

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Építőmérnöki Kar

Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

POROZITÁS HATÁSA A RAGASZTOTT RÖGZÍTŐELEM TEKTERBÍRÁSÁRA



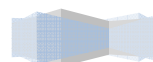
Hlavička Viktor

Konzulensek:

Majorosné Dr. Lubláy Éva egyetemi adjunktus

Kovács-Sebestény Szabolcs műszaki osztályvezető, FISCHER Hungária Bt.

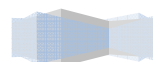
Budapest, 2014. április 3.



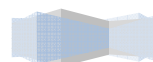
TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS ÉS PROBLÉMAFELVETÉS	6
2.	CÉLOK MEGFOGALMAZÁSA	7
3.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	7
3.1	A rögzítőelemek építőiparbeli felhasználása.....	7
3.2	Rögzítőelemek igénybevételei és erőátadási módjai.....	8
3.3	Ragasztott kapcsolatok tönkremeneteli módjai.....	10
3.3.1	Kihúzódasós tönkremenetel	10
3.3.2	Szakadókúpos tönkremenetel.....	11
3.3.3	Az acél menetes szár szakadása.....	12
3.3.4	A próbatest felhasadása.....	13
3.4	Tervezéshez használt számítási modellek és a próbatest geometriai követelményei.....	14
3.4.1	Közelítő számítási modell.....	14
3.4.2	A próbatestek geometriai követelményei.....	19
3.5	Rögzítőelemek szakszerű installálása	20
3.6	Ragasztott rögzítések mechanikája	21
3.6.1	Ragasztott kapcsolatok erőátadása.....	21
3.6.2	Furattisztítás hatása a teherbírásra	21
3.7	Betonok porozitása.....	23
4.	FELHASZNÁLT ANYAGOK	24
4.1	Beton	24
4.1.1	Betonreceptúrák	24
4.1.2	Betonkeverés, próbatestek kialakítása	26
4.2	Választott rögzítőelemek.....	26
5.	VIZSGÁLATI MÓDSZEREK	28
5.1	Roncsolásmentes vizsgálatok.....	28
5.1.1	Látszólagos porozitás vizsgálat.....	28
5.1.2	Nyomószilárdság becslése Schmidt-kalapáccsal	29

5.2	Roncsolásos vizsgálatok.....	29
5.2.1	Nyomószilárdság vizsgálat	29
5.2.2	Hajlító-húzószilárdság vizsgálat	30
5.3	Kihúzó kísérlet összeállítása	31
5.3.1	A terhelő gép.....	31
5.3.2	Mérési összeállítás	31
6.	VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS CÉLOK ÖSSZEFOGLALÁSA	34
6.1	Vizsgálatok és célkitűzések.....	34
6.2	Laboratóriumi vizsgálatok mátrixa	35
6.3	Kihúzóvizsgálatok kísérleti mátrixa.....	35
7.	KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK.....	36
7.1	Próbatesteken elvégzett anyagvizsgálati mérések eredményei	36
7.1.1	Roncsolásmentes nyomószilárdsági eredmények.....	36
7.1.2.	Roncsolásos nyomószilárdsági eredmények.....	38
7.1.3.	Hajlító húzószilárdsági eredmények	39
7.1.4	Látszólagos porozitás eredmények	40
7.2	Kihúzóvizsgálatok eredményei	41
7.2.1	Kihúzókísérletek erő-elmozdulás görbéi	42
7.2.2	Kihúzókísérlet eredményeinek összegzése	46
8.	EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE	48
8.1	Szakadókúp kialakulása	48
8.2	A jellemző tönkremeneteli módokhoz tartozó görbék értelmezése	51
8.2.1	Az acél mentes szár szakadása.....	51
8.2.2	Teljes szakadókúp	52
8.2.3	Részleges szakadókúp.....	53
8.3	Nyomószilárdság – Kritikus erő összefüggések.....	54
8.3.1	Vinilészter-hibrid ragasztó.....	54
8.3.2	Epoxi ragasztó.....	54
8.4	Hajlító-húzószilárdság – Kritikus erő összefüggések	55



8.4.1	Vinilészter-hibrid ragasztó.....	55
8.4.2	Epoxi ragasztó.....	55
8.5	Porozitás – Kritikus erő összefüggések.....	56
8.5.1	Vinilészter-hibrid ragasztó.....	56
8.5.2	Epoxi ragasztó.....	56
9.	ÖSSZEGZÉS ÉS MEGÁLLAPÍTÁSOK	57
10.	TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK	58
11.	FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM	59



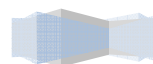
1. BEVEZETÉS ÉS PROBLÉMAFELVETÉS

A rögzítéstechnika fejlődése folyamatosan új irányokat jelöl ki. A világ számos táján tematikus konferenciákon kerülnek bemutatásra az új fejlesztések, az iparban felmerülő bizonytalanságokra készített megoldások és a legextrémebb körülmények között lefuttatott tesztek eredményei. A beton és acél kapcsolatok különleges és rendkívüli körülményeinek feltárása széles körben foglalkoztatja, mind a gyakorló, mind a kutató mérnököket, mert a tervezői felelősség egy rögzítési rendszer esetén is legalább olyan nagy, mint egy földém, gerenda vagy egyéb tartószerkezet tervezése esetén.

Minden rögzítéstechnikai terméket gyártó cég felelősséget vállal a saját termékeikért. Az elkészült termékekről minőségi tanúsítvánnyal rendelkeznek. A felelősség azonban nem csak a gyártókat, hanem a tervező mérnököt is terheli. Ezért a gyártók különböző tervezési segédletekkel járulnak hozzá a megfelelő kapcsolatok kiválasztásához, kialakításához, és teherbírásának számításához.

A tervezési segédletek a kapcsolat teherbírásának nagyságát egyedül a fogadóanyag (beton) nyomószilárdságára vezetik vissza. A teherbírást azonban több tényező is befolyásolja. Ezeket a hatásokat a segédletek vagy visszavezetik a nyomószilárdságra, mint a mértékadó hatásra betonok esetén, vagy elhanyagolják a biztonság javára, ami az esetek nagy részében jelentős túlméretezéshez vezet.

Az egyik ilyen befolyásoló tényező ragasztott kapcsolatok esetében a porozitás, ami betonok mellett, például a terméskövek esetében akár a nyomószilárdságnál is meghatározóbb lehet.



2. CÉLOK MEGFOGALMAZÁSA

Egy 2011-ben elkészült méréssorozat és TDK munka keretein belül 3 féle rögzítőelem teherbírását hasonlítottunk össze betonok illetve terméskövek esetén. A mérés során a nyomószilárdság mellett több jellemzőt is vizsgáltunk, hogy minél több befolyásoló tényező alapján történjen az összehasonlítás. Az eredményekből látható volt, hogy a terméskövek esetén a porozitásnak jelentős hatása lehet a ragasztott rögzítőelemek teherbírására [1].

Jelenlegi munkámban egy újabb méréssorozatot állítottam össze, melynek célja a porozitás hatásának aprólékosabb körüljárása volt. A vizsgálat során közel azonos nyomószilárdságú, de eltérő porozitású beton próbatestekbe kétféle ragasztóval rögzített kapcsolat teherbírásait hasonlítottam össze. Összesen 40 darab kihúzókísérlet készült. Ezzel egyidejűleg a beton fogadóanyagon különböző roncsolásos, és roncsolásmentes vizsgálatot végeztem. Különös figyelmet fordítottam a kétféle ragasztónál kialakuló szakadókúpok közti eltérések vizsgálatára.

3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 A rögzítőelemek építőiparbeli felhasználása

Napjainkban a rögzítéstechnika hatalmas fejlődésen megy keresztül. Egyre nagyobbak az elvárások, mind a teherbírás, mind az igényes és esztétikus kialakítások terén. Mindezen követelményeket a gyártóknak a legkülönbözőbb fogadóanyagok esetén kell garantálniuk, úgy mint kisméretű tömörtégla, beton, vázkerámia, YTONG téglák, vagy üveg esetén. Meg kell felelniük, hogy feleljenek a legújabb európai szabványok által előírt terheléseknek, így akár a tűz, vagy a földrengés tehernek is. Mindezek mellett az installálásnak egyszerűnek és gyorsnak kell lennie, hogy minél jobban alkalmazkodjon az építkezések üteméhez. A 3.1. ábrán a Berlini főpályaudvar egyik oszlopa látható. Az oszlop egy olyan lemezt támaszt alá, amelyen vasúti vágányok helyezkednek el. Így az acél oszlopot a beton lemezzel összekötő csavarok jelentős dinamikus terhelésnek is kitéttek.



3.1. ábra – Berlin, Hauptbahnhof

A 3.2. ábrán egy stilizált épület látható, amelyen a különböző építőipari rögzítéstechnikai megoldásokat foglalták össze:



3.2. ábra – Rögzítési rendszerek felhasználási területei [2]

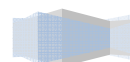
A 3.2. ábrán látható különböző felhasználási lehetőségek:

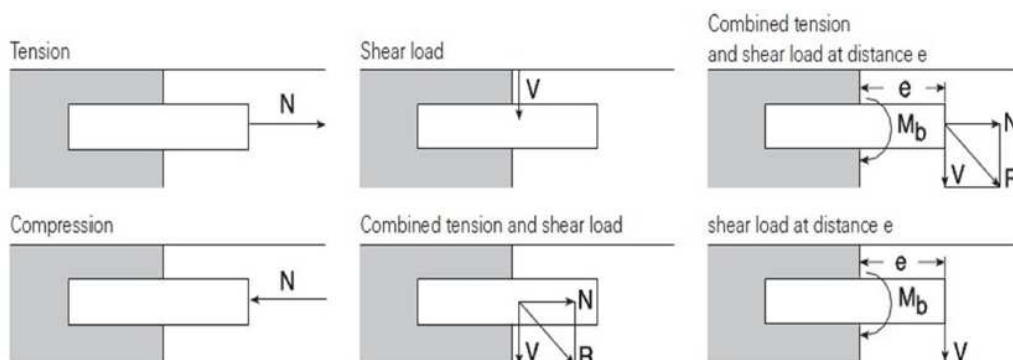
1. Ablakrögzítések ; 2. Ablak és ajtótok rögzítések; 3. Világítási csövek rögzítése; 4. Elektromos rögzítések; 5. Lépcsőrögzítések; 6. Erkély és korlátrögzítések; 7. Könnyűszerkezetek (fa) rögzítése homlokzaton; 8. Hűtés, fűtés és épületgépészeti rögzítések; 9. Burkolathorog rögzítés; 10. Fürdőszobai 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. Légcsatorna vezetékek 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

3.2 Rögzítőelemek igénybevételei és erőátadási módjai

A rögzítőelemekre ható igénybevételeket a következő féle módon csoportosíthatjuk [3] (3.3. ábra):

- tiszta húzás (a mérés során csak ez az eset vizsgálva)
- nyomás
- nyírás
- hajlítás
- interakciók (húzás-nyírás, húzás-hajlítás)

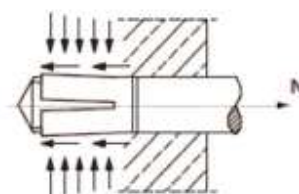




3.3. ábra – Igénybevételek [3]

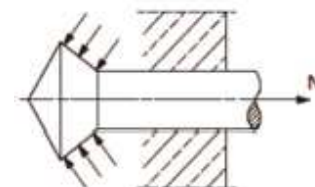
A fenn említett igénybevételeket a rögzítőelemek az alábbi módon közvetíthetik a fogadó anyagnak [3](3.4. ábra):

Súrlódásos zárás (terpesztés): Az elem rögzítésekor (lehet elmozdulás, vagy nyomaték kontrollált) nagy laterális irányú erő keletkezik, ami a rögzítőelem szoknyája és a furat fala közti súrlódási ellenállást nagymértékben növeli. A rögzítőelem szoknyája megfelelő csavarónyomaték vagy beütés hatására szétnyílik, nekifeszül a furat falának, így hozva létre a fenn említett ellenállást a húzóerő felvételére (3.4 a. ábra). A szükséges nyomaték nagysága a dübel típusától függ.



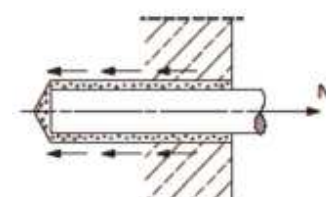
3.4 a. – Súrlódásos zárás [3]

Formazárás (alakzárás): A kapcsolat kialakításához speciális fúrófej szükséges, ami előkészít egy üreget a furat végén a dübel számára. A rögzítőelem behelyezése után a dübel vége szétnyílik és nekifeszül az üreg falának, így adva át az igénybevételeket (3.4 b. ábra).

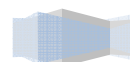


3.4 b. – Formazárás [3]

Anyagzárás (ragasztás): A ragasztó beszívárog a fogadóanyagba és a menetes szár menetei közé. Így terheléskor a ragasztóban keletkezik nyíró igénybevétel. Rögzítéskor a szár átmérőjénél nagyobb furatot kell létrehozni, hogy a ragasztó teljesen körbe tudja zárni a menetes szárat és, hogy a furat egész felületén létrejöjjön a beszívárgás a fogadó anyagba (3.4 c. ábra).



3.4 c. – Anyagzárás [3]



3.3 Ragasztott kapcsolatok tönkremeneteli módjai

Mivel mérésem során csak ragasztott kapcsolatokkal foglalkoztam ezért, a mechanikus kapcsolatok nem, csak a ragasztott kapcsolatoknál létrejövő tönkremeneteli módok kerülnek felsorolásra.

3.3.1 Kihúzódasos tönkremenetel

Ragasztó elnyíródás (3.5. ábra): Ragasztott kapcsolatoknál a menetes szár és a fogadóanyag között a ragasztó végzi az erőátvitelt. Ekkor a ragasztóban nyíró igénybevétel lép fel. Ettől az igénybevételtől bizonyos esetekben a ragasztó a teljes felülete mentén elnyíródhat és így a menetes szár

kihúzódik.

Tapadószilárdság kimerülése (3.6. ábra): Húzási igénybevétel esetén a ragasztó a fogadóanyagban a köztük fellépő tapadási szilárdság révén adja át az erőt. Ha ez a tapadószilárdság nem elég nagy ahhoz, hogy felvegye a húzásból átadódó igénybevételt, akkor a tapadószilárdság kimerül és a menetes szár kihúzódik. Ennek oka az lehet, hogy a furatlyukban por marad benn, ami megakadályozza a ragasztó beszívargását a fogadóanyagba.

Részleges elnyíródás (3.7 ábra): A fent említett két eset kombinációjánál az ágyazási hossz egy részén elnyíródik a ragasztó, ezek után a megmaradt rész már nem tudja tapadás útján átadni a húzásból származó igénybevételt, a maradék felületen a húzószilárdság kimerül és a szár kihúzódik.



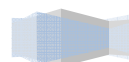
3.5. ábra – Ragasztó elnyíródás



3.6. ábra – Tapadószilárdság kimerülés



3.7. ábra – Részleges elnyíródás



3.3.2 Szakadóókúpos tönkremenetel

Szakadóókúpos tönkremenetel ragasztott kapcsolatok esetén kétféleképpen alakulhat ki [4][5].

Teljes szakadóókúp (3.8 a.; 3.8 b. ábra): Ez a fajta tönkremenetel akkor alakul ki, ha a szakadóókúp a rögzítési mélység aljáról indul el és a beton húzószilárdsága kimerül a kúp palástfelülete mentén. Az EUROCODE szerint ez azaz állapot, amikor a kapcsolat teljesen kihasznált.



3.8 a. ábra – Teljes szakadóókúp [4]



3.8 b. ábra – Teljes szakadóókúp

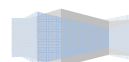
Részleges szakadóókúp (3.9 a.; 3.9 b. ábra): Ebben az esetben a szakadóókúp nem a rögzítési mélység aljáról indul, hanem jellemzően a mélység felső egyharmadából. Ilyenkor az alsó szakaszon fellépő ragasztó elnyíródás, illetve ragasztó és próbatest közti kontaktfeszültség kimerülés kombinálódik a felső szakaszon fellépő szakadóókúpos tönkremenetellel.



3.9 a. ábra – Kombinált tönkremenetel [4]



3.9 b. ábra – Kombinált tönkremenetel

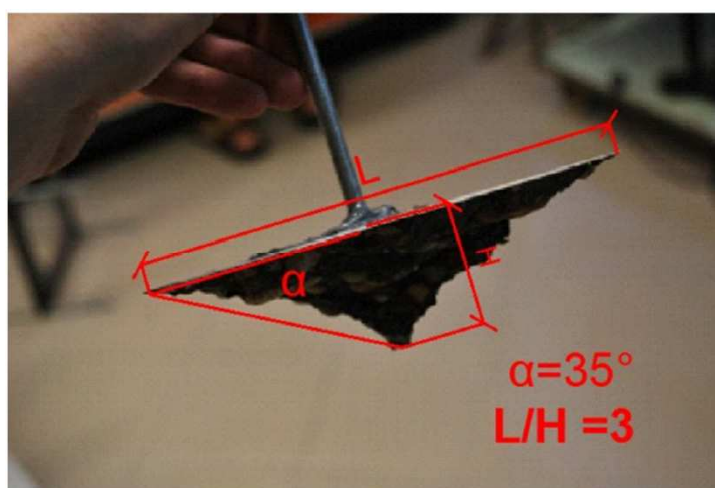


A szakadókúpok kialakulásánál észrevehető volt, hogy 50 MPa, illetve magasabb nyomószilárdság esetén a húzott kúp felületén az adalékanyag szemek kettérepedtek (3.10. ábra), míg kisebb betonszilárdság esetén csak az adalékanyag szemek felületén történt az elválás. Hasonló jelenség figyelhető meg nagyszilárdságú betonok roncsolásos nyomószilárdság mérése esetén is [6].



3.10. ábra – Adalékszemek elnyíródása

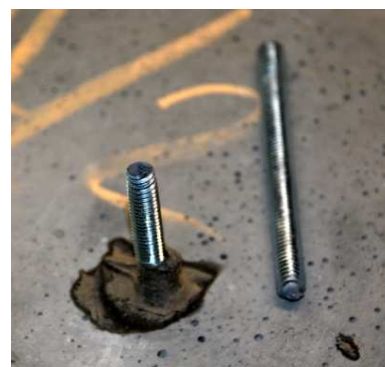
Jellemzően a szakadókúp 35 fokos hajlásszögben alakul ki, a mélység és szélesség 1/3-os aránya mellett (3.11. ábra).



3.11. ábra – Szakadókúp geometriája (H-rögzítési mélység; L-szakadókúp átmérője)

3.3.3 Az acél menetes szár szakadása

Menetes szárok teherbírása az acél anyagminőségéből és a szár kisebbik átmérőjéből számítható. Ennek az értéknek tervezetten nagyobbnak kell lennie, mint a kapcsolat feltételezett teherbírása. Ennek ellenére is bekövetkezhet ez a tönkremenetel. Oka minden esetben az acél menetes szár anyaghibájából adódik (3.12. ábra).



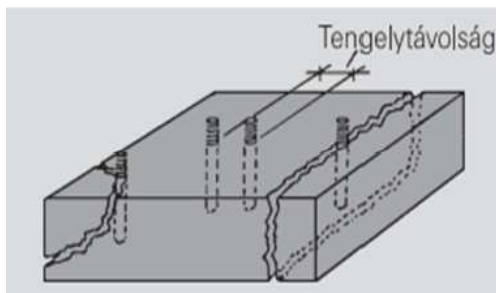
3.12. ábra – Szár szakadás

3.3.4 A próbatest felhasadása

A vizsgálat során a próbatest felhasadásos tönkremenetelének (3.13 a.; 3.13 b. ábra) több oka is lehet [3][4][5]:

- A kapcsolati elemek geometriai eloszlása nem megfelelő. Leggyakrabban akkor történik ilyen tönkremenetel, ha két vagy több rögzítőelem túl közel lett elhelyezve egymáshoz.
- A széltől, a sarkaktól való távolságok és a próbatest vastagságára vonatkozó előírások nem lettek figyelembe véve.
- Laboratóriumi vizsgálatok esetén rossz befogás, vagy ferdén installált rögzítőelem következtében a próbatestben hajlítás léphet fel, ami szintén felhasadásos tönkremenetelhez vezet.

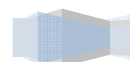
Méréseim során az előírt geometriai előírásokat figyelembevettem és csak egy kapcsolati elemet használtam, így felhasadásos tönkremenetel csak a rossz befogás vagy ferde rögzítés hatására következhetett be. Az eredmények kiértékelésénél, a hamis következtetések elkerülése végett, az ilyen tönkremenetelnél mért adatokat nem vettem számításba, illetve külön kezeltem.



3.13 a. ábra – Póbatest felhasadásának okai [3]



3.13 b. ábra – Póbatest felhasadása



3.4 Tervezéshez használt számítási modellek és a próbatest geometriai követelményei

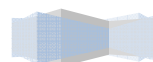
A kapcsolatok teherbírásának közelítő számításához minden gyártó saját tervezési segédlettel rendelkezik. Ezek a segédletek tartalmazzák az adott gyártó minden termékéhez tartozó tervezési teherbírás számítási menetét. A számítási modellek teherbírás értéke alapvetően a fogadószerkezet nyomószilárdságától, illetve a kapcsolati kialakítás geometriai paramétereitől függnék. Geometriai paraméterek: a rögzítőelemek tengelytávolsága, alaptest szélétől való távolság, rögzítési mélységek és a próbatest vastagsága [3].

3.4.1 Közelítő számítási modell

Az alábbiakban a húzási ellenállás számításának módszere kerül bemutatásra epoxi ragasztó és M8 10.9-es menetes szár esetén. A vinilészter-hibriddel készült kapcsolatok számításához tartozó módszer menete csak némelyik tényező értékében tér el az itt leírtaktól. A kísérletek során vizsgált négy darab betonreceptúrához tartozó húzási ellenállás számítások megtalálhatók a *Számítási mellékletben*.

A tervezési segédlet alapján az ellenállás meghatározásához először a különböző tönkremenetekhez tartozó ellenállásokat kell meghatározni, majd ezen értékek közül a minimálisat kell mértékadónak tekinteni [3]:

Acél szárszakadás (steel failure):	$N_{Rd,s}$
Kihúzóadás (pull-out):	$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \times f_{b,N,p} \times f_{s1,p} \times f_{s2,p} \times f_{s3,p} \times f_{c1,p,A} \times f_{c1,p,B} \times f_{c2,p}$
Szakadóképos tönkremenetel (cone):	$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \times f_{b,N,c} \times f_{s1} \times f_{s2} \times f_{s3} \times f_{c1,A} \times f_{c1,B} \times f_{c2}$
Alapanyag kettéhasadása (splitting):	$N_{Rd,sp} = N_{Rd,c}^0 \times f_{b,N,c} \times f_{s1,sp} \times f_{s2,sp} \times f_{s3,sp} \times f_{c1,sp,A} \times f_{c1,sp,B} \times f_{c2,sp} \times f_h$



- Acél szárszakadáshoz tartozó ellenállás meghatározása ($N_{Rd,s}$):

Anchor type	FIS EM M8				
	5.8	8.8	10.9	A4	C
design resistance $N_{Rd,s}$ [kN]	12.7	20.0	26.1	13.9	17.3

Anchor type – rögzítőelem típusa

Design resistance – húzási ellenállás tervezési értéke

3.1 táblázat – Acél szárszakadáshoz tartozó tervezési értéke [3]

- Kihúzódáshoz tartozó ellenállás számítása ($N_{Rd,p}^0$; $f_{b,N,p}$; $f_{s1,p}$; $f_{s2,p}$; $f_{s3,p}$; $f_{c1,p,A}$; $f_{c1,p,B}$; $f_{c2,p}$):

$N_{Rd,p}^0$ – Kihúzódáshoz tartozó tervezési érték, egy rögzítőelem esetén:

Anchor type	FIS EM M8		
	60	80	160
eff. anchorage depth h_{ef} [mm]	60	80	160
non-cracked concrete			
temperature range (60 °C / 35 °C) ¹⁾			
$N_{Rd,p}^0$ [kN]	16.1	21.4	42.9
temperature range (72 °C / 50 °C) ¹⁾			
$N_{Rd,p}^0$ [kN]	13.1	17.4	34.9
cracked concrete			
temperature range (60 °C / 35 °C) ¹⁾			
$N_{Rd,p}^0$ [kN]	7.0	9.4	18.8
temperature range (72 °C / 50 °C) ¹⁾			
$N_{Rd,p}^0$ [kN]	6.0	8.0	16.1

Anchor type – rögzítőelem típusa

h_{ef} – effektív rögzítési mélység

non-cracked concrete – repedésmentes beton

temperature range – rögzítési hőmérséklet

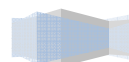
cracked concrete – berepedt beton

3.2. táblázat – Kihúzódáshoz tartozó tervezési érték [3]

$f_{b,N,p}$ – Fogadóanyag (beton) szilárdságától függő tényező:

Concrete strength class		C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
cylinder compressive strength $f_{ck,cyl}$ [N/mm ²]		12	16	20	25	30	35	40	45	50
cube compressive strength $f_{ck,cube}$ [N/mm ²]		15	20	25	30	37	45	50	55	60
influence factor $f_{b,N,p}$ [-]		0.98	0.99	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08	1.09

3.3 táblázat – Beton szilárdságtól függő tényező [3]



$f_{s1,p}$; $f_{s2,p}$; $f_{s3,p}$ – Rögzítőelemek tengelytávolságának hatása (spacing)

$f_{c1,p,A}$; $f_{c1,p,B}$; $f_{c2,p}$ – Rögzítőelemek széltől való távolságának hatása (edge distance)

Anchor type	FIS EM M8		
eff. anchorage depth h_{ef} [mm]	60	80	160
temperature range (60 °C / 35 °C) ¹⁾			
$s_{ct, Np}$ [mm]	180	234	234
$c_{cc, Np}$ [mm]	90	117	117
temperature range (72 °C / 50 °C) ¹⁾			
$s_{ct, Np}$ [mm]	180	211	211
$c_{cc, Np}$ [mm]	90	105	105

$$f_{s1,p} = f_{s2,p} = f_{s3,p} = \left(1.0 + \frac{s}{s_{cr,Np}} \right) \cdot 0.5 \leq 1.0$$

Az s helyére a dübelek tengelytávolságai mm értékben helyettesítendők.

$$f_{c1,p,A} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1.0$$

$$f_{c1,p,B} = f_{c2,p} = \left(1.0 + \frac{c}{c_{cr,Np}} \right) \cdot 0.5 \leq 1.0$$

3.4. táblázat – Rögzítőelemek tengelytávolságától és széltől való távolságtól függő tényezők kihúzódasos tönkremenetelnél [3]

Az c helyére a dübelek széltől való távolságai mm értékben helyettesítendők.

- Szakadókúpos tönkremenetelhez tartozó ellenállás számítása ($N_{Rd,c}^0$; $f_{b,N,c}$; f_{s1} ; f_{s2} ; f_{s3} ; $f_{c1,A}$; $f_{c1,B}$; f_{c2}):

$N_{Rd,c}^0$ – Szakadókúpos tönkremenetelhez tartozó tervezési érték:

Anchor type	FIS EM M8		
eff. anchorage depth h_{ef} [mm]	60	80	160
non-cracked concrete			
design resistance $N_{Rd,c}^0$ [kN]	15.6	24.1	68.1
cracked concrete			
design resistance $N_{Rd,c}^0$ [kN]	11.2	17.2	48.6

Anchor type – rögzítőelem típusa

h_{ef} – effektív rögzítési mélység

non-cracked concrete – repedésmentes beton

cracked concrete – berepedt beton

Design resistance – húzási ellenállás tervezési értéke

3.5. táblázat – Szakadókúpos tönkremenetelhez tartozó tervezési érték [3]

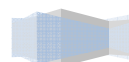
$f_{b,N,c}$ – Fogadóanyag (beton) szilárdságától függő tényező:

$$f_{b,N,c} = \sqrt{\frac{f_{ck, cube}}{25}} = \sqrt{\frac{f_{ck, cyl}}{20}}$$

$f_{ck, cube}$ – 15x15x15 cm élhosszúságú kocka

tönkremeneteléhez tartozó nyomószilárdsági érték

$f_{ck, cyl}$ – Ø15x30 cm méretű henger nyomószilárdsága



$f_{s1}; f_{s2}; f_{s3}$ – Rögzítőelemek tengelytávolságának hatása (spacing)

$f_{c1,A}; f_{c1,B}; f_{c2}$ – Rögzítőelemek széltől való távolságának hatása (edge distance)

Anchor type		FIS EM M8		
eff. anchorage depth	h_{ef} [mm]	60	80	160
	$s_{cr,N}$ [mm]	180	240	480
	$c_{cr,N}$ [mm]	90	120	240

3.6. táblázat - Rögzítőelemek tengelytávolságától és széltől való távolságtól függő tényezők szakadókúpos tönkremenetelnél [3]

$$f_{s1} = f_{s2} = f_{s3} = \left(1.0 + \frac{s}{s_{cr,N}} \right) \cdot 0.5 \leq 1.0$$

Az s helyére a dübelek tengelytávolságai mm értékben helyettesítendők.

$$f_{c1,A} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1.0$$

$$f_{c1,B} = f_{c2} = \left(1.0 + \frac{c}{c_{cr,N}} \right) \cdot 0.5 \leq 1.0$$

Az c helyére a dübelek széltől való távolságai mm értékben helyettesítendők.

- Alapanyag kettéhasadása ($N_{Rd,c}^0$; $f_{b,N,c}$; $f_{s1,sp}$; $f_{s2,sp}$; $f_{s3,sp}$; $f_{s1,sp}$; $f_{s2,sp}$; $f_{s3,sp}$; f_h):

$N_{Rd,c}^0$ – Tönkremenetelhez tartozó tervezési érték: Számítását lásd az előző pontban!

$f_{b,N,c}$ – Fogadóanyag (beton) szilárdságától függő tényező: Számítását lásd az előző pontban!

$f_{s1,sp}; f_{s2,sp}; f_{s3,sp}$ – Rögzítőelemek tengelytávolságának hatása (spacing)

$f_{s1,sp}; f_{s2,sp}; f_{s3,sp}$ – Rögzítőelemek széltől való távolságának hatása (edge distance)

Anchor type		FIS EM M8			FIS EM M10				
eff. anchorage depth		h_{ef}	[mm]	60	80	160	60	90	200
application with concrete member thickness	$h/h_{ef} \geq 2.0$	$s_{cr,sp}$	[mm]	120	160	320	120	180	400
		$c_{cr,sp}$	[mm]	60	80	160	60	90	200
	$2.0 > h/h_{ef} > 1.3$	$s_{cr,sp}$	[mm]	$f_{sct,sp} \cdot h_{ef}$ ($f_{sct,sp}$ see below)					
		$c_{cr,sp}$	[mm]	$s_{cr,sp} / 2$					
	$h/h_{ef} \leq 1.3$	$s_{cr,sp}$	[mm]	271	362	723	271	407	904
		$c_{cr,sp}$	[mm]	136	181	362	136	203	452
	h_{min}	[mm]	100	110	190	100	120	230	

3.7. táblázat - Rögzítőelemek tengelytávolságától és széltől való távolságtól függő tényezők alapanyag kettéhasadása esetén [3]

$$f_{s1,sp} = f_{s2,sp} = f_{s3,sp} = \left(1.0 + \frac{s}{s_{cr,sp}} \right) \cdot 0.5 \leq 1.0$$

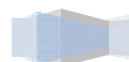
Az s helyére a dübelek tengelytávolságai mm értékben helyettesítendők.

$$f_{c1,sp,A} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,sp}} \leq 1.0$$

$$f_{c1,sp,B} = f_{c2,sp} = \left(1.0 + \frac{c}{c_{cr,sp}} \right) \cdot 0.5 \leq 1.0$$

Az c helyére a dübelek széltől való távolságai mm értékben helyettesítendők.

$f_{sct,sp}$ – Segédmenyiség a 3.7. táblázathoz



$s/s_{cr,sp}$	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	≥ 1.0
$f_{s,sp}$	0.55	0.58	0.6	0.63	0.65	0.68	0.7	0.73	0.75	0.78	0.8	0.83	0.85	0.88	0.9	0.93	0.95	0.98	1.0

3.7. táblázat – Segédmenyiség a tengely és szélről függő tényező számításához [3]

f_h – Betontest vastagságától függő tényező:

$$f_h = \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{2/3} \leq 1.5$$

h – rögzítési mélység

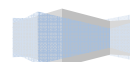
h_{min} – az előírt minimális rögzítési mélység

A mérések során használt négyféle beton receptúrára elvégzett kézi közelítő számításokat a Számítási melléklet tartalmazza. Az eredményeket a 3.8. táblázat foglalja össze:

Ragasztó	Receptúra	Nyomószil. f_c [N/mm ²]	Tönkremeneteli ellenállások				Kapcsolati ellenállás N_{Rd} [kN]
			$N_{Rd,s}$ [kN]	$N_{Rd,p}$ [kN]	$N_{Rd,c}$ [kN]	$N_{Rd,sp}$ [kN]	
Vinilészter- hibrid	A	57,06	26,100	12,838	25,985	25,985	12,838
	B	68,17	26,100	13,230	28,402	28,402	13,230
	C	53,45	26,100	12,446	25,150	25,150	12,446
	D	65,25	26,100	13,230	27,766	27,766	13,230
Epoxi	A	57,06	26,100	17,388	23,568	23,568	17,388
	B	68,17	26,100	17,549	25,760	25,760	17,549
	C	53,45	26,100	17,388	22,810	22,810	17,388
	D	65,25	26,100	17,549	25,203	25,203	17,549

3.8. táblázat – Közelítő számítási eredmények

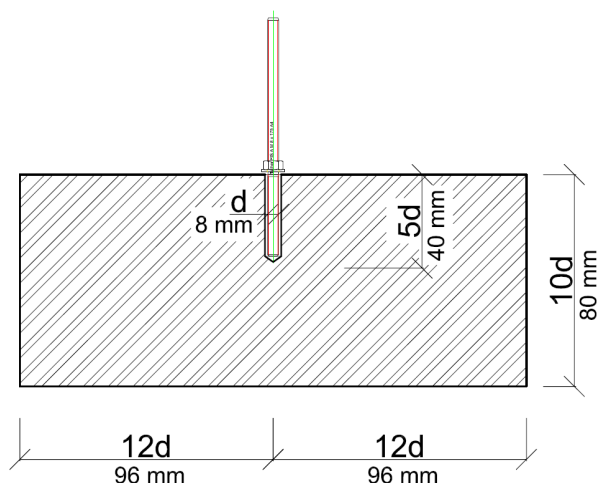
Látható, hogy tervezés során a rögzítőelemek közelítő kézi számítása összetett és időigényes feladat. Továbbá a számítás nagy tartalékokat tartalmaz, ami túltervezéshez, a kapcsolatok gazdaságtalan kialakításához vezet. Ezért már elkezdődött olyan végeselemes modellek kifejlesztése melyek a rögzítőelemek erőjátékainak precíz figyelembevételével pontosabb számításokat, és így gazdaságosabb kialakításokat eredményez.



3.4.2 A próbatestek geometriai követelményei

A beton próbatestek geometriai méreteinek megválasztásánál elsődleges szempont volt, hogy elkerüljük az alapanyag kettéhasadását, mint tönkremenetelt. Ehhez a kézi közelítő számítási modellt használtuk. A befolyásoló tényezők táblázatai alapján úgy választottuk meg a próbatest méreteit, hogy az eredményt ne befolyásolja a nem megfelelő próbatest vastagság és a széltől való távolság. Mivel a kísérletben csak egy darab rögzítőelemet vizsgáltunk, így a dübelek tengelytávolságát figyelembevevő befolyásoló tényezőt elhanyagolhattuk.

A próbatest geometriáját és mérési összeállítást úgy kellett kialakítani, hogy a szakadókúp zavartalanul létrejöhessen, és a kézi közelítő számítás befolyásoló tényezőit 1-nek lehessen felvenni. A következő ábrán (3.14. ábra) a próbatest minimális geometriai követelményei látható, a rögzítőelem átmérőjének függvényében, a kézi közelítő számítás szerint.

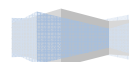


3.14. ábra – Próbatest minimális geometriája



3.15. ábra – Próbatestek kihúzóvizsgálatokhoz

A kihúzókísérletekhez végül 300x300x100 mm méretű beton próbatesteket alkalmaztunk (3.15. ábra). Ezek a méretek meghaladják a minimális követelményeket, így megfelelnek azoknak az elvárásoknak, amik miatt a kézi közelítő számítást befolyásoló tényezők 1-nek vehetők fel.



3.5 Rögzítőelemek szakszerű installálása

Az alábbiakban a ragasztott rögzítőelemek szakszerű installálása kerül bemutatásra [3].



3.15 a. ábra



3.15 b. ábra



3.15 c. ábra



3.15 d. ábra



3.15 e. ábra



3.15 f. ábra



3.15 g. ábra

3.16 a. ábra – Megfelelő lyuk fúrása, a minimális furatmélység betartása

3.16 b. ábra – Levegőpumpás lyuktisztítás (2x)

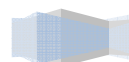
3.16 c. ábra – Lyuktisztítás kefével (2x)

3.16 d. ábra – Levegőpumpás lyuktisztítás (2x)

3.16 e. ábra – Ragasztó injektálása, megfelelő mennyiség betartása fontos, a furatátmérő és a furatmélység függvényében előírva

3.16 f.; 3.16 g. ábra – Menetes szár beforgatása a ragasztóba

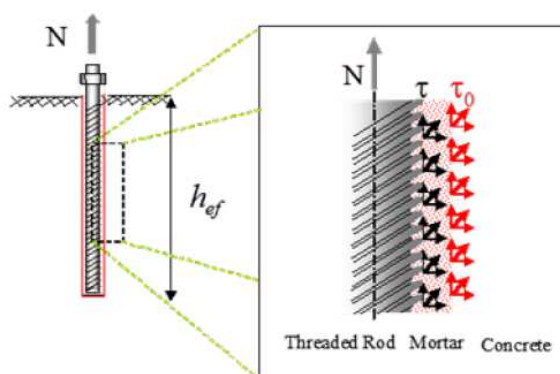
Ragasztott kapcsolatok installálásánál a fúrt lyuk (3.16 a. ábra) átmérőjének nagyobbak kell lennie, mint a menetes szár átmérője (M8 átmérő esetén 10 mm-es lyukátmérő) [3], így a ragasztó teljesen be tudja vonni, mind a menetes szár teljes felületét, mind a teljes furatfelületet. Ebben az esetben nem alakulhatnak ki olyan lyukak ahol nincs ragasztó, ezzel segítve az erőátvitel minél nagyobb felület menti eloszlását. A furat tisztítása mechanikus rögzítőelemek esetében nem fontos, viszont ragasztott rögzítéseknél kötelező (3.16 b. – 3.16 d. ábrák), mivel a lyuk kifúrása közben keletkező por finom bevonatot képezve a furat felületén megakadályozza a ragasztó beszívargását a fogadóanyagba, ezzel csökkentve a teherbírást. Ezért a furat tisztításának menetét és módját a gyártók szigorúan előírják. A szakszerű installációtól való eltérés esetén a gyártók nem szavatolják a kapcsolat tervezési teherbírását.



3.6 Ragasztott rögzítések mechanikája

3.6.1 Ragasztott kapcsolatok erőátadása

Ragasztott rögzítőelemek esetén, amikor a húzóerőt ragasztással (anyagzárással) közvetítjük a fogadó szerkezetnek, az erő először a menetes szár (vagy betonacél) felületén súrlódással adódik át a ragasztónak, majd a ragasztó adhézióval kombinált mikro-súrlódások útján adja tovább az erőt a fogadó szerkezetnek (3.16. ábra) [7].



3.16. ábra – Ragasztott rögzítőelemek erőátadása [7]

A ragasztó, mint átadószerkezet lehet epoxi, vagy vinilészter-hibrid alapanyagú.

Az epoxi ragasztók viszkozitásukból adódóan jobban beleszivárognak a fogadó szerkezetbe. Így ebben az esetben, nagyobb mértékben az adhézió, és csak kismértékben a mikro-súrlódások játszanak szerep az erőátadásban.

A vinilészter-hibrid ragasztók esetében elsősorban a mikro-súrlódások útján történik az erőátadás, mert a cement alapú összetételéből adódó viszkozitása nem teszi lehetővé a ragasztó olyan mértékű beszivárgását a fogadó szerkezetbe, mint az epoxi ragasztóknál.

3.6.2 Furattisztítás hatása a teherbírásra

Ha a rögzítőelemek erőátadási módja formazárás, akkor a furattisztítás nincs hatással a kapcsolat teherbírására. Viszont ragasztott kapcsolatoknál (anyagzárás), vagy súrlódásos erőátadás mellett, a furatban felgyülemlett por jelentősen csökkenti a kapcsolat teherbírását.

A mikro-súrlódásos erőátadás létrejöttének feltétele, hogy a furat belső felülete érdes legyen. Amennyiben a fúrás után a furatot nem tisztítják ki az előírt módon, akkor lehetővé válik a por

megtapadása a furat belső felületén. Az így létrejövő felület egy sima felület, ami nem teszi lehetővé a mikro-súrlódásokat, ezen felül pedig akadályozza, hogy megfelelő tapadás jöjjön létre a beton és a ragasztó között.



a.) Ütvefúráshoz használt fúrószár

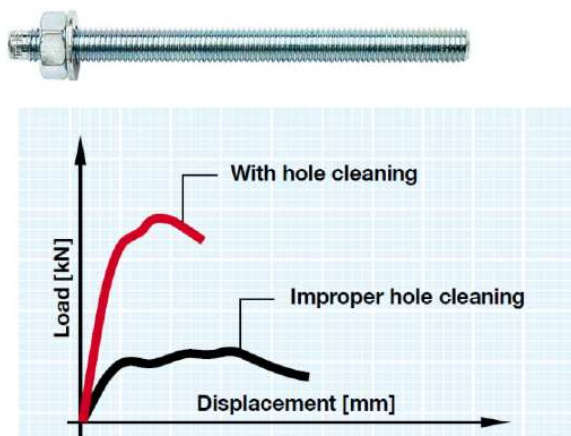
b.) Létrejövő furatfelület metszete tisztítás nélkül

c.) Létrejövő furatfelület metszete tisztítással

3.17. ábra – Ütvefúró által létrejött furatfelület metszete tisztítás nélkül és kitisztítva

A 3.17. ábrán látható egy ütvefúrásnál használt fúrószár (a.), és az általa készített furat felülete. A középső ábra (b.) szemlélteti a ki nem tisztított furatot. Ebben az esetben a lerakódott por kitölti a furat érdes felületét és egy új sima felületet hoz létre. A harmadik ábrán (c.) látható a kitisztított furat felületének metszete. Itt már az érdes felület szabaddá vált, így létre tud jönni a mikro-súrlódásos erőátvitel és a beton-ragasztó közti tapadás.

A 3.18. ábra a kitisztított és a nem tisztított furatba ragasztott menetes szár teher-elmozdulás görbéjét hasonlítja össze (with hole cleaning: kitisztított, improper h. cleaning: nem tisztított):

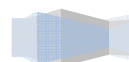


3.18. ábra – Sematikus terhelés görbék tisztított és nem tisztított furatok esetén [7]

Látható, hogy a kitisztított furatba installált menetes szár teherbírása sokkal nagyobb mint a nem tisztított furatba rögzített kapcsolaté. A két teherbírás között akár 60% is lehet az eltérés [8].

Ezenkívül a tisztítatlan furat esetében létrejövő elmozdulások is sokkal nagyobbak, ami nem megengedhető egy rögzített kapcsolatnál.

A teherbírás ilyen nagymértékű eltérése miatt a gyártók pontos leírást adnak a termékeikhez a rögzítések előtti furattisztítási eljárásokról.



3.7 Betonok porozitása

A beton szilárdságát az anyag struktúrája definiálja. Ezt elsősorban az alapanyagok, keverési arányok és a cementkő és adalékanyag között fellépő tapadás határozza meg. Másodsorban a cementkő pórustartalma, pórusmérete, póruseloszlása, és az adalékanyag fajtája és pórusmérete fejt ki hatását a szilárdságra [9].

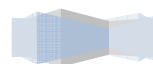
Pórusszerkezet

Pórusnak nevezünk minden olyan hézagot, üreget, amikről elmondható, hogy szilárd testek halmazában lévő, szilárd anyaggal ki nem töltött, tömeg nélküli terek [10].

Beton, vagy habarcs pórusaira az 1mm alatti átmérő a jellemző, ezek összességét pórusszerkezetnek nevezzük. Pórusszerkezet az adalékanyag és a cementkő pórusaiból áll.

- A cementkő pórusai általában nyitottak. Főleg légpórusok, vagy légbuborékok, esetleg kapilláris pórusok.
- Az adalékanyag pórusai a beton sűrűségére, vízfelvételére, hővezetési tényezőjére, és a szilárdságára és a tartósságra vannak hatással.
- A légpórusok (10^{-2} -1 mm) a szilárduló cementpépben jönnek létre, még a legalaposabb tömörítés mellett is. Méretük viszonylag nagyobb, elrendeződésük esetleges.
- A légbuborékok (<0,3mm) a cementkőben mesterségesen létrehozott gömb alakú, egymástól független pórusok. Feladatuk, hogy megszakítsák a kapillárpórusokat. Ezzel egyrészt csökkentik a cementkő vízfelszívását, másrészt helyet adnak a megfagyó kapilláris víz térfogat növekedésének.
- A kapillárispórusok (10^{-4} - 10^{-2} mm) keletkezését a keverővíz mennyisége határozza meg. A cement a hidratációja során csupán csak a tömegének megfelelő 35-40 tömeg%-át kitevő vízmennyiséget köt meg. Ha a beton ennél több vízzel készül, akkor a felesleges víz, hajszálcsoves (gyakran összefüggő) pórusrendszert hoz létre, melynek alkotói kivezetnek a felületre, így a felesleges víz elpárologhat. A kapillárisok számának növekedésével a beton minősége romlik.
- A gelpórusok (10^{-6} - 10^{-4} mm) a cementszemcse hidratációjakor keletkező cementgelen belül helyezkediknek el.

Az olyan betonokat, amelyekben a gondatlan tömörítésből adódóan a pórusok átmérője az 1 mm-t is meghaladja, *fészkés betonnak* nevezik.



4. FELHASZNÁLT ANYAGOK

4.1 Beton

4.1.1 Betonreceptúrák

A vizsgálatok során olyan beton próbatestekre volt szükség melyeknek nyomószilárdsága közel azonos, viszont a porozitása nagyban eltér. Így lehetett a legjobban elválasztani a porozitás hatását a beton nyomószilárdságának hatásától. A nyomószilárdság és a porozitás szoros összefüggése miatt ehhez a vizsgálathoz használt próbatestek kialakításához különleges betonreceptúrákra volt szükség.

A mérésekhez az alábbi betonreceptúrák készültek el (4.1. – 4.4. táblázat):

A receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg	Térfogat	keverés 60 l
			[kg/m ³]	[l/m ³]	[kg]
Adalékanyag	0/4 mm frakció	45%	844	318	50,64
	4/8 mm frakció	25%	469	177	28,14
	8/16 mm frakció	30%	563	212	33,78
	Összesen	100%	1875	708	112,5
Cement	CEM I 42,5		300	97	18
Víz	m _w /m _c =	60,0%	180	180	10,8
Adalékszer cem. %	Glenium C323	0,20%	0,6	0,6	0,036
Levegő			-	15	-
Összesen			2356	1000	141,36

4.1. táblázat – A keverék

B receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg	Térfogat	keverés 60 l
			[kg/m ³]	[l/m ³]	[kg]
Adalékanyag	0/4 mm frakció	45%	812	307	48,72
	4/8 mm frakció	25%	451	170	27,06
	8/16 mm frakció	30%	542	204	32,52
	Összesen	100%	1805	681	108,3
Cement	CEM I 42,5		380	123	22,8
Víz	m _w /m _c =	47,3%	180	180	10,8
Adalékszer cem. %	Glenium C323	0,40%	1,5	1,52	0,09
Levegő			-	15	-
Összesen			2366	1000	141,96

4.2. táblázat – B keverék

C receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg	Térfogat	keverés 60 l
			[kg/m ³]	[l/m ³]	[kg]
Adalékanyag	0/4 mm frakció	45%	776	293	46,56
	4/8 mm frakció	25%	431	163	25,86
	8/16 mm frakció	30%	517	195	31,02
	Összesen	100%	1725	651	103,5
Cement	CEM I 42,5		380	123	22,8
Víz	m _w /m _c =	55,5%	211	211	12,66
Adalékszer cem. %	Glenium C323	0,20%	0,8	0,76	0,048
Levegő			-	15	-
Összesen			2316	1000	138,96

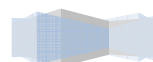
4.3. táblázat – C keverék

D receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg	Térfogat	keverés 60 l
			[kg/m ³]	[l/m ³]	[kg]
Adalékanyag	0/4 mm frakció	45%	878	331	52,68
	4/8 mm frakció	25%	488	184	29,28
	8/16 mm frakció	30%	585	221	35,1
	Összesen	100%	1951	736	117,06
Cement	CEM I 42,5		300	97	18
Víz	m _w /m _c =	50,0%	150	150	9
Adalékszer cem. %	Glenium C323	0,70%	2,1	2,1	0,126
Levegő			-	15	-
Összesen			2403	1000	144,18

4.4. táblázat – D keverék

A BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumában található betonkeverő kapacitása 60 liter, így a receptúrában található arányokat ehhez a térfogathoz kellett igazítani. Ezeket a tömegeket jelzi a táblázatok utolsó oszlopa (4.1. – 4.4. táblázat), azaz az egy keveréshez felhasznált összetevőket mutatja kg-ban.



4.1.2 Betonkeverés, próbatestek kialakítása

A beton próbatestek előkészítésénél nagy figyelmet fordítottunk az adalékanyag tisztítására, mosására, tömegállandóságig történő szárítására. Különösen ügyeltünk a cement fajtájára. Az összes keverést ugyanabból a legyártott szériából választottuk, így elkerülve az eltérő minőségű cementekből származó különbségeket.

Az elkészült frissbetonból 300x300x10 mm-es próbatesteket készítettünk, a kihúzókísérletekhez, 150x150x150 mm-es kockákat a nyomószilárdság és 70x70x250 mm-es hasábokat a húzószilárdság vizsgálatokhoz. A beton utókezelése az erre vonatkozó szabványok alapján történt.

Receptúránként 10 db 300x300x10 mm-es, 4 db 150x150x150 mm-es kocka és 6 db 70x70x250 mm-es hasáb készült. A négy keverékkel összesen 240 liter, azaz 0.58 tonna beton készült.

A 300x300x10 mm-es próbatestek geometriája megfelel a 3.4.2 fejezetben leírtaknak, így teljesülnek azok a kritériumok, amik a rögzítőelem széltől való távolságát és a beton próbatest vastagságát veszik figyelembe.



4.1. ábra – Beton próbatestek

4.2 Választott rögzítőelemek

A mérések során csak ragasztott kapcsolatokat vizsgáltunk. Két, kémiaiilag eltérő összetételű ragasztó lett kiválasztva. Mind a két ragasztó kétkomponensű, egyik kötőanyaga vinilészter-hibrid, a másik epoxi alapú ragasztó. A menetes szár mind a két ragasztott kapcsolatnál M8 átmérőjű. A megelőző kísérleteket alapul véve azért, hogy minél nagyobb biztonsággal kizárhassuk a szárszakadást, mint tönkremenetelt, a jelen mérésorozathoz 10.9-es szilárdságú menetes szárat használtunk. A rögzítési mélység mind a két esetben 50 mm volt (lásd 3.4.2 fejezet).



4.2. ábra – Ragasztók és a hozzájuk tartozó keverőszárok

Fischer FIS V 360 S (vinilészter-hibrid ragasztó) + M8 10.9 menetes szár (4.3. ábra):

A ragasztó kötőanyaga vinilészter-hibrid. A FIS V ragasztó sztirolmentes, gyorskötésű, kétkomponensű műgyanta ragasztó. A két komponens a keverőszárban keveredik össze, így biztosítva, hogy a ragasztó megszakítás után egy keverőszár cserével újra használható. A ragasztó univerzális, minden építőanyag és terhelés esetén felhasználható. Átlaghőmérsékleten (20-30 fok) a ragasztó feldolgozási ideje 4 perc, kikeményedési ideje 45 perc. A hőmérséklet növekedésével ezek az értékek csökkennek, a hőmérséklet csökkenésével nőnek. A rögzítés feszültségmentes, így kis perem- és tengelytávok esetén is használható [2].



4.3. ábra – FIS V + M8 10.9

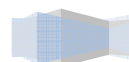
Fischer EM V 390 S (epoxi ragasztó) + M8 10.9 menetes szár (4.4. ábra):

Nagy teljesítményű kétkomponensű epoxi ragasztó. A keveredést itt is speciális keverőszárak biztosítják. Víz alatti rögzítésre is alkalmas. A ragasztó átlaghőmérsékleten (20-30 fok) vett feldolgozási ideje 14 perc, kikeményedési ideje 10 óra. A rögzítés itt is feszültségmentes, így kis perem- és tengelytávok esetén is használható.



4.4. ábra – FIS EM + M8 10.9

Látható, hogy a két ragasztó kötési idejében jelentő az eltérés, továbbá az epoxi ragasztó konzisztenciája sokkal nagyobb. Így be tud hatolni a beton pórusaiba, és el is tud érni egy megfelelő mélységet mielőtt megszilárdulna.



5. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

5.1 Roncsolásmentes vizsgálatok

5.1.1 Látszólagos porozitás vizsgálat

A vizsgálat visszavezethető a vízfelvétel fogalmáig, és így természetesen egy anyagjellemző. Ha az anyagot vízbe tesszük és feltételezzük, hogy a beton valamennyi pórusa megtelik vízzel, azaz teljes víztelítést végzünk, akkor az anyag által felvett víz térfogata a pórusok térfogatával lesz egyenlő. Ezért a térfogat %-ban kifejezett vízfelvételét ($n^{\text{térfogat\%}}$) század részét látszólagos porozitásnak nevezzük [11].

A vizsgálat az *MSZ EN 934-2:1999* [12] szabvány alapján készült. A beton próbatesteket tömegállandóságig szárítottuk, majd lemértük a tömeget és a térfogatát. Vízbe helyezés után 1, 24, 48, 72 óra elteltével újra tömeget mértünk. A tömegállandóság elérése után a következő képlettel számítható a beton próbatest látszólagos porozitása:

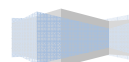
$$p_{\text{látszólagos}} = \frac{n^{\text{térfogat\%}}}{100} = \frac{V_{\text{víz}}}{V} = \frac{M_{\text{víz}}/\rho_{\text{víz}}}{M/\rho_T} = \frac{M_{\text{víz}}}{M} * \frac{\rho_T}{\rho_{\text{víz}}} = \frac{n^{\text{tömeg\%}}}{100} * \rho_T = \left[\frac{V}{V'}\right]\%$$

ahol:

- $V_{\text{víz}}$ = Pórusokba felvett víz térfogata [cm^3]
- V = Anyag (próbatest befoglaló) térfogata [cm^3]
- $M_{\text{víz}}$ = Pórusokba felvett víz tömege a vizsgálati hőmérsékleten [g]
- M = Kiszáritott anyag tömege [g]
- $\rho_{\text{víz}}$ = $M_{\text{víz}}/V_{\text{víz}}$ = Víz sűrűsége a vizsgálati hőmérsékleten [g/cm^3]
- $\rho_T = M/V$ = Anyag testsűrűsége [g/cm^3]
- $\delta_T = \rho_T / \rho_{\text{víz}}$ = Anyag relatív testsűrűsége a vizsgálati hőmérsékleten

A mérést a hajlító-húzószilárdsághoz is felhasznált 70x70x250 mm-es hasábokon (5.4. ábra) hajtottuk végre, a hajlító-húzószilárdság vizsgálat után. Így receptúránként 2x6 darab próbatesten történt meg a mérés. A vizsgálat eredményeit a 7.1.4 fejezet 7.4. táblázata foglalja össze.

A vizsgálat nem igényel különösebb laboratóriumi feltételeket, így akár egy építkezés helyszínén is elvégezhető. Hátránya, hogy időigényes.



5.1.2 Nyomószilárdság becslése Schmidt-kalapáccsal

Schmidt-kalapáccsal (5.1. ábra) történő mérés során a fogadóanyag felületi keménységéből becsüljük az anyag tényleges nyomószilárdságát. A vizsgálat során az eszközzel mérhető visszapattanási értékekből tapasztalati összefüggések alapján nyomófeszültség számolható [13]. A visszapattanási értékek kiértékelését az ÚT 2-2.204 számú ÚTÜGYI MŰSZAKI ELŐÍRÁS [14] szerint végeztük.

A vizsgálatot minden 150x150x150 mm-es betonkockán elvégeztük, a szabvány szerint 10 különböző pontban, a kocka két ellentétes oldalán, a mérőműszert vízszintesen tartva, miközben az a vizsgált felülettel 90 fokot zárt be. A mérés során a próbakockák terhelés alatt voltak, a szabvány által előírt módon. A vizsgálatához használt Schmidt-kalapács típusa: *Proceq N-34, 157918*.

A vizsgálat eredményeit a 7.1.1 fejezet 7.1. táblázata foglalja össze.

A vizsgálat könnyen elvégezhető. Jelen esetben erre a vizsgálatra azért került sor, hogy megelőző eredményeket kapjunk a betonkeverékek nyomószilárdsági értékeiről.

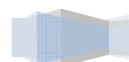


5.1 ábra – A vizsgálatához használt Schmidt-kalapács

5.2 Roncsolásos vizsgálatok

5.2.1 Nyomószilárdság vizsgálat

A beton próbakockák roncsolásos vizsgálatát az MSZ EN 12390-3:2009 [15] alapján végeztük, a keveréstől számított 28 napos korban. A terhelés sebessége minden esetben 11.25 kN/s volt. A vizsgálat elvégzésére az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumában található FORM TEST ALPHA 3000 akkreditált nyomószilárdság mérő eszközzel került sor (5.2. ábra). Receptúránként 4-4 db 150x150x150 mm-es kockát (5.3. ábra) törtünk. A roncsolásos szilárdságmérés előtt elvégeztük az kockák tömegének és geometriai méreteinek mérését. A mérést követően az egyes receptúrákat szilárdsági osztályba soroltuk az MSZ EN 206-1-2002 [16] alapján.



A nyomószilárdsági eredmények összefoglalása megtalálható a 7.1.2 fejezet 7.2. táblázatában.



5.2. ábra – Nyomószilárdság mérő



5.3. ábra – 150x150x150 mm-es próbakockák

5.2.2 Hajlító-húzószilárdság vizsgálat

Mivel a szakadókúp kialakulása a fogadóanyag hajlító-húzó szilárdságának a függvénye, fontos volt megvizsgálni a beton próbatestek hajlító-húzószilárdságát is. A mérést 70x70x250 mm-es hasábokon (5.4. ábra) végeztük el, receptenként 6-6 darabon, a keveréstől számított 28 napos korban. A vizsgálat az MSZ EN 12390-5 [17] szabvány alapján készült.

A mérést egy WPM ZDM 10/91 típusú akkreditált, 3 pontos hajlító-húzó géppel végeztük (5.5. ábra). A támaszköz minden esetben 200 mm volt. Az erő leolvasása a gép legkisebb skáláján történt 0,1 N pontossággal. A vizsgálat előtt a hasábok tömegének és geometriai méreteinek mérése történt.

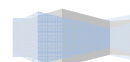
A húzószilárdság értéke az alsó szélső számban az elemi szilárdság eszközeivel könnyedén számítható. Az eredményeket a 7.1.3 fejez 7.3. táblázata foglalja össze.



5.4. ábra – 70x70x250 mm-es hasábok



5.5. ábra – Hajlító-húzó gép



5.3 Kihúzó kísérlet összeállítása

5.3.1 A terhelő gép

A kihúzó vizsgálat elvégzéséhez egy INSTRON 1197 (5.6. ábra) típusú elmozdulás-vezérelt gépet használtunk. Az elmozdulás-vezérlés lehetővé tette, hogy a tönkremenetel után a kapcsolat teherbírásának leszálló ága és a maradó erőkhöz tartozó elmozdulás is vizsgálható legyen.

A húzás sebessége a vizsgálatoknál egységesen 1 mm/perc volt.

Az INSTRON 1197 beépített erőmérő cellája 1000 kN-ig terjedő tartományban mér. Ez több dimenzióval meghaladta azt a tartományt ahol nekünk az eredményeink várhatóak voltak. Így egy saját nyúlásmérő-bélyeg alapú erőmérőt kellett beépíteni a mérési összeállításba. Ennek kalibrációja már korábban, az előző méréssorozathoz [1] megtörtént. A beépített erőmérő méréstartománya 40 kN-ig terjed, így sokkal érzékenyebb. Így a fellépő mérési pontatlanságok jelentősen nem befolyásolhatták a vizsgálati eredményeket.



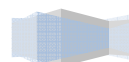
5.6. ábra – A terhelő gép

***Megjegyzés:** Az „elmozdulás-vezérelt” funkció jelentése, hogy a gép működése közben a felső padot állandó sebességgel mozgatja, azaz a felső pad sebessége a fellépő erőktől függetlenül konstans. Az általunk használt gépen a sebesség állítható volt 0,2-200 mm/perc tartományon.*

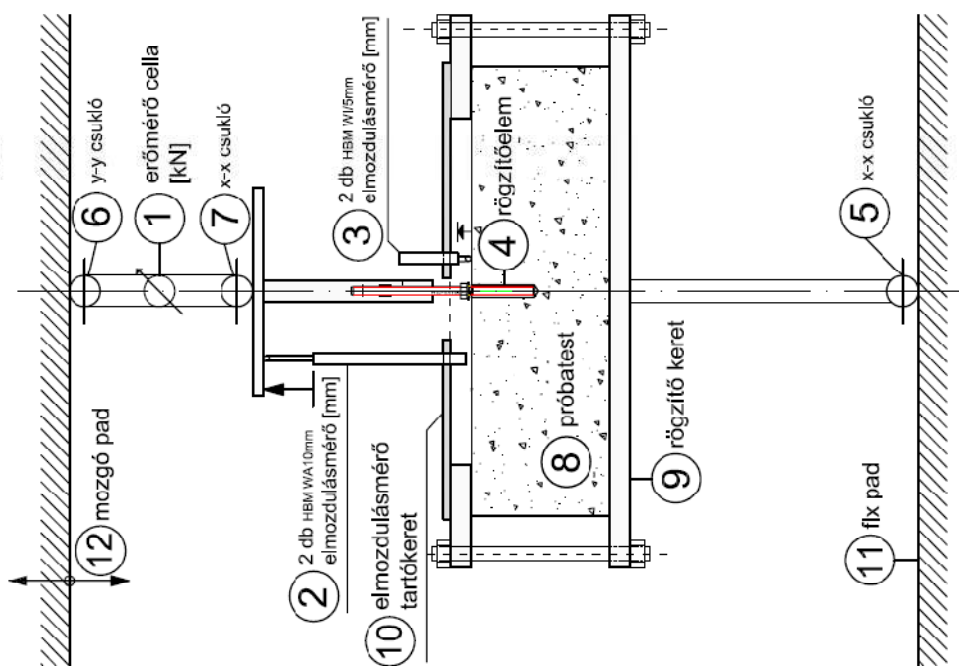
5.3.2 Mérési összeállítás

A kihúzóvizsgálatoknál elsődlegesen szempontként a kihúzáshoz tartozó erő és elmozdulás mérését kellett megoldani. Ehhez a már fenn említett nyúlásmérő-bélyeg alapú erőmérő cellát, és 2 darab elmozdulás mérőt használtunk. Mindezek mellett biztosítani kellett a próbatest befogását, úgy hogy a szakadó kúp szabadon létrejöhessen. Csuklós megtámasztással biztosítani kellett, hogy a ferde rögzítőelem installációból ne keletkezzen hajlítás a kapcsolatban.

A mérési összeállítást az 5.7 ábra mutatja:



MÉRÉSI ÖSSZEÁLLÍTÁS VÁZLATRAJZA ÉS RÉSZEINEK MEGNEVEZÉSE



1. Erőmérő cella; 2. Elmozdulásmérő (2db); 3. Elmozdulásmérő (2 db); 4. Rögzítőelem; 5. Csukló (X-X); 6. Csukló (Y-Y); 7. Csukló (X-X); 8. Próbatest; 9. Rögzítő keret; 10. Elmozdulásmérő tartókeret; 11. fix pad; 12. mozgó pad

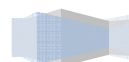
5.7. ábra – A mérési összeállítás sematikus rajza és magyarázata

Az 5.7 ábrán található jelölések magyarázata:

1. Erőmérő cella – Nyúlásmérő-bélyeg alapú, 40 kN-ig kallibrálva.
2. Elmozdulásmérő (HBM WA10mm) – A 2 darab elmozdulásmérő a rögzítőkeret felső síkja és a rögzítőelem fölé beiktatott acél lemez között dolgoznak, így ezek a kapcsolat teljes elmozdulását mérik.
3. Elmozdulásmérők (HBM WI/5mm) – A 2 darab elmozdulásmérő a rögzítőkeret felső síkja és a próbatest felső síkja közti elmozdulást méri. A kapcsolat közvetlen környezetében létrejövő alaptest deformációjáról szolgálnak adatokkal.
4. Rögzítőelem – M8 10.9 menetesszár + ragasztó (vinilészter-hibrid; epoxi)
5. 6. 7. Csuklók – Felül két egymásra merőleges, alul egy csukló biztosítja, hogy kapcsolatban kizárólag központos húzás ébredjen. Így kiküszöbölik a ferde rögzítőelem installációból származó hajlítást.
8. Próbatest – A 300x300x100 mm-es beton próbatestek, a geometriai követelményeknek betartásával.
9. Rögzítőkeret – A próbatest rögzítésére szolgáló két darab, egyenként 15 mm vastag, acéllemezt 4 darab M10 5.6 menetes szár fogja össze. A felső acéllemezen található 250 mm-es 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 elmozdulásmérőknek. Összesen 5 darab műszer rögzítésére alkalmas. A rögzítések egy sugárirányban elhelyezkedő sínek mentén mozgathatók, így variálható az elmozdulásmérők elhelyezkedése.
11. A terhelőgép alsó fix padja.
12. A terhelőgép felső, mozgó egysége. A mozgás sebessége konstans.



5.8. ábra – A teljes mérési összeállítás



6. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS CÉLOK ÖSSZEFOGLALÁSA

6.1 Vizsgálatok és célkitűzések

A vizsgálatokat és a hozzájuk tartozó célkitűzéseket a 6.1. táblázat foglalja össze:

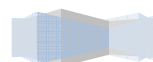
Vizsgált paraméterek	Célok
Kísérleti paraméterek: - Közel azonos betonszilárdság - Eltérő porozitás - Eltérő ragasztó típus Mért paraméterek: - Nyomószilárdság (roncsolásos, roncsolás mentes) - Hajlító-húzó szilárdság - Látszólagos porozitás - Kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó erő - Kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó elmozdulás - Szakadókúp fajtája és nagysága	Porozitás hatásának vizsgálata a ragasztott kapcsolatok teherbírására, közel azonos betonszilárdság mellett. - A keverékek közel azonos nyomószilárdságának igazolása. Nyomószilárdsági paraméterek felhasználása a kézi közelítő számításhoz. - Hajlító-húzó feszültség és a teherbírás kapcsolatának vizsgálata. - Porozitás és teherbírás kapcsolatának vizsgálata. - A mért és a közelítő számítási eredmények összevetése. - Az erő-elmozdulás értékek összevetése a számítási segédlet diagramjaival. - A kétfajta ragasztó szakadókúpos tönkremenetelének összehasonlítása

6.1. táblázat – Célok összefoglalása

A vizsgálathoz 4 különböző betonreceptúra alapján készültek próbatestek. A betonok nyomószilárdsága közel azonos mértékű, viszont porozitásuk eltérő. Rögzítőelemek szempontjából két féle ragasztott kapcsolatot vizsgáltunk. Egy vinilészter-hibrid és egy epoxi alapanyagú ragasztót. Mind a két ragasztóhoz M8 10.9 menetes szárat használtunk. A kihúzó kísérlet során mértük az erőt és a hozzá tartozó elmozdulást. A mérés során kapott eredményeket összevetettük a gyártó által ajánlott kézi közelítő számítás eredményeivel.

Végezetül a következő összefüggéseket vizsgáltuk:

- Nyomószilárdság – kritikus erő
- Hajlító-húzószilárdság – kritikus erő
- Látszólagos porozitás – kritikus erő
- Szakadókúpok paraméterei a két ragasztó esetén



6.2 Laboratóriumi vizsgálatok mátrixa

A BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriumában elvégzett anyagvizsgálatok mátrixát a 6.2. táblázat foglalja össze:

Vizsgálat típusa:		Nyomószilárdság	Hajlító - húzószilárdság	Schmidt-kalapács	Látszólagos porozitás
Alkalmazott szabványok:		MSZ EN 12390 - 3:2009	MSZ EN 12390 - 5:2009	ÚT-2-2.204	MSZ EN 934-2:1999
Póbatestek:		150x150x150 mm	70x70x250 mm	150x150x150 mm	változó
Receptúrák	A keverék	4	6	4x10	2x6
	B keverék	4	6	4x10	2x6
	C keverék	4	6	4x10	2x6
	D keverék	4	6	4x10	2x6
Összesen [db]:		16	24	160	48

6.2.táblázat – Laboratóriumi vizsgálatok mátrixa

A kihúzókísérletek kapcsán háromfajta anyagtulajdonságot vizsgáltunk, négyféle módon. A vizsgálatokhoz használt, a szabvány által előírt próbatestek ugyanabból a betonkeverékekből készültek, mint a kihúzókísérlethez használt próbatestek. A négy receptúra anyagvizsgálatához összesen 248 darab mérést végeztünk.

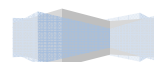
6.3 Kihúzóvizsgálatok kísérleti mátrixa

A kihúzóvizsgálatok mátrixát a 6.3. táblázat foglalja össze:

Kapcsolati típusok:		Vinilészter-hibrid	Epoxi	S [db]
Receptúrák	A keverék	5	5	10
	B keverék	5	5	10
	C keverék	5	5	10
	D keverék	5	5	10
Összesen [db]:		20	20	40

6.3. táblázat – Kihúzóvizsgálat kísérleti mátrix

A ragasztott kapcsolatok vizsgálata négyféle eltérő beton keverékkel, és két különböző kémiai kötésű ragasztó felhasználásával valósult meg. A mérések során összesen 40 darab kihúzó vizsgálat készült.



7. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

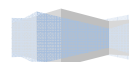
7.1 Próbatesten elvégzett anyagvizsgálati mérések eredményei

7.1.1 Roncsolásmentes nyomószilárdsági eredmények

A roncsolásmentes (Schmidt-kalapáccsos) vizsgálat eredményeit a 7.1. táblázat tartalmazza:

Próbakocka		Visszapattanási értékek											korrekció	$f_{cm,200}$	átl. $f_{cm,200}$	átl. $f_{cm,150}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	átlag		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
B	I.	52	52	51	51	52	55	56	51	52	51	52,3	1	91,6	82,7	85,2
		48	50	48	49	51	49	49	46	52	45	48,7	1	74,0		
	II.	51	53	54	49	53	51	49	49	50	50	50,9	1	84,4		
		49	50	51	51	52	52	51	49	52	50	50,7	1	83,5		
	III.	50	51	52	50	52	50	52	49	51	52	50,9	1	84,4		
		48	49	45	49	50	51	48	48	49	48	48,5	1	73,1		
	IV.	52	52	53	53	53	55	53	47	48	48	51,4	1	86,9		
		49	48	54	54	48	48	54	49	54	49	50,7	1	83,5		
D	I.	48	49	50	51	53	52	48	50	51	52	50,4	1	82,0	81,7	84,1
		52	49	52	48	48	51	49	48	52	49	49,8	1	79,1		
	II.	49	48	48	50	51	49	48	47	46	46	48,2	1	71,8		
		48	48	47	47	50	48	48	49	49	50	48,4	1	72,7		
	III.	53	54	53	49	54	54	51	52	53	53	52,6	1	93,2		
		49	48	50	48	48	49	49	50	48	48	48,7	1	74,0		
	IV.	52	53	51	49	52	53	50	50	51	52	51,3	1	86,4		
		55	55	54	52	55	52	50	50	53	52	52,8	1	94,2		
A	I.	42	46	44	44	46	46	41	45	46	41	44,1	1	55,2	62,4	66,2
		46	46	41	42	42	42	48	41	44	42	43,4	1	52,7		
	II.	42	45	40	45	46	47	46	46	40	46	44,3	1	56,0		
		43	41	42	40	45	45	46	44	42	43	43,1	1	51,6		
	III.	42	50	48	49	48	48	47	47	51	47	47,7	1	69,6		
		49	46	51	51	52	52	48	48	49	49	49,5	1	77,7		
	IV.	49	48	47	46	46	47	45	49	47	46	47,0	1	66,6		
		49	51	48	49	47	46	47	46	47	48	47,8	1	70,1		
C	I.	45	46	47	46	46	45	49	46	45	46	46,1	1	62,9	63,0	64,9
		45	45	45	49	47	49	46	46	46	48	46,6	1	65,0		
	II.	45	47	46	45	48	45	46	49	46	45	46,2	1	63,3		
		45	46	46	49	46	46	46	45	46	47	46,2	1	63,3		
	III.	45	47	45	46	45	47	45	45	45	48	45,8	1	61,7		
		48	45	46	46	48	46	46	46	45	46	46,2	1	63,3		
	IV.	46	45	46	46	45	46	48	45	45	46	45,8	1	61,7		
		48	47	45	45	47	46	48	45	45	45	46,1	1	62,9		

7.1.táblázat – Nyomószilárdság becslés Schmidt-kalapáccsal



A roncsolásmentes nyomószilárdság becslés Schmidt-kalapáccsal történt az ÚT 2-2.204:1999 [14] szabvány szerint. A mérést a roncsolásos nyomószilárdságméréshez készült kockákon végeztük, a kockák 2 ellentétes oldalán, 10-10 helyen. A mért és a számított eredményeket a 7.2. táblázat tartalmazza.

A visszapattnási értékekből számolt nyomószilárdsági érték a következő képlet alapján történt [14]:

$$\lg R_{200} = -2,159 + 1,805 \cdot \lg(r) + 0,345 \cdot \lg(r)^2$$

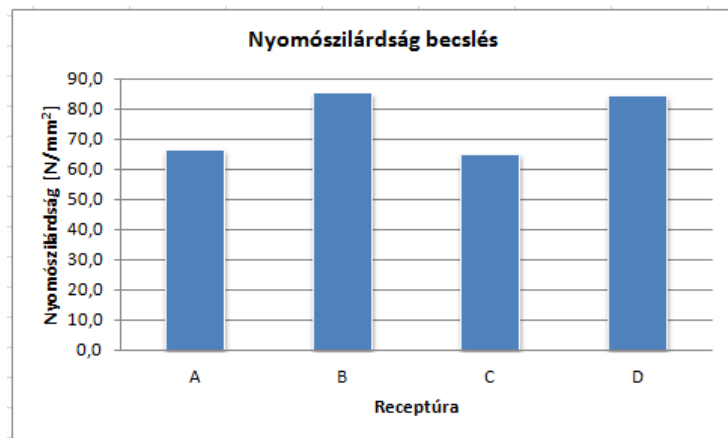
ahol:

R_{200} : a beton becsült kockaszilárdsága N/mm² értékben

r : a visszapattnási értékek ütésirány szerint redukált, a pontosság-ellenőrzési tényezővel és a kor szerinti tényezővel korrigált átlagértéke, egy tizedesjegy pontossággal.

Az átszámolás 200 mm-es kockáról 150 mm-es kockára [18]: $f_{cm,150} = 1,06 \times f_{cm,200}$

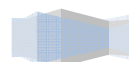
A Schmidt-kalapáccsak történő nyomószilárdság értékeket oszlopdiagram formában a 7.1. ábra foglalja össze:



7.1. ábra – Becsült nyomószilárdság értékek receptúránként

A roncsolásmentes nyomószilárdság becslés szerint a négy keverék közül a legnagyobb nyomószilárdsága a B receptúrának van. A D receptúra nyomószilárdság értéke közel esik a B receptúráéhoz, az A és C keverékek szilárdsága nagyjából 20 N/mm²-el kisebb (7.1. táblázat, 7.1. ábra).

Betonok esetében a Schmidt-kalapáccsos mérés csak 50-es visszapattnási érték alatt ad jó közelítést a nyomószilárdság értékére. Esetünkben minden mérés az 50-es határérték közelébe esik, így feltételezhető, hogy a kapott eredmények jelentősen meghaladják a roncsolásos nyomószilárdság vizsgálat során kapott eredményeket.



7.1.2. Roncsolásos nyomószilárdsági eredmények

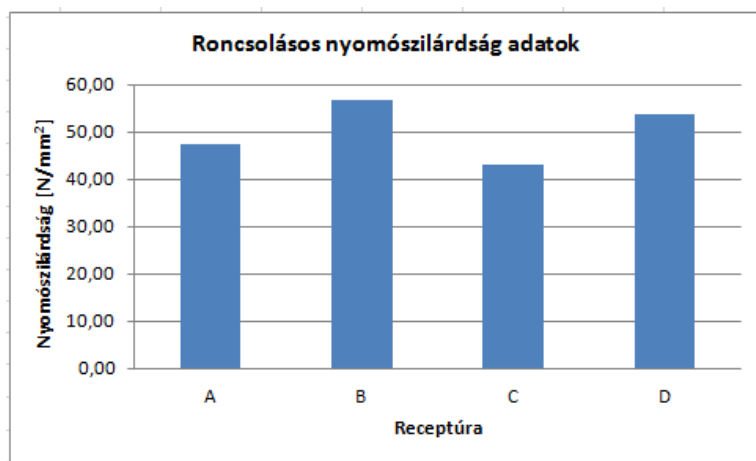
A roncsolásos nyomószilárdság eredményeket a 7.2. táblázat és a 7.2. ábra tartalmazza:

Receptúra	Szám	Méretek [mm]			Tömeg [kg]	Törőerő [kN]	Feszültség [N/mm ²]			minősítés
		a	b	h			f _c	f _{kar}	min. f _{kar}	
B	I.	149,65	149,78	151,05	7,523	1602	71,47	63,47	56,94	C45/55
	II.	149,96	149,58	150,34	7,830	1585	70,66	62,66		
	III.	150,10	149,70	1151,75	7,090	1474	65,60	57,60		
	IV.	150,08	149,91	149,86	7,673	1461	64,94	56,94		
D	I.	149,89	150,05	147,8	7,780	1389	61,76	53,76	53,76	C40/50
	II.	149,99	149,24	149,72	7,877	1489	66,52	58,52		
	III.	149,90	150,11	148,83	7,797	1477	65,64	57,64		
	IV.	149,94	149,64	150,15	7,876	1505	67,08	59,08		
A	I.	149,75	149,80	151,21	7,641	1309	58,35	50,35	47,40	C35/45
	II.	149,89	149,81	151,06	7,613	1298	57,80	49,80		
	III.	149,86	149,90	150,73	7,512	1273	56,67	48,67		
	IV.	149,85	150,22	151,32	7,875	1247	55,40	47,40		
C	I.	150,05	150,14	150,08	7,700	1154	51,22	43,22	43,22	C30/37
	II.	150,24	150,19	150,5	7,683	1190	52,74	44,74		
	III.	149,87	150,00	137,52	7,027	1247	55,47	47,47		
	IV.	150,10	149,96	139,42	7,122	1224	54,38	46,38		

7.2. táblázat – Roncsolásos nyomószilárdság mérés adatai

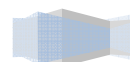
A vizsgálat a MSZ EN 12390 -3:2009 [15] szabvány szerint készült. A kapott értékek szerinti receptúra minősítést az MSZ EN 1992-1-1:2010 [18] alapján határoztuk meg.

Az eredményekből látható, hogy a B és D receptúra nyomószilárdsága közel esik egymáshoz, valamint az A és C receptúra nyomószilárdsága is, viszont A és C receptúra szilárdsága közel 10 N/mm²-el kevesebb mint a B és D receptúra értékei.



7.2. ábra – Roncsolásos nyomószilárdság értékek receptúránként

A roncsolásos vizsgálat során kapott értékek a vártak megfelelően kisebbek, mint a roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálat eredményei. A két vizsgálat eredményei összhangban vannak, receptúrák szilárdsági sorrendje megegyezik.



7.1.3. Hajlító húzószilárdsági eredmények

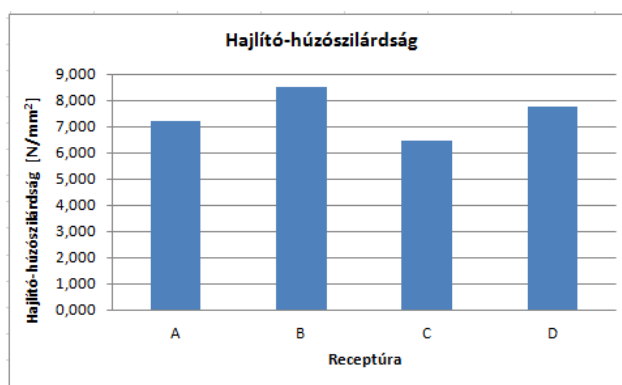
A hajlító-húzószilárdsági értékeket a 7.3. táblázat és a 7.3. ábra foglalja össze:

Receptúra	Név	Méretek [mm]			Tömeg [kg]	Törőerő [kN]	Inercia [mm ⁴]	Nyomaték [Nmm]	Feszültség [N/mm ²]	átlag fesz. [N/mm ²]
		a	b	h						
B	a	71,58	70,71	251,76	2,968	9,20	2108885	460000	7,712	8,515
	b	72,51	70,38	252,36	2,993	9,06	2106514	453000	7,568	
	c	70,80	70,78	252,33	2,985	9,75	2092106	487500	8,247	
	d	71,50	70,83	250,31	2,922	10,24	2117271	512000	8,564	
	e	71,18	70,46	250,61	2,914	10,10	2074936	505000	8,574	
	f	71,49	70,96	250,28	2,938	12,51	2128653	625500	10,426	
D	a	71,17	70,65	250,11	2,895	9,05	2091473	452500	7,643	7,778
	b	74,36	70,81	250,58	3,005	10,30	2200097	515000	8,288	
	c	72,75	70,89	250,04	2,967	9,54	2159766	477000	7,828	
	d	70,40	70,59	249,72	2,873	9,00	2063578	450050	7,698	
	e	71,68	69,79	249,66	2,894	8,80	2030469	440000	7,562	
	f	70,88	70,13	249,62	2,907	8,89	2037295	444500	7,651	
A	a	73,78	70,66	251,90	2,986	9,44	2169094	472000	7,688	7,227
	b	73,64	70,49	253,17	2,976	9,17	2149389	458500	7,518	
	c	73,53	70,69	251,69	2,976	9,25	2164498	462500	7,552	
	d	72,45	70,57	250,85	2,949	8,64	2121864	432000	7,184	
	e	72,99	70,99	250,59	2,960	7,80	2176074	390000	6,361	
	f	72,35	70,67	250,45	2,954	8,50	2127956	425000	7,057	
C	a	71,11	70,91	250,93	2,883	7,94	2112866	397000	6,662	6,483
	b	70,68	70,58	251,27	2,866	7,76	2070905	388000	6,612	
	c	71,45	70,89	252,02	2,896	7,84	2121172	392000	6,550	
	d	71,71	69,98	249,91	2,866	7,45	2047954	372500	6,364	
	e	71,03	69,79	249,85	2,839	7,90	2012056	395000	6,850	
	f	70,23	70,25	249,85	2,887	6,77	2028992	338500	5,860	

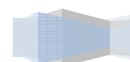
7.3. táblázat – Hajlító-húzófeszültségek összefoglalása

A próbatestek hajlító-húzószilárdsági vizsgálata, 70x70x250 mm-es beton próbatesteken, a MSZ EN 12390-5:2009 [17] szabvány szerint történt.

A mért értékek alapján megállapítható, hogy a betonkeverékek hajlító-húzószilárdságának tendenciája megegyezik a nyomószilárdsági vizsgálatoknál kapott értékekkel (7.3. ábra).



7.3. ábra – Hajlító-húzószilárdság értékek receptúránként

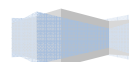


7.1.4 Látszólagos porozitás eredmények

A látszólagos porozitás eredményeket a 7.4. táblázat és a 7.4 ábra foglalja össze:

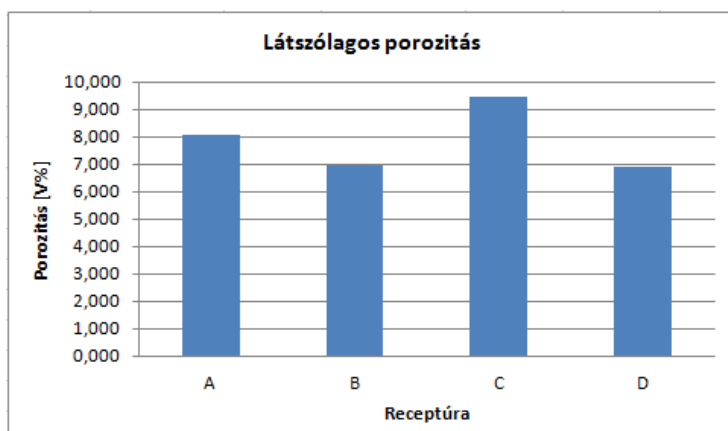
Receptúra	Név	száraz tömeg [kg]	térfogat [cm ³]	nedves tömeg [kg]	porozitás [V%]	átlag por. [V%]
C	C/a-1	1,266	709	1,342	10,719	9,439
	C/a-2	1,612	853	1,695	9,730	
	C/b-1	1,523	843	1,599	9,015	
	C/b-2	1,334	712	1,4	9,270	
	C/c-1	1,571	883	1,647	8,607	
	C/c-2	1,316	715	1,382	9,231	
	C/d-1	1,404	748	1,483	10,561	
	C/d-2	1,449	779	1,521	9,243	
	C/e-1	1,459	782	1,533	9,463	
	C/e-2	1,372	758	1,442	9,235	
	C/f-1	1,371	763	1,441	9,174	
	C/f-2	1,409	754	1,477	9,019	
A	A/a-1	1,404	750	1,462	7,733	8,048
	A/a-2	1,575	825	1,638	7,636	
	A/b-1	1,656	895	1,727	7,933	
	A/b-2	1,315	710	1,374	8,310	
	A/c-1	1,524	819	1,579	6,716	
	A/c-2	1,449	774	1,503	6,977	
	A/d-1	1,438	804	1,499	7,587	
	A/d-2	1,505	827	1,57	7,860	
	A/e-1	1,333	699	1,397	9,156	
	A/e-2	1,623	864	1,706	9,606	
	A/f-1	1,453	772	1,518	8,420	
	A/f-2	1,497	822	1,568	8,637	
B	B/a-1	1,296	691	1,343	6,802	6,943
	B/a-2	1,665	873	1,724	6,758	
	B/b-1	1,435	777	1,49	7,079	
	B/b-2	1,552	826	1,608	6,780	
	B/c-1	1,455	790	1,506	6,456	
	B/c-2	1,524	819	1,579	6,716	
	B/d-1	1,502	780	1,558	7,179	
	B/d-2	1,414	724	1,469	7,597	
	B/e-1	1,587	855	1,646	6,901	
	B/e-2	1,322	706	1,373	7,224	
	B/f-1	1,599	846	1,656	6,738	
	B/f-2	1,332	720	1,383	7,083	
D	D/a-1	1,452	803	1,505	6,600	6,900
	D/a-2	1,438	790	1,494	7,089	
	D/b-1	1,519	900	1,578	6,556	
	D/b-2	1,481	809	1,531	6,180	
	D/c-1	1,546	821	1,597	6,212	
	D/c-2	1,416	816	1,469	6,495	
	D/d-1	1,409	744	1,466	7,661	
	D/d-2	1,461	784	1,514	6,760	
	D/e-1	1,27	682	1,321	7,478	
	D/e-2	1,62	855	1,683	7,368	
	D/f-1	1,411	738	1,462	6,911	
	D/f-2	1,492	788	1,551	7,487	

7.4. táblázat – Látszólagos porozitás eredmények



A látszólagos porozitás vizsgálat a hajlító-húzószilárdsághoz is használt 70x70x250 mm-es próbatesteken történt, miután azok a hajlító-húzó vizsgálat folyamán eltörtek törtek.

A porozitás értékek (7.4. ábra) magyarázatot adnak a szilárdsági vizsgálatok során mért eredményekre (7.1. ábra, 7.2. ábra).



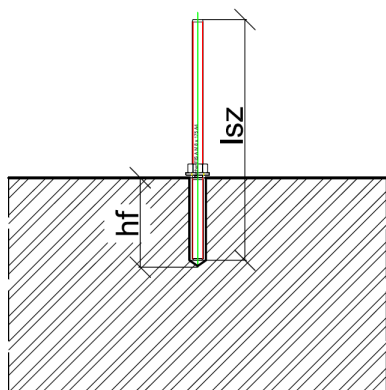
7.4. ábra – Látszólagos porozitás értékek receptúránként

7.2 Kihúzóvizsgálatok eredményei

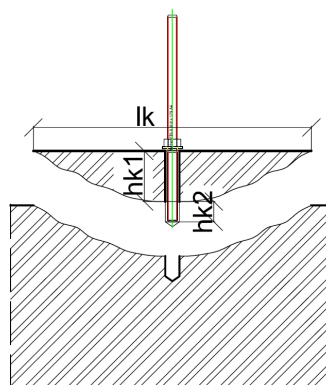
A rögzítőelemek installálása előtt, század milliméter pontos tolómérővel lemérésre került minden próbatestnél a tényleges furatmélység (h_f) és a menetes szár tényleges hossza (l_{sz}) (7.5 a. ábra).

A kihúzóvizsgálat alatt a mérési összeállítás (5.3.2 fejezet) segítségével mérni tudtuk a kihúzóerőhöz tartozó kritikus erőt és elmozdulást. A mért erő-elmozdulás görbéket (7.6.-7.13. ábra) a következő fejezet foglalja össze.

A kapcsolatok tönkremenetele után, ha a tönkremenetel során szakadókúp jött létre, szintén századmilliméter pontos tolómérő segítségével lemértük a szakadókúp átmérőjének nagyságát két átlóban (l_k) és a szakadókúp mélységét, szintén 2-2 helyen (h_{k1} ; h_{k2}) átlagolva (7.5 b ábra). A mért értékeket a 7.5 a. ábra és a 7.5 b. ábra szemlélteti:



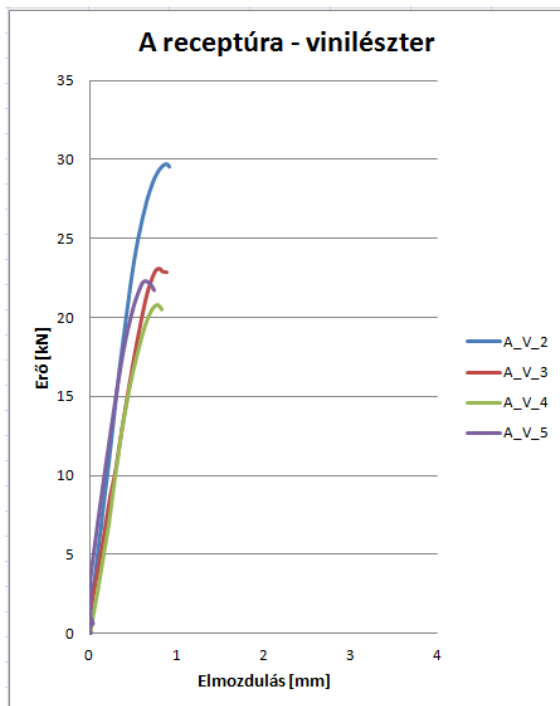
7.5 a. ábra – Tényleges furat mélység és szár hossz



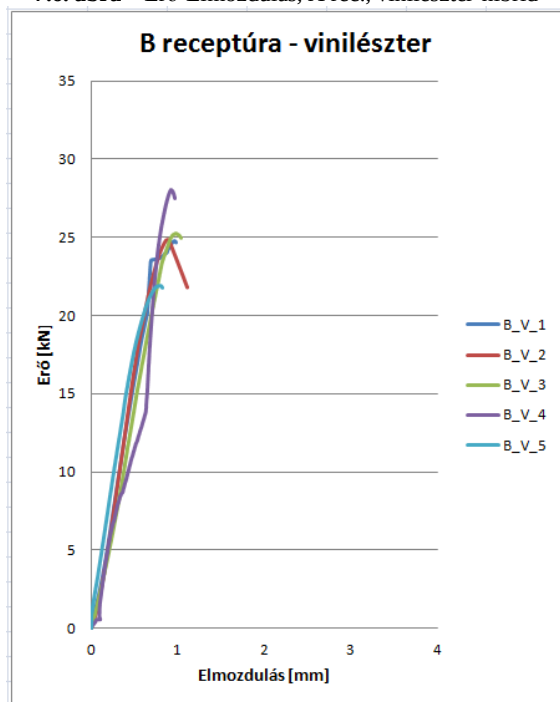
7.5 b. ábra – Szakadókúp felülete és nagysága

7.2.1 Kihúzókísérletek erő-elmozdulás görbéi

- Vinilészter-hibrid ragasztó (FIS V + M8 10.9)



7.6. ábra – Erő-Elmozdulás, A rec., vinilészter-hibrid



7.7. ábra – Erő-Elmozdulás, B rec., vinilészter-hibrid

A receptúra – C35/45

Nyomószilárdság: 47,40 N/mm²

Hajlító-húzószilárdság: 7,227 N/mm²

Porozitás: 8,048 V%

A 7.6. ábrán látható, hogy az erő-elmozdulás görbék közül három nagyon hasonlóan rajzolódtak ki, az A receptúra esetén, vinilészter-hibrid kapcsolatnál. Kivétel ez alól a kettes minta (A_V_2), aminek kritikus ereje nagyban meghaladja a másik három maximumát. Ennek oka lehet a próbatest nagyobb szilárdsága.

A tönkremenetel minden esetben részleges szakadókúp kialakulása volt.

B receptúra – C45/55

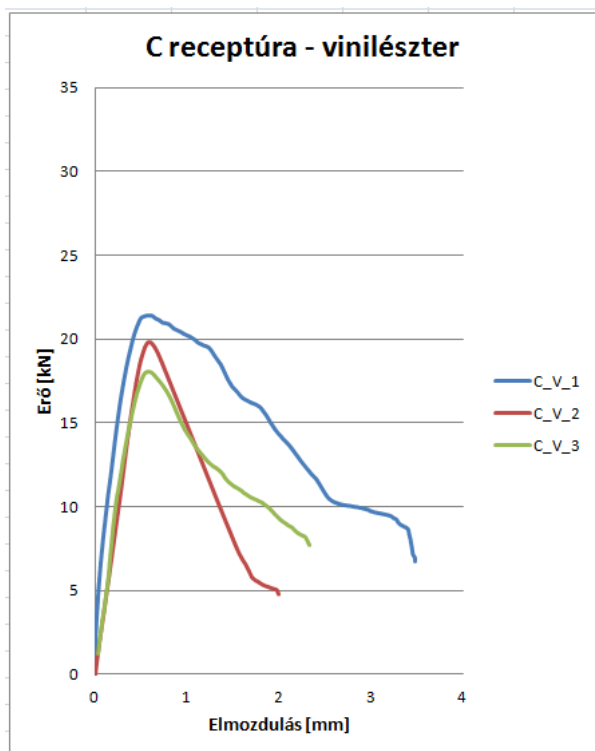
Nyomószilárdság: 56,94 N/mm²

Hajlító-húzószilárdság: 8,515 N/mm²

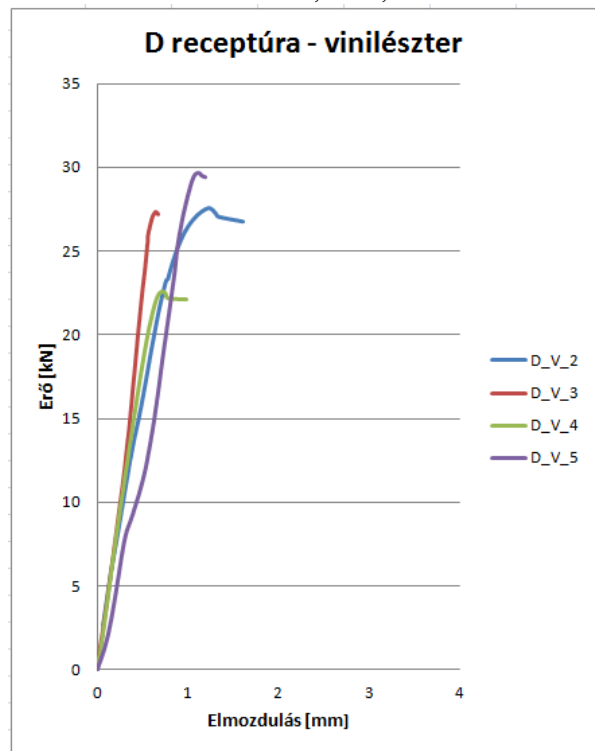
Porozitás: 6,943 V%

A 7.7. ábra a B receptúra próbatesteibe, vinilészter-hibrid ragasztóval rögzített kapcsolatok tönkremeneteléhez tartozó erő-elmozdulás görbéit mutatja. Látható, hogy mind az öt görbe tendenciája hasonló. Nincs nagyobb eltérés sem az erő, sem az elmozdulás maximális értékeiben.

A tönkremenetel mind az öt esetben részleges szakadókúp kialakulása volt.



7.8. ábra – Erő-Elmozdulás, C rec., vinilészter-hibrid



7.9. ábra – Erő-Elmozdulás, D rec., vinilészter-hibrid

C receptúra – C30/37

Nyomószilárdság: $43,22 \text{ N/mm}^2$

Hajlító-húzószilárdság: $6,483 \text{ N/mm}^2$

Porozitás: 9,439 V%

A C receptúránál mért erő-elmozdulás görbék kezdő lineáris szakaszának meredeksége megegyezik és a maximális kihúzóerő értékek is közel azonosak (7.8. ábra). A kritikus erő értékek itt a legalacsonyabbak az összes receptúránál mért maximális erők közül. Ennek oka a kis nyomószilárdság.

A tönkremenetel mind a három esetben részleges szakadókúp kialakulása volt.

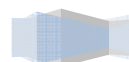
D receptúra – C40/50

Nyomószilárdság: $53,76 \text{ N/mm}^2$

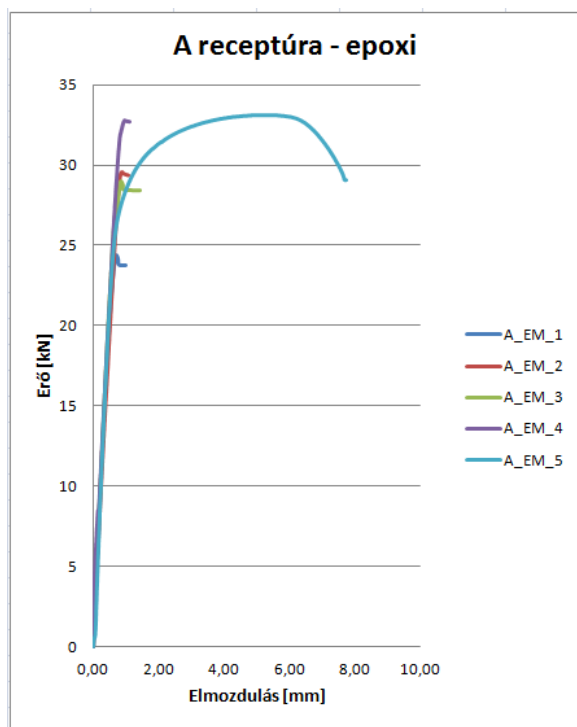
Hajlító-húzószilárdság: $7,778 \text{ N/mm}^2$

Porozitás: 6,900 V%

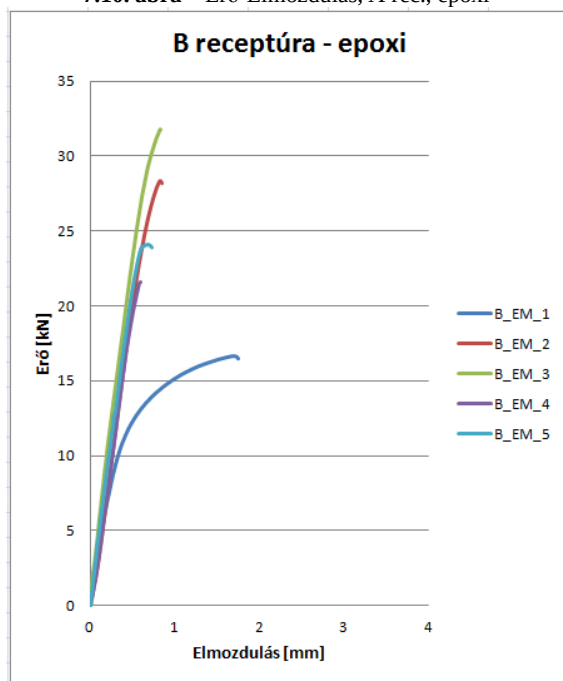
A D receptúra esetén a vinilészter-hibrid ragasztóval rögzített kapcsolatok tönkremeneteléhez tartozó erő-elmozdulás görbéinek kezdeti meredeksége azonos, viszont a maximális erő és a hozzá tartozó elmozdulás értékek kis mértékben, de eltérnek (7.9. ábra). Viszont ez a szórás nem jelentős annyira, hogy ezeket az értékeket figyelmen kívül hagyjuk az eredmények kiértékelésénél. A tönkremenetel mind a négy esetben részleges szakadókúp kialakulása volt.



- Epoxi ragasztó (FIS EM + M8 10.9)



7.10. ábra – Erő-Elmozdulás, A rec., epoxi



7.11. ábra – Erő-Elmozdulás, B rec., epoxi

A receptúra – C35/45

Nyomószilárdság: $47,40 \text{ N/mm}^2$

Hajlító-húzószilárdság: $7,227 \text{ N/mm}^2$

Porozitás: 8,048 V%

Látható, hogy az ötödik minta (A_EM_5) erő-elmozdulás görbéjének alakja jelentősen eltér a többi mintánál tapasztalt görbe alakjától (7.10. ábra). Ennek oka, hogy ebben az esetben a tönkremenetel acél menetes szár szakadás volt. Így az ötödik minta erő-elmozdulás görbéjének alakja megegyezik egy acél s-ε diagramjával. Ez a fajta tönkremenetel sokkal nagyobb elmozdulással járt, így a 7.10. ábra elmozdulás tengelyék dimenziója eltér a többi görbéjétől.

A tönkremenetelnél az első minta (A_EM_1) esetében részleges szakadókúp, míg a többi három esetben teljes szakadókúp alakult ki.

B receptúra – C45/55

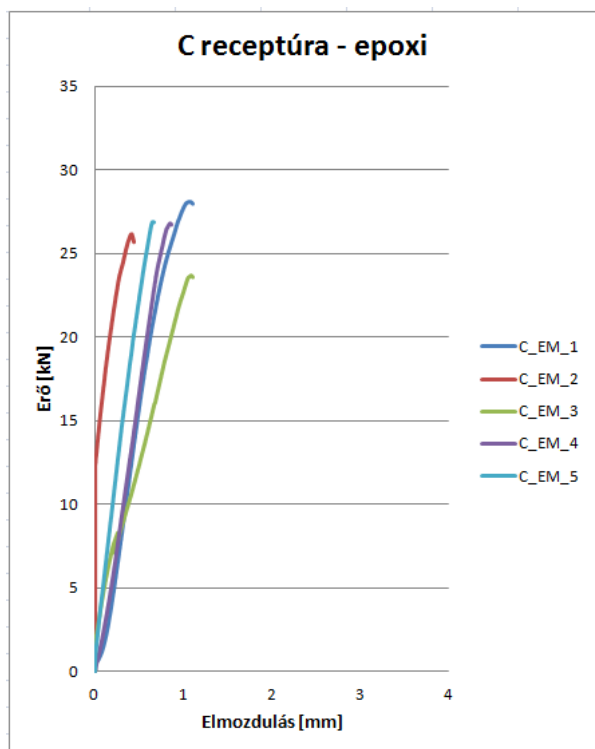
Nyomószilárdság: $56,94 \text{ N/mm}^2$

Hajlító-húzószilárdság: $8,515 \text{ N/mm}^2$

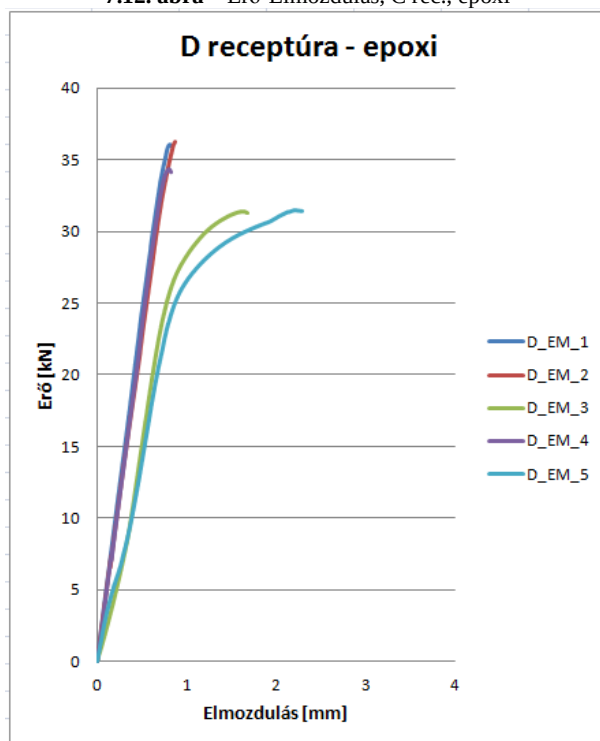
Porozitás: 6,943 V%

Az első minta (B_EM_1) erő-elmozdulás görbéje nagyban eltér a többi minta diagramjától (7.11. ábra). Látható, hogy a teherbírása is sokkal kisebb, mint a többi esetben. Ennek oka lehet a próbatest anyagtulajdonságának valamilyen eltérése (hibája), rossz bedolgozottságból adódóan. A többi görbe értékei összhangban vannak.

A négyes minta (B_EM_4) a vizsgálat során átrepedt, így ezt külön kezeljük kiértékelésnél. A többi minta tönkremenetelénél teljes szakadókúp alakult ki.



7.12. ábra – Erő-Elmozdulás, C rec., epoxi



7.13. ábra – Erő-Elmozdulás, D rec., epoxi

C receptúra – C30/37

Nyomószilárdság: $43,22 \text{ N/mm}^2$

Hajlító-húzószilárdság: $6,483 \text{ N/mm}^2$

Porozitás: 9,439 V%

A 7.12. ábrán látható, hogy a görbék kezdeti lineáris szakaszának a meredeksége, az epoxi ragasztóknál megszokottól eltérően, különböző. A görbék maximális erő és elmozdulás értékei kis mértékben, de eltérőek. Viszont ez a szórás nem akkora, hogy az eredményeket ez miatt figyelmen kívül hagyjuk.

A négyes minta (C_EM_4) a vizsgálat során átrepedt, az ötös minta (C_EM_5) tönkremenetelnél részleges szakadókúp, míg a többi esetben teljes szakadókúp alakult ki.

D receptúra – C40/50

Nyomószilárdság: $53,76 \text{ N/mm}^2$

Hajlító-húzószilárdság: $7,778 \text{ N/mm}^2$

Porozitás: 6,900 V%

A harmadik (D_EM_3) és az ötödik minta (D_EM_5) erő-elmozdulás görbéje eltér a másik három görbétől (7.13. ábra). Mind a két minta esetében ennek oka, hogy a vizsgálat során a próbatest kettérepedt.

A többi minta erő-elmozdulás görbéjének tendenciája megegyezik.

Az első minta esetében a tönkremenetelnél részleges szakadókúp alakult ki, míg a többi két esetben teljes szakadókúp.

7.2.2 Kihúzókísérlet eredményeinek összegzése

A kihúzókísérleti eredményeket, vinilészter-hibrid ragasztó esetén a 7.5. táblázat foglalja össze:

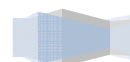
Szám	Receptúra	Név	furat mélység h_f [mm]	szár hossz l_{sz} [mm]	szakadókúp mélység [mm]		szakadókúp átmérő l_k [cm]	kihúzó erő [kN]	Tönkremenetel
					h_{k1}	h_{k2}			
1	A	A/V-1	51,51	158,03	25,7	35,24	11,4	-	-
					15,97	28,69	10		
2		A/V-2	52,52	159,56	16,35	35,4	8,5	29,685	Részleges szakadókúp
					19,97	29,86	9,1		
3		A/V-3	45,81	162,68	22,36	17,11	20,1	23,141	Részleges szakadókúp
					26,54	23,89	18,7		
4		A/V-4	47,92	161,49	33,29	13,09	22,1	20,783	Részleges szakadókúp
					34,98	13,98	15,04		
5		A/V-5	48,14	150,24	20,03	24,43	19,7	22,293	Részleges szakadókúp
					24,04	26,55	15,9		
6	B	B-V/1	48,65	157,41	32,39	21,01	22	24,744	Részleges szakadókúp
					31,38	17,14	18		
7		B-V/2	52,37	154,86	17,83	27,86	12,3	24,837	Részleges szakadókúp
					24,43	25,83	12,1		
8		B-V/3	55,43	155,77	29,31	15,36	19,2	29,221	Részleges szakadókúp
					40,36	21,46	20		
9		B-V/4	51,3	157,79	17,07	33,41	9,81	28,016	Részleges szakadókúp
					20,07	31,8	12,389		
10		B-V/5	49,12	166,63	21,09	27,78	12,5	21,87	Részleges szakadókúp
					20,36	32,05	10,5		
11	C	C/V-1	54,92	160,68	27,59	29,88	25,1	21,406	Részleges szakadókúp
					32,1	23,87	25		
12		C/V-2	50,9	158,9	30,28	18,61	-	19,803	Részleges szakadókúp
					33,97	27,09	-		
13		C/V-3	53,07	161,77	24,81	26,24	18,4	18,081	Részleges szakadókúp
					28,33	31,14	23,8		
14		C/V-4	51,72	157,48	21,62	24,76	22,5	-	-
					25,64	21,95	17,5		
15		C/V-5	53,07	166,1	24,64	30,68	18,1	-	-
					18,24	32,02	12,8		
16	D	D/V-1	50,15	153,24	16,37	33,71	13,5	-	-
					20,56	29,57	11,4		
17		D/V-2	51,16	159,92	25,6	24,9	17,6	27,539	Részleges szakadókúp
					24,68	28,48	14,1		
18		D/V-3	53,36	153,91	24,19	27,02	21,6	27,314	Részleges szakadókúp
					27,75	20,41	20		
19		D/V-4	50,62	148,7	18,89	23,99	13,5	22,572	Részleges szakadókúp
					22,65	28,73	15,2		
20		D/V-5	50,71	155,28	27,85	30,39	23,1	29,645	Részleges szakadókúp
					19,19	19,79	26,5		

7.5. táblázat – Kihúzókísérlet eredményeinek összegzése vinilészter-hibrid ragasztó esetén

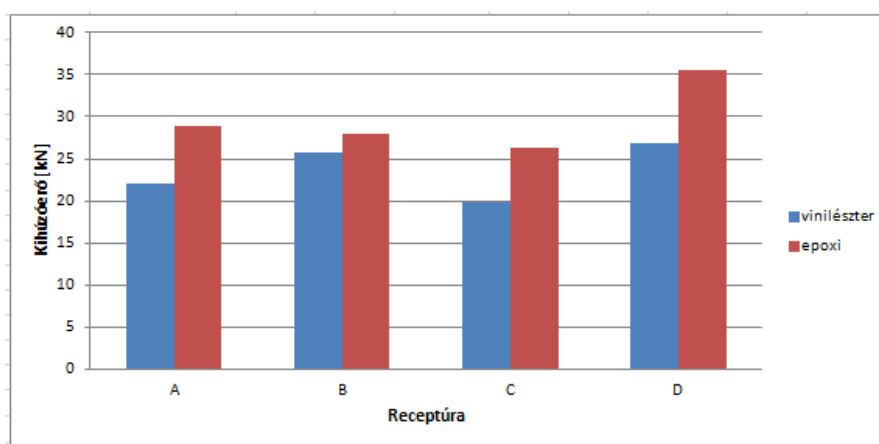
A kihúzókérdés eredményeket, epoxi ragasztó esetén a 7.6. táblázat foglalja össze:

Szám	Receptúra	Név	furat mélység h_f [mm]	szár hossz l_{sz} [mm]	szakadókúp mélység [mm]		szakadókúp átmérő l_k [cm]	kihúzó erő [kN]	Tönkremenetel
					h_{k1}	h_{k2}			
21	A	A/EM-1	52,95	153,07	34,83	20,1	25	24,426	Részleges szakadókúp
					37,79	18,05	20,85		
22		A/EM-2	50,83	153,06	40,36	10,27	25,1	29,592	Teljes szakadókúp
					38,79	6,4	20,1		
23		A/EM-3	43,13	159,53	34,78	6,84	220,5	28,97	Teljes szakadókúp
					39,9	3,77	24,6		
24		A/EM-4	50,02	159,48	40,51	13,33	18,9	32,785	Teljes szakadókúp
					32,51	5,14	11,8		
25		A/EM-5	53,07	164,06	-	-	-	33,142	Acél szárszakadás!
					-	-	-		
26	B	B/EM-1	46,17	157,4	47,72	0	24,2	16,637	Teljes szakadókúp
					51,06	0	21,5		
27		B-EM/2	45,32	160,03	47,55	0	24,4	28,321	Teljes szakadókúp
					46,18	0	22,5		
28		B/EM-3	50,83	157,47	44,4	14,67	12,9	31,751	Teljes szakadókúp
					41,33	9,11	18,8		
29		B/EM-4	50,16	160,01	-	-	-	21,591	Átrepedt!
					-	-	-		
30		B/EM-5	51,09	163,81	50,19	0	17,2	24,082	Teljes szakadókúp
					50,9	0	24,2		
31	C	C/EM-1	50,59	159,97	44,47	10,27	24,9	28,122	Teljes szakadókúp
					46,35	12,73	25		
32		C/EM-2	50,68	151,52	33,17	11,3	23,8	26,175	Részleges szakadókúp
					28,35	17,07	13,7		
33		C/EM-3	50,29	159,28	38,72	12,16	120,42	23,645	Teljes szakadókúp
					34,16	6,73	154,5		
34		C/EM-4	51,82	157,06	-	-	-	26,784	Átrepedt!
					-	-	-		
35		C/EM-5	55,65	161,88	49,33	12,25	23,2	26,916	Részleges szakadókúp
					42,45	16,51	15,1		
36	D	D/EM-1	55,39	163,82	42,06	30,58	13,1	36,056	Részleges szakadókúp
					39,06	18,14	10,6		
37		D/EM-2	52,96	159,39	47,88	5,16	20,4	36,202	Teljes szakadókúp
					39,21	10,75	10,3		
38		D/EM-3	50,24	163,43	-	-	-	31,394	Átrepedt!
					-	-	-		
39		D/EM-4	50,77	163,96	49,3	0	11,56	34,334	Teljes szakadókúp
					48,41	0	18,7		
40		D/EM-5	51,16	160,47	35,02	9,75	19,4	31,46	Átrepedt!
					43,08	6,89	8,5		

7.6. táblázat – Kihúzókérdés eredményeinek összegzése epoxi ragasztó esetén



A kihúzókérdéshez tartozó kritikus erők átlagértékét a 7.14. ábra szemlélteti:



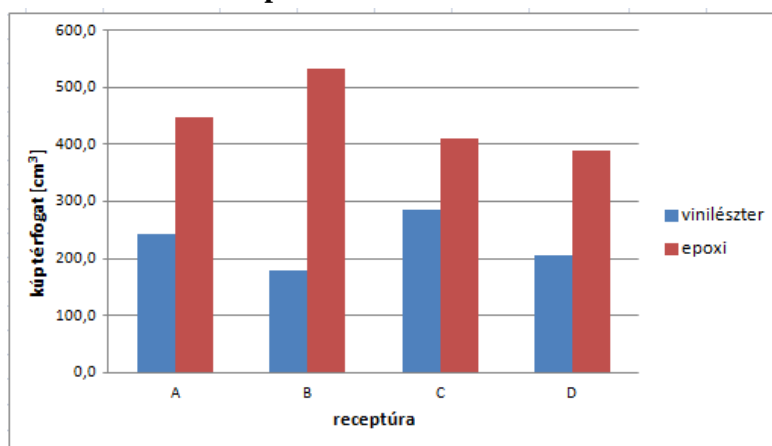
7.14. ábra – Kihúzóerőkhöz tartozó kritikus erők átlagértékei

A 7.14. ábrán látható, hogy az epoxi ragasztóval rögzített kapcsolatok teherbírása minden beton receptúra esetén meghaladja a vinilészter-hibrid ragasztót használó rögzítések teherbírását.

A kritikus erők átlagértékének számolásánál nem lettek figyelembe véve azok az értékek, amik a próbatestek átrepedéses tönkremenetelnél, vagy a menetes szár szakadásánál lettek mérve. Továbbá azok az eredmények is figyelmen kívül hagytuk ahol a próbatest valamilyen eltérő anyagi tulajdonsága miatt a kritikus erő nagyban eltért a többi mintán mért átlagtól.

8. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

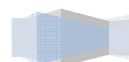
8.1 Szakadóképek kialakulása



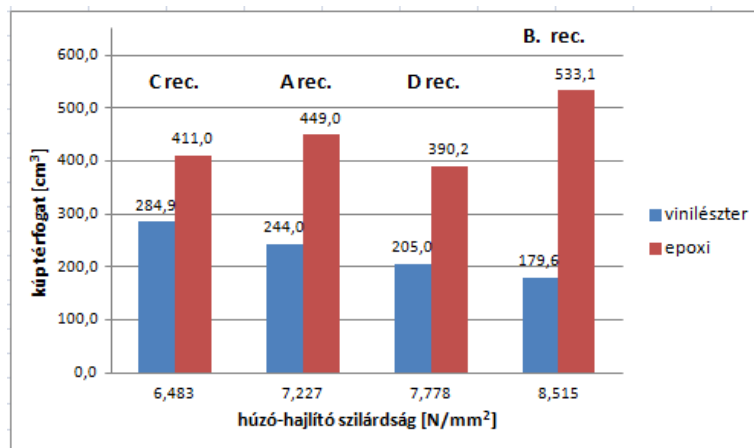
8.1. ábra – Kúptérfogatok összegzése

A vinilészter-hibrid ragasztóval rögzített kapcsolatok nagy részében részleges szakadóképek, míg az epoxi ragasztóval rögzített kapcsolatoknál teljes szakadóképek jöttek létre tönkremenetelnél (7.5.; 7.6. táblázat). Ennek vizsgálatához a létrejövő kiszakadási képek térfogata lett kiszámolva és összehasonlítva. Ezeket az átlag értékeket foglalja össze a 8.1. ábra.

A szakadóképek kialakulásánál a kúp felületén húzó igénybevétel lép fel, így a szakadóképek kialakulását elsősorban a beton húzó-hajlítószilárdsága határozza meg.



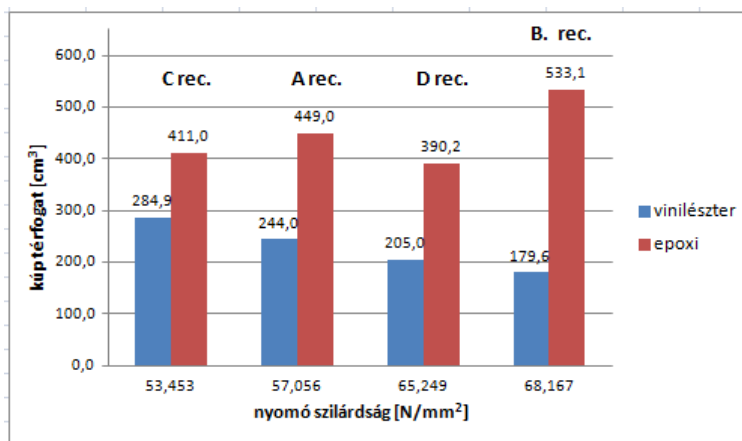
A kiszakadási kúpok térfogának és a hajlító-húzószilárdság kapcsolatát a 8.2. ábra szemlélteti:



8.2. ábra – Kúptérfogat és a hajlító-húzószilárdság összefüggése

A betonok nyomószilárdsága és hajlító-húzószilárdsága nagymértékben összefügg. Ennek oka, hogy, mint a 8.2. ábrán, mint a 8.3. ábrán ugyan azok a tendenciák figyelhetők meg.

A kiszakadási kúptérfogat és a nyomószilárdság kapcsolatának összefüggéseit a 8.3. ábra tartalmazza:



8.3. ábra – Kúptérfogat és a nyomószilárdság összefüggése

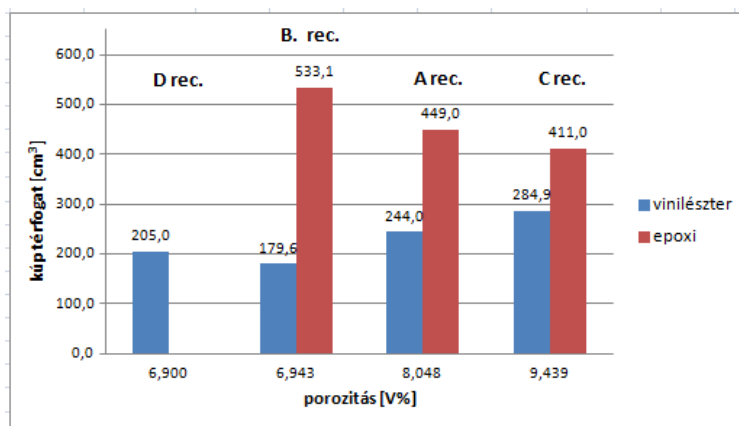
Mind a két esetben látható, hogy a vinilészter-hibrid ragasztóval rögzített menetesszárak tönkremenetelénél létrejövő kúptérfogat a szilárdság (nyomó, hajlító-húzó) növekedésével csökken (8.2.; 8.3. ábra). A vinilészter-hibrid ragasztók erő átadásánál nagy szerepet játszik a furat felületén kialakuló mikro-súrlódások létrejötte (3.6.1 fejezet). Nagy hajlító-húzó szilárdság esetén a teljes szakadókúp létrejöttéhez nagyobb erő kellene mint amit ezek a mikro-súrlódások fel tudnak venni. A súrlódási ellenállások egy része kimerül, a kialakuló szakadókúp felülete csökken egész addig míg be nem áll az egyensúly a furat falán kialakuló mikro-

súrlódások és a szakadókúp felületén keletkező húzási ellenállás között. Ekkor kialakul a szakadókúp, de már csak részlegesen.

Az epoxi ragasztóval rögzített kapcsolatok tönkremenetelénél létrejövő szakadókúp nagysága a beton szilárdságának emelkedésével növekszik (8.2.; 8.3. ábra). Az epoxi ragasztóknál a kialakuló mikro-súrlódások mellett nagyobb szerepet játszik az adhézió által történő erőátadás (3.6.1 fejezet). Így nagy szakadókúp térfogatok, akár teljes szakadókúp is létrejöhet nagy hajlító-húzószilárdság mellett.

A 8.2-8.3 ábrákon látható, hogy epoxi és vinilészter-hibrid ragasztó esetén is az A, B, C receptúra által kimért eredmények összhangban vannak, és egyértelmű tendenciát írnak le. Viszont epoxi ragasztónál a D receptúra alapján készült próbatestek eredményei eltérést mutatnak. Ennek okát keresve kiderült, hogy a receptúra egyik felének az elkészítésénél (ami az epoxi alapanyagú rögzítésekhez lett alkalmazva) más szemeloszlású adalékanyag lett felhasználva. Ez hatással volt a szakadókúpok kialakulására, és így a kapcsolat teherbírására is. Ezért a továbbiakban az eredmények kiértékelésénél a D receptúrához tartozó epoxi alapanyagú ragasztott kapcsolatok eredményeit nem vesszük figyelembe.

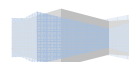
A kialakuló kúptérfogatok és a beton porozitása közti kapcsolatot a 8.4. ábra foglalja össze:



8.4. ábra – Kúptérfogat és porozitás közti összefüggés

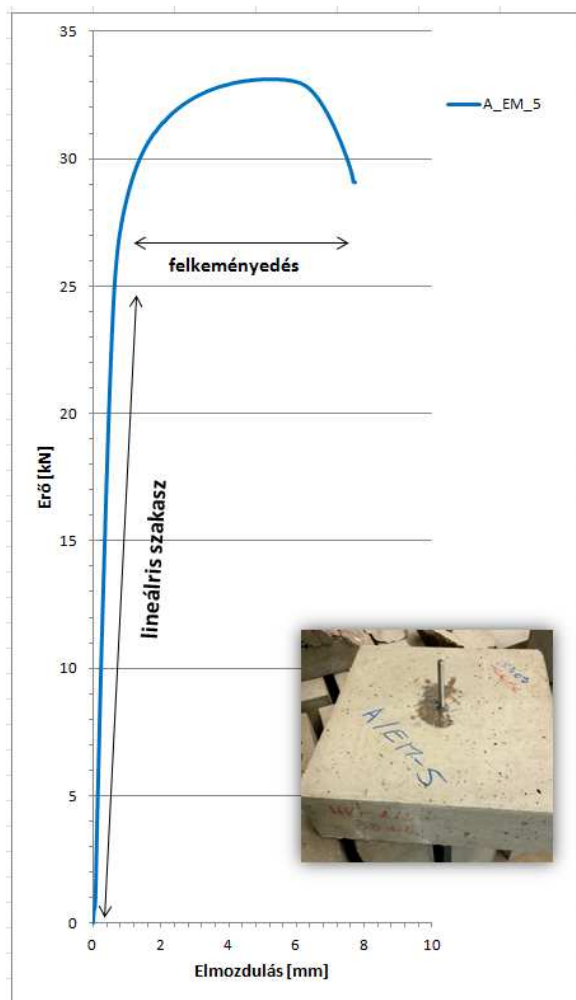
A diagramokról leolvasható, hogy a porozitás növekedésével vinilészter-hibrid esetén növekszik a kúptérfogat, míg epoxi esetén csökken. A növekvő porozitás hatására vinilészter-hibrid ragasztóknál egyre jobban kezd szerepet játszani az adhézióval történő erőátvitel a mikro súrlódások miatt.

Míg epoxi ragasztó esetében nagyobb beszívargás már nem jöhet létre, nem tud több erőt felvenni a kapcsolat. Ráadásul az anyag szerkezete elgyengül a nagy porozitás miatt, ezért a hajlító-húzószilárdság csökken, így kisebb erőnél is ki tud alakulni szakadókúp.



8.2 A jellemző tönkremeneteli módokhoz tartozó görbék értelmezése

8.2.1 Az acél mentes szár szakadása



8.5. ábra – Acél szárszakadáshoz tartozó jellemző erő-elmozdulás görbe

A mentes szárok anyagminőségének ellenőrzése végett öt darab véletlenszerűen kiválasztott mentes száron szakító vizsgálatot végeztünk (8.6. ábra). A kiválasztott minták közül mindegyik megfelelt az elvártaknak.

Megjegyzés: M8-as acél mentes szár esetén a szár húzott keresztmetszete $32,16 \text{ mm}^2$.

Az acél mentes szár (M8 10.9) szakadása, mint tönkremenetel csak egyszer fordult elő (8.5. ábra).

A mentes szár anyagminőségének kiválasztásakor, megelőző mérésekből kiindulva, figyelembe lett véve a kapcsolatok a várható teherbírása, hogy a mentes szár szakadás kizárható legyen. Ezért lett választva a 10.9-es anyagminőség, aminek várható szakadási teherbírása, M8 átmérőnél, 40 kN körüli érték, így a tönkremenetel anyaghibára vezethető vissza.

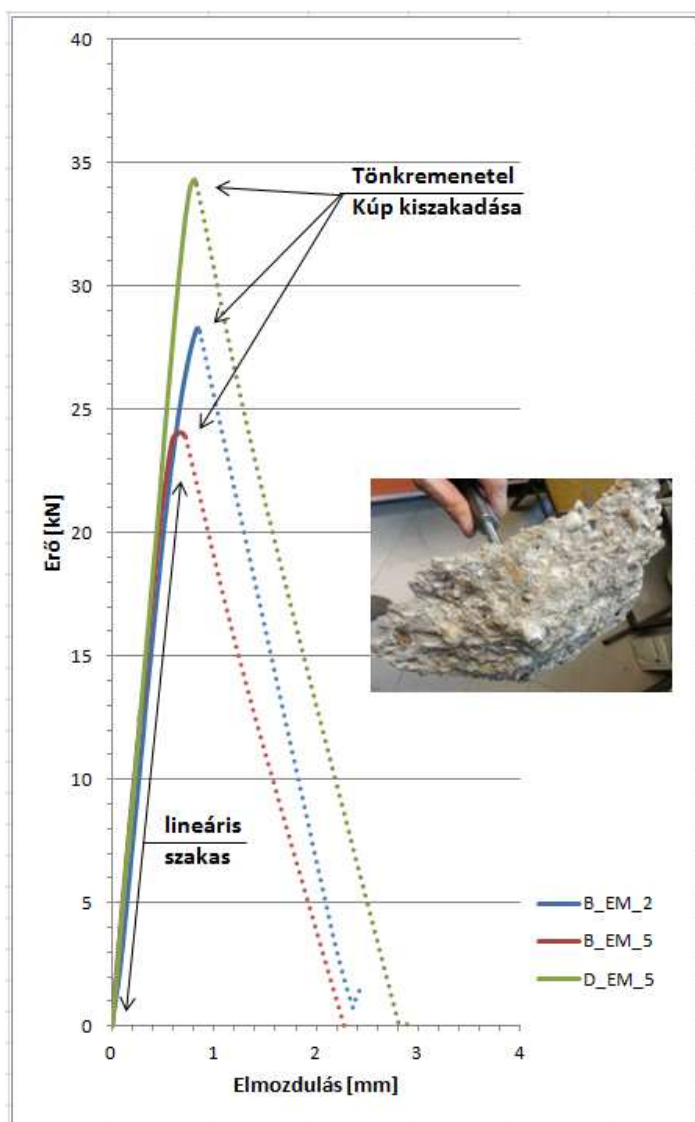
A kapcsolathoz tartozó erő-elmozdulás görbe teljesen megegyezik az acél s-ε diagramjával [19]. A terhelés kezdetekor látható a rugalmas lineáris szakasz, majd 25 kN-nál elkezdődik a felkeményedés, 33 kN-nál eléri a maximális erőt, majd 29 kN-ra visszacsökkenve elszakad. A tönkremenetellel járó elmozdulás sokkal nagyobb, mint a szakadókúpok kialakulásánál mért elmozdulások.



8.6. ábra – Mentes szár szakító vizsgálat

8.2.2 Teljes szakadókúp

A 8.7. ábrán a teljes szakadókúp kialakulásához tartozó jellemző erő-elmozdulás görbék láthatók:



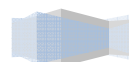
8.7. ábra – Teljes szakadókúp kialakulásához tartozó jellemző erő-elmozdulás görbék

Teljes szakadókúp csakis epoxi ragasztóval rögzített kapcsolatok tönkremenetelnél jött létre.

A 8.7. ábrán látható, hogy a teljes szakadókúp kialakulása egy gyors, tehát rideg tönkremenetel. A kúp nem sokkal a maximális erő felvétele után szakad ki. Ekkor a kúp a rögzítőelem aljából indul, és nagyjából 35 fokos szöget zár be a próbatest felszínével (3.3.2 fejezet) Mivel a teljes kúp kiszakadt, ezért a furatban nem marad a szárból semmi, hogy a kihúzóáskor súrlódással erőt vegyen fel. Ezért teljes szakadókúpos tönkremenetelnél a kapcsolat nem rendelkezik semmilyen tönkremenetel utáni tartalékkal.

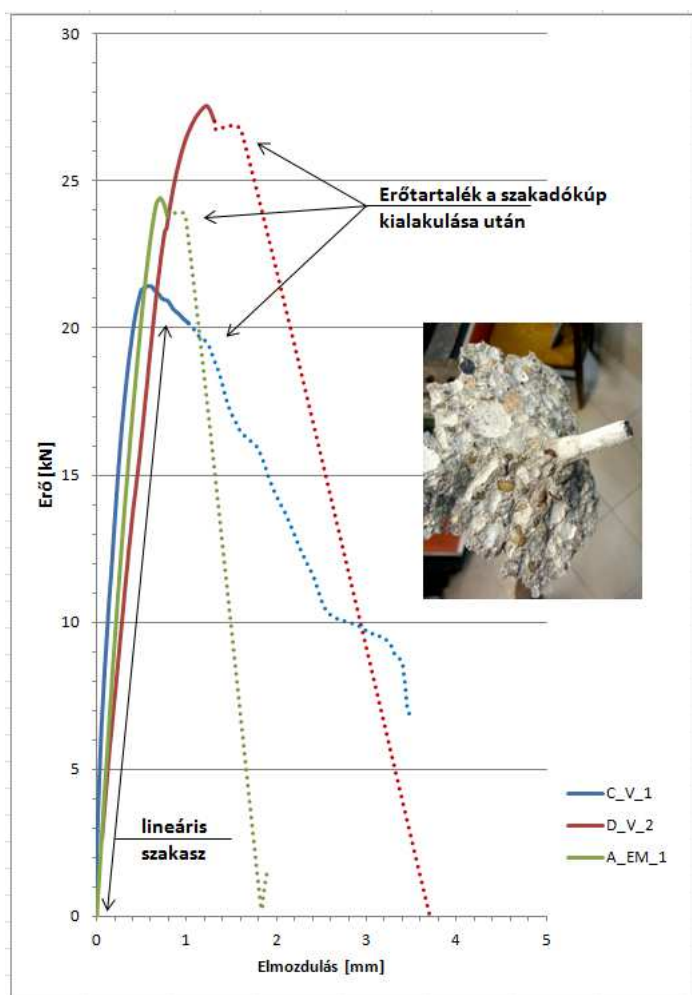
A terhelés elején látható egy meredek lineáris szakasz. A szakasz meredeksége mind a 4 receptúránál megegyezik, egyedül a kritikus erő értékében van eltérés.

Ez a fajta tönkremenetel jelenti a kapcsolat teljes kihasználtságát. A rögzítés ekkor tudja felvenni a maximális erőt. Ezért a gyártók és tervezők arra törekednek, hogy a rögzítéseknél ez legyen a jellemző tönkremenetel.



8.2.3 Részleges szakadókúp

A részleges szakadókúp kialakulásához tartozó jellemző erő-elmozdulás görbéket a 8.8. ábra foglalja össze:



8.8. ábra – Részleges szakadókúp kialakulásához tartozó jellemző erő-elmozdulás görbék

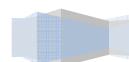
Részleges szakadókúp létrejötte főleg a vinilészter-hibrid ragasztóval rögzített kapcsolatoknál volt jellemző tönkremenetel, de pár esetben előfordult epoxi ragasztó esetében is.

Részleges szakadókúpnál a kúp nem a rögzítőelem aljáról indul, hanem jellemzően a rögzítési mélység egyharmadából (3.3.2 fejezet).

A görbékéből látható (8.8. ábra), hogy részleges szakadókúp kitörése után a kapcsolat még némi tartalék reherbírással rendelkezhet. Ennek oka, hogy a kúp alatt lévő szár a kihúzás közben újra befeszül, és újra erőt vesz fel.

A terhelés kezdetén látható itt is egy lineáris szakasz. A szakasz meredeksége megközelítőleg mind a 4 receptúránál megegyezik.

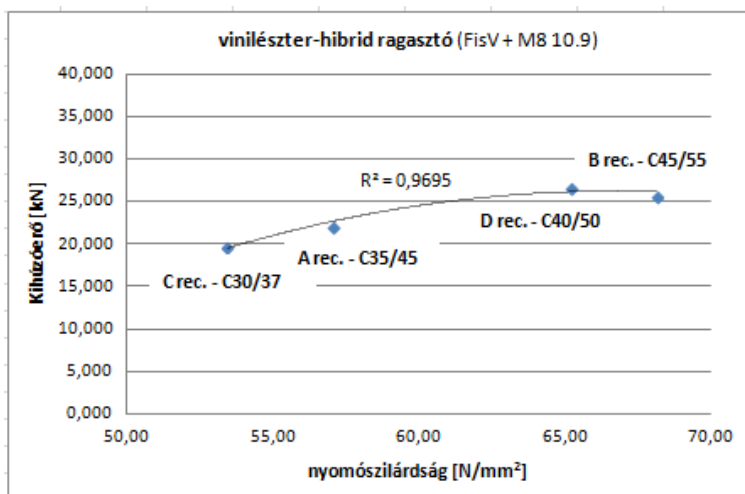
A folyamat a szakadókúp kitöréséig gyorsan és ridegen zajlik, majd a kitörés után a kihúzódás sebessége változó. A sebesség mértéke függ a tönkremenetel utáni erőtartalékok nagyságától.



8.3 Nyomószilárdság – Kritikus erő összefüggések

8.3.1 Vinilészter-hibrid ragasztó

A nyomószilárdság és a vinilészter-hibrid kapcsolat tönkremenetelének kritikus ereje közti összefüggést a 8.9. ábra foglalja össze:

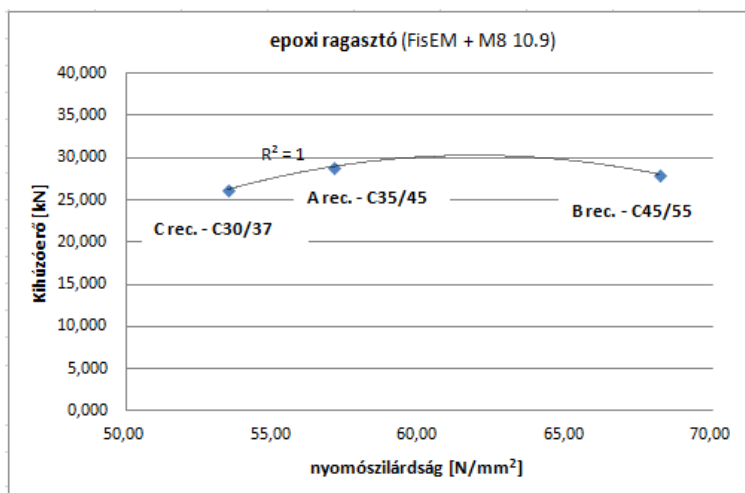


8.9. ábra – Nyomószilárdság és kritikus erő összefüggése vinilészter-hibrid ragasztó esetén

Látható, hogy a beton nyomószilárdságának növekedésével, a kapcsolat tönkremenetelével járó kritikus erő is növekszik. Viszont az is kirajzolódik, hogy a nyomószilárdság egy bizonyos nagysága után a kritikus erő értéke stagnál. Ennek oka az eltérő porozitás. Nagy szilárdság esetén a porozitás is kisebb, így a ragasztó nem tudja adhézió útján közvetíteni az erőjátékot.

8.3.2 Epoxi ragasztó

A 8.10. ábra a nyomószilárdság és az epoxi kapcsolat kritikus ereje közti összefüggést mutatja:



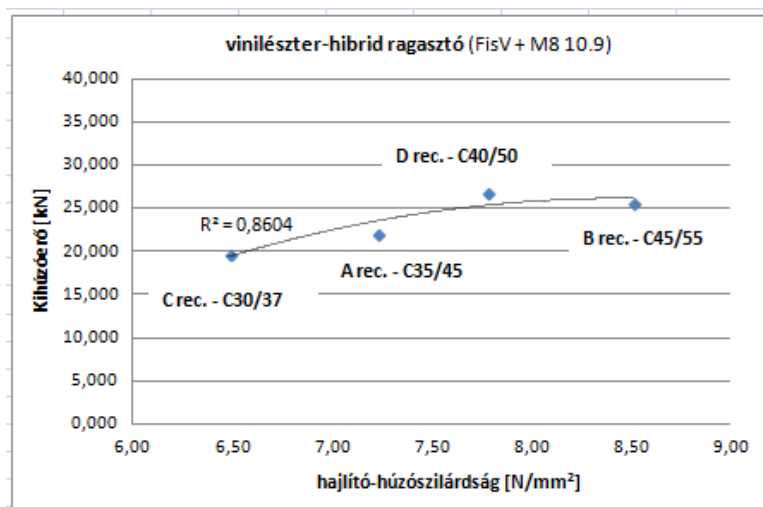
8.10. ábra – Nyomószilárdság és kritikus erő összefüggése epoxi ragasztó esetén

Az ábrán itt is észrevehető, hogy a nyomószilárdság növekedésével eleinte a kritikus erő is növekszik, majd kis mértékben csökken. Az ok itt is a porozitás csökkenése. Az epoxi ragasztók esetében az adhézió nagyobb szerepet játszik az erőátadásban, mint a vinilészter-hibrid ragasztóknál (3.6.1 fejezet). Ezért itt a kritikus erő nagy nyomószilárdságnál való csökkenése sokkal jobban érezhetőbb, mint a vinilészter-hibrid ragasztók esetében.

8.4 Hajlító-húzószilárdság – Kritikus erő összefüggések

A 8.11.-8.12 ábrák a hajlító-húzószilárdság függvényében ábrázolják a tönkremenetelekhez tartozó erőket.

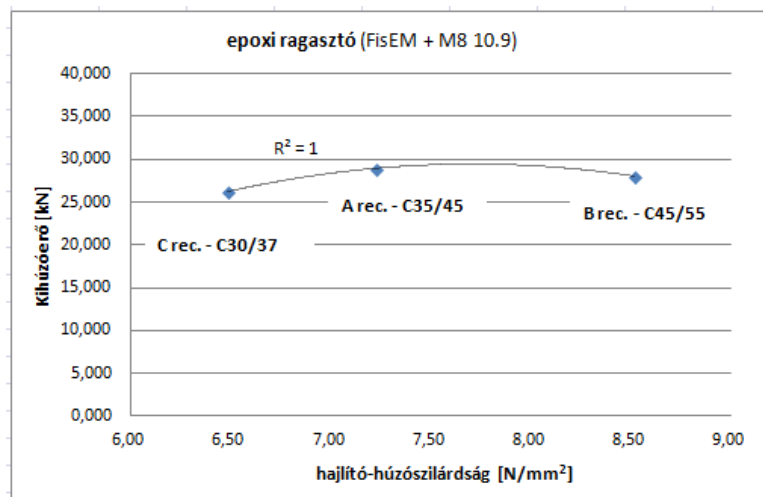
8.4.1 Vinilészter-hibrid ragasztó



8.11. ábra – Hajlító-húzószilárdság és a kritikus erő összefüggése vinilészter-hibrid ragasztó esetén

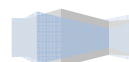
A 8.11. ábrán megfigyelhető ugyan az a tendencia, mint a nyomószilárdságok-kritikus erő esetében. A kapcsolat teherbírása eleinte itt is növekszik a hajlító-húzó szilárdság növekedésével együtt, majd egy bizonyos nagyság elérése után stagnál. Az eredményeinek összhangja abból adódik, hogy a betonok nyomószilárdsága és hajlító-húzószilárdsága nagymértékben összefügg.

8.4.2 Epoxi ragasztó



8.12. ábra – Hajlító-húzószilárdság és a kritikus erő összefüggése epoxi ragasztó esetén

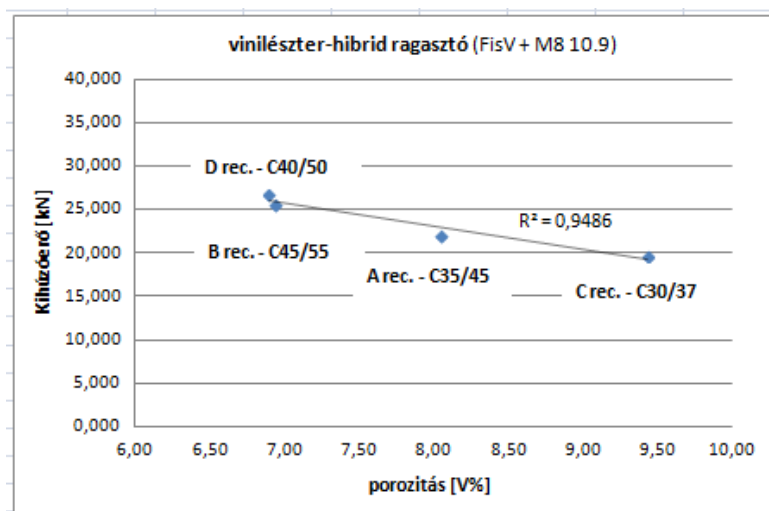
Látható, hogy a 8.12. ábrán is megjeleni ugyan az a tendencia, mint a nyomószilárdság-kritikus erő diagram (8.10. ábra) esetében. A kritikus erő kismértékű csökkenésének az oka szintén a csökkenő porozitás.



8.5 Porozitás – Kritikus erő összefüggések

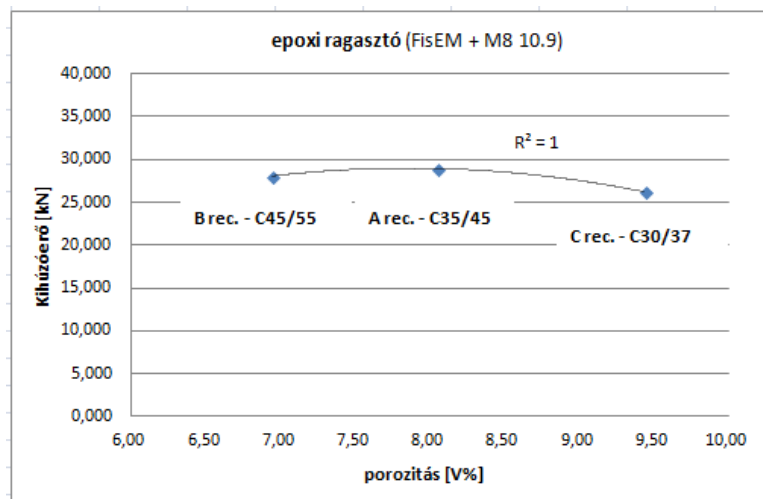
A beton porozitásának függvényében ábrázolt kritikus erő összefüggések a 8.13.-8.14. ábrákon láthatók:

8.5.1 Vinilészter-hibrid ragasztó



8.13. ábra – Porozitás és kritikus erő összefüggése vinilészter-hibrid ragasztó esetén

8.5.2 Epoxi ragasztó



8.14. ábra – Porozitás és a kritikus erő összefüggése epoxi ragasztó esetén

A 8.13. ábráról megállapítható, hogy a porozitás növekedésével arányosan a kapcsolat teherbírása lineárisan csökken. Mivel a nagy porozitás kis hajlító-húzószilárdságot okoz, a szakadókúpok létrejöttéhez sokkal kisebb erő szükséges, így csökken a kritikus erő. Vinilészter-hibrid ragasztó esetében az erőátvitelben főleg a mikro-súrlódások játszanak szerepet, így a kis porozitás hatása nem érződik a teherbírásán.

A 8.14. ábrán látható, hogy epoxi ragasztó esetén a túl nagy porozitás ugyan olyan hatással van a kapcsolat teherbírására, mint a túl kicsi porozitás. Az egyik esetben a nagy porozitás elgyengíti az anyag szerkezetét, így könnyen bekövetkezik a tönkremenetel. A másik esetben nem jön létre kellő mértékű adhézió, ami szükséges az epoxi ragasztó erő átadásához.

9. ÖSSZEGZÉS ÉS MEGÁLLAPÍTÁSOK

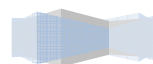
A kísérleteket megelőző tanulmány fő célja az volt, hogy összefoglalja az alapvető tudnivalókat a rögzítéstechnika terén. Külön figyelmet fordítottam az általam vizsgált rögzítési típusok (ragasztott kapcsolatok) megismerésére és részletes tárgyalására. Mindezek mellett kitértem a beton porozitásának meghatározására, értelmezésére és hatásaira.

A vizsgálathoz összeállítottunk egy mérési rendszer. A próbatest geometriája, előzetes számítások alapján, úgy lett kialakítva, hogy tiszta húzó igénybevétel esetén ne legyenek geometriai paraméterek okozta befolyásoló tényezők, hogy elkerüljük az átszakadást, mint tönkremenetelt viszont a szakadókúp szabadon létrejöhessen. A kísérleti összeállítás méréstechnikailag alkalmas volt a kapcsolat erő-elmozdulás görbéinek megállapítására, illetve az alapanyag deformációjának mérésére a rögzítőelem közvetlen környezetében.

Kiválasztásra került kétféle, kémiaiilag különböző kötést használó ragasztott kapcsolat (vinilészter-hibrid ragasztó + M8 10.9. menetes szár; epoxi ragasztó + M8 10.9. menetes szár). A kihúzókéísérletek egy előre eltervezett mátrix alapján történtek.

A vizsgálathoz 4 eltérő receptúrájú, összesen 240 liter betont kevertünk. A kísérletsorozat folyamán összesen 40 darab komplex kihúzókéísérlet és 248 darab laboratóriumi vizsgálat készült. Vizsgáltuk a próbatestek nyomószilárdságát, hajlító-húzószilárdságát, illetve porozitását és összefüggéseket kerestünk e paraméterek, a kapcsolatok tönkremeneteléhez tartozó kritikus erők és a kiszakadási kúpok térfogata között.

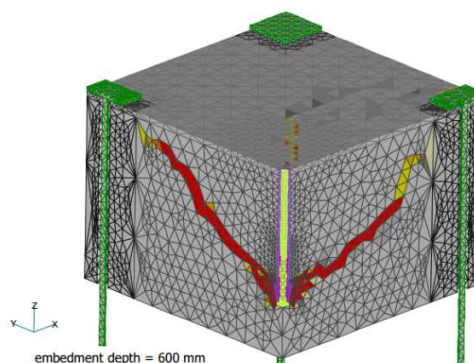
A kísérlet sorozatból megállapítottuk, hogy a kezdeti feltételezésünknek megfelelően a ragasztott kapcsolatok teherbírását a nyomószilárdság mellett a porozitás is nagymértékben befolyásolja. Méréseinkből megállapítható, hogy bizonyos nyomószilárdság felett a kapcsolat teherbírása nem növekszik, hanem csökken. A szakadókúpok vizsgálatával bizonyításra került, az az elmélet, miszerint a vinilészter-hibrid ragasztók erőátadásában nagyobb szerepet játszanak a mikrosúrlódások, míg epoxi ragasztók esetében az adhézió. Ez egyben magyarázatot is adott a nyomószilárdság növekedésének hatására történő kritikus erő csökkenésre.



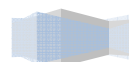
10. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

Az elvégzett mérési eredmények alapján számos olyan kérdés, észrevétel fogalmazódott meg a rögzítéstechnika területén, melyeknek kifejtése, bizonyítása további érdekes kutatásoknak lehet témája:

- A meglévő mérési eredményeket megfelelő számú kísérlettel kiegészítve egy új numerikus függvény javasolható, amelyben a beton porozitása is szerepel.
- Nagyobb húzószilárdságú beton esetén a szakadókúp kialakulása valószínűleg korlátozható. Méréseink során ugyanis azt tapasztaltuk, hogy a húzószilárdság növekedésével csak részleges szakadókúp alakul ki. Műszál-, illetve acélszálerősítésű beton próbatestek kialakításával a beton húzószilárdsága jelentős mértékben növelhető és a kívánt hatás elérhető lenne, illetve a szakadókúp megjelenése után a kapcsolat tartaléka, duktilitása jelentősen növekedne.
- Tűzterhelés vizsgálata a ragasztott kapcsolatok teherbírására, beton, téglá vagy terméskő fogadóanyag esetén.
- A kísérleti összeállításunk alkalmas arra, hogy a felület deformációját 3 pontban mérje a rögzítési pont közvetlen közelében. A deformációt minden próbatesten mértük, ennek az eredmény sorozatnak a feldolgozása nem része a TDK munkának, de újabb kutatási lehetőség kapuját nyitotta meg. Az előzetes mérési eredmények alapján a felület deformációja mérhető tartományban van. Ez a mérés nagyobb teljesítményű (nagyobb átmérő és rögzítési mélység) rögzítőelemeknél újabb kérdéseket vet fel.
- A meglévő kísérleti eredményeket felhasználva egy végelelemes modell megalkotása. Mellyel vizsgálhatók lehetnének eltérő rögzítőelem fajták, nagyobb rögzítési mélységek és nagyobb rögzítőelem átmérők hatásai, különböző fogadószerkezetek és különböző hatások (pl.: tűzterhelés, dinamikus terhelés).

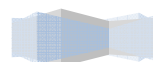


10.1. ábra – Rögzítéstechnikai végelelem modell – MASA [20]



11. FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- [1] Tóth Máté, Hlavička Viktor: „Rögzítőelemek kihúzóvizsgálata eltérő szilárdságú betonból és terméskőből”, 2011, BME Építőmérnöki kar TDK Konferencia, Építőanyagok és magasépítés szekció
- [2] Termékkatalógus 2009, Fischer Hungary Bt., Palatia Nyomda és Kiadó Kft., Győr, 2009 ISBN: 99991
- [3] Technical Handbook International, *fischerwerke GmbH., Germany, 2010*, pp. 13-19, pp.172-186.
- [4] Nemes R., Lublőy É. (2011), „Application of anchors under special concrete conditions”, *PERIODICA POLYTECHNIKA - Civil engineering* 55/1 (2011) 73-79, ISSN 1587-3773, <http://www.pp.bme.hu/ci/article/view/475> (letöltés időpontja: 2013.10.10.)
- [5] Eligehausen R., Fuchs W., Sippel T.: „Anchorage to Concrete”, *TARTOK 2000* (Budapest, 2000), pp. 261–270. ISBN: 963-420-640-9
- [6] Sara C., Giovanni M., Gianpaolo R.: „Expansion anchors in high performance concrete”, *CONNECTIONS BETWEEN STEEL AND CONCRETE VOLUME 1*, R.Eligehausen, W.Fuchs, G.Genesio, P. Grosser, ibidem-Verlag, Stuttgart 2007 pp.297-306. ISBN 978-3-89821-807-8
- [7] „The influence of borehole cleaning on performance of injection bonded anchor systems for use in concrete”, https://www.hilti.co.uk/fstore/holuk/techlib/docs/HIT-Z_Non-cleaning_expertarticle.pdf (letöltés időpontja: 2013.10.02.)
- [8] Eligehauser R.; Mallee, R.; Silva, J.F. (2006): „Anchorage in Concrete construction”, Ernst and Sohn, Berlin 2006
- [9] Salem G. N.: „A porozitás hatása a beton tartósságára”, *BETONSZERKEZETEK TARTÓSSÁGA*, Műegyetem Kiadó, Budapest, 2008, pp. 127-140. ISBN 978 963 420 954 6
- [10] Kausay T.: „Pórusszerkezet”, <http://www.betonopus.hu/notesz/fogalomtar/09-porusszerkezet.htm> (letöltés időpontja 2013.10.10.)
- [11] Kausay T.: „Víztartalom, vízfelvétel, látszólagos porozitás” <http://www.betonopus.hu/notesz/viztartalom.pdf> (letöltés időpontja: 2013.10.10.)



- [12] Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz
MSZ EN 934-2:1999
- [13] Szilágyi K., Borosnyói A.: „A Schmidt-kalapács 50 éve: múlt, jelen, jövő”
Vasbetonépítés 2008/1 pp.10-17, ISSN 1586-0361
http://fib.bme.hu/vb2008_1_cikk/images/Vb2008_1_schmidt%20kalapacs%20page10-17.pdf (letöltés időpontja: 2013.10.10.)
- [14] Közúti betonok vizsgálata Schmidt-kalapáccsal és ultrahanggal, ÚT 2-202.4:1999 szabályzat
- [15] A megszilárdult beton vizsgálata – A próbatestek nyomószilárdsága
MSZ EN 12390:2009 szabvány
- [16] Kausay T.: „Beton nyomószilárdságának megfelelése és elfogadása (2007)”
<http://www.betonopus.hu/szakmernoki/130-betonmegfeleloseg.pdf>
(letöltés időpontja: 2013.10.10.)
- [17] A megszilárdult beton vizsgálata – A próbatestek hajlító-húzószilárdsága
MSZ EN 12390-5:2009 szabvány
- [18] Kausay T.: „A beton nyomószilárdsági osztályának értelmezése 1949-től napjainkig”,
<http://www.betonopus.hu/notesz/nyomoszilardsagi-osztalyok-valtozasa.pdf>
(letöltés időpontja: 2013.10.13.)
- [19] Balázs Gy.: „Építőanyagok és kémia“, *Műszaki kiadó*, 2002, Budapest, ISBN 94493
- [20] Ožbolt J.: „MASA - Finite Element Program for 3D Nonlinear Analysis of Structures“,
http://129.69.59.201/forschung/masa/MASA_en.htm (letöltés időpontja: 2013.10.24.)

