{ kg/m}^3$).

Fent felsoroltunk több pozitívumot is a szálerősítésű betonok mellett, de legfontosabb mégis a szálak húzóerő-felvételi képessége a beton berepedése után. A 3.31 ábra a különböző erő-elmozdulás diagramját mutatja be. Mindhárom esetben húzóerőből fakadó tönkremenetel tapasztalható a betonnál (mint minden olyan esetben, ahol vasalatlan betonról beszélünk), de látható, hogy ahol a beton húzószilárdsága kimerül, ott a szálak további (kisebb-nagyobb) húzóerő felvételére képesek, így megóvva a szerkezetet a rideg tönkremeneteltől, ami mindig kerülendő [1].

A 3.32 ábra a szálerősítés egy másik igen fontos tulajdonságát mutatja be: a törési összenyomódás (a görbék végpontja) és az energiaelnyelő képesség (a görbék alatti terület – integrál) növekedését a száltartalom függvényében [1].

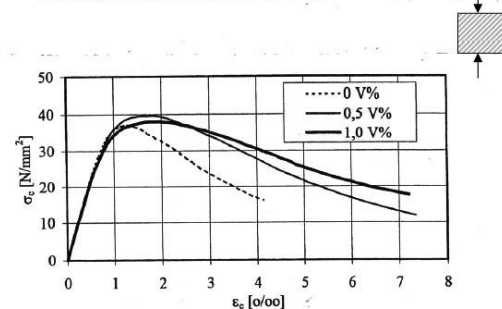
Összefoglalva a szálerősítésű betonok legnagyobb előnyei a következők: nagyobb szívósság, nagyobb törési összenyomódás, nagyobb fáradási szilárdság, jobb ütőmunkabírás és jobb repedésáthidaló képesség [10], (3.33. ábra).

Szálerősítésű betonelemek sematikus erő-elmozdulás ábrái acélszálak alkalmazása esetén (Falkner, 1998 alapján)

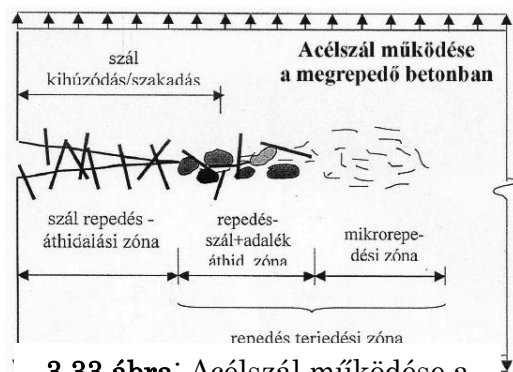


3.31 ábra: Acél szálerősítésű betonelemek sematikus erő-elmozdulás ábrái [1]

A törési összenyomódás és az energiaelnyelő képesség növekedése a száltartalom növelése esetén acélszál: DRAMIX ZC 30/5 (Balázs és Erdélyi, 1996)



3.32 ábra: Törési összenyomódás és száltartalom összefüggése [1]



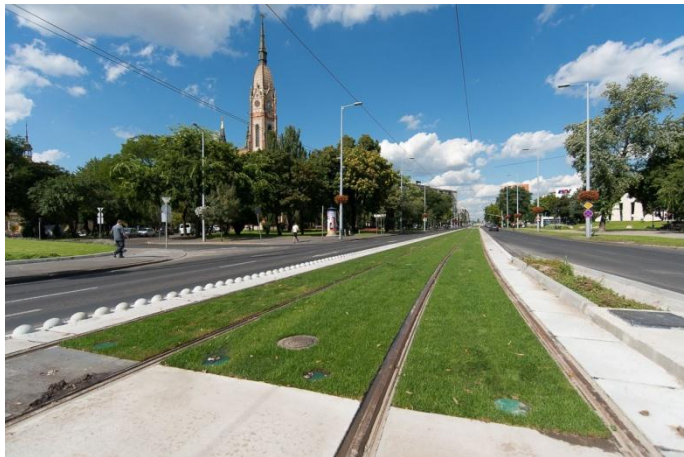
3.33 ábra: Acélszál működése a megrepedő betonban [10]

3.2.8 Szálerősítésű betonnal épült szerkezetek

Kitekintésképp bemutatok néhány szálerősítésű betonnal megépült szerkezetet különböző területekről.

Első példánk a 2010-ben felújított szegedi 1-es és 3-as villamos pályája [28]. Itt több helyen is alkalmaztak szálerősítésű betont. Műanyag szálerősítés került a szigetelt pályalemezek és kitérők betonszerkezeteibe, valamint műanyag mikroszálerősítés a vasalt bazaltbeton burkolatba például a villamosmegállókban (3.34 ábra). Acél szálerősítéssel készültek továbbá a lemezbe épülő kitérők és vágányok, valamint EPC BarChip műanyag szerkezeti szálerősítéssel a lemezbe épülő vágányszakaszok (a hagyományos lánycsatlós acélbetétek helyett). Az EPC BarChip szálerősítés legfontosabb előnyei, amik miatt ezeken a szakaszokon beépítésre került, a következők: kizárja a kóboráram okozta korróziót, kiküszöböli a sínnyalók közötti rövidzárlat lehetőségét, megakadályozza a lemez-, illetve gerendaszélek repedezését, letöredezését. Továbbá, mivel nem alkalmaztak hagyományos betonacélokat, nem merülhet fel a betontakarásból származó minőségi kifogás, nincs szükség a betonvasak szállítására, hajlítására, szerelésére, ebből kifolyólag gazdaságosabb és gyorsabb technológia.

Második példánk a debreceni Nagyerdei Stadion [29], amelyet 2014-ben adták át (3.35 ábra). A lelátó elemei közül a feszített, egyenes elemek esetében alkalmaztak Bar Chip 48 típusú műanyag szálerősítést. Ezeknél a szerkezeti elemeknél csak feszítőbetétek és a műanyag szálerősítés került beépítésre, hagyományos vasalás nem. Az újszerű megoldás előtt több kísérletet és próbateljesítést hajtottak végre. Emellett a C70/85-ös anyagminőségű betonból készült úgynevezett rejtett konzolok építésénél is alkalmaztak Dramix 3D acélszál adagolást, ebben az esetben hagyományos, kovácsolt végű betonacél fővasalással kombinálva.



3.34 ábra: A szegedi 3-as villamos felújított pályaszakasza (www14)



3.35 ábra: A debreceni Nagyerdei Stadion vázszerkezetének építése [29]

A fenti, részletesen bemutatott példák mellett szálerősítésű beton alkalmazására került sor a 18-as villamos vonalának felújításánál a Fehérvári úton (2013), a 69-es villamos vonalán elhelyezett előregyártott útátjáró beépítésénél is (2013), továbbá a budapesti Corvin sétány beton ülőpadjainál (3.36 ábra), a balatoni partvédelem építésénél használt előregyártott szádfal és peremgerenda építésénél (2011-2012), valamint a pitvarosi, a pápai és a ambrózfalvai hídtrágya tározónál is [30].

Hogy ne csak magyar példát említsek szintén szálerősített betonnal készültek az alábbi szerkezetek: a Drouinból Warragulba vezető kerékpárút Ausztráliában (3.37 ábra), az adelaidei stég szintén Ausztráliában, a 3.38 ábrán látható gyorsvasúti pálya Spanyolországban, valamint számos gyorsvasúti pálya Japánban [30].

A fenti példákból látható, hogy a világ számos táján a legkülönbözőbb területeken alkalmaznak szálerősítésű betont azok valamely előnyös tulajdonsága miatt. Az építési dátumokból az is kitűnik, hogy a technológia – bár nem új keletű – felfutóban van, egyre több építési megoldásnak eleme. Ez jól indokolja, hogy miért érdekes kutatási téma 2014-ben Magyarországon a szálerősítésű betonok viselkedése különböző körülmények között.



3.36 ábra: A Corvin negyed beton „kavicsai” [30]



3.37 ábra: Az ausztrál bicikliút építése [30]



3.38 ábra: Gyorsvasúti pálya alagút, Spanyolország [30]

4. FELHASZNÁLT ANYAGOK

4.1 A beton fogadóanyag

A beton próbatestek (és az összes vizsgálat) a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének Laboratóriumában készültek összesen két keverés alkalmával (4.1 ábra). Ezalatt mintegy 110 liter betont kevertem meg a szükséges próbatestek elkészítéséhez.



4.1 ábra: Betonmixer

4.1.1 Alkalmazott betonreceptúra

A választásnál olyan receptúra mellett kellett dönteni, amiből korábban – ellenőrzött körülmények között – készültek hasonló vizsgálatok nem szálerősítésű betonok esetére, hogy azokat referenciaértékként felhasználhassam. Végül az alábbi receptúrát kevertem meg (a harmadik oszlop a BME Laboratóriumában található, és általam is használt 60 l-es betonkeverő kapacitásához igazított értékeket mutatja) (4.1 táblázat). Ehhez a receptúrához kevertem egyik esetben 1 kg/m^3 műanyag, illetve 1 kg/m^3 acélszálat.

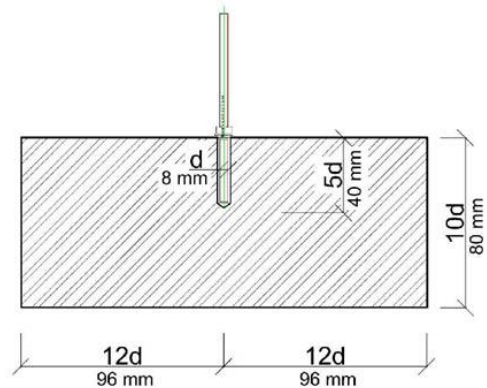
Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg	Térfogat	keverés 60 l
			[kg/m^3]	[l/m^3]	[kg]
Adalékanyag	0/4 mm frakció	45%	834	315	50,01
	4/8 mm frakció	25%	463	175	27,78
	8/16 mm frakció	30%	556	210	33,34
	Összesen	100%	1852	700	111,13
Cement	CEM I 45,5 N		310	100	18,6
Víz	mw/mc=	61,0%	189	189	11,35
Adalékszer cem. %	Glenium 323	0,20%	0,62	0,62	0,04
Levegő			-	10	-
Összesen			2352	1000	-

4.1 táblázat– Az alkalmazott betonreceptúra a keveréshez számított mennyiségekkel

4.1.2 A próbatestre vonatkozó minimális geometriai követelmények

Mind a próbatestekre mind a kapcsolatok kialakítására (és természetesen a felhasznált anyagokra is) vonatkoznak előírások, szabványok, követelmények [16]. Ezek az összehasonlíthatóságot, illetve a biztonságot hivatottak szolgálni, betartásuk kötelező, ennek megfelelően a TDK munka során végig kiemelt figyelemmel kísértem őket.

A beton próbatestek geometriai méreteinek megválasztásánál elsődleges szempont volt, hogy elkerüljük az alapanyag kettéhasadását, mint tönkremenetelt. A minimális geometriai követelményekhez hasonló vizsgálatok feltevéseit és számítását használtam [21] kiindulásként. Az így kapott minimális méreteket az (4.2 ábra) szemlélteti. Látható, hogy a teljes szélesség $24d$ -re adódott (ahol d a rögzítőelem átmérője), ami (8 mm átmérőjű rögzítőelem esetén) $2 \times 96 \text{ mm} = 192 \text{ mm}$, míg a magasság $10d$ -re, ami ebben az esetben 80 mm -t jelent. Az általunk használt próbatestek valós méretei ezeknél a méreteknél rendre nagyobbak ($300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$).



4.2 ábra: A kihúzóvizsgálathoz használt próbatestek minimális geometriai követelményei [21]

4.1.3 A beton keverése és a próbatestek kialakítása

A próbatestek készítésénél kiemelt fontosságúnak tartottam az adalékanyag gondos tisztítását és tömegállandóságig való szárítását, valamint a cement gondos megválasztását. Mindkét keverést ugyanabból a szériából származó cementtel készítettem, így kerülvén el az esetleges cementminőségből fakadó különbségeket a vizsgálati eredményekben.

Az összesen 110 l megkevert betonból 18 darab $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ -es próbatestet (4.3 ábra) készítettem a kihúzó kísérletekhez, 6 darab $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ -es kockát a nyomószilárdság vizsgálatához és szintén 6 darab $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ -es hasábot a hajlító-húzószilárdság vizsgálatokhoz.



4.3 ábra: Kihúzóvizsgálathoz használt próbatestek az installált rögzítőelemekkel

4.2 A kapcsolatok

A kapcsolatok kialakításánál a furat irányára, mélységére, átmérőjére és tisztítására kellett kiemelt figyelmet fordítani, valamint ragasztott kapcsolatok esetén a ragasztóanyag mennyiségére és egyenletes hézagkitöltésére, mechanikus kapcsolatok esetében pedig a megfeszítési nyomatékra.

4.2.1 Választott rögzítőelemek

A mérések során mind ragasztott, mind mechanikus rögzítőelemeket vizsgáltunk. Mindkét esetben 8 mm-es átmérőjű rögzítőelemekkel és 50 mm mélységű furatokkal dolgoztunk.

A ragasztáshoz két kémiaiailag eltérő összetételű kétkomponensű ragasztót választottunk, egy vinilészter-hibrid, illetve egy epoxi alapút. Mindkét ragasztó esetében M8-as ($d = 8$ mm), 10.9-es anyagminőségű ($f_u = 1000$ N/mm² és $f_y = 900$ N/mm²) menetes szárral dolgoztunk, ezzel csökkentve a szárszakadásos tönkremenetel valószínűségét.

A Fischer FIS V 360 S (vinilészter-hibrid) gyorskötésű, kétkomponensű, univerzális (minden építőanyag és terhelés esetén használható) műgyanta ragasztó [13], (4.4 ábra). A komponensek összekeveredését speciális keverőszárok biztosítják (ahogy az epoxi ragasztó esetén is). Mivel a kapcsolati kialakítás sajátfeszültség-mentes, ezért kis perem-, illetve tengelytávolságok esetén is használható. Szobahőmérsékleten a kikeményedési ideje (kötési ideje) 45 perc.

A FischerEM V 390 S (epoxi ragasztó) nagy teljesítményű, kétkomponensű ragasztó [13], (4.4 ábra). A kapcsolat a korábban látott vinilészter-hibrid ragasztóhoz hasonlóan feszültségmentes. Szobahőmérsékleten a kikeményedési ideje 10 óra.

A két ragasztó közötti legfontosabb különbség a kötési idő (amely epoxi ragasztó esetén körülbelül 13-szoros), valamint az, hogy az epoxi ragasztónak sokkal nagyobb a viszkozitása, így mélyebbre tud hatolni a beton pórusaiba, mielőtt megszilárdul [21].

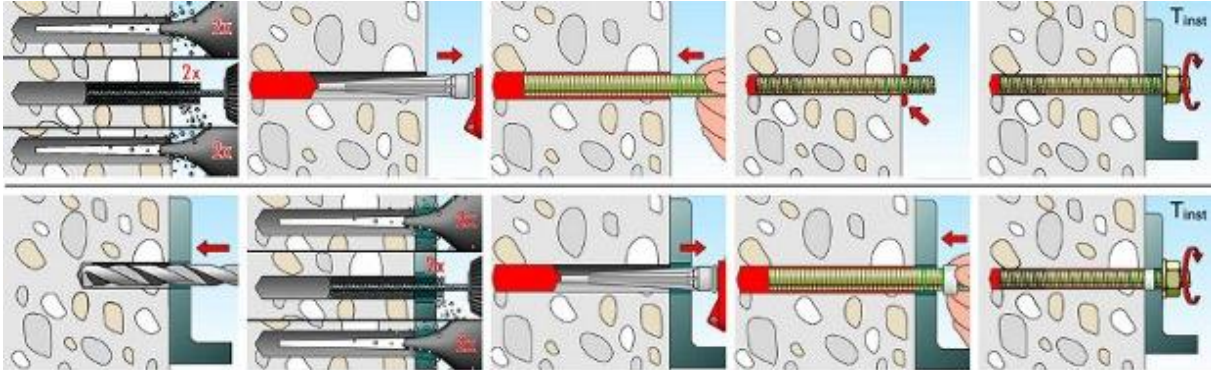
A mechanikus rögzítőelemek FISCHER® FBN típusúak voltak. Az ilyen rögzítőelemekre az adott gyártótól lehet részletes információkat kérni például a folyáshatárról, de alapvetően a megfelelően kialakított kapcsolat teherbírásának meghatározására adnak útmutatást (például szoftveres segédletet). Az ilyen típusú kapcsolatokat a könnyű méretezés és a rideg tönkremenetel (például szakadókúp) elkerülése érdekében a rögzítőelem szakítószilárdsága alapján méretezik szárszakadásra.



4.4 ábra: Az alkalmazott vinilészter-hibrid és epoxi ragasztók (www15)

4.2.2 Rögzítőelemek szakszerű installálása

A rögzítőelemek installálásának módja nagyban eltér egymástól annak függvényében, hogy ragasztott vagy mechanikus kapcsolatok kerülnek kialakításra.



4.5 ábra: Ragasztott kapcsolatok elvi kialakításának szemléltetése (www16)

Ragasztott kapcsolatok esetén a teljes kapcsolat kialakítása (4.5 ábra) hat lépésben történik [16]. Először egy megfelelően mély, és megfelelően széles lyukat kell fúrni a fogadóanyagba. Ezt én adott mélységűre beállított és erre alkalmas eszközzel függőlegesen rögzített fúróval végeztem (4.6 ábra). Az elméleti furatmélység 50 mm, a 8 mm-es menetes szárhoz tartozó furatátmérő pedig 10 mm [16]. A nagyobb lyukátmérőre azért van szükség, hogy a ragasztó teljesen körbefolyhassa a rögzítőelemet, minél nagyobb felületen biztosítva a későbbi erőátadást.

Ezt követi a lyuk tisztítása, amely három lépésben keresztül tart. Első ezek közül a lyuk levegőpumpás tisztítása, melyet kétszer kell elvégezni, ezt követi a kefésszerű tisztítás, amit szintén kétszer kell elvégezni, majd újra az elsőhöz hasonló levegőpumpás tisztítást kell alkalmazni. Erre azért van szükség, mert a fúráskor keletkező por finom réteget képezve a lyuk belsejében megakadályozza a ragasztóanyag beszivárgását a fogadóanyagba, ezzel lényegesen csökkentve a kapcsolat teherbírását. Emellett, a gyártók csak úgy vállalnak garanciát a saját rögzítőelemeik teherbírására, ha azok szakszerűen kerülnek elhelyezésre, ennek pedig része a megfelelő furattisztítás. Ezeket a lépéseket az előírásoknak megfelelően elvégeztem.

Ötödik lépésként a ragasztóanyag injektálása következik az immár kitisztított furatba. A megfelelő mennyiségű ragasztó a furatátmérő és a furatmélység függvényében meghatározható. Ennek egyenletes, hézagmentes injektálásához a ragasztópisztolyt a furat aljáról állandó sebességgel, folyamatos injektálás mellett húztam felfelé.

Végül hatodik lépésként következhet a menetes szár betekérése a ragasztóanyagba. Fontos, hogy behelyezés közben – a menetnek megfelelő irányban – tekerjük a szárat, így biztosítva, hogy a ragasztóanyag mindenhol be tud szivárogni a menet közé is.



4.6 ábra: Próbatest kifúrása

Ezzel szemben a mechanikus kapcsolatok installálása jóval egyszerűbb feladat. A furat elkészítése után – ami a ragasztott kapcsolatokéval analóg módon történik – a furatba azonnal – tehát három lépcsős tisztítás nélkül – behelyezhető a rögzítőelem. Mivel itt a lyukátmérőnek meg kell egyeznie a furatátmérővel, így a behelyezéshez szükséges lehet valamilyen eszköz, például kalapács igénybevétele. A furatba helyezett rögzítőelemet nyomatékulccsal rögzíthetjük, amelyen be lehet állítani, hogy akkora megfeszítési nyomatékot adjon maximálisan a rögzítőelemre, amennyivel azt az előírások alapján rögzíteni kell. Ez esetünkben 15 Nm volt.

4.3 Az alkalmazott szálak

A kísérletekhez két eltérő tulajdonságú száltípust választottam. Az első egy 35 mm hosszú (L), 0,9 mm átmérőjű (\varnothing), és 22,76 mm³ térfogatú (V) hullámos, kör keresztmetszetű acél szál volt (4.7 ábra), amelynek feladata általában a megszilárdult beton egyes mechanikai tulajdonságainak javítása, teherbírásának növelése [1], [9], [10], [11]. A második egy 18 mm hosszú (L), 0,032 mm (\varnothing) átmérőjű, és 0,014 mm³ (V) térfogatú polipropilén szál volt, amelynek feladata a beton kötése és szilárdulása során fellépő zsugorodás mértékének csökkentése, és így a zsugorodási repedések kialakulásának megakadályozása [1], [10]. Azért választottunk eltérő geometriájú szálakat, mert kíváncsiak voltunk azok viselkedésére, valamint az így kapott eredmények további kutatási irányt jelölhetnek ki.



4.7 ábra: Az alkalmazott acélszálak

5. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A TDK dolgozat készítése során alapvetően roncsolásos vizsgálatokat végeztünk a beton szilárdsági értékeinek meghatározásához (nyomó-, illetve hajlító-húzószilárdság), valamint egy roncsolásmentes, látszólagos porozitás vizsgálatot a porozitás mérése céljából. Ezeket követte a dolgozat fő témáját alkotó kihúzókísérlet elvégzése.

5.1 Nyomószilárdság vizsgálat

A beton próbakockák vizsgálatát az *MSZ EN 12390-3:2009* [31] alapján végeztük, a keveréstől számított 28 napos korban. A terhelés maximális sebessége 11,25 kN/s volt. A vizsgálatot a BME Laboratóriumában egy FORM TEST ALPHA 3000 típusú akkreditált nyomószilárdság-mérő géppel végeztük (*5.1 ábra*), 3 műanyag szálerősítésű és 3 acél szálerősítésű 150 mm x 150 mm x 150 mm-es oldalhosszúságú próbakockán. A roncsolásos szilárdságmérés előtt a próbatestek tömegének mértékét és pontos geometriáját megmértük. A mérés után a kapott eredményeket kiértékeltek, végül pedig keverékenként szilárdsági osztályokba soroltuk a betonokat az *MSZ EN 206-1-2002* [32] alapján.

A kapott eredményeket a *6.1-es fejezet* részletezi.



5.1 ábra: Nyomószilárdság mérő gép

5.2 Hajlító-húzószilárdság vizsgálat

Mivel a kapcsolatok viselkedését nagymértékben meghatározza a fogadóanyag hajlító-húzószilárdsága, így fontos volt ezt is megvizsgálni mindkét keverék esetében. A méréseket keverékenként 6 darab 70 mm x 70 mm x 250 mm-es hasábon harmadpontos vizsgálattal, 28 napos korban végeztük WPM ZDM 10/91 típusú akkreditált hajlító-húzó géppel (*5.2 ábra*). Az alkalmazott támaszköz minden esetben 200 mm volt a leolvasást pedig 0,1 N-os pontossággal végeztük. A hasábok geometriai méreteit és tömegét itt is megmértük a vizsgálatok elvégzése előtt. A kapott eredményeket a *6.2-es fejezet* részletezi.



5.2 ábra: Hajlító-húzógép

5.3 Látszólagos porozitás vizsgálat

A látszólagos porozitás vizsgálatra azért volt szükség, mert a szálak hozzáadásával nő a beton porozitása, ami befolyásolhatja a kísérleti eredményeket [21]. Az próbatesteket vízbe téve annak pórusai vízzel telítődnek. Az összes pórus telítettsége esetén beszélünk teljes víztelítésről, ekkor a pórusok térfogata megegyezik a felvett víz térfogatával. Ezért a térfogat %-ban kifejezett értékét (*n.térfogat%*) látszólagos porozitásnak nevezzük [32].

A vizsgálatot az *MSZ EN 934-2:1999* szabvány szerint végeztük [34] a hajlító-húzószilárdságnál is használt hasábokon, a hajlító-húzószilárdság vizsgálat elvégzése után úgy, hogy a próbatesteket tömegállandóságig szárítottuk, majd lemértük a tömegüket, vízbe helyeztük őket és 1, 24, 48, valamint 72 óra elteltével újra megmértük a tömegüket. A tömegállandóság elérése után archimédesz-mérleg segítségével számítottuk a próbatestek térfogatát és a következő képlettel meghatároztuk a látszólagos porozitás értékét (*eredmények a 6.3 fejezetben*):

$$P.látszólagos = \frac{n.térfogat\%}{100} = \frac{V.víz}{V} = \frac{\frac{M.víz}{\rho.víz}}{\frac{M}{\rho.T}} = \frac{M.víz}{M} * \frac{\rho.T}{\rho.víz} = \frac{n.tömeg\%}{100} * \rho.T = \left[\frac{V}{V}\right]\%$$

ahol:

$V.víz$ = Pórusokba felvett víz térfogata [cm³]

V = Anyag (próbatétel befoglaló) térfogata [cm³]

$M.víz$ = Pórusokba felvett víz tömege a vizsgálati hőmérsékleten [g]

M = Kiszáritott anyag tömege [g]

$\rho.víz$ = $M.víz / V.víz$ = Víz sűrűsége a vizsgálati hőmérsékleten [g/cm³]

$\rho.T$ = M / V = Anyag testsűrűsége [g/cm³]

5.4 Kihúzókéísérlet

Mivel a kihúzókéísérlet alkotta a TDK dolgozat legfontosabb laboratóriumi mérését, ezért ennek részletezésével alaposabban foglalkozunk.

5.4.1 A kísérlethez használt terhelő gép

A méréseket egy INSTRON 1197 típusú akkreditált, elmozdulás-vezérelt géppel végeztük (*5.3 ábra*). Az elmozdulás-vezérlés lehetővé teszi a kapcsolat teherbírása leszálló ágának figyelemmel kísérését és a maradó erőkhöz tartozó elmozdulások mérését is. Lényege, hogy a gép működése közben a felső padot állandó sebességgel mozgatja a fellépő erőktől (ellenállástól) függetlenül. Az általunk használt gépen 0,2 mm/perc és 200 mm/perc-es sebességérték között lehetett választani a mi vizsgálataink során a húzási sebesség egységesen 0,1 mm/perc volt.



5.3 ábra:

INSTRON 1197 [21]

Szerző: Marosi Bence

Konzulensek: Dr. Lubl6y Éva, Hlavička Viktor, Kovács-Sebestény Szabolcs

A terhelőgép erőmérő cellája 1000 kN-ig terjedő erőtartományban képes méréseket végezni, ami nagyságrendekkel nagyobb, mint ami a mi kísérletünkhöz szükséges volt.

5.4.2 Mérési összeállítás

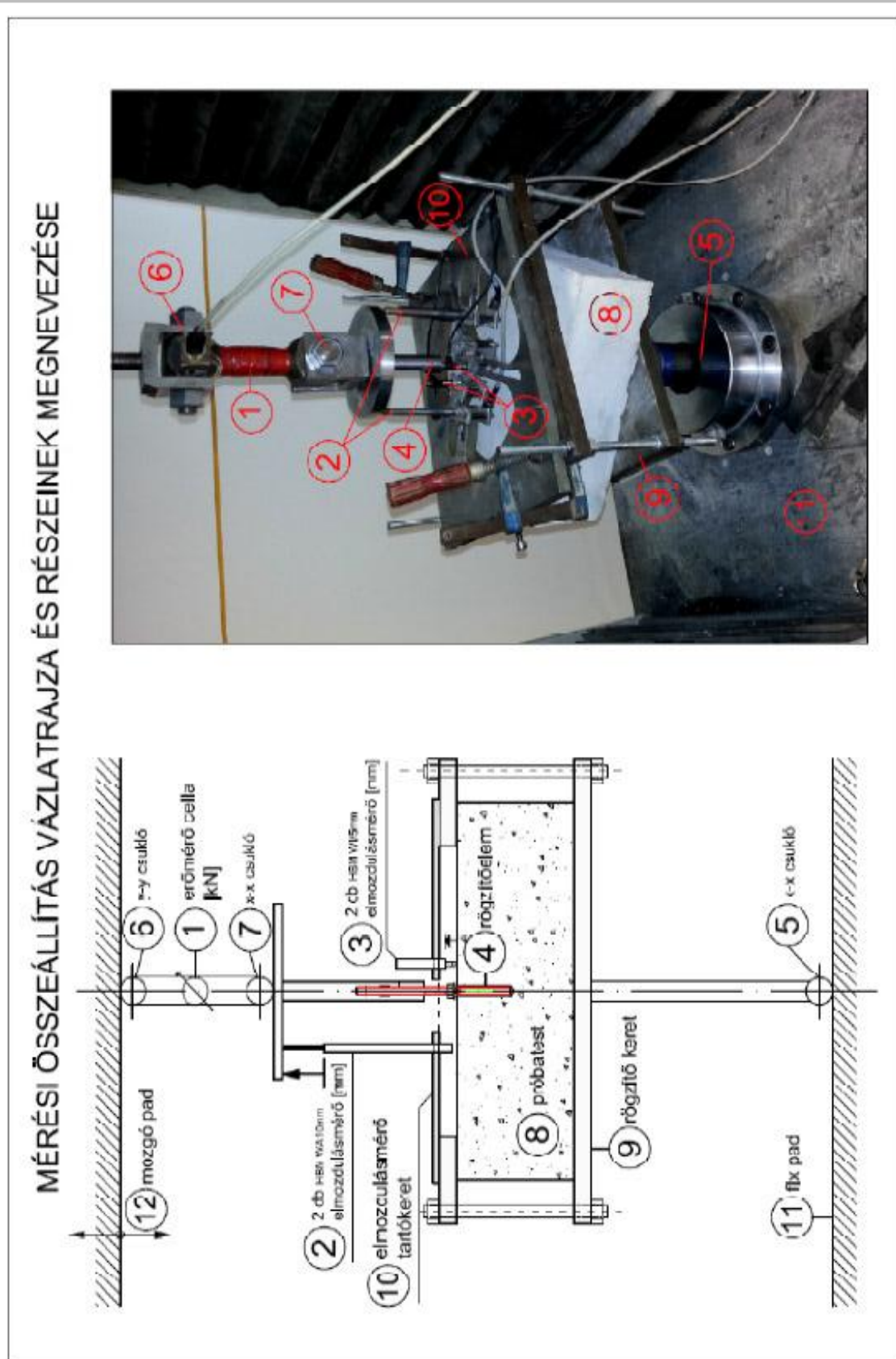
A kihúzóvizsgálatoknál a terhelő erő és a hozzá tartozó elmozdulás folyamatos és pontos mérése és rögzítése volt a cél. Ezt 2 darab független elmozdulásmérővel oldottuk meg majd a CATMAN nevű programmal rögzítettük az eredményeket. A kísérletek során a szakadókúp szabad kialakulását, valamint a csuklós megtámasztást (az esetleges ferde installációból a próbatestben keletkező hajlítás veszélye miatt) biztosítanunk kellett.

A mi kísérleti eredményeinket nagymértékben nem befolyásolta ugyan (mivel nem mértük a szakadókúp nagyságát), mégis fontos megemlíteni, hogy a szálerősítésű betonnál – a kísérleteink alapján – nagyobb átmérőjű szakadókúpok alakultak ki, és némely esetben kérdésessé vált, hogy vajon nem a leszorító kereten lévő kör alakú kivágás mérete határozta-e meg a végleges szakadókúp átmérőjét. A *5.4 ábrán* látható a leszorító keret és a létrejött szakadókúp. A távolabbi él mentén valószínűleg a keret geometriája is hatással volt a szakadókúp végleges méreteire.

A végleges kísérleti összeállítást az *5.5 ábra* mutatja [21].



5.4 ábra: A leszorító keret és a kialakult szakadókúp



5.5 ábra: A mérési összeállítás sematikus rajza és magyarázata [21]

1. Erőmérő cella – nyúlásmérő bélyeg alapú, 40 kN-ig kalibrálva
2. Elmozdulásmérő (HBM WA/10 mm) – a 2 darab elmozdulásmérő a rögzítőkeret felső síkja és a rögzítőelem fölé beiktatott acél lemez között dolgozik, így ezek a kapcsolat teljes elmozdulását mérik
- (3. Elmozdulásmérők – ebben a kísérletben nem használtuk őket)
4. Rögzítőelem – M8 10.9-es anyagminőségű ragasztott menetes szár, vagy FBN mechanikus rögzítőelem
- 5., 6., 7. Csuklók – felül két egymásra merőleges, alul egy csukló biztosítja, hogy a kapcsolatban kizárólag központos húzás ébredjen. Így kiküszöbölhettük az esetleges ferde rögzítőelem installációból származó hajlítást.
8. A próbatest – szálerősített, 300 mm x 300 mm x 100 mm
9. Rögzítőkeret – a próbatest rögzítésére szolgáló két darab, egyenként 15mm vastag acéllemezt 4 darab M10 5.6-os anyagminőségű menetes szár fogja össze. A felső acéllemezen található 250 mm átmérőjű kör alakú nyílás biztosítja a szakadókúpos tönkremenetel zavartalan létrejöttét. A 4 darab menetes szár megnyúlásának mértéke a mérések során elhanyagolható.
10. Elmozdulásmérő tartókeret – funkciója, hogy fix síkot biztosítson az elmozdulásmérőnek. Összesen 5 darab műszer rögzítésére alkalmas. A rögzítések sugárirányban elhelyezkedő sínek mentén mozgathatók, így variálható az elmozdulásmérők elhelyezkedése.
11. A terhelőgép alsó, fix padja.
12. A terhelőgép felső, állandó sebességgel mozgó egysége [21].

6. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

A kísérleti eredményeimet egy korábbi Diplomamunka [12] referenciaeredményeivel hasonlítom össze, amely hasonló betonreceptúra viselkedését vizsgálta ugyanezen három fajta rögzítőelem mellett. Így végül háromfajta betonreceptúra (egy szálerősítés nélküli, egy acél szálerősítésű és egy műanyag szálerősítésű) kerül összehasonlításra háromfajta rögzítőelem típus függvényében.

6.1 Nyomószilárdsági eredmények értékelése

A nyomószilárdság-vizsgálatot acél, illetve műanyag szálerősítés esetén három-három 150 mm x 150 mm x 150 mm-es próbatesten 28 napos korban végeztem el [31]. A nyomószilárdsági értékeket *MSZ EN 206-1-2002* alapján [32] soroltam osztályba (6.1 és 6.2 táblázat). Mindkét esetben C16/20-as betonszilárdsági osztályt kaptam eredményül.

Műanyag szálerősítésű próbatest nyomószilárdságának számítása								
Nr.	1. oldal [mm]	2. oldal [mm]	Terület [mm ²]	Törőerő [kN]	Nyomószil. [N/mm ²] f_{cm}	Nyomószil. [N/mm ²] f_{ck}	Min. [N/mm ²]	Minősítés
1	149,2	149,07	22241	695	31,2	23,2	22,8	C16/20
2	150,22	149,11	22399	691	30,8	22,8		
3	149,64	149,17	22322	718	32,2	24,2		

6.1 táblázat: Műanyag szálerősítésű próbatest nyomószilárdságának számítása

Acél szálerősítésű próbatest nyomószilárdságának számítása								
Nr.	a [mm]	b [mm]	Terület [mm ²]	Törőerő [kN]	Nyomószil. [N/mm ²] f_{cm}	Nyomószil. [N/mm ²] f_{ck}	Min. [N/mm ²]	Minősítés
1	150,29	149,09	22407	691	30,8	22,8	22,5	C16/20
2	150,07	148,38	22267	704	31,6	23,6		
3	148,32	147,98	21948	670	30,5	22,5		

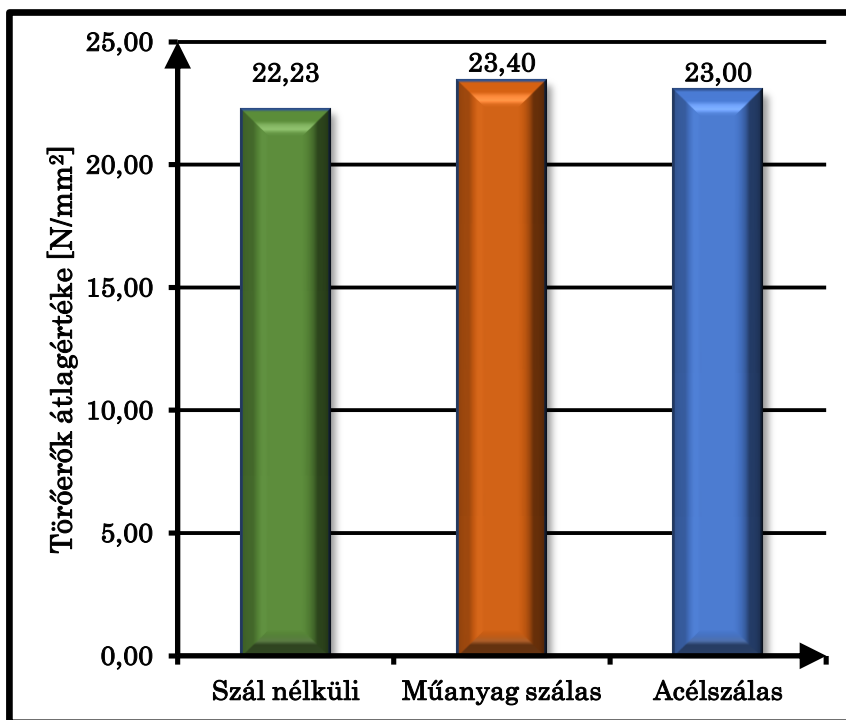
6.2 táblázat: Acél szálerősítésű próbatest nyomószilárdságának számítása

Szálerősítés nélküli próbatest nyomószilárdságának számítása								
Nr.	a [mm]	b [mm]	Terület [mm ²]	Törőerő [kN]	Nyomószil. [N/mm ²] f_{cm}	Nyomószil. [N/mm ²] f_{ck}	Min. [N/mm ²]	Minősítés
1	149,7	151,8	22724	700	30,8	22,8	22,2	C16/20
2	150,0	147,7	22155	757	34,2	26,2		
3	150,1	150,5	22590	683	30,2	22,2		

6.3 táblázat: Szálerősítés nélküli próbatest nyomószilárdságának számítása [12]

Látszik, hogy – a szakirodalmi háttérnek megfelelően [11] – a szálerősítésnek nincs számottevő hatása a beton nyomószilárdságára (6.3 táblázat). Így a szálerősítés nélküli, a műanyag szálerősítésű, valamint az acél szálerősítésű próbatestek ugyanabba a betonszilárdsági osztályba kerültek, mivel a besorolás alapjául szolgáló minimumértékek maximum 3%-ban tértek el egymástól.

A három próbatest átlagaként meghatározott nyomószilárdság vizsgálat eredményeit a 6.1 ábra mutatja. Látható, hogy sem a műanyag szálerősítés sem acél szálerősítés esetén nincs számottevő eltérés a referenciaértékhez képest, bár megállapítható, hogy a műanyag szálerősítés is és az acél szálerősítés is kis mértékben növeli az átlagos nyomószilárdság értékét (5%-kal, illetve 3%-kal).



6.1 ábra: Nyomószilárdság a szálerősítés függvényében

6.2 Hajlító-húzószilárdsági eredmények értékelése

A hajlító-húzószilárdság vizsgálatot hat-hat darab 70 mm x 70 mm x 250 mm-es hasábon végeztem el mind műanyag, mind acél szálerősítésű próbatestek esetén. A kapott eredmények értékelését, valamint a referenciaadatok táblázatát mutatja az 6.4, a 6.5 és a 6.6 táblázat.

Műanyag szálerősítésű próbatest hajlító-húzószilárdságának számítása							
Nr.	a [mm]	b [mm]	Törőerő [N]	Inercia [mm ⁴]	Nyomaték [Nmm]	Szilárdság [N/mm ²]	Átlagos szilárdság [N/mm ²]
1	69,54	70,12	8290	1997925	414500	7,27	6,50
2	71,85	70,86	7750	2130340	387500	6,44	
3	69,96	70,87	7660	2075180	383000	6,54	
4	70,54	70,04	7660	2019727	383000	6,64	
5	72,27	70,75	7070	2132830	353500	5,86	
6	73,62	70,1	7550	2113336	377500	6,26	

6.4 táblázat: Hajlítóvizsgálat eredményei műanyag szálerősítés esetén

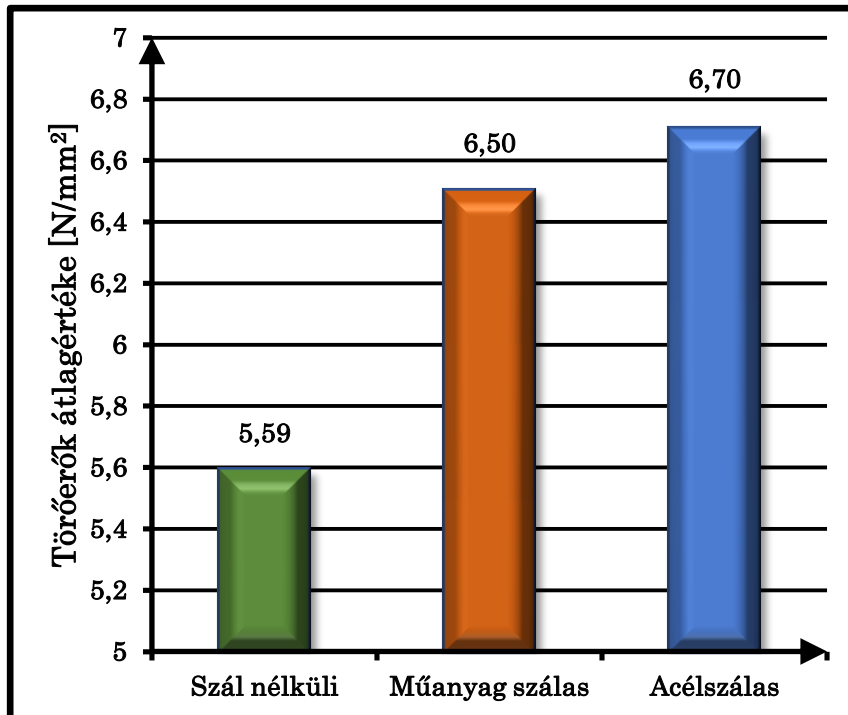
Acél szálerősítésű próbatest hajlító-húzószilárdságának számítása							
Nr.	a [mm]	b [mm]	Törőerő [N]	Inercia [mm ⁴]	Nyomaték [Nmm]	Szilárdság [N/mm ²]	Átlagos szilárdság [N/mm ²]
1	71,28	70,14	6550	2049669	327500	5,60	6,70
2	73,82	70,9	8350	2192459	417500	6,75	
3	69,95	72,26	7400	2199380	370000	6,08	
4	73,69	70,87	9350	2185821	467500	7,58	
5	70,17	69,58	8960	1969806	448000	7,91	
6	72,95	70,88	7700	2164787	385000	6,30	

6.5 táblázat: Hajlítóvizsgálat eredményei acél szálerősítés esetén

Szálerősítés nélküli próbatest hajlító-húzószilárdságának számítása							
Nr.	a [mm]	b [mm]	Törőerő [N]	Inercia [mm ⁴]	Nyomaték [Nmm]	Szilárdság [N/mm ²]	Átlagos szilárdság [N/mm ²]
1	71,60	69,88	6510	2036343	325500	5,58	5,59
2	70,10	68,60	6380	1882561	319000	5,81	
3	69,90	71,50	6400	2124116	320000	5,38	

6.6 táblázat: Hajlítóvizsgálat eredményei szálerősítés nélküli próbatest esetén [12]

Látható, hogy acél szálerősítés esetén nagyobb nyomaték kellett a próbatest tönkremeneteléhez, mint műanyag szálerősítés esetén. A hat műanyag, és hat acél szálerősítésű próbatest hajlító-húzószilárdság vizsgálati eredményeit összevettem a három referencia próbatest átlagértékével. Ezt szemlélteti az *6.2 ábra*.



6.2 ábra: Hajlító-húzószilárdság a szálerősítés függvényében

A diagram alapján megállapítható, hogy mind a műanyag, mind az acél szálerősítés esetén megnőtt a hajlító-húzószilárdság értéke. A műanyag szálerősítés körülbelül 16%-kal, míg az acél szálerősítés körülbelül 20%-kal növelte azt. A diagramról nem leolvasható, de fontos megjegyezni, hogy míg a szál nélküli próbatestek rideg tönkremenetellel a repedés megjelenésének pillanatában leszakadtak, addig a szálerősítésű próbatestek a beton berepedése után további erők felvételére voltak képesek a szálaknak köszönhetően.

6.3 A porozitás vizsgálat eredményeinek kiértékelése

A szálerősítés nélküli keverék látszólagos porozitásának értéke 11,9 V% volt [12]. Ehhez képest az acél szálerősítésű keveréké (12 próbatest alapján) 14,5 V%-ra (körülbelül 22%-os növekedés), a műanyag szálerősítésű keveréké pedig (szintén 12 vizsgálat alapján) 14 V%-ra (körülbelül 18%-s növekedés) adódott (6.7 táblázat). A porozitás mértékének növekedése a szálak hozzáadásával és az ebből következő nehezebb bedolgozhatósággal magyarázható. A porozitás a próbatestek teherbírására is hatással lehet [12].

Porozitás vizsgálat eredményei							
	Nr.	Szártott tömeg [g]	Nedves tömeg [g]	Vízben mért tömeg [g]	Térfogat [cm ³]	Nedves - szártott [g]	Porozitás (átlag) [V%]
Acél szálerősítés	A-1-1	1423,7	1514,4	893,1	621,3	90,7	14,6
	A-1-2	1312,5	1401,6	823,9	577,7	89,1	15,4
	A-2-1	1331,5	1418,7	831,6	587,1	87,2	14,9
	A-2-2	1528,5	1625,8	950,7	675,1	97,3	14,4
	A-3-1	1461,8	1559,9	918,3	641,6	98,1	15,3
	A-3-2	1288,9	1370,7	805,9	564,8	81,8	14,5
	A-4-1	1520,5	1616,5	948,2	668,3	96,0	14,4
	A-4-2	1337,1	1410,7	826,1	584,6	73,6	12,6
	A-5-1	1332,7	1419,2	832,5	586,7	86,5	14,7
	A-5-2	1402,3	1491,7	874,2	617,5	89,4	14,5
	A-6-1	1532,9	1631,0	954,5	676,5	98,1	14,5
	A-6-2	1353,6	1436,3	848,4	587,9	82,7	14,1
Műanyag szálerősítés	M-1-1	1330,5	1425,6	822,6	603,0	95,1	15,8
	M-1-2	1421,2	1508,7	875,9	632,8	87,5	13,8
	M-2-1	1418,9	1508,4	874,9	633,5	89,5	14,1
	M-2-2	1395,4	1481,5	863,2	618,3	86,1	13,9
	M-3-1	1389,6	1482,2	857,7	624,5	92,6	14,8
	M-3-2	1369,9	1460,7	861,0	599,7	90,8	15,1
	M-4-1	1264,0	1324,9	774,0	550,9	60,9	11,1
	M-4-2	1499,2	1587,0	922,0	665,0	87,8	13,2
	M-5-1	1508,3	1603,0	932,5	670,5	94,7	14,1
	M-5-2	1318,2	1402,6	813,5	589,1	84,4	14,3
	M-6-1	1496,1	1585,2	928,4	656,8	89,1	13,6
	M-6-2	1291,0	1368,7	794,6	574,1	77,7	13,5

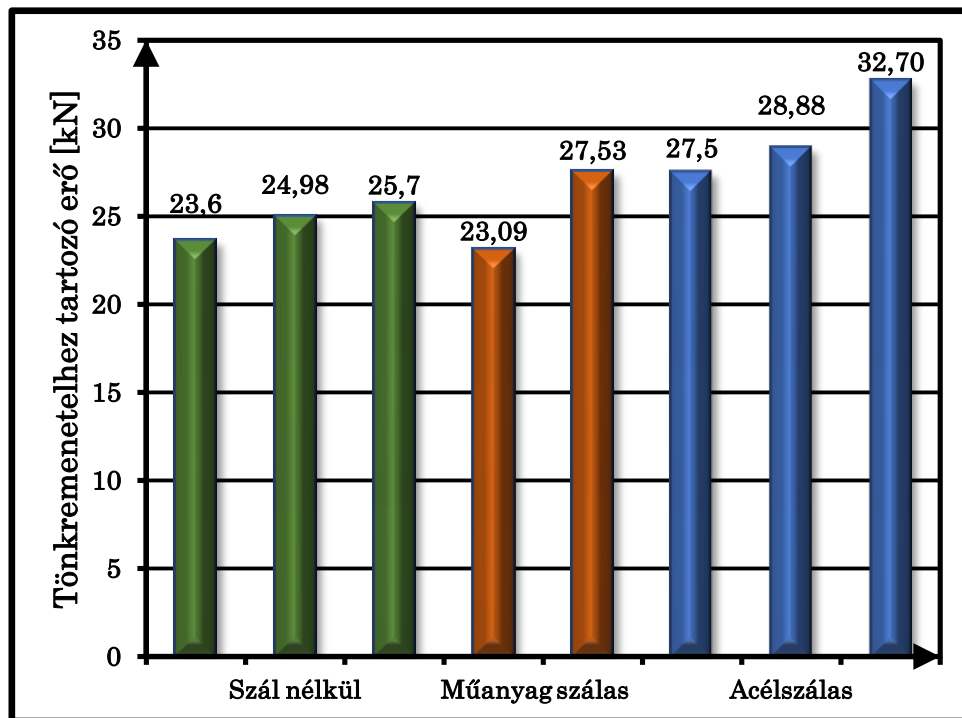
6.7 táblázat: A porozitás vizsgálat eredményeinek összefoglalása

6.4 A teherbírás változása különböző kapcsolatok esetében

Ebben a fejezetben az általam vizsgált három féle kapcsolat (epoxi ragasztó, vinilészter-hibrid ragasztó és FBN mechanikus) teherbírását értékelem a szálerősítés függvényében. A kapott eredmények rögzítési technikák függvényében történő kiértékelése az 6.5 fejezet tárgya.

6.4.1 Epoxi alapanyagú ragasztott kapcsolatok

Az epoxi ragasztóval kialakított kapcsolatok teherbírását a szálerősítés függvényében az 6.3 ábra mutatja be.



6.3 ábra: Epoxi alapanyagú ragasztott kapcsolatok teherbírása a szálerősítés függvényében

A diagramon a három szál nélküli betonból, a két műanyag szálerősítésű betonból (a harmadik eredményt mérési hiba miatt nem tudtuk figyelembe venni), valamint a három acél szálerősítésű betonból készült próbatest maximális ereje látható (kN-ban mérve).

A tönkremeneteli módokat és a törőerők átlagát epoxi ragasztás esetén a 6.8 táblázat mutatja be. A táblázatból kiolvasható, hogy amennyiben nem alkalmazunk szálerősítést, a maximális erők átlaga 24,29 kN, a jellemző tönkremeneteli mód pedig a szakadókúp.

Műanyag szálerősítés alkalmazása esetén a maximális erők átlaga 25,31 kN-ra nő (ami körülbelül 4%-os növekedést jelent), viszont ennél az erőnél a jellemző tönkremenetel már a próbatest felhasadása lesz, mivel a műanyag szálak nem képesek összetartani a betont.

Acél szálerősítés alkalmazása esetén a maximális erők átlaga 29,69 kN (ami a szál nélküli referenciaértékhez képest körülbelül 22%-os növekedést, míg a műanyag szálerősítéshez képest körülbelül 17%-os növekedést jelent). Acél szálerősítésnél a jellemző tönkremeneteli mód ismét a szakadókúp. Ennek magyarázata az lehet, hogy az acélszálak képesek nagyobb erőnél is összetartani a betont, így az nem szakad fel a megnövekedett teherbírás ellenére sem.

		Nr.	Maximális erő [kN]	Max. erők átlaga [kN]	Tönkremeneteli mód
EPOXI RAGASZTÓ	Szál nélküli	*	23,6	24,29	Szakadó kúp
			24,98		Szakadó kúp
			25,7		Szakadó kúp
	Műanyag szál	IV	23,09	25,31	Próbatest felhasadása
		V	27,53		Próbatest felhasadása
		VI	*		(Próbatest felhasadása)
	Acélszál	IV	27,5	29,69	Szakadó kúp
		V	28,88		Szakadó kúp
		VI	32,7		Szakadó kúp

6.8 táblázat: Tönkremeneteli módok és hozzájuk tartozó maximális terhelőerők értéke epoxi ragasztás esetén

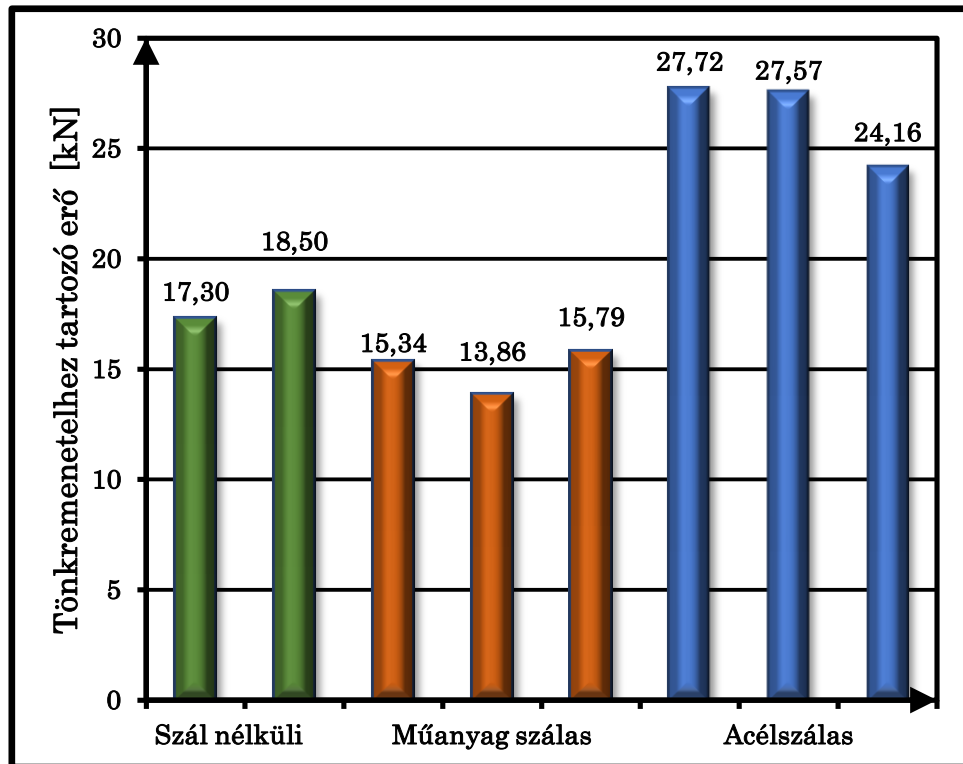
6.4.2 Vinilészter-hibrid ragasztásos kapcsolatok

Az vinilészter-hibrid ragasztóval kialakított kapcsolatok teherbírását a szálerősítés függvényében az 6.4 ábra mutatja be.

A diagramon a két szál nélküli betonból (a Diplomamunka [12] alapján), a három műanyag szálerősítésű betonból valamint a három acél szálerősítésű betonból készült próbatest maximális ereje látható (kN-ban mérve).

A tönkremeneteli módokat és a maximális erők átlagát vinilészter-hibrid ragasztás esetén a 6.9 táblázat mutatja be. A táblázatból kiolvasható, hogy amennyiben nem alkalmazunk szálerősítést, a maximális erők átlaga 17,90 kN, a jellemző tönkremeneteli mód pedig a szakadókúp, vagy szárszakadás.

Műanyag szálerősítés alkalmazása esetén a maximális erők átlaga 15,00 kN-ra csökken (ami a szál nélküli referenciaértéknek körülbelül 84%-a), a jellemző pedig a kombinált tönkremeneteli mód lesz, vagyis a ragasztóanyag a rögzítési mélység alján elnyíródik, vagy a beton és a ragasztó közötti tapadószilárdság kimerül (esetleg a kettő együtt jelentkezik úgy, hogy a rögzítési mélység alján elnyíródik a ragasztó, majd a lecsökkent rögzítési hossz már nem képes a tapadószilárdság átadni a rá ható erőket és kimerül). A ragasztó elnyíródás illetve a tapadószilárdság kimerülése részleges szakadókúppal is kombinálódhat. Ebben az esetben a tönkremenetel a ragasztóanyagban indul el, ellentétben a szál nélküli esettel, ahol vagy a rögzítőelem megy tönkre, vagy a beton húzószilárdsága merül ki. Ennek oka a megnövekedett porozitás [21].



6.4 ábra: Vinilészter-hibrid alapanyagú ragasztott kapcsolatok teherbírása a szálerősítés függvényében

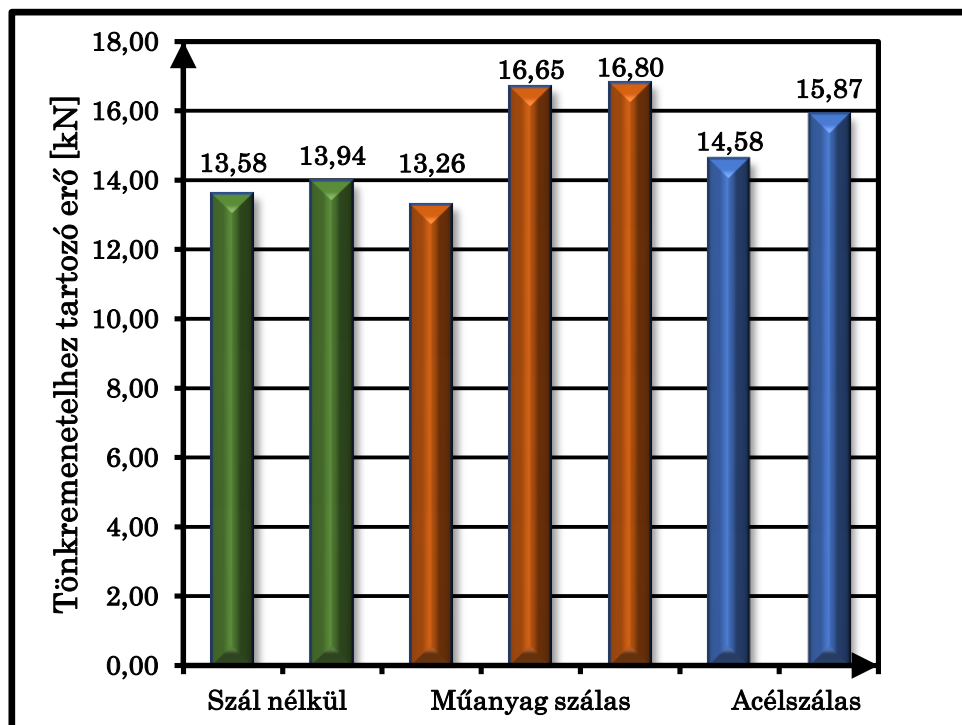
		Nr.	Maximális erő [kN]	Max. erők átlaga [kN]	Tönkremeneteli mód
VINILÉSZTER-HIBRID RAGASZTÓ	Szál nélküli	*	17,3	17,90	Szakadó kúp
		*	18,5		Szárszakadás
	Műanyag szál	I	15,34	15,00	Kombinált
		II	13,86		Kombinált
		III	15,79		Kombinált
	Acélszál	I	27,72	26,48	Kombinált
		II	27,57		Kombinált
		III	24,16		Kombinált

6.9 táblázat: Tönkremeneteli módok és hozzájuk tartozó maximális terhelőerők értéke vinilészter-hibrid ragasztás esetén

Acél szálerősítés alkalmazása esetén a maximális erők átlaga 26,48 kN (ami a szál nélküli referenciaértékhez képest közel 48%-os növekedést, míg a műanyag szálerősítéshez képest körülbelül 76%-os növekedést jelent). Acél szálerősítésnél a jellemző tönkremeneteli mód ismét a kombinált tönkremenetel. Az előzőekben láthattuk, hogy a ragasztóanyag tönkremenetele jóval kisebb teherszint esetén bekövetkezik. A megnövekedett teherbírás magyarázata az acél szálak betonösszetartó ereje lehet, mivel azok még a részleges szakadókúp kialakulását is nagyban meggátolják a húzóerők felvételével.

6.4.3 FBN mechanikus kapcsolatok

Az FBN mechanikus kapcsolatok teherbírását a szálerősítés függvényében az *6.5 ábra* mutatja be.



6.5 ábra: FBN mechanikus kapcsolatok teherbírása a szálerősítés függvényében

A diagramon a két szál nélküli betonból (ennyi állt rendelkezésre a Diplomamunka [12] alapján), a három műanyag szálerősítésű betonból valamint két acél szálerősítésű betonból készült próbatest (a harmadik eredményt mérési hiba miatt nem tudtuk figyelembe venni) teherbírása látható (kN-ban mérve).

A tönkremeneteli módokat és a maximális erők átlagát FBN mechanikus rögzítés esetén a *6.10 táblázat* mutatja be. A táblázatból kiolvasható, hogy amennyiben nem alkalmazunk szálerősítést, a maximális erők átlaga 13,76 kN, a jellemző tönkremeneteli mód pedig a szakadókúp.

Műanyag szálerősítés alkalmazása esetén a maximális erők átlaga 15,57 kN-ra nő (ami körülbelül 13%-os növekedést jelent), a jellemző tönkremeneteli mód pedig a

szárszakadás lesz, de megjelenik a szakadókúpos tönkremeneteli mód is. Ennek oka, hogy a műanyag szálas növelik a teherbírást, ezzel nagyobb húzóerőt tesznek lehetővé, és így már a rögzítőelem szakítószilárdsága válik mértékadóvá a tönkremenetel szempontjából.

		Nr.	Maximális erő [kN]	Max. erők átlaga [kN]	Tönkremeneteli mód
FBN MECHANIKUS	Szál nélküli	*	13,58	13,76	Szakadó kúp
			13,94		Szakadó kúp
			*		*
	Műanyag szálas	VII	13,26	15,57	Szakadó kúp
		VIII	16,65		Szárszakadás
		IX	16,80		Szárszakadás
	Acélszálas	VII	14,58	15,23	Kihúzóadás
		VIII	*		(Szárszakadás)
		IX	15,87		Szárszakadás

6.10 táblázat: Tönkremeneteli módok és hozzájuk tartozó maximális terhelőerők értéke FBN mechanikus rögzítés esetén

Acél szálerősítés alkalmazása esetén a maximális erők átlaga 15,23 kN (ami a szál nélküli referenciaértékhez képest körülbelül 10%-os növekedést, míg a műanyag szálerősítéshez képest körülbelül 2%-os csökkenést mutat, ami elhanyagolható hibaszázalékon belül egyező eredményt jelent). Mivel mind a műanyag, mind az acél szálerősítés esetén a domináns tönkremeneteli mód a szárszakadás volt, így nem megállapítható egyértelműen, a szálerősítés hatásának mértéke a teherbírási FBN rögzítőelemek esetén. Az azonban így is világosan látszik, hogy a tönkremeneteli módot megváltoztatja, így a beton helyett a rögzítőelem tönkremenetelét okozva.

6.4.4 A teherbírás változásának összegzése a különböző kapcsolati kialakítások függvényében

A fentiekben leírtak alapján megállapítható, hogy a szálerősítésnek markáns hatása van a kapcsolatok viselkedésére és teherbírására egyaránt.

A szálak pozitív hatása legjobban az epoxi ragasztás esetén figyelhető meg, ahol mindkét száltípus növelte a teherbírást. Fontos megjegyezni, hogy vinilészter-hibrid ragasztó esetén a műanyag szálak rontottak a teherbíráson. Ennek oka további vizsgálatok tárgyát képezheti. Az acélszálak ezzel szemben drasztikusan (közel 50%-kal) növelték a teherbírást ugyan ennél a ragasztási technológiánál, ami viszont további kísérletek és piaci lehetőségek kapuja lehet. Az FBN mechanikus kapcsolatnál a szálerősítés hatása nem volt jelentős a teherbírás nagyságára, viszont a tönkremeneteli módot megváltoztatta. Ez azért lehet, mert ennél a kapcsolatnál a rögzítőelem relatíve gyenge a fogadóanyaghoz képest.

A fenti eredmények tömör összefoglalását mutatja a 6.11-es és a 6.12-es táblázat. A további kutatási területekről a 8. fejezetben lesz szó.

	Szál nélküli			Műanyag szálás			Acélszálás		
	Nyomószil. [N/mm ²]	Hajlító-húzószil. [N/mm ²]	Maximális erők átlaga [kN]	Nyomószil. [N/mm ²]	Hajlító-húzószil. [N/mm ²]	Maximális erők átlaga [kN]	Nyomószil. [N/mm ²]	Hajlító-húzószil. [N/mm ²]	Maximális erők átlaga [kN]
Epoxi ragasztó	22,23	5,59	24,29	23,40	6,50	25,31	23,00	6,70	29,69
Vinilészter-hibrid ragasztó			17,90			15,00			26,48
FBN mechanikus kapcsolat			13,76			15,57			15,23

6.11 táblázat: A nyomószilárdság, a hajlító-húzószilárdság és a kapcsolatok teherbírása a szálerősítés függvényében

		Nr.	Maximális erő [kN]	Max. erők átlaga [kN]	Tönkremeneteli mód
EPOXI RAGASZTÓ	Szál nélküli	*	23,6	24,29	Szakadó kúp
			24,98		Szakadó kúp
			25,7		Szakadó kúp
	Műanyag szál	IV	23,09	25,31	Próbatest felhasadása
		V	27,53		Próbatest felhasadása
		VI	*		(Próbatest felhasadása)
	Acélszál	IV	27,5	29,69	Szakadó kúp
		V	28,88		Szakadó kúp
		VI	32,7		Szakadó kúp
VINILÉSZTER-HIBRID RAGASZTÓ	Szál nélküli	*	17,3	17,90	Szakadó kúp
			18,5		Szárszakadás
			*		*
	Műanyag szál	I	15,34	15,00	Kombinált
		II	13,86		Kombinált
		III	15,79		Kombinált
	Acélszál	I	27,72	26,48	Kombinált
		II	27,57		Kombinált
		III	24,16		Kombinált
FBN MECHANIKUS	Szál nélküli	*	13,58	13,76	Szakadó kúp
			13,94		Szakadó kúp
			*		*
	Műanyag szál	VII	13,26	15,57	Szakadó kúp
		VIII	16,65		Szárszakadás
		IX	16,80		Szárszakadás
	Acélszál	VII	14,58	15,23	Kihúzóadás
		VIII	*		(Szárszakadás)
		IX	15,87		Szárszakadás

6.12 táblázat: Tönkremeneteli módok és a hozzájuk tartozó maximális terhelőerők a kapcsolatok típusa és a száltípusok függvényében

6.5 Kapcsolati teherbírás a szálerősítés függvényében

Az előbbieken különböző kapcsolattípusok esetében vizsgáltuk a teherbírás szálerősítés nélküli, műanyag szálerősítéses, illetve acél szálerősítéses kialakítás mellett. Most arra keressük a választ, hogy a szálerősítés fajtája milyen hatással van a különböző rögzítőelemek teherbírására és viselkedésére.

6.5.1 Szálerősítés nélküli referenciaértékek

Szálerősítés nélküli betonok esetén a három általunk vizsgált rögzítőelem teherbírása a következőképpen alakult: az FBN mechanikus kapcsolatok átlagos teherbírása 13,76 kN, a vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatoké 17,90 kN, míg az epoxi ragasztósoké 24,29 kN-ra adódott. Az *6.12 táblázatból* látható, hogy a szálerősítés nélküli betonok esetében egy kivétellel kizárólag szakadókúpos tönkremenetel alakult ki, míg egy esetben (vinilészter-hibrid ragasztásnál) szárszakadás [12].

6.5.2 Műanyag szálerősítés

Műanyag szálerősítésű betonok esetén a három általunk vizsgált rögzítőelem teherbírása sorra a következő: FBN mechanikus kapcsolatok átlagos teherbírása 15,57 kN, a vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatoké 15,00 kN, míg az epoxi ragasztósoké 25,31 kN-ra adódott.

FBN mechanikus kapcsolatok esetén tehát körülbelül 13%-kal növelte a műanyag szálerősítés a kapcsolat teherbírását, ami elegendő volt ahhoz, hogy a jellemző tönkremeneteli mód is megváltozzon. A megnövekedett teherszinten már nem a szakadókúp a jellemző (bár egy esetben előfordult), hanem a szárszakadás. Ezzel elértük, hogy a kapcsolat teherbírását (ennél a betonreceptúránál, rögzítési mélységnél, illetve rögzítőelemnél) immár a rögzítőelem szakítószilárdsága határozza meg, nem pedig a fogadóanyag húzószilárdsága.

Epoxi ragasztós kapcsolatok esetén a maximális erők átlagának növekménye körülbelül 4%-ra adódott. A tönkremeneteli mód itt is változott a műanyag szálerősítés hozzáadásával, az eredetileg szakadókúpos tönkremenetel átalakult a próbatest felhasadásával kialakuló tönkremenetellé. Levonható a következtetés, hogy a műanyag szálerősítés ahhoz elég erősek voltak, hogy a beton húzószilárdságát növeljék, és ne alakulhasson ki a szakadókúp, ahhoz azonban már nem voltak kellően nagy teherbírásúak, hogy a teljes próbatest felhasadását megakadályozzák. Mivel a próbatest felhasadása rideg tönkremenetel, ezért elkerülendő, így tönkremeneteli mód szempontjából nem vált előnyünkre a műanyag szálerősítés alkalmazása epoxi ragasztós kapcsolatok esetén.

Vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatok esetén a maximális erők átlaga alulmaradt műanyag szálerősítés esetén a szálerősítés nélküli referenciaértékhez képest, körülbelül 19%-kal. Ennek oka műanyag szálak alkalmazás esetén a megnövekedett porozitásban keresendő. A megnövekedett porozitás miatt a csökkent a beton teherbírása, a műanyag szálak pedig nem voltak kellően nagy szilárdságúak a kialakuló szakadókúp összetartására. A jellemző tönkremeneteli mód ebben az esetben a vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatoknál gyakorta előforduló kombinált tönkremenetel [21] volt.

6.5.3 Acél szálerősítés

Acél szálerősítésű betonok esetén a három általunk vizsgált rögzítőelem teherbírása sorra a következő: FBN mechanikus kapcsolatok átlagos teherbírása 15,23 kN, a vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatoké 26,48 kN, míg az epoxi ragasztósoké 29,69 kN-ra adódott.

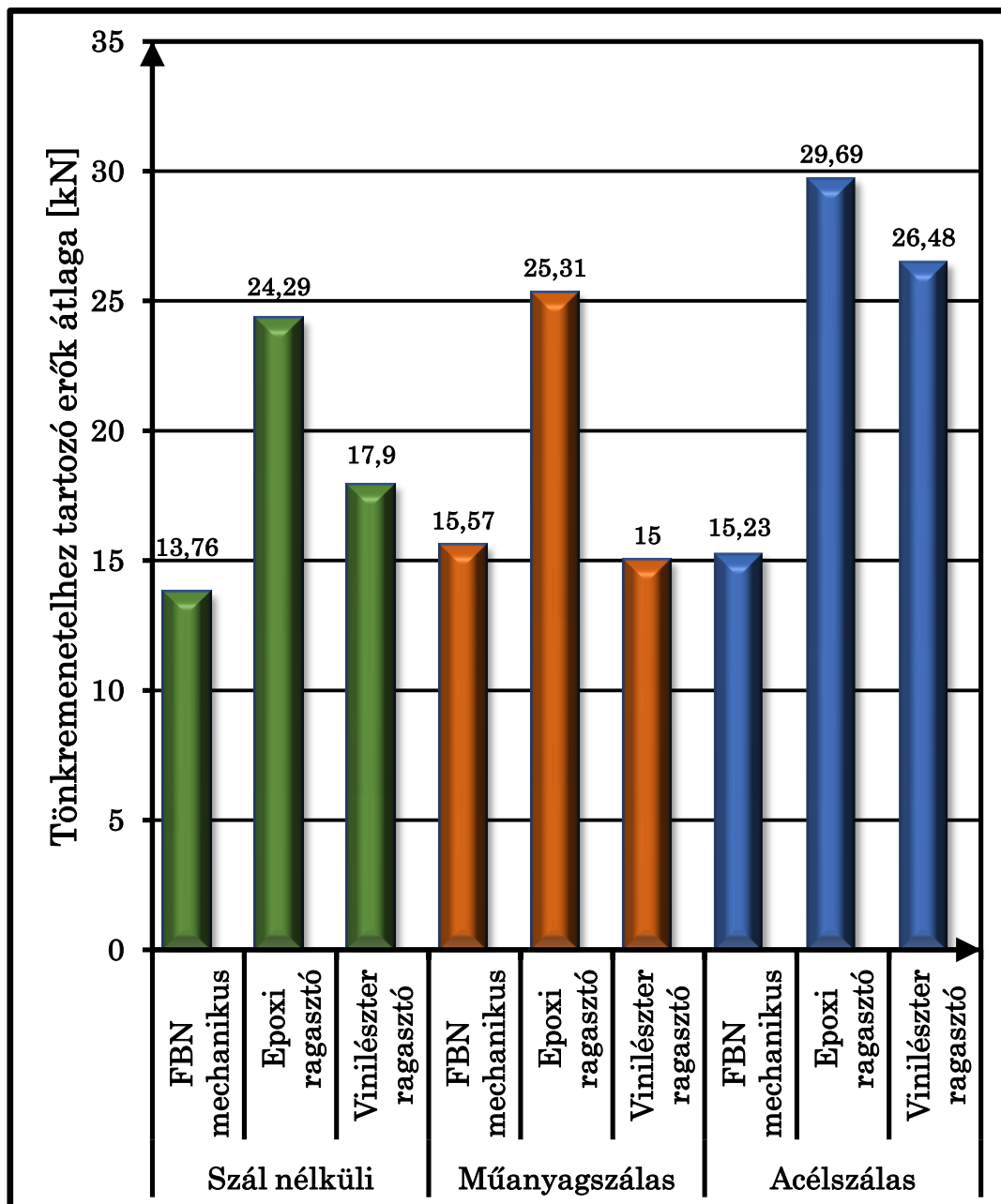
FBN mechanikus kapcsolatok esetén tehát körülbelül 11%-kal növelte az acél szálerősítés a kapcsolat teherbírását. Ez mérési hibahatáron belül megegyezik a műanyag szálerősítésnél tapasztalt értékkel. A jellemző tönkremeneteli mód is a műanyag szálerősítésű esethez hasonlóan alakult. Itt két szárszakadás mellett egy rögzítőelem kihúzóaszt kaptunk eredményül. A leírtakból következik, hogy FBN mechanikus kapcsolatok esetén mind az acél, mind a műanyag szálerősítés növelt annyit a beton húzószilárdságán, hogy ne az legyen a meghatározó a tönkremenetel szempontjából, hanem a rögzítőelem szilárdsága. Ebből kifolyólag a szálerősítés húzószilárdságra gyakorolt hatásának mértékét FBN mechanikus rögzítőelemek esetén nem tudjuk egyértelműen meghatározni, csak a meglétüket igazolhatjuk.

Epoxi ragasztós kapcsolatok esetén a maximális erők átlagának növekménye a szálerősítés nélküli referenciaértékhez képest körülbelül 22%, míg a műanyag szálerősítésű betonban kialakított kapcsolatokéhoz képest körülbelül 17%. A jellemző tönkremeneteli mód itt ismét a szakadókúpos tönkremenetel, ahogyan szálerősítés nélküli esetben láthattuk. Tehát, míg a műanyag szál megnövelte ugyan a beton húzószilárdságát, arra nem volt képes, hogy a felhasadást megátolja a betonban, ezzel kedvezőtlenebb tönkremenetelhez vezetve, addig az acél szál még jobban növelte a teherbírást, és annyira összefogta a próbatestet, hogy az eredeti szakadókúpos tönkremenetel alakuljon ki rajta. Itt tehát megállapítható, hogy az acél szálerősítés úgy javított nagymértékben a teherbírásán, hogy nem volt kedvezőtlen hatása a tönkremeneteli módra.

Vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatok esetén a maximális erők átlagának növekménye a szálerősítés nélküli referenciaértékhez képest közel 48%, ami a legnagyobb mértékű teherbírás-növekmény a vizsgálataink során. A jellemző tönkremeneteli mód ebben az esetben a vinilészter-hibrid ragasztókra jellemző kombinált tönkremenetel [21], ami azt jelenti, hogy a ragasztóanyagban kezdődik meg a tönkremenetel, nem pedig a menetes szárban vagy a fogadóanyagban. Ez előnyös, ugyanis azt jelenti, hogy a fogadóanyagok további erők felvételére képesek, amennyiben nagyobb szilárdságú vinilészter-hibrid ragasztott kapcsolatokat tud az ipar előállítani. (A megnövekedett porozitás hatása a műanyag szálerősítéshez esetéhez képest itt azért nem érzékelhető, mert az acél szálak kellő szilárdságúak ahhoz, hogy összetartsák a kialakuló szakadókúpot.)

6.5.4 A kapcsolati teherbírás változásának összegzése a szálerősítés függvényében

A kapcsolati teherbírás változását a szálerősítés függvényében a 6.6 ábra szemlélteti. Láttuk, hogy a műanyag szálak átlagosan kisebb mértékben növelték a kapcsolat teherbírását, de megváltoztatták a tönkremenetel módját. Ez alól csak a vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolat volt kivétel, ahol csökkent a kapcsolat teherbírása a műanyag szálak alkalmazása esetén megnövekedett porozitás miatt. Az acélszálak ezzel szemben minden esetben, és – ahol ez mértékadóvá vált, ott – nagyobb mértékben (akár közel 48%-kal is) növelték a teherbírást.



6.6 ábra: Maximális erők [kN] összehasonlítása különböző száltípusok és rögzítési technikák esetén

7. ÖSSZEGZÉS ÉS MEGÁLLAPÍTÁSOK

A kísérletet megelőző tanulmány célja a témában releváns ismeretanyagok (a szálerősítésű beton, valamint a rögzítéstechnika) feldolgozása és összefoglalása volt. Az általános áttekintésen túl kiemelt figyelmet fordítottunk az általunk használt anyagok (mind a rögzítőelemek és az egyes esetekben hozzájuk tartozó ragasztóanyagok, mind pedig az alkalmazott szálak) bemutatására, általános jellemzőinek és viselkedésének elemzésére.

A vizsgálathoz egy korábbi, hasonló referencia vizsgálat [12] módszerét használtuk, hogy az eredmények összehasonlíthatóak legyenek. A próbatest geometriai kialakításánál ügyeltünk arra, hogy annak méretei tiszta húzó igénybevétel esetén ne legyenek hatással a tönkremenetel módjára, vagyis igyekeztünk elkerülni a próbatest felhasadásával járó tönkremenetelt. Ez egy esetet leszámítva sikerült is. További fontos szempont volt a próbatestek és a kísérlet kialakításánál, hogy a szakadókúp szabadon létrejöhessen. A szakadókúpok méretének és térfogatának vizsgálata nem képezte a TDK dolgozat részét, de meg kell állapítanunk, hogy szálerősítésű beton esetében nagyobb méretű szakadókúpok is létrejönnek, mint szálerősítés nélküli beton esetében, ezért a jövőbeli hasonló vizsgálatokhoz javasoljuk nagyobb méretű lezorító keret alkalmazását.

A kísérlet során három különböző rögzítőelem, egy vinilészter-hibrid ragasztós, egy kémiaileg különböző kötést használó epoxi alapú ragasztós, illetve egy FBN típusú mechanikus rögzítőelem vizsgálatát végeztük el műanyag - és acél szálerősítésű betonban, majd a kapott eredményeket összehasonlítottuk és kiértékeltek. A TDK munka során 110 liter betont kevertünk meg és a 18 kihúzó kísérlet elvégzése mellett nyomószilárdság-vizsgálatot, hajlító-húzószilárdság vizsgálatot, látszólagos porozitás vizsgálatot is végeztünk, valamint mindezen eredmények összehasonlítását is megtettük a szálerősítés nélküli beton értékeivel. A kísérletek során első sorban a szálerősítés hatását vizsgáltuk a kapcsolat teherbírására és a tönkremenetel módjára. A kapott eredmények erő-elmozdulás diagramjainak elemzése nem része a TDK dolgozatnak, de érdekes további kutatási területet jelenthet.

A kísérletsorozathból megállapítottuk, hogy a kezdeti feltételezésnek megfelelően a szálerősítésnek nagymértékű hatása van a teherbírásra és a tönkremeneteli módra egyaránt. Egyes esetekben 1 kg/m^3 acélszál hozzáadása közel 50%-os teherbírás-növekményt okozott aminek kihasználása az adagolás mennyiségének optimalizálása mellett az iparban komoly hasznot jelentene, amit jelenleg teljesen elhanyagolunk. Ugyanakkor nem minden esetben nőtt a teherbírás a szálak hozzáadásával, aminek a magyarázata a porozitás növekedésében keresendő. A szálerősítés alkalmas lehet a rideg tönkremenetel elkerülésére, mivel a maradó szilárdság megnő. Műanyag szálak és ragasztott kapcsolatok esetében a megnövekedett porozitást elsősorban a ragasztóanyag kiválasztásánál kell figyelembe venni.

Összességében megállapítható, hogy a szálerősítés hatása a rögzítőelemek viselkedésére jelentős, de nem minden esetben javítja egyértelműen a teherbírást, vagy változtatja előnyünkre a tönkremeneteli módot. Ezek vizsgálatára, valamint az előnyös tulajdonságok ipari felhasználásának lehetőségére további kutatások elvégzése szükséges.

8. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

Már a kutatási terület megfogalmazásánál is láttuk, hogy ez a téma túlmutat egy TDK dolgozat keretein, mégis szerettünk volna belevágni, és megtenni az első lépést egy nagyobb és átfogóbb kísérletalapú méretezési rendszer megalkotása felé. A kapott eredmények mellett azonban maradtak olyan mellékágak, illetve merültek fel olyan új kérdések, amiknek a vizsgálata, megválaszolása nem része ennek a dolgozatnak, de érdekes kutatási területek kapuit nyitják meg.

A meglévő mérési eredményeket megfelelő számú kísérlettel kiegészítve egy új méretezési rendszer fejleszthető ki a rögzítőelemekre, amely képes figyelembe venni a szálerősítés hatását, és ezzel gazdaságosabb és jobban kihasznált megoldásokhoz vezet.

A szálerősítésű beton viselkedését dinamikus teherre már vizsgálták, azonban a szálerősítésű betonban elhelyezett rögzítőelemek viselkedéséről dinamikus teher hatására, (8.1 ábra) nem született még kutatás.

A dinamikus teher mellett a tűzterherre való reagálása is érdekes lehet az ilyen kialakítású rögzítéseknek. Ennek a vizsgálata önmagában egy új területet nyitna meg a rögzítéstechnikában.

A további teher típusok mellett a kapott kísérleti eredményekből, és további kísérletek eredményéből létrehozható lenne egy véges elemes modell, amely más rögzítési mélységeket és rögzítőelemeket is képes lenne vizsgálni.

Összefoglalva tehát az új és részben új kutatási irányok adottak, és a mi felelőségünk, hogy ezekből az irányokból mielőbb hasznos és értékes eredmények szülessenek!



8.1 ábra: Kutatási lehetőség a szálerősítésű betonokban alkalmazott rögzítőelemek viselkedése dinamikus terhelés esetén például sínleerősítésekénél (www17)

9. ABSTRACT IN ENGLISH

EFFECT OF FIBRE REINFORCEMENT ON THE BEHAVIOUR OF POST-INSTALLED INSTALLATIONS

Bence *Marosi* / Éva *Lublóy*¹ / Viktor *Hlavička*¹ / Szabolcs *Kovács-Sebestény*²

¹ Department of Construction Materials and Engineering Geology, Budapest University of Technology and Economics, Hungary

² Fischer Hungária Bt., Hungary

Abstract

The topic of this dissertation covers the fields of both fibre reinforced concrete and fixing systems. We examined three kinds of anchors making pull-out tests with polypropylene and steel fibre reinforced concrete and compared the results with the reference numbers of non-fibre reinforced tests. During our research we were looking for how different kinds of fibre reinforcements change the behaviour of steel and concrete connections.

At first we declared our goals. On the short-term we want to prove the positive effects of fibre reinforcements onto the carrying capacity of post-installed installation. The long-term goal is to create an anchor-calibration system that also considers the impact of these reinforcements.

Our work had three main parts. At the beginning we had to look through the literature of previous researches in the topics of fibre reinforcements (areas of use, different types, mechanical properties) and anchors (different designs, load transfer attributes, ways of failure).

After that we needed tests in the laboratory. We did a lot of strength tests and examined the carrying capacity of the connections and the ways of failure.

The results collectively showed that fibre reinforcement has a deep impact on vinylester, on epoxy and on mechanical connections as well. The increase in strength nearly reached 50% in one case.

Lastly we want to bring the attention to the possibilities of this topic and highlight some other research fields with which we can improve the current methods used by our society and help it develop even more.

Keywords

post-installed installations, pull-out test, concrete, strength properties, fibre reinforcement

Corresponding author: Bence MAROSI, bence.marosi@gmail.com +36 30 936 9290

Szerző: Marosi Bence

Konzulensek: Dr. Lublóy Éva, Hlavička Viktor, Kovács-Sebestény Szabolcs

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm **Dr. Majorosné Dr. Lublós Éva Eszter** adjunktusnak **Hlavička Viktor** PhD hallgatónak, és **Kovács-Sebestény Szabolcs** úrnak a segítséget és az útmutató szakmai tanácsokat, akik példátlan támogatással és idejüket nem kímélve álltak folyamatosan a rendelkezésemre a TDK dolgozat elkészítése során.

Külön köszönöm **Dr. Salem Georges Nehme** docens úrnak az alkalmazott betonreceptúra összeállítását és az Építőanyagok Laboratóriumban található összes szükséges berendezés használatának lehetőségét.

Köszönöm a **Fischer Hungária Bt.**-nek, hogy vizsgálataimhoz biztosították a ragasztóanyagokat, illetve a mechanikus rögzítőelemeket.

A laboratóriumi vizsgálatokban nyújtott segítségéért hálás köszönet **Eipl András**nak és **Takács Krisztián**nak, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Laboratórium munkatársainak.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm a családomnak, hozzátartozóimnak és barátaimnak kitartó támogatásukat és biztatásukat.

A Szerző

11. FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- [1] Balázs Gy.: „Építőanyagok II.” (2004)
http://www.epito.bme.hu/eat/oktatas/feltoltesek/BMEEOEMAS04/blgy-hefop-epitoanyagok_ii_-_1_kotet.pdf (letöltés időpontja: 2014. 04. 10.)
- [2] Ali M.: „Seismic performance of coconut-fibre-reinforced-concrete columns with different reinforcement configurations of coconut-fibre ropes”, *Construction and Building Materials* 70 (2014) pp. 226-230.
- [3] Joung-Man P. et al.: „Effects of carbon nanotubes and carbon fiber reinforcements on thermal conductivity and ablation properties of carbon/phenolic composites”, *Composites: Part B* 67 (2014) pp. 22-29.
- [4] Lazaros T. et al.: „High performance natural rubber composites with a hierarchical reinforcement structure of carbon nanotube modified natural fibers”, *Materials and Design* 58 (2014) pp. 1-11.
- [5] Hamidi A., Hooresfand M.: „Effect of fiber reinforcement on triaxial shear behavior of cement treated sand”, *Geotextiles and Geomembranes* 36 (2013) pp. 1-9.
- [6] Foti D.: „Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete”, *Composite Structures* 96 (2013) pp. 396-404.
- [7] Jisun C., Goangseup Z., Shinichi H. Kohei Y., Soye K.: „Influence of fiber reinforcement on strength and toughness of all lightweight concrete”, *Construction and Building Materials* 69 (2014) pp. 381-389.
- [8] García-Taengua E., Martí-Vargas J. R., Serna P.: „Splitting of concrete cover in steel fiber reinforced concrete: Semi-empirical modeling and minimum confinement requirements”, *Construction and Building Materials* 66 (2014), pp. 743-751.
- [9] Csorba G.: „Acél- és műanyagszál-erősítéses betonok”
<http://www.kera.hu/Data/csemegek/Acelszal.%20m%20FBsz%E11%20er%20F5s%20EDt%E9s%20FB%20betonok.pdf> (letöltés időpontja: 2014. 08. 25.)
- [10] Kausay T.: „Szálerősítésű beton” <http://www.betonopus.hu/szakmernoki/172-szalerositesu-beton.pdf> (letöltés időpontja: 2014. 04. 09.)
- [11] Kausay T.: „Szálerősítésű betonok szabványosított vizsgálatai és néhány tulajdonsága” <http://www.betonopus.hu/notesz/szalerositesu/szalerositesu.pdf> (letöltés időpontja: 2014. 04. 09.)
- [12] Hlavička V.: „Rögzítőelemek laboratóriumi és numerikus vizsgálata” MSc Diplomamunka, BME (2014)

- [13] Termékkatalógus 2009, Fischer Hungary Bt., Palatia Nyomda és Kiadó Kft., Győr, 2009, ISBN: 99991
- [14] Eligehausen R., Hofacker I., Lettow S.: „Fastening technique – current status and future trends” (2001), International Symposium on Connections between Steel and Concrete, Volume One, Stuttgart, Germany, pp. 11-27.
- [15] Eligehausen R., Mallée R., Silvia J. F.: „Anchorage in Concrete Construction” (2006) Ernst&Sohn 2006, ISBN-13 978-433-01143-0
- [16] Technical Handbook International, fischerwerke GmbH., Germany, 2010, pp. 13-19., pp. 172-186.
- [17] Balázs Gy., Józsa Zs., Liptay A.: „Ragasztott és terpesztett csapos kapcsolat.” MAGYAR ÉPÍTŐIPAR XXV.: (6-7.) pp. 374-393. (1976)
- [18] fib MODEL CODE 2010, „Concrete to steel”, Volume One, pp. 282-285.
- [19] Simon I., Eligehausen R., Kirtzakis V.: „Behaviour of Post-Installed Rebars in Uncracked and Cracked Concrete” (2005), Keep Concrete Attractive, Hungarian Group of fib, 23-25 Mai, 2005, Budapest, pp. 669-674.
- [20] Nemes R.: „Expansion and Bonded Anchors in Expanded Clay Aggregate Concrete” (2007), Proceeding of 2nd International Symposium on Connections between Steel and Concrete, Stuttgart, 2007. 09. 04-05. pp. 955-962. ISBN: 978-963-420-923-2
- [21] Hlavička V.: „Porozitás hatása ragasztott rögzítőelemek teherbírására” (2013), BME Építőmérnöki Kar, TDK Konferencia, Építőanyagok és magasépítés szekció TDK
- [22] Nemes R., Lublós É.: „Application of anchors under special concrete conditions” (2011), PERIODICA POLYTECHNIKA – Civil engineering 55/1, 2011, pp. 73-79., ISSN 1587-3773, <http://www.pp.bme.hu/ci/article/view/475> (letöltés időpontja: 2013. 10. 10.)
- [23] Eligehausen R., Fuchs W., Sippel T.: „Anchorage to Concrete”, TARTOK 2000 (Budapest, 2000), pp. 261-270., ISBN 963-420-640-9
- [24] Kollár L. P., Springer G. S.: „Mechanics of composite structures” (2003), Cambridge University Press, [http://www.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=ULyl6XIyWt8C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Koll%C3%A1r,+L.P.,+Springer+G.S.+\(2003\)+%22Mechanics+of+composite+structures%22+Cambridge+University+Press&ots=fuKJz-5Gy&sig=ZjCPY5aDmdwMhoZU4a16M_G0Px4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](http://www.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=ULyl6XIyWt8C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Koll%C3%A1r,+L.P.,+Springer+G.S.+(2003)+%22Mechanics+of+composite+structures%22+Cambridge+University+Press&ots=fuKJz-5Gy&sig=ZjCPY5aDmdwMhoZU4a16M_G0Px4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) (letöltés időpontja: 2014. 08. 25.)

- [25] Anastasiou E. K., Papayianni I., Papachristoforou M.: „Behaviour of self compacting concrete containing ladle furnace slag and steel fiber reinforcement”, *Materials and Design* 59 (2014) pp. 454-460.
- [26] Maidl B. R.: „Steel Fibre Reinforced Concrete” (1995), Ernst & Sohn, ISBN 978-3433012888
- [27] Juhász P., Mészáros A.: „Szintetikus szálerősítésű betonok” (2013), http://www.fiberguru.hu/letoltesek/eloadas_Uvaterv_email.pdf (letöltés időpontja: 2014. 08. 25.)
- [28] Juhász P., Nagy J.: „Fű-szál-erősítés”, *Mérnök újság* 2011. december <http://www.fiberguru.hu/letoltesek/Szegedi%20villamosp%C3%A1lya%20M%C3%A9rn%C3%B6k%C3%BAjs%C3%A1g.pdf> (letöltés időpontja: 2014. 10. 01.)
- [29] Polgár L.: „Kihívások sorozata a debreceni stadion építésében”, *Magyar Építéstechnika*, 2013. 4-5 <http://www.magyarepitestechnika.hu/index.php/2013-4-5/977-kihivasok-sorozata-a-debreceni-stadion-epiteseben#&panel1-3&panel2-2> (letöltés időpontja: 2014. 08. 25.)
- [30] Fiberguru Kft. referenciái, <http://fiberguru.hu/referenciak/> (letöltés időpontja: 2014. 09. 29.)
- [31] A megszilárdult beton vizsgálata – A próbatestek nyomószilárdsága MSZ EN 12390:2009 szabvány
- [32] Kausay T.: „Beton nyomószilárdságának megfelelése és elfogadása (2007)” <http://www.betonopus.hu/szakmernoki/130-betonmegfeleloseg.pdf> (letöltés időpontja: 2013. 10. 10.)
- [33] Kausay T.: „Víztartalom, vízfelvétel, látszólagos porozitás”, <http://www.betonopus.hu/notesz/viztartalom.pdf> (letöltés időpontja: 2013. 10. 10.)
- [34] Adalékszerek betonokhoz, habarcsokhoz és injektálóhabarcsokhoz, MSZ EN 934-2:1999

Képhivatkozások

www1

<http://www.americantimbertruss.com/timber-truss-images/>

(letöltés időpontja: 2014. 08. 27.)

www2

<http://okbridges.wkinsler.com/verdigrisbridge4.html>

(letöltés időpontja: 2014. 09. 29.)

www3

<http://blogs.reuters.com/great-debate/files/2014/04/lg-pipeline-tubes.jpg>

(letöltés időpontja: 2014. 08. 27.)

www4

<http://www.structurearchives.org/images/1107-is-1.gif>

(letöltés időpontja: 2014. 08. 27.)

www5

<http://www.fischer.de/Home/Produkte/Produktkategorie.aspx/cpage-productdetails/pcategory-1001000802/product-508014/usetemplate-productdetails/>

(letöltés időpontja: 2014. 09. 15.)

www6

http://www.concretedecormagazine.com/images/Feature_Photos/CD907/Technology.jpg

(letöltés időpontja: 2014. 08. 15.)

www7

<http://static.panoramio.com/photos/original/11435929.jpg>

(letöltés időpontja: 2014. 08. 16.)

www8

<http://www.hccomposite.com/catalog/53/2110.html>

(letöltés időpontja: 2014. 08. 16.)

www9

<http://www.chircuprodimpex.com/products/steel-fibers-for-concrete-reinforcement/steel-fibers-for-concrete-reinforcement.htm>

(letöltés időpontja: 2014. 08. 20.)

www10

<http://www.chircuprodimpex.com/images/sf-2.jpg>

(letöltés időpontja: 2014. 10. 02.)

<http://www.google.hu/imgres?imgurl=http://media.ibud.ua/image/slider/2014/03/13/big/13946973463->[1.jpg&imgrefurl=http://fibratech.ibud.ua/&h=260&w=740&tbnid=quDh8YvxjKpPqM&zoom=1&tbnh=133&tbnw=379&usq=__fdW57Pn86SqcBcEV-FmHwJyOlKw=](http://www.google.hu/imgres?imgurl=http://media.ibud.ua/image/slider/2014/03/13/big/13946973463-1.jpg&imgrefurl=http://fibratech.ibud.ua/&h=260&w=740&tbnid=quDh8YvxjKpPqM&zoom=1&tbnh=133&tbnw=379&usq=__fdW57Pn86SqcBcEV-FmHwJyOlKw=)

(letöltés időpontja: 2014. 10. 02.)

<http://image.made-in-china.com/4f0j00bBvQORtfqTWI/Steel-Fiber-End-Hook-For-Concrete.jpg>

(letöltés időpontja: 2014. 10. 02.)

www11

<http://image.made-in-china.com/43f34j00QeaTmiOsZJgz/Product-List-of-PP-Polyester-Polypropylene-PP-Pet-Polyvinyl-Alcohol-PVA-Fiber.jpg>

(letöltés időpontja: 2014. 10. 05.)

<http://www.justconcrete.in/index.php?itemID=21482>

(letöltés időpontja: 2014. 10. 05.)

www12

<http://www.yyildiz.com/wp-content/uploads/2011/05/fiber-donat%C4%B1.jpg>

(letöltés időpontja: 2014. 09. 27.)

www13

<http://www.cogriasia.com/nominal-steel-fibre-construction/nominal-steel-fibre-reinforced-jointed.aspx>

(letöltés időpontja: 2014. 08. 27.)

www14

http://varosban.blog.hu/2014/08/28/nagyon_meno_lett_a_3-as_villamos_fuvesített_palyaja#gallery-1409212071_5

(letöltés időpontja: 2014. 08. 27.)

www15

http://www.fischerhungary.hu/PortalData/14/Resources/fixingsystems/documents/vegyi_rogzites/FIS_V.pdf

(letöltés időpontja: 2014. 10. 12.)

www16

<http://fischerdubel.hu/fis-em-390-s-injektalo-ragaszto-fischer.html>

(letöltés időpontja: 2014. 10. 12.)

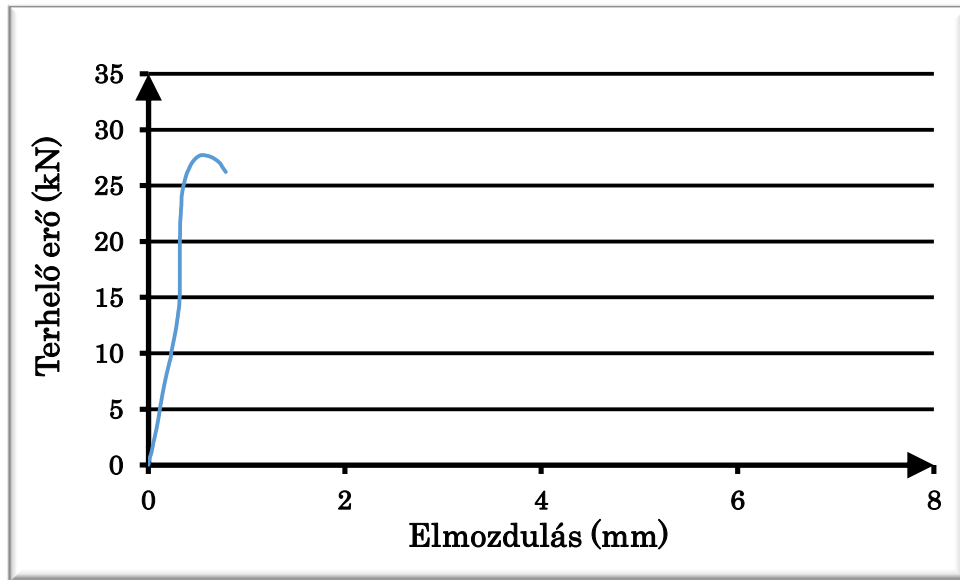
www17

<http://www.psgfastener.com/images/gallery/ConcreteAnchoringSolutions.jpg>

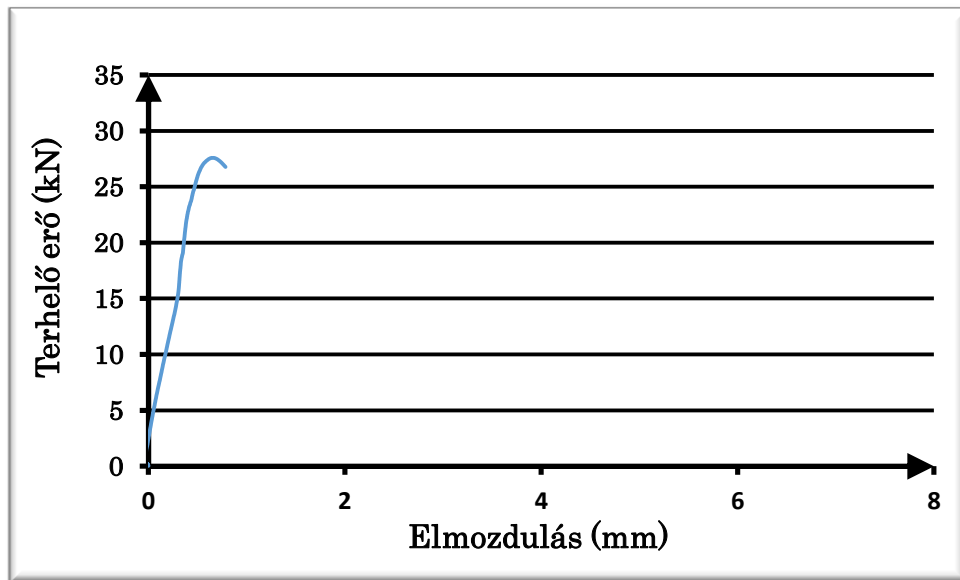
(letöltés időpontja: 2014. 10. 15.)

MELLÉKLET

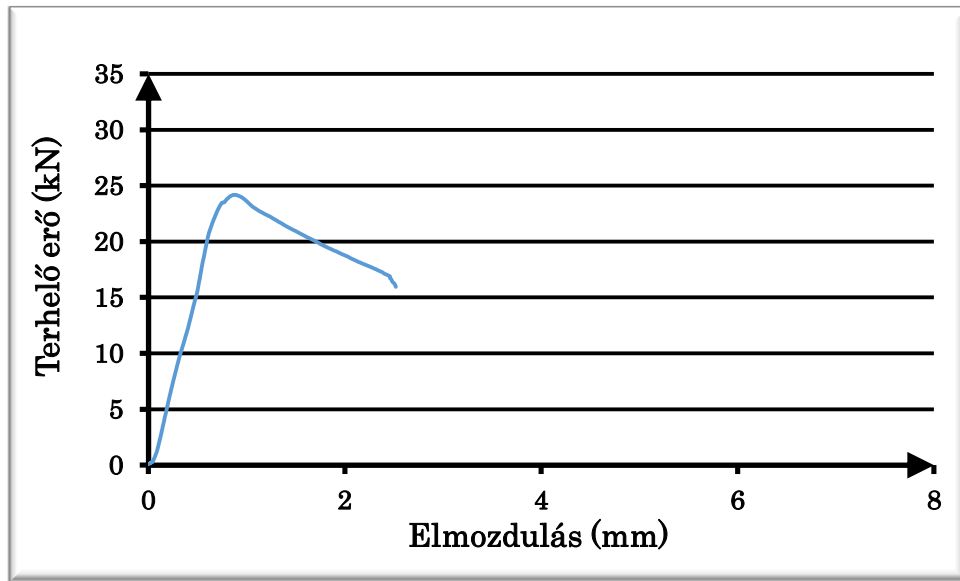
A *Mellékletben* a kihúzókísérlet eredményeinek erő-elmozdulás diagramjai kerülnek feltüntetésre a próbatestek száma alapján.



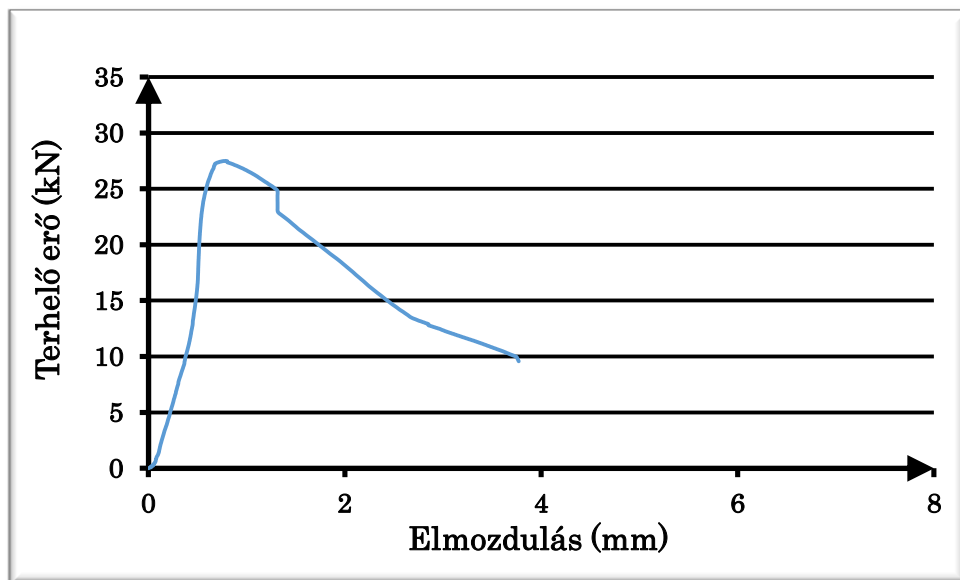
1-es számú acél szálerősítésű próbatest (vinilészter-hibrid ragasztás)



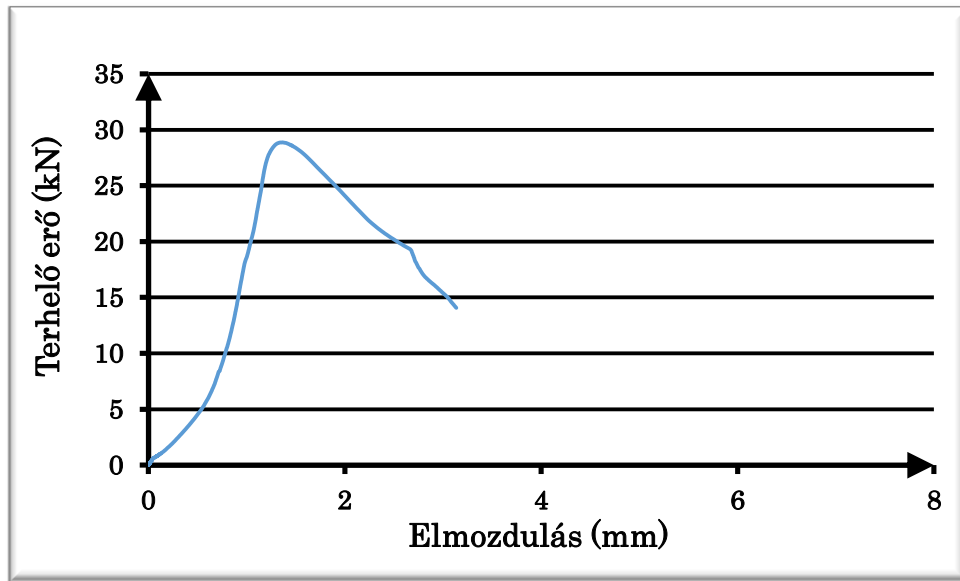
2-es számú acél szálerősítésű próbatest (vinilészter-hibrid ragasztás)



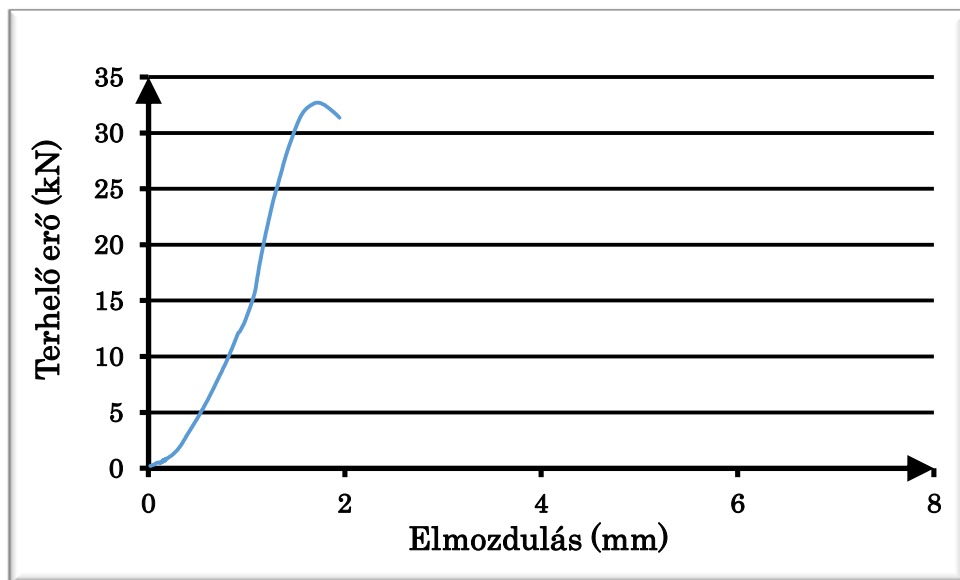
3-as számú acél szálerősítésű próbatest (vinilészter-hibrid ragasztás)



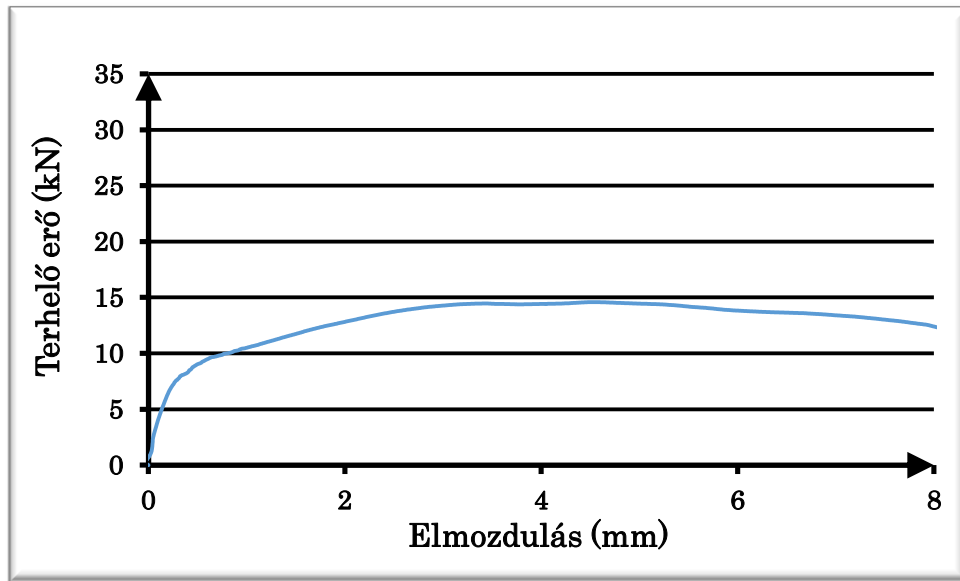
4-es számú acél szálerősítésű próbatest (epoxi ragasztás)



5-ös számú acél szálerősítésű próbatest (epoxi ragasztás)

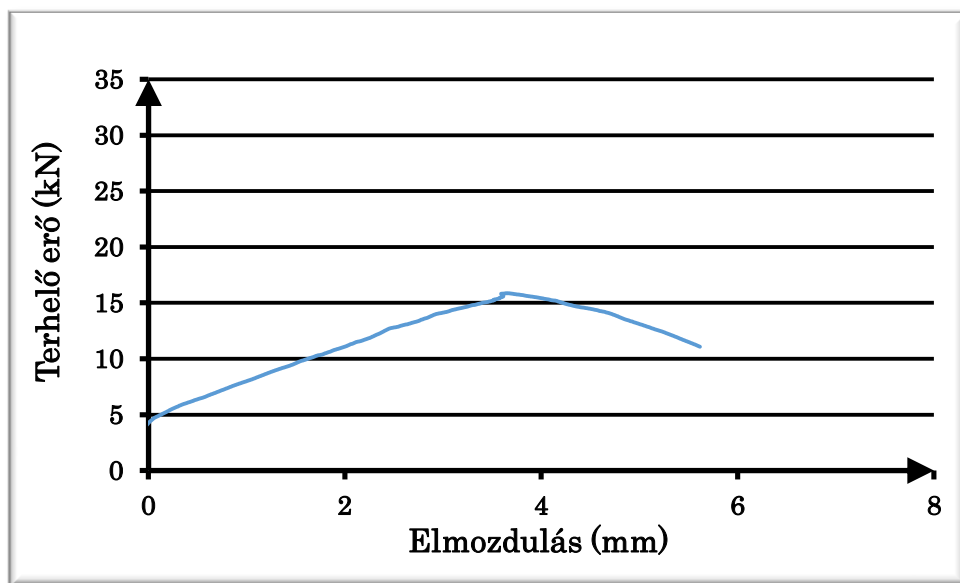


6-os számú acél szálerősítésű próbatest (epoxi ragasztás)

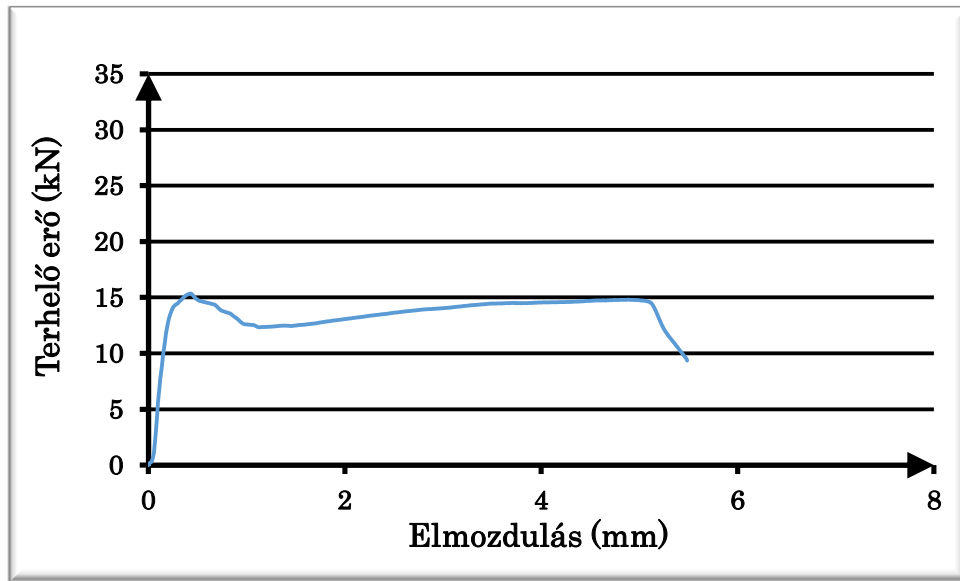


7-es számú acél szálerősítésű próbatest (FBN mechanikus kapcsolat)

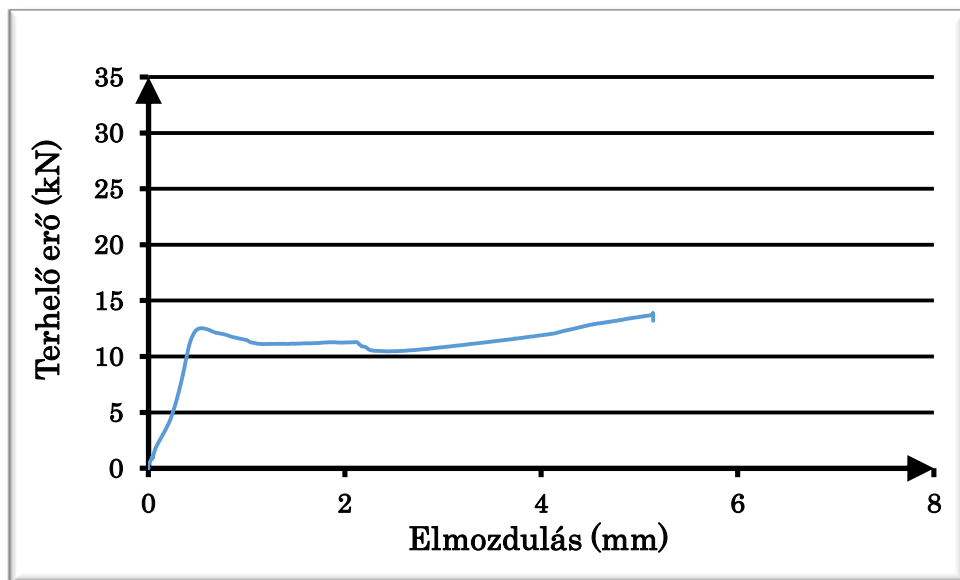
A 8-as számú acél szálerősítésű próbatest eredményei mérési hiba miatt nem használhatók



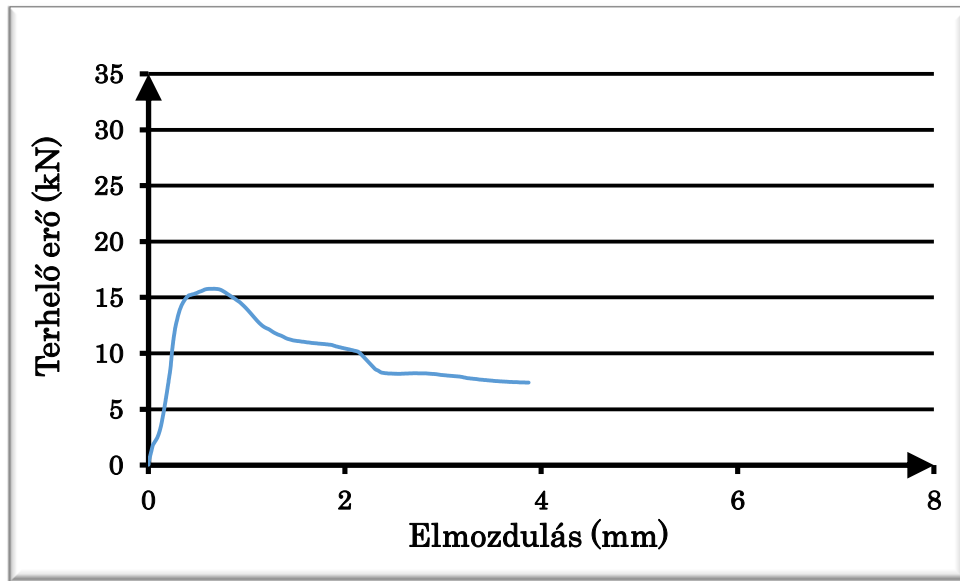
9-es számú acél szálerősítésű próbatest (FBN mechanikus kapcsolat)



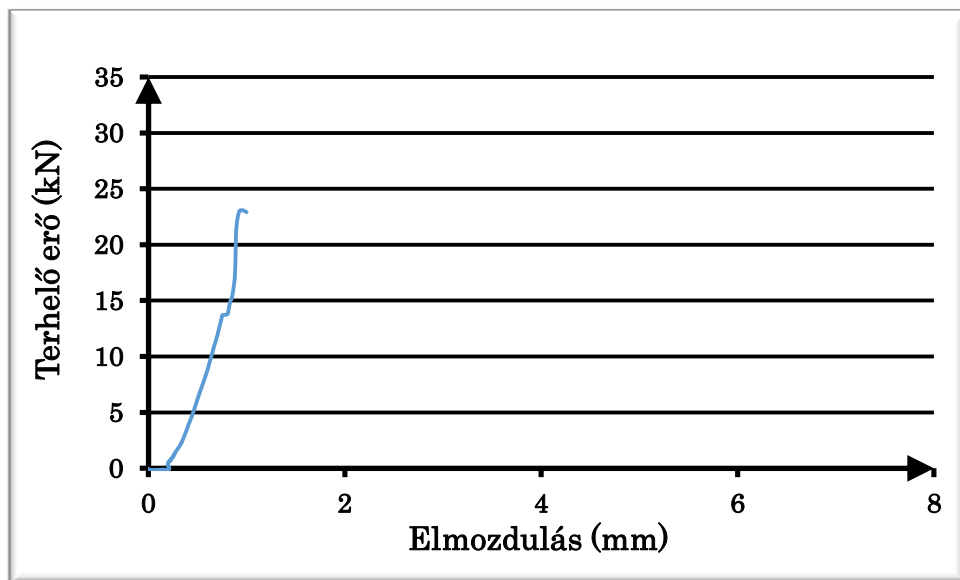
1-es számú műanyag szálerősítésű próbatest (vinilészter-hibrid ragasztás)



2-es számú műanyag szálerősítésű próbatest (vinilészter-hibrid ragasztás)

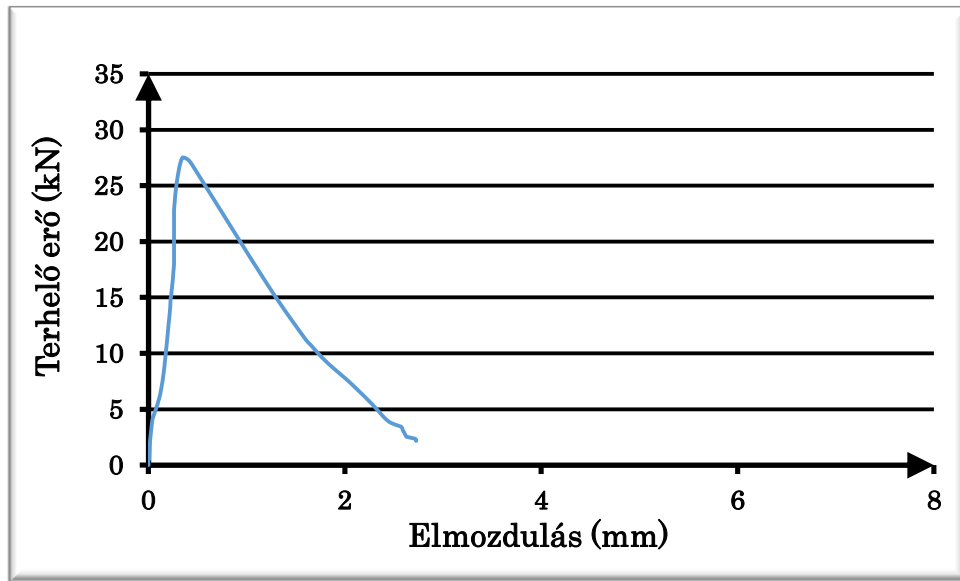


3-as számú műanyag szálerősítésű próbatest (vinilészter-hibrid ragasztás)

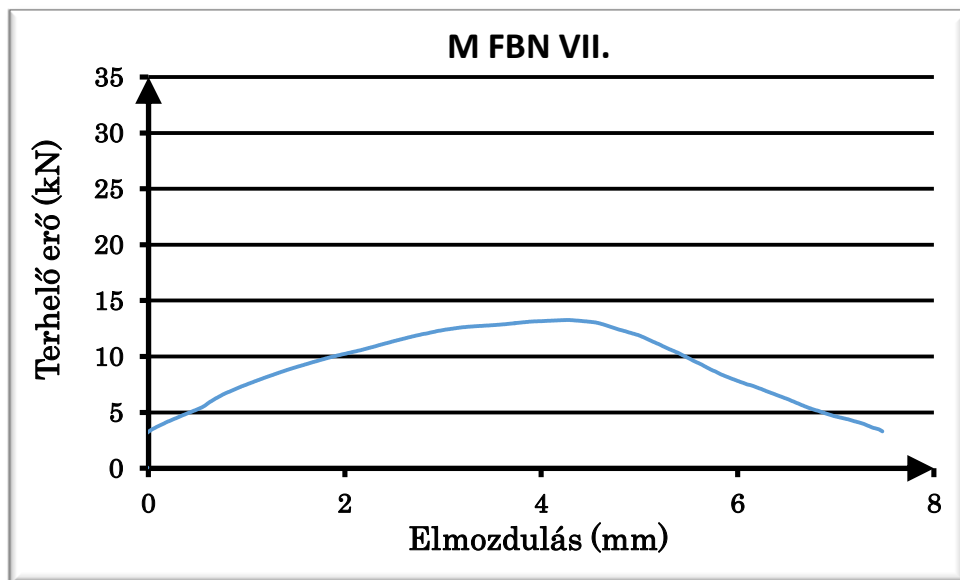


4-es számú műanyag szálerősítésű próbatest (epoxi ragasztás)

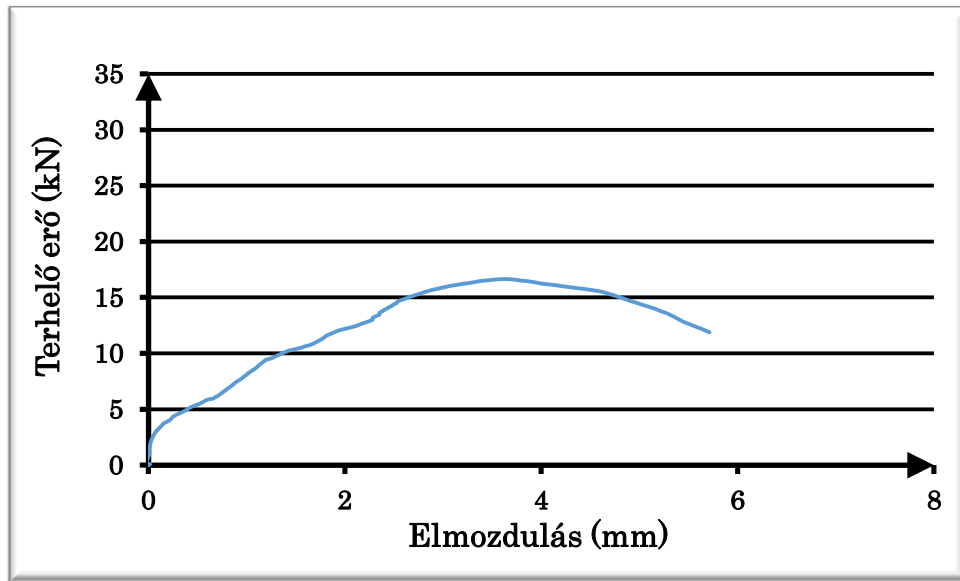
Az 5-ös számú műanyag szálerősítésű próbatest eredményei mérési hiba miatt nem használhatók



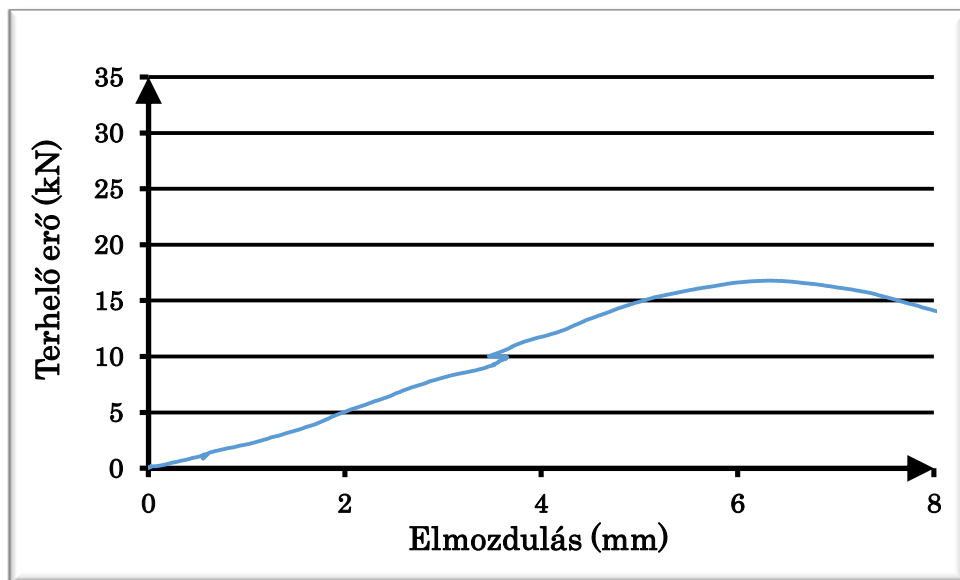
6-os számú műanyag szálerősítésű próbatest (epoxi ragasztás)



7-es számú műanyag szálerősítésű próbatest (FBN mechanikus kapcsolat)



8-as számú műanyag szálerősítésű próbatest (FBN mechanikus kapcsolat)



9-es számú műanyag szálerősítésű próbatest (FBN mechanikus kapcsolat)