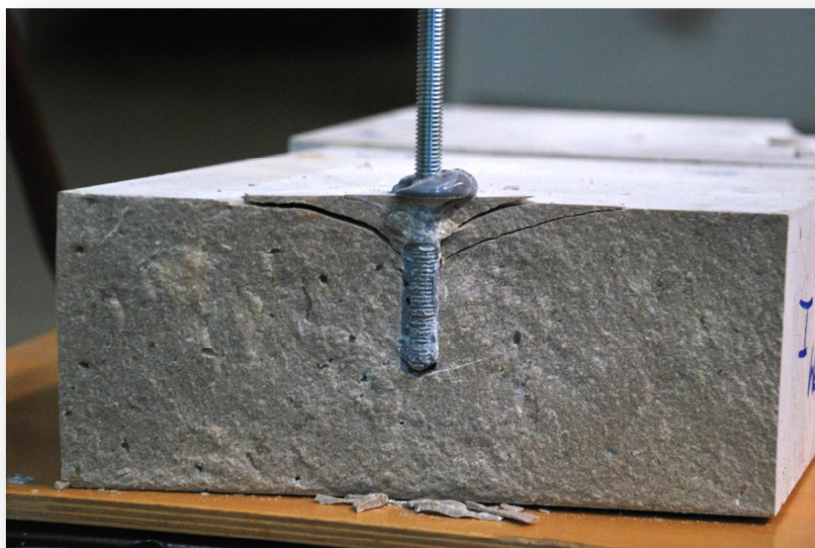


BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Építőmérnöki Kar

Építőanyagok És Mérnökgeológia Tanszék

RÖGZÍTŐELEMEN KIHÚZÁS VIZSGÁLATA ELTÉRŐ SZILÁRDSÁGÚ BETONBÓL ÉS TERMÉSKŐBŐL



Tóth Máté, Hlavička Viktor

Konzulensek:

Majorosné Dr. Lublói Éva *egyetemi adjunktus*

Dr. habil. Török Ákos *egyetemi docens*

Kovács-Sebestény Szabolcs *mérnök, FISCHER Hungária Kft.*

Budapest, 2011. október 28.

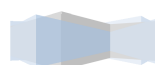


Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ÉS PROBLÉMAFELVETÉS.....	7
2. CÉLOK MEGFOGALMAZÁSA.....	7
3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
3.1. A rögzítőelemek felhasználási területei az építőiparban	9
3.2. A rögzítőelemek szakszerű installálása	10
3.2.1. Nyomatékkontrollált feszítődübel installálása.....	10
3.2.2. Ragasztott kapcsolatok installálása.....	11
3.3. A rögzítőelemek igénybevételei és erőátadási módjai	11
3.4. A tönkremeneteli módok.....	12
3.4.1. Az acél rögzítőelemek tönkremeneteli módjai.....	12
3.4.1.1. Az acél horgonycsap kihúzódása.....	12
3.4.1.2. Szakadó kúpos tönkremenetel.....	13
3.4.1.3. Az alapanyag felhasadása.....	14
3.4.1.4. Az acél rögzítőelem szakadása.....	14
3.4.2. A ragasztott kapcsolatok tönkremeneteli módjai.....	15
3.4.2.1. Az acél menetes szár elszakadása.....	15
3.4.2.2. Szakadó kúpos tönkremenetek.....	15
3.4.2.3. Rögzítőelem kihúzódása.....	15
3.5. Tervezéshez használt számítási modellek és a próbatestek geometriai követelményei....	16
4. FELHASZNÁLT ANYAGOK.....	20
4.1. Beton.....	20
4.1.1. Betonreceptúrák.....	20
4.1.2. Beton próbatestek kialakítása.....	22
4.2. Terméskövek.....	23
4.3. A választott rögzítőelemek rövid leírása.....	24
4.3.1. Nyomatékkontrollált feszítődübel.....	24
4.3.2. Ragasztott kapcsolatok.....	24
4.3.3. Teherbírás görbék beton próbatesteken.....	25
5. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK.....	26

5.1. Roncsolásmentes vizsgálatok.....	26
5.1.1. Látszólagos porozitás.....	26
5.1.2. Nyomószilárdság becslése Schmidt-kalapáccsal.....	26
5.2. Roncsolásos vizsgálatok.....	27
5.2.1. Nyomószilárdság vizsgálat.....	27
5.2.2. Hajlító-húzószilárdság vizsgálatok.....	28
5.3. Időállósági vizsgálat.....	29
5.3.1. Fagyasztási ciklusvizsgálat.....	29
5.4. A kihúzó kísérlet mérési összeállítása.....	30
5.4.1. A terhelőgép.....	30
5.4.2. Az erőmérő cella kalibrációja.....	30
5.4.3. A mérési összeállítás sematikus rajza és magyarázata.....	32
6. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS CÉLOK ÖSSZEFOGLALÓ TÁBLÁZATAI	34
6.1. Vizsgálatok és célkitűzések összefoglaló táblázata.....	34
6.2. Beton és terméskövek laboratóriumi vizsgálatainak összesítő táblázatai.....	35
6.3. Kihúzóvizsgálatok kísérleti mátrixa	36
7. KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI.....	37
7.1. Próbatesteken elvégzett anyagvizsgálatok eredményei.....	37
7.1.1. Beton vizsgálatok eredményei.....	37
7.1.1.1. Nyomószilárdság vizsgálat eredményei.....	37
7.1.1.2. Hajlító-húzó szilárdság vizsgálat eredményei.....	38
7.1.1.3. Látszólagos porozitás vizsgálat eredményei.....	38
7.1.2. Termésköveken végzett vizsgálatok eredményei.....	39
7.1.2.1. Roncsolásos nyomószilárdság vizsgálat eredményei.....	39
7.1.2.2. Roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálat eredményei.....	40
7.1.2.3. Hajlító-húzó szilárdság vizsgálat eredményei.....	43
7.1.2.4. Látszólagos porozitás vizsgálat eredményei.....	44
7.2. A kihúzóvizsgálatok eredményei.....	45
7.2.1. Kihúzó kísérletek erő-elmozdulás görbéi beton esetén.....	45
7.2.2. Kihúzó kísérletek erő-elmozdulás görbéi terméskövek esetén.....	48

7.2.2.1. Fagyasztási ciklusvizsgálat előtt.....	48
7.2.2.2. Fagyasztási ciklusvizsgálat után.....	50
8. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE.....	52
8.1. A jellemző tönkremeneteli módokhoz tartozó görbék értelmezése.....	52
8.1.1. Az acél rögzítőelem szakadása.....	52
8.1.2. Kiszakadó kúp görbéje.....	53
8.1.3. Ragasztó elnyíródása.....	54
8.2. Roncsolásos nyomószilárdság – kritikus erő összefüggések.....	55
8.2.1. Terpesztett horgonycsavar.....	55
8.2.2. Epoxi ragasztó.....	55
8.2.3. Vinilészter ragasztó.....	56
8.3. Schmidt-kalapács visszapattnási érték – kritikus erő összefüggések.....	57
8.3.1. Terpesztett horgonycsavar.....	57
8.3.2. Epoxi ragasztó.....	57
8.3.3. Vinilészter ragasztó.....	58
8.4. Hajlító-húzószilárdság – kritikus erő összefüggések.....	59
8.4.1. Terpesztett horgonycsavar.....	59
8.4.2. Epoxi ragasztó.....	59
8.4.3. Vinilészter ragasztó.....	60
8.5. Porozitás – kritikus erő összefüggések.....	61
8.5.1 Terpesztett horgonycsavar.....	61
8.5.2. Epoxi ragasztó.....	61
8.5.3. Vinilészter ragasztó.....	62
8.6. Fagyasztási ciklusvizsgálat terméskövekre gyakorolt hatásának összefoglalása.....	63
8.7. Tönkremeneteli fajták összesítő táblázata.....	66
9. ÖSSZEGZÉS ÉS MEGÁLLAPÍTÁSOK.....	67
10. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK.....	68
11. HIVATKOZÁSOK.....	69
12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	70
13. ABSTRACT IN ENGLISH.....	71



MELLÉKLETEK

Számítási mellékletek (74-84. oldal)

(Húzási ellenállások ellenőrzése a Fischer tervezési segédlete alapján)

- FBN II 8/50 gvz húzási ellenállásának meghatározása
- FBN II 8/50 gvz húzási ellenállásának ellenőrzése grániton
- Fis EM ragasztóval rögzített M8 8.8 menetes szár húzási ellenállásának meghatározása
- Fis EM ragasztóval rögzített M8 8.8 menetes szár húzási ellenállásának ellenőrzése
forrásvízi mészkövön (Haraszti bánya)

Rajzi mellékletek

Elmozdulásmérő tartókeret vázlatterve (85.)

Elmozdulásmérő tartókeret gyártmányterve (86.)



1. BEVEZETÉS ÉS PROBLÉMAFELVETÉS

A rögzítéstechnika, mint kutatási terület folyamatosan új eredményeket hoz, a világ számos táján tematikus konferenciákon kerülnek bemutatásra az új fejlesztések, az iparban felmerülő bizonytalanságokra készített megoldások és a legextrémebb körülmények között lefutott 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-egy rögzítési rendszer esetén is nagy, éppúgy mint egy földem, gerenda vagy egyéb tartószerkezet tervezése esetén. A felelősség egy része a gyártóké ugyanis garanciát vállalnak a kapcsolatok teherbírására, minőségi tanúsítványokkal rendelkeznek minden legyártott termékükre. A témában született szakirodalom alapján azonban a beton és kőzetek közötti különbség nem vizsgált.

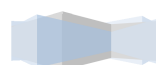
A gyártók beton tekintetében rendelkeznek a kapcsolatok teherbírásáról, karakterisztikus, tervezési, megengedett maximális, ill. ajánlott terhelési értékekről. Ezek az adatok és számítási módszerek elérhetőek különböző beton szilárdsági osztályokra, segítséget adnak a kapcsolatok megtervezéséhez, de nem léteznek terméskövek esetén.

A gyakorlatban egy-egy ilyen terméskőbe illetve terméskő rögzítési feladat esetén a mérnökök többsége tanácstalan, a probléma megoldását az jelenti, hogy a tervezők helyszíni kihúzási próbát kérnek a gyártótól, majd ezek után a biztonság javára jóval nagyobb teherbírású elemet terveznek be, mint az szükséges lenne. A terméskövek viselkedését esetenként kisméretű tömör téglaként –kvázi homogén közegként – kezelik, de a kapcsolatok túlméretezése a kövek inhomogenitására való tekintettel részben érthető. Látható, hogy az acél-kőzet kapcsolatok viselkedésének megismerése és leírása elengedhetlenné vált.

2. CÉLOK MEGFOGALMAZÁSA

A bevezetésben leírtak alapján úgy döntöttünk, hogy kihúzókísérleteket hajtunk végre az építőiparban gyakran előforduló termésköveken. Kíváncsiak voltunk a rögzítési rendszerek viselkedésére kőzetkörnyezetben. A gyártók tervezési segédleteiben szerepel, hogy a kapcsolatok tömör terméskövek esetén alkalmazhatók, a tervező mérnökök azonban jogosan vonják kétségbe a létesítendő kapcsolatok hatékonyságát és tartósságát tapasztalatok és kőzetekre vonatkozó vizsgálati eredmények hiányában.

Előzetes megfontolás és megfelelő szakirodalmi áttekintés után elhatároztuk, hogy kezdetben öt eltérő szilárdságú beton keveréket készítünk. Ez egy önellenőrző folyamat, ugyanis a már meglévő és elérhető tervezési segédletek felhasználásával igazolni tudjuk a mérési összeállítás pontosságát, ha ugyanazokat az eredményeket mérjük a kihúzóvizsgálatok során mint amit a gyártók közölnek. A mérés hitelesítése után 3 – az építőiparban gyakran előforduló – terméskövet választottunk és kihúzókísérleteket hajtottunk végre, tiszta húzás igénybevételre fókuszálva.

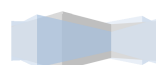


Vizsgálatainkhoz kiválasztottunk erőátadási mód szerint kétféle rögzítési rendszert – később ezekről bővebben-, majd megterveztünk és összeállítottunk egy kísérleti modellt, és összesen 93 darab kihúzó kísérletet hajtottunk végre különböző szilárdságú betonon és terméskövön egyaránt.

A szakirodalom és a gyártók által közölt numerikus modellek alapján csak a fogadószerkezet nyomószilárdsága függvényében jelenik meg a kapcsolat teherbírása, azonban a vizsgálatok során feltételeztük, hogy a porozitás és a hajlító-húzószilárdság is éppolyan fontos befolyásoló tényező lehet.

A mérés során alapvető célunk a kőzetek és acél adhéziós illetve mechanikus kapcsolatának megértése, valamint a nyomószilárdság, húzószilárdság, porozitás valamint a kihúzáshoz tartozó erők közötti összefüggések felírása. Tovább feltételezzük, hogy a porozitás merőben befolyásolja a rögzítési rendszerek hatékonyságát.

A kihúzóvizsgálatok után ellenőrizzük a választott rögzítési rendszerekre vonatkozó számítási modelleket terméskövekre vonatkoztatva. Előzetes becslés alapján ezek a számítási modellek nem írják le megfelelően a terméskövekben létesítendő kapcsolatok teherbírását.



3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A rögzítőelemek felhasználási területei az építőiparban

Az építőiparban a végfelhasználók napról napra nagyobb elvárásokat támasztanak a rögzítési rendszerekkel szemben. A rögzítéstechnikai elemek hatalmas technológiai fejlődésen mennek keresztül annak érdekében, hogy mind a teherbírasi és az esztétikai igényeket megfelelő biztonság mellett kielégítsék. A rögzítőelemek számos fajtája áll rendelkezésre a legextrémebb feladatok igényes kivitelezéséhez. Megkülönböztetünk kémiai – ragasztott – illetve mechanikus elven működő úgynevezett feszítődübeleket. A mechanikus dübelek között két csoport van, megkülönböztetünk installálás szempontjából úgynevezett nyomatékkontrollált feszítő-, illetve elmozdulás kontrollált formázó dübeleket.

Az 3.1. ábrán egy stilizált ház látható a különböző rögzítési megoldásokkal.



3.1. ábra – Rögzítési rendszerek felhasználási területei [1]

Az 1. ábrán látható különböző felhasználási lehetőségek :

1. Ablakrögzítések ; 2. Ablak és ajtótok rögzítések; 3. Világítási csövek rögzítése; 4. Elektromos rögzítések; 5. Lépcsőrrögzítések; 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. Nagyterhelhetőségű injektált rögzítések; 22. Szigetelések rögzítése

A példa alapján kiválóan látszik, hogy a rögzítéstechnikai elemek széles körben alkalmazhatók.



3.2. ábra - Berlin, Hauptbahnhof



3.3. ábra – Acél oszlopra támaszkodó vb. szerkezet

A 3.2. ábrán a berlini vasúti főpályaudvar üvegfal részlete, pontfogásos üvegrögzítéssel, a 3.3. ábrán egy acél oszlop és egy vasbeton tartószerkezeti elem közötti rögzítési megoldás látható. Az ábrákon bemutatott szerkezetek jól szemléltetik a rögzítéstechnikai rendszerek tartósságát.

3.2. A rögzítőelemek szakszerű installálása

Az alábbiakban a vizsgálatainkhoz kiválasztott nyomatékkontrollált horgonycsapok és a ragasztott rögzítőelemek szakszerű installálása [2] kerül bemutatásra.

3.2.1. Nyomatékkontrollált feszítődübel installálása



3.4a. ábra



3.4b. ábra



3.4c. ábra



3.4d. ábra



3.4e. ábra

3.4a. ábra - Megfelelő mélységű lyuk fúrása, fontos a minimális furatmélység betartása

3.4b. ábra - Lyuk tisztítása, levegőpompával

3.4c. ábra - Horgonycsap kalapáccsal történő beütése

3.4d. ábra – Nyomaték kontrollált kulccsal az anyacsavar meghúzása

3.4e. ábra – Az installált horgonycsap látható forrásvízi mészkőben



3.2.2. Ragasztott kapcsolat installálása



3.5a. ábra



3.5b. ábra



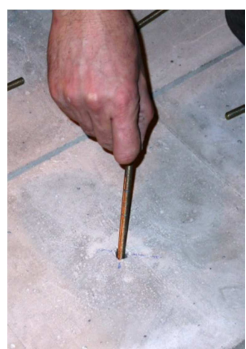
3.5c. ábra



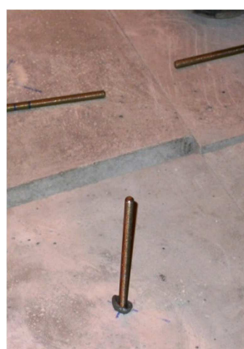
3.5d. ábra



3.5e. ábra



3.5f. ábra



3.5g. ábra

3.5a. ábra – Megfelelő mélységű lyuk fúrása, előírt minimális furatmélység betartása

3.5b. ábra – Lyuktisztítás levegőpompával (2x)

3.5c. ábra – Lyuktisztítás kefével (2x)

3.5d. ábra – Lyuktisztítás levegőpompával (2x)

3.5e. ábra – Ragasztó injektálása, megfelelő mennyiség betartása fontos, a furatátmérő és a furatmélység függvényében előírva

3.5f. ábra – Menetes szár beforgatása a ragasztóba

3.5g. ábra – Menetes szár beforgatása a ragasztóba

A kétféle rögzítőelem installálásakor alapvető különbség, hogy a mechanikus elven működő rendszer (3.4a-3.4e ábrák) esetén a rögzítőelem átmérőjével azonos átmérőjű furat, míg a ragasztott kapcsolatok (3.5a-3.5g ábrák) megfelelő működéséhez a menetes szárnál nagyobb átmérőjű furat szükséges. Ennek magyarázata, hogy a mechanikus horgonycsavarok súrlódásos „befeszüléséhez” szükséges tágulása minimális, nyomatékulccsal történő meghúzás esetén a súrlódás létrejöttéhez szükséges laterális irányú erő azonnal kifejti hatását. A ragasztott kapcsolatok esetén a menetes szár és a furat belső palástfelülete között található ragasztóban nyíróerő keletkezik húzás hatására és a ragasztó-furatpalást közötti kontaktfelület tapadászilárdsága közvetíti az erőt az fogadószerkezetbe. Ez a gondolatmenet a furatok tisztítása közötti különbségre is magyarázatot ad, a ragasztott rendszerek furattisztítása a fent említett okok miatt jóval érzékenyebb a kapcsolat teherbírására.

Megjegyzés: A szakszerű installációs előírásoktól való eltérés esetén a kapcsolat teherbírása nem szavatolható.

3.3. A rögzítőelemek igénybevételei és erőátadási módjaik

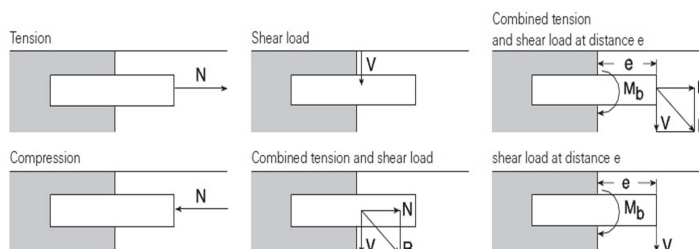
A rögzítőelemekre ható igénybevételeket a 3.6. ábrán látható módon csoportosíthatjuk[2].

- húzás (a vizsgálataink során csak tiszta húzással foglalkoztunk)
- nyomás



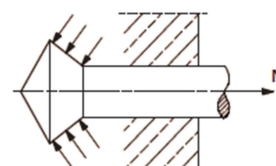
- nyírás
- húzás-nyírás interakciója
- húzás-hajlítás interakciója
- hajlítás (külpontos nyírás)

Az igénybevételeket a kapcsolatok az alábbi *erőjátékkal* (3.7. ábra) közvetítik az alapanyagba.



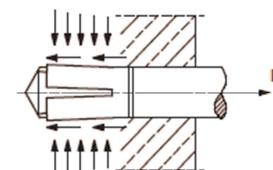
3.6. ábra – Igénybevételek [2]

A 3.7a. ábrán az elmozdulás kontrollált formazáró dübel (undercut anchor) erőátadása látható. Az erőátadás úgy jön létre, hogy rögzítés után a dübel vége szétnyílik, teher hatására nekifeszül a speciálisan kialakított furat oldalfalához, így adja át az igénybevételeket.



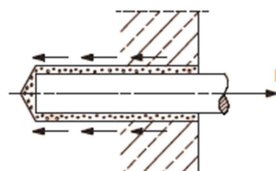
3.7a ábra– Mechanikus retesz [2]

A 3.7b. ábrán a feszítődübel (lehet elmozdulás vagy nyomatékkontrollált) rögzítésekor nagy laterális irányú erőt keletkezik, ami a rögzítőelem szoknyája és a fogadó szerkezet közötti súrlódási ellenállást nagy mértékben növeli. A rögzítőelem kezdetben nem idomul a fogadóanyaghoz, megfelelő csavarónyomaték vagy beütés hatására a dübel vége szétnyílik és a fent említett súrlódás létrejön a húzóerő felvételére. A kifejtendő nyomaték nagysága az optimális erőátadáshoz dübeltípusonként változik.



3.7b ábra– Súrlódás [2]

A 3.7c. ábrán a ragasztott kapcsolat működési elve látható, a ragasztóban nyíró igénybevétel keletkezik. Installálásakor rendszerint a menetes szárnál nagyobb átmérőjű furat készítenőd, a kapcsolat húzási ellenállását a ragasztóban fellépő nyírási ellenállás illetve a ragasztó és a beton kontaktfelületén létrejövő tapadószilárdság adja.



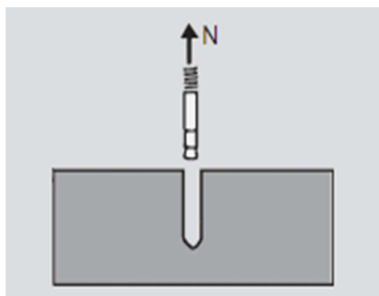
3.7c ábra – Tapadás [2]

3.4. Tönkremeneteli módok

3.4.1. Az acél rögzítőelemek tönkremeneteli módjai

3.4.1.1. Az acél horgonycsap kihúzódása

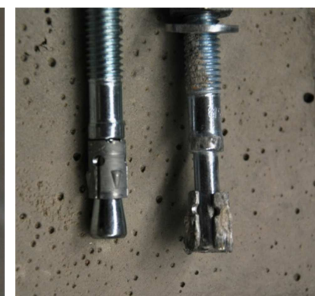
A rögzítőelem kihúzódását mechanikus kapcsolat esetén a nem megfelelő szerelés illetve a kapcsolat teherbírásánál nagyobb húzóerő okozhatja (3.8 - 3.10. ábra)[2,3,20]. A kihúzódás során az acél horgonycsap a rögzítésre használt anyagok tönkremenetele nélkül kicsúszik, ezáltal a kapcsolat teherbírása megszűnik. A kihúzódás előfordulhat úgy is, hogy a horgonycsap megcsúszik a kihúzódáskor, az erő lecsökken, majd újra befeződik, ez esetben az alsó gyűrű szenved deformációt.



3.8. ábra – Rögzítőelem kihúzódása[1]



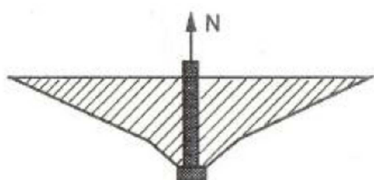
3.9. ábra – Kihúzódt horgonycsap



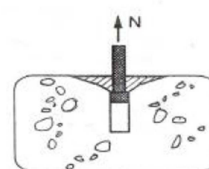
3.10. ábra - Ép és kihúzódt horgonycsap

3.4.1.2. Szakadó kúpos tönkremenetel

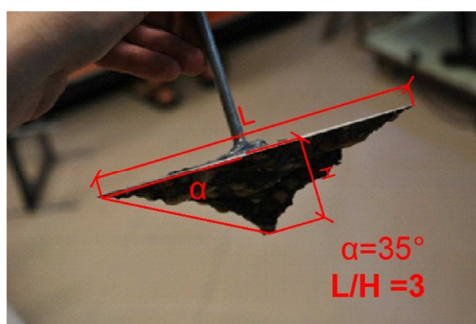
A szakadó kúpos tönkremenetel (3.11. ábra)[2,3,20] az alapanyag nem megfelelő szilárdságából, a túl nagy terhelésből illetve az elégtelen rögzítési mélységből adódik. Az alapanyagban - beton – a kiszakadás iránya megközelítően 35 fokos szöget zár be [2,20], így a szakadó kúp átmérője a beágyazási mélység háromszorosa (3.13. ábra). A tönkremenetelkor a kúp felületén a beton húzószilárdsága kimerül, és a kúp kiszakad. A szakadó kúp a terpesztett horgonycsapok esetén a rögzítési mélység aljától indul ki, de előfordul olyan eset is, hogy a szakadó kúp kialakulása a horgonycsap részleges kihúzódása után alakul ki (3.12. ábra).



3.11. ábra – Szakadó kúpos tönkremenetel [3]



3.12. ábra – Tönkremenetel részleges kihúzódással [3]



3.13. ábra - Szakadó kúp geometriájának értelmezése (H – rögzítési mélység; L – szakadó kúp átmérője)

Megjegyzések: A szakadó kúp kialakulásakor 50 MPa illetve magasabb nyomószilárdság esetén az adalékanyag szemcsék nem a felületük mentén válnak el a húzott kúp-felületen, hanem a kvarckavicsok

is elrepednek. Hasonló jelenség tapasztalható a nagyszilárdságú betonok nyomószilárdság vizsgálatakor is [4].

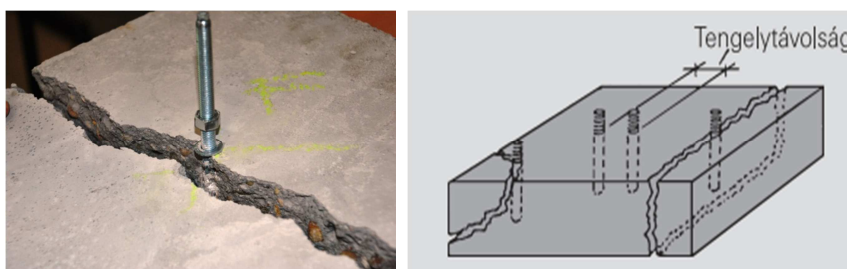
3.4.1.3. Alapanyag felhasadása

Az építőanyag felhasadásának okai lehetnek (3.14. ábra)[1-3,20]:

- a kapcsolat kialakításának geometriája nem megfelelő
- a szélső-, tengelytáv illetve próbatest vastagságára vonatkozó előírások nincsenek betartva
- túl nagy a dübel feszítőereje

A mérések során az ilyen tönkremenettel járó eredményeket figyelmen kívül hagytuk. Feltehetően a rossz befogás, alapanyag hajlítási tönkremenetele miatt ezek nem szolgáltatnak valós eredményt.

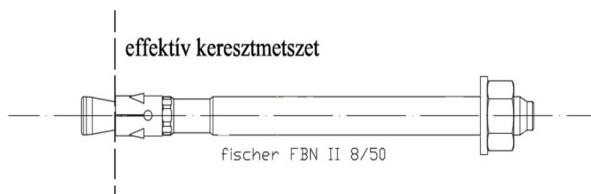
A 3.5. fejezet tárgyalja a próbatestek minimális geometriai méreteit, szélső-, illetve tengelytáv előírásokat.



3.14. ábra – A próbatest felhasadása [1]

3.4.1.4. A horgonycsavar szakadása

A mechanikus rögzítőelemek végén található egy kisebb átmérőjű keresztmetszet, ez a keresztmetszeti terület kisebb mint a dübel névleges átmérőjéből származtatott terület (3.15.



3.15. ábra - Effektív keresztmetszet helye [5]

ábra)[5,20]. Az anyagi tönkremenetel ebben a keresztmetszetben következik be húzás esetén, ezért ezt a keresztmetszetet effektív keresztmetszetnek hívjuk.

A választott horgonycsavarok (FBN II 8/50 gvz) 16-18 kN húzóerőnél szakadnak el, ami a csökkentett keresztmetszeten 700 MPa karakterisztikus szakítószilárdságot jelent (f_{uk}). 40 MPa nyomószilárdság esetén egyöntetűen ez a tönkremenetel tapasztalható (3.16. ábra)[4,20].

A horgonycsapok esetén egy bizonyos nyomószilárdsági érték felett nem a szakadókúpos tönkremenetel hanem acélszakadás következik be. Ez a szilárdsági érték a vizsgált horgonycsap esetén (FBN II 8/50) 40 MPa. Ez az érték az átmérő és a rögzítési mélység függvénye.



3.16. ábra – Acél szárszakadás a csökkentett keresztmetszetben

3.4.2. A ragasztott kapcsolatok tönkremeneteli módjai

3.4.2.1. Kihúzódasos tönkremenetel

Ennek a tönkremenetelnek is több lépcsője van, úgymint a ragasztó teljes hosszon történő elnyíródása (3.17. ábra), a ragasztó részleges elnyíródása kombinálva a ragasztó és próbatest közötti felület tapadószilárdságának kimerülése (3.18. ábra), illetve kizárólag a tapadószilárdság kimerülése (3.19. ábra) a ragasztó és a próbatest közötti kontaktfelületen. Ez utóbbi jellemzően az Epoxi ragasztónál figyelhető meg.



3.17. ábra – Teljes hosszon elnyíródás



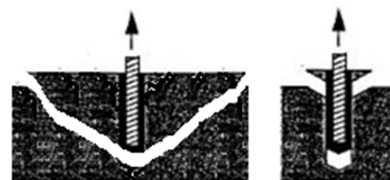
3.18. ábra – Részleges elnyíródás



3.19. ábra – Tapadószilárdság kimerülése

3.4.2.2. Szakadóképos tönkremenetel

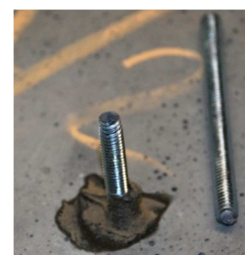
A szakadó képos tönkremenetel ragasztott kapcsolatok esetén két csoportra bontható (3.20. ábra)[3,20]. A rögzítési mélység aljától kiinduló ún. teljes szakadóképok esetén a beton ill. kő húzószilárdsága merül ki a kúp palástfelületén. Az EUROCODE szerint a teljes szakadókép az az ideális állapot, amikor a fogadószerkezet teljesen kihasznál (CC - Concrete Capacity Method)[2]. Amennyiben a szakadókép nem a ragasztási mélység aljáról indul ki, kombinált tönkremenetelről beszélünk. A tönkremenetel után a szár és a fogadószerkezet közötti ragasztó elnyíródása, illetőleg a ragasztó és próbatest közötti kontaktfelület tapadószilárdságának fokozatos kimerülése okozza a kapcsolat tönkremenetelét, melynek lépcsői megfigyelhetők az erő-elmozdulás görbéken is. Jellemzően a ragasztási mélység felső harmadából indul a kúp 35 fokos hajlásszöggel [2].



3.20. ábra – Szakadóképok két fajtája [3]

3.4.2.3. Az acél menetes szár szakadása

A ragasztott kapcsolatok esetén a menetes szár szakadása is bekövetkezhet (3.21. ábra)[3]. Ez esetben nem beszélünk effektív keresztmetszetről mint a horgonycsavarok esetén, de fontos megemlíteni, hogy az M8-as menetes szár dolgozó keresztmetszete 6,4 mm átmérővel számítandó. A menetes száakra vonatkozó táblázatokból megállapítható a menettel csökkentett keresztmetszeti területek nagysága.



3.21. ábra – Szárszakadás ragasztott kapcsolat esetén

3.5. Tervezéshez használt számítási modellek és a próbatestek geometriai követelményei

A rögzítőelemek tervezéséhez felhasznált számítási modellek alapvetően a fogadószerkezet nyomószilárdságától illetve geometriai paraméterektől függenek. Geometriai paraméterek a dübelek tengelytávolsága, alapanyag szélétől való távolsága, rögzítési mélység és a próbatest vastagsága. Az alábbiakban a húzási ellenállás számításának módszere látható FBN II 8/50 (gvz) esetén[2]. Látható, hogy a tervezés során a tönkremeneteli módokhoz tartozó ellenállásokat kell meghatározni, majd ezen értékek közül a minimálisat kell mértékadónak tekinteni.

acél szárszakadás (steel failure)	$N_{Rd,s}$
kihúzódás (pull-out)	$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 * f_{b,N}$
szakadókúpos tönkremenetel (cone)	$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 * f_{b,N} * f_{s1} * f_{s2} * f_{s3} * f_{c1,A} * f_{c1,B} * f_{c2}$
alapanyag kettéhasadása (splitting)	$N_{Rd,sp} = N_{Rd,c}^0 * f_{b,N} * f_{s1,sp} * f_{s2,sp} * f_{s3,sp} * f_{c1,sp,A} * f_{c1,sp,B} * f_{c2,sp} * f_h$

- acél szakadáshoz tartozó ellenállás meghatározása ($N_{Rd,s}$)

Anchor type		FBN 6 A4	FBN II 8 gvz
characteristic resistance	$N_{Rk,s}$ [kN]	10.0	16.0
design resistance	$N_{Rd,s}$ [kN]	6.2	11.4

Anchor type – Rögzítőelem típusa

Characteristic resistance – Húzási ellenállás karakterisztikus értéke

Design resistance – Húzási ellenállás tervezési értéke

3.22. ábra – Acél szakadáshoz tartozó erő karakterisztikus és tervezési értéke

- kihúzódáshoz tartozó ellenállás meghatározása ($N_{Rd,p}^0$; $f_{b,N}$)

Anchor type		FBN II 8 gvz
h_{ef}	[mm]	40
non-cracked concrete		
characteristic resistance	$N_{Rk,p}^0$ [kN]	12.8
design resistance	$N_{Rd,p}^0$ [kN]	8.5

Anchor type – Rögzítőelem típusa

h_{ef} – rögzítési mélység

non-cracked concrete – repedésmentes beton

characteristic resistance – húzási ellenállás karakterisztikus értéke

design resistance – húzási ellenállás tervezési értéke

3.23. ábra – A kihúzódáshoz tartozó erők karakterisztikus és tervezési értékei repedésmentes szerkezetben

$f_{b,N}$ – a beton nyomószilárdságának hatása:

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



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

Anchor type		FBN II 8	Anchor type – Rögzítőelem típusa
h_{ef}	[mm]	gvz 40	h_{ef} – rögzítési mélység
non-cracked concrete			non-cracked concrete – repedésmentes beton
characteristic resistance	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	12.8	characteristic resistance – húzási ellenállás karakterisztikus értéke
design resistance	$N_{Rd,c}^0$ [kN]	8.5	design resistance – húzási ellenállás tervezési értéke

3.24. ábra – A kihúzódáshoz tartozó erők karakterisztikus és tervezési értékei repedésmentes szerkezetben

$f_{b,N}$ – a beton nyomószilárdságának hatása:

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

f_{s1} ; f_{s2} ; f_{s3} - dübelek egymástól mért távolságának hatása (spacing):

Anchor type		FBN II M8	Anchor type – Rögzítőelem típusa
h_{ef}		40	h_{ef} – rögzítési mélység
$s_{cr,N}$	[mm]	120	
$c_{cr,N}$	[mm]	60	

3.25. ábra

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

Ebbe a képletbe az s helyére beírandó több dübel esetén a dübelek tengelytávolsága, $s_{cr,N}$ helyére pedig a 3.25. ábrán látható táblázatból vett értéket.

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

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

Ezekbe a képletekbe c helyére behelyettesítendő a két irányban vett széltől való távolság, a $c_{cr,N}$ helyére pedig a 3.25. ábrán látható táblázatból vett értéket.

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



- alapanyag hasadásához tartozó ellenállás számítása ($N_{Rd,c}^0$; $f_{b,N}$; $f_{s1,sp}$; $f_{s2,sp}$; $f_{s3,sp}$; $f_{c1,sp,A}$; $f_{c1,sp,B}$; $f_{c2,sp}$; f_h)

$N_{Rd,c}^0$; $f_{b,N}$ - számítását lásd az előző pontban!

$f_{s1,sp}$; $f_{s2,sp}$; $f_{s3,sp}$ - dübel tengelytávolság hatása (spacing):

Anchor type	FBN II M8
h_{ef}	40
$s_{cr,sp}$ [mm]	190
$c_{cr,sp}$ [mm]	95
h_{min} [mm]	100

3.26. ábra

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

Ebbe a képletbe s helyére helyettesítendő több dübel alkalmazása esetén a dübelek tengelytávolsága. $s_{cr,sp}$ értéke a 3.26. ábráról veendő.

$f_{c1,sp,A}$; $f_{c1,sp,B}$; $f_{c2,sp}$ - széltől való távolság hatása (edge distance):

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

Ezekbe a képletekbe c helyére behelyettesítendő a dübel széltől való távolságai. $c_{cr,sp}$ értéke a 3.26. ábrán látható.

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

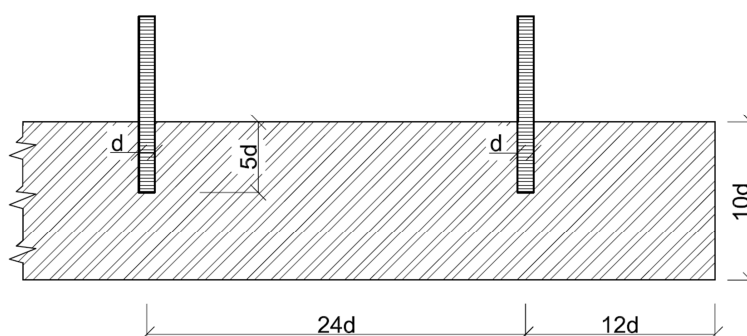
f_h – vastagság hatása:

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

Ebbe a képletbe h helyére behelyettesítendő a rögzítési mélység, h_{min} helyére pedig a minimális előírt rögzítési mélység.

A teherbírás meghatározása kézi számítással összetett feladat, a gyakorlatban végeselemes segédprogramok könnyítik a tervezés folyamatát. Az azonban látszódik a számokból, hogy a nyomószilárdságon kívül más betontulajdonság nem befolyásolja a teherbírást ezekben a modellekben. A befolyásoló tényezők táblázatai tökéletesen alkalmasak arra, hogy a kihúzó kísérlet összeállításánál úgy válasszuk meg a próbatestek geometriáját, hogy az eredményt ne befolyásolja a nem megfelelő próbatest vastagság a széltől való távolság. Mivel a mérésekben 1 db dübelt alkalmaztunk

próbatestenként, ezért a tengelytávolság hatása nem befolyásolta a mérési eredményeket. Úgy kellett megválasztanunk a próbatestek méretét és kialakítani a mérési összeállítást, hogy a szakadókúp zavartalanul ki tudjon alakulni, valamint a fent látható módszer esetén a befolyásoló tényezők mindenhol 1-nek vehetőek legyenek. A kihúzóvizsgálatok után visszatérünk ezekre a képletekre és igazoljuk, hogy kövek és beton esetén a kihúzáshoz tartozó erő nem csak nyomószilárdság függvénye, teherbírásuk más fizikai paraméterek függvényében módosulhatnak kedvező vagy kedvezőtlen irányba.



3.27. ábra – A próbatest geometriájának helyes kialakítása a dübel átmérő függvényében

A 3.27. ábrán látható méretek a rögzítőelem átmérőjének függvényében vannak megadva. Az alapanyag felhasadásához előírt geometriai feltételek „szigorúbbak” mint a szakadókúpos tönkremenetel esetében, ezért az előbbit tekintettük mértékadónak. A vizsgálataink során az összes próbatestre teljesültek a geometriai feltételek, tehát a befolyásoló értékek mindenhol 1-el vehetők figyelembe. A gyakorlatban amennyiben eltérünk ezektől a követelményektől, úgy a teherbírást növelő vagy csökkentő befolyásoló tényezőket kell alkalmazni a fent látható módszer szerint.

A 1.sz. számítási mellékletben megtalálható az FBN II 8/50 gvz horgonycsavar teherbírásának és epoxi ragasztóval rögzített szár teherbírásának számítása. Továbbá egy általunk készített erő-elmozdulás görbe összehasonlítása látható egy – a gyártó által – közzétett görbével. Ez által a mérésünk pontos és hiteles.

***Megjegyzés:** FBN II 8/50 gvz esetén a furatmélység 50mm, de a rögzítési mélység csak 40mm [2]. Ebben a mélységben fejt ki az erőátadó hatását a befeszült gyűrű, és a számítási modellben ezért szerepel 40 mm.*



4. FELHASZNÁLT ANYAGOK

4.1. Beton

4.1.1. Betonreceptúrák

A kísérleti összeállítás hitelesítéséhez 5 db eltérő szilárdságú betonkeveréket készítettük. A betonok szilárdságait úgy terveztük meg, hogy a későbbiekben választott terméskövek nyomószilárdsági tartományát lefedje az eredmények összehasonlításának érdekében. Feltételezzük, hogy amennyiben a kihúzókérdések eredményei azonosak a katalógusban megadott végleges teherbírási értékekkel, akkor a mérésünk elfogadható, hiteles és pontos.

Az alábbi betonreceptúrák készültek el, részletes receptúrák (4.1-4.5. táblázat) és egy összesített táblázat (4.6. táblázat) is látható következő oldalakon.

I. receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció	Tömeg kg/m ³	Térfogat l/m ³	60 liter
Adalékanyag	0/4 mm frakció 45%	833	315	50
	4/8 mm frakció 25%	463	175	27,8
	8/16 mm frakció 30%	555	210	33,3
	Összesen 100%	1851	700	111,1
Cement	CEM I 42,5 N	410	132,3	24,6
Víz	mw/mc= 37,00%	152	152	9,1
adalékszer cem m	Glenium C323 1,50%	6,2	6,15	0,369
Levegő		-	10	
Összesen		2419	1000	

4.1. táblázat – I.keverék, tervezett szilárdság C55/67

II. receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció	Tömeg kg/m ³	Térfogat l/m ³	60 liter
Adalékanyag	0/4 mm frakció 45%	833	315	50,02
	4/8 mm frakció 25%	463	175	27,79
	8/16 mm frakció 30%	556	210	33,35
	Összesen 100%	1853	700	111,16
Cement	CEM I 42,5 N	390	125,8	23,4
Víz	mw/mc= 41,00%	160	160	9,594
adalékszer cem m	Glenium C323 1,00%	3,9	3,9	0,234
Levegő		-	10	
Összesen		2406	1000	

4.2. táblázat – II.keverék, tervezett szilárdság C45/55



III. receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció	Tömeg kg/m ³	Térfogat l/m ³	60 liter
Adalékanyag	0/4 mm frakció 45%	833	315	49,99
	4/8 mm frakció 25%	463	175	27,77
	8/16 mm frakció 30%	555	210	33,33
	Összesen 100%	1851	700	111,09
Cement	CEM I 42,5 N	365	117,7	21,9
Víz	mw/mc= 46,50%	170	170	10,18
adalékszer cem m	Glenium C323 0,70%	2,6	2,555	0,15
Levegő		-	10	
Összesen		2389	1000	

4.3. táblázat – III.keverék, tervezett szilárdság C40/50

V. receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció	Tömeg kg/m ³	Térfogat l/m ³	60 liter
Adalékanyag	0/4 mm frakció 45%	834	315	50,01
	4/8 mm frakció 25%	463	175	27,78
	8/16 mm frakció 30%	556	210	33,34
	Összesen 100%	1852	700	111,13
Cement	CEM I 42,5 N	310	100	18,6
Víz	mw/mc= 61,00%	189	189	11,35
adalékszer cem m	Glenium C323 0,20%	0,62	0,62	0,04
Levegő		-	10	
Összesen		2352	1000	

4.4. táblázat – V.keverék, tervezett szilárdság C25/30

VI. receptúra

Anyag	Fajta vagy frakció	Tömeg kg/m ³	Térfogat l/m ³	60 liter
Adalékanyag	0/4 mm frakció 45%	833	315	50
	4/8 mm frakció 25%	463	175	27,78
	8/16 mm frakció 30%	556	210	33,33
	Összesen 100%	1852	700	111,11
Cement	CEM I 42,5 N	290	93,5	17,4
Víz	mw/mc= 67,50%	196	196	11,745
adalékszer cem m	Glenium C323 0,20%	0,58	0,58	0,035
Levegő		-	10	
Összesen		2338	1000	

4.5. táblázat – VI.keverék, tervezett szilárdság C20/25



Betonreceptúrák összesített táblázata

Receptura	Adalékanyag			Cement CEM I 42,5 N	Víz	Adalékszer GLENIUM C 323	Tervezett szilárdság
	0/4	4/8	8/16				
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
I.	833	463	555	410	152	6,2	C55/67
II.	833	463	556	390	160	3,9	C45/55
III.	833	463	555	365	170	2,6	C40/50
V.	834	463	556	310	189	0,62	C25/30
VI.	833	463	556	290	196	0,58	C20/25

4.6. táblázat – Betonkeverékek összesítő táblázata

4.1.2. Betonkeverés, próbatestek kialakítása

A betonkeverésnél különös figyelmet fordítottunk az adalékanyag tisztítására, mosására, tömegállandóságig történő szárítására és precíz kimérésére. Továbbá ügyeltünk arra is, hogy a cementet ugyanabból a legyártott szériából válasszuk, annak érdekében, hogy az eltérő minőségű cementek felhasználásából származó különbségeket kiküszöböljük (Duna-Dráva Cement CEM I 42.5 N). Az elkészült frissbeton 300*300*100 mm-es acélsablonokba került bedolgozásra, valamint



4.1. ábra – A 30*30*10 cm-es beton próbatestek

150*150*150 mm és 70*70*250 mm-es próbatestek készültek nyomó illetve hajlító-húzó szilárdság vizsgálatokhoz. A beton utókezelése az erre vonatkozó szabványok alapján történt. Receptenként 11 db 300*300*100 mm-es, 4 darab 150*150*150 mm-es, 3db 70*70*250 mm-es próbatestet készítettük, összesen 600 liter, 1,44 tonna betont kevertünk. A próbatestek geometriája a 3.5. fejezetben leírtak alapján megfelelő a vizsgálatokhoz, teljesülnek a szélről való távolság illetve a próbatest vastagság kritériumok.



4.2. Terméskövek

Az építőiparban a kőzetek esetén leggyakrabban előforduló rögzítési feladatok:

- barlangokban, alagutakban ideiglenes ill. végleges állványzatok, közműrendszerek rögzítése
- állványzatok rögzítése sziklafalakhoz
- homlokzatburkolati rendszerek végleges rögzítése (Művészetek Palotája 3.2. ábra, [www1.])



2.2. ábra - Forrásvízi mészkő homlokzatburkolat (Művészetek Palotája, Budapest)[www1.]

Konkrét példák kőzetekben történő rögzítésre:

- Szent Gellért Sziklatemplom bejáratánál található üveg függönyfal rögzítése mészkőbe
- Balatonfüredi Tesco áruház forrásvízi mészkő homlokzatburkolatának megerősítése
- Bábaapáti radioaktív hulladéktározó gépészeti elemeinek ragasztott rögzítése gránitba
- Margit-híd rekonstrukciójakor gránit kőtömbök rögzítése a pilonokon

A kihúzó kísérleteket és anyagvizsgálatokat három - az építőiparban gyakran használt terméskövön hajtottuk végre. A választásunk kétféle **forrásvízi mészkőre** (Süttő (H), Gazda ill. Haraszi bánya), valamint Rosa-Beta **gránitra** esett (4.3. ábra). A rendelkezésünkre álló próbatestek geometriai méretei a 3.5. fejezetben leírtak alapján megfelelnek a geometriai követelményeknek. Célunk több kőzetfizikai paraméter meghatározása (nyomószilárdság, hajlító-húzószilárdság, látszólagos porozitás, ultra-hangos vizsgálat) a kőzetek inhomogenitására való tekintettel és összefüggések ábrázolása a kihúzó dához tartozó erő és ezen paraméterek függvényében.

Az alábbi vizsgálatok kerültek elvégzésre:

- Roncsolásmentes vizsgálatok
 - o Nyomószilárdság mérése (Schmidt-kalapács)
 - o Porozitás mérés
 - o Időállósági vizsgálat (fagyasztási cikl.)
- Roncsolásos vizsgálatok
 - o Egyirányú nyomószilárdság mérés
 - o Hajlító-húzó szilárdság mérés



4.3. ábra – Terméskő próbatestek

Próbatestek geometriája: Gránit 25*20*10cm (16db), Mészkövek: Haraszi 40*20*10cm (16 db), Gazda 25*20*10cm (16 db).

Terméskő próbatesteken a fenti anyagvizsgálatokat megismételtük fagyasztási ciklusvizsgálat után.

4.3. A válaszott rögzítőelemek rövid bemutatása

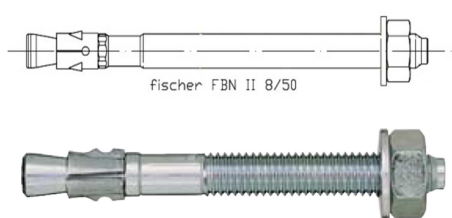
Kutatásunk témájául egy nyomaték kontrollált feszítődübel, illetve egy kétféle ragasztóval rögzített menetes szárat választottunk. A beágyazási mélység mindkét kapcsolattípus esetén 50 mm volt.

4.3.1. Nyomatékkontrollált feszítődübel (Torque controlled expansion anchor)

- **Fischer FBN II 8/50 (gvz)** horgonycsavar (4.4. ábra)[5]

Elsőként egy súrlódásos erőátvitelen alapuló terpesztett horgonycsavart választottunk.

Nagy teljesítményű feszítődübel, galvanizált, $f_u = 700$ MPa szakítószilárdságú acélból készült [2]. Rendkívül gyakran használt dübel, használata elsősorban repedésmentes szerkezetekben javasolt. Nyomaték kontrollált installálás hozza létre azt az optimális súrlódási erőt, ami a húzóerőt a fogadószerkezetbe továbbítja (ld. Szakirodalmi Áttekintés). A szereléskor szükséges nyomaték 15 Nm [2], ezt egy minőségi tanúsítvánnyal rendelkező nyomatékkulccsal hoztuk létre. A szerelés folyamatát lásd Szakirodalmi Áttekintés fejezet alatt.



4.4. ábra – Horgonycsavar (FBN II 8/50 gvz) [5]

4.3.2. Ragasztott kapcsolatok (bonded anchor)

A ragasztott kapcsolat egy közönséges menetes száron alapul. M8-as menetes szárat vizsgáltunk, 50 mm beágyazási mélységgel. Fontos megjegyeznünk, hogy M8-as menetes szár ragasztott kapcsolat létrehozásához 10 mm átmérőjű furat szükséges [2].

Két, eltérő kémiai összetételű ragasztót választottunk. Mindkét ragasztó kétkomponensű, egyik kötőanyaga vinyl-észter hibrid, a másik epoxi-alapú ragasztó.

- **Fischer FIS V 360 S** (vinilészter-hibrid ragasztó)+ M8 menetes szár 8.8 (4.5. ábra)[1]

A ragasztó anyaga vinilészter-hibrid. A FIS V injektáló rendszer sztirolmentes, gyorskötésű, kétkomponenses műgyantaragasztó. A komponensek speciális keverőszárban keverednek össze. A ragasztó feldolgozási ideje 20°C-30°C között 4 perc, kikeményedési ideje 45 perc [2].



4.5. ábra – M8 menetes szár +FIS V vinilészter-hibrid ragasztó [1]

Megjegyzés: A beton próbatesteken a FIS V ragasztót 5.6 anyagminőségű menetes száron vizsgáltuk, majd a próbatestek tönkremenetele miatt a további összes próbatest esetén 8.8 szarra tértünk át.

- **Fischer FIS EM 390 S** (epoxi ragasztó) + M8 menetes szár 8.8 (4.6. ábra)[1]

Nagyteljesítményű epoxi alapú ragasztó. Speciális keverőszár biztosítja a komponensek megfelelő keveredését. Feldolgozási ideje 20 °C-30°C között 30 min, keményedési ideje ugyanezen hőmérsékleten 10 óra [2].

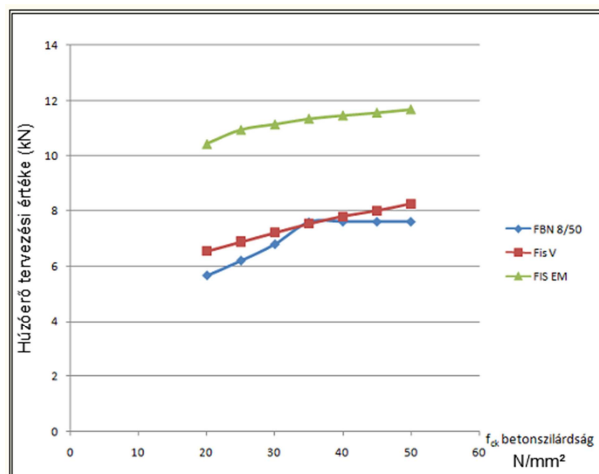


A két ragasztónak eltérő a konzisztenciája, a vinilészter ragasztó nagyon gyorsan köt és feltűnően viszkózusabb mint az epoxi. Az epoxi alapú ragasztó kötése előtt az alapanyag kapillárisaiba juthat.

4.6. ábra – M8 menetes szár + FIS EM epoxi ragasztó [1]

4.3.3. Teherbírás

Katalógus alapján [2] az alábbi grafikon (4.7. ábra) mutatja a rögzítőelemek teherbírását eltérő beton szilárdság esetén.



4.7. ábra – A választott rögzítőelemek teherbírásának ajánlott értékei

Jól látható hogy az epoxi alapú ragasztó a legnagyobb teherbírású a három választott rögzítési rendszer közül, továbbá az is látható, hogy a horgonycsavar esetén 35 MPa (karakterisztikus) betonszilárdság felett a kapcsolat teljesen kihasználta, ettől a ponttól kezdve acél szárszakadás a tönkremenetel (kék görbe, 4.7. ábra). A fenti grafikonon a karakterisztikus beton nyomószilárdság és az alkalmazható húzóerő ajánlott értékei láthatók.



5. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

5.1. Roncsolásmentes vizsgálatok

5.1.1. Látszólagos porozitás vizsgálat

A látszólagos porozitás a vízfelvételre visszavezethető fogalom, és így természetesen egy anyagjellemző. Előzetes becsléseink alapján ragasztott kapcsolatok esetén a fogadóanyag porozitása – a szilárdsági paraméterek mellett - szerepet játszik a kapcsolat teherbírásában. Ha az anyagot vízzel telítjük, és feltételezzük, hogy reményeinknek megfelelően az anyagban lévő valamennyi pórus megtelt vízzel, azaz teljes víztelítést végeztünk, akkor az anyag által felvett víz térfogata a pórusok térfogatával egyenlő. Ezért a térfogat %-ban kifejezett vízfelvétel ($n^{\text{térfogat\%}}$) 100-ad részét látszólagos porozitásnak nevezzük [6].

Az alábbi képlettel számolható a látszólagos porozitás. A vizsgálatot az MSZ EN 13755:2008 [7] szabvány alapján végeztük el. Először a terméskő és beton próbatesteket tömegállandóságig szárítottuk, majd tömegüket és sűrűségüket lemértük. A próbatestek vízbe kerültek, majd 1, 24, 48, 72 óra elteltével megmértük a tömegüket. Tömegállandóság utáni telített tömeg mérése után az alábbi képlettel meghatározható a kövek és betonok látszólagos porozitása:

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

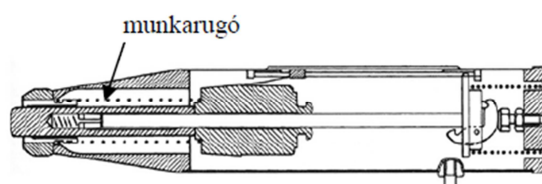
ahol:

- $V_{\text{víz}}$ = 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]
- ρ_T = M/V = Anyag testsűrűsége [g/cm^3]
- δ_T = $\rho_T / \rho_{\text{víz}}$ = Anyag relatív testsűrűsége a vizsgálati hőmérsékleten

Ez egy nagyon könnyen elvégezhető kísérlet, nem igényel „laboratóriumi” körülményeket, az építési helyszínen is megvalósítható.

5.1.2. Nyomószilárdság becslése Schmidt-kalapáccsal

A Schmidt-kalapács (5.1. ábra) a beton felületi keménységmérő eszköze. A Schmidt-kalapácsos vizsgálatok során kapott visszapattanási értékek alapján a szerkezeti beton nyomószilárdságát tapasztalati összefüggések alapján becsüljük [9]. Erre a vizsgálatra azért került sor, mert ezzel a módszerrel



5.1. ábra – Napjaink egy munkarugós készüléke (Bungey et al 2006) [9]

gyors, azonnali eredményt lehet szolgáltatni a fogadószerkezet nyomószilárdságáról. Kőszerkezetek esetén a jelentősége nagy lehet, ugyanis szilárdság becslésre roncsolásmentesen alkalmas. Az általunk használt Schmidt kalapács pontos típusa: *Proceq N-34 típusú, gyári száma: 157918*. A vizsgálatot betonkeverékeként 2-2 próbatesten végeztük el, próbatestenként 8-8 mérési eredménnyel.

A visszapattanási értékek kiértékelését betonon az ÚT 2-2.204 [10] szerint végeztük.

A betonoknál használt ÚT 2-2.204 számú ÚTÜGYI MŰSZAKI ELŐÍRÁS csak 50-es visszapattanási értékig ad értelmezhető eredményt. Az 7.7.-7.12. táblázatokból látszódik, hogy a terméskövek esetén az 50-es visszapattanási értéket meghaladó eredményeket kaptunk. Ezért a későbbiekben (8.3. fejezet) a kiértékelés alapját csak a visszapattanási értékek képezték mind betonok illetve terméskövek esetén az egységes összehasonlítás céljából.

5.2. Roncsolásos vizsgálatok

5.2.1. Nyomószilárdság vizsgálatok

- *beton próbatesteken*

A nyomószilárdság vizsgálatokra a beton próbatesteken a keverést követő 28-adik napon került sor. A mérést a FormTest Alpha 3000 akkreditált nyomószilárdság mérő eszközzel végeztük (5.2. ábra) a MSZ EN 12390-3:2009 [11] alapján. A terhelés sebessége 11.25 kN/s. Receptenként 4-4 db 150*150*150 mm-es kockát törtünk. A próbatestek geometriai méreteit századmilliméter pontosságú akkreditált digitális tolómérővel, tömegüket gramm pontos mérleggel mértük le. Az nyomószilárdság eredmények a 7.1. táblázatban láthatóak. A mérést követően az egyes betonreceptúrákat szilárdsági osztályba soroltuk az MSZ EN 206-1-2002 [12] alapján. A mérési jegyzőkönyvek a mellékletben találhatóak, a mérési eredmények pedig az 7.1.1.1. fejezetnél.

A mérésről vizsgálati lapok készültek és fénykép készült az összes próbatest tönkremeneteléről.



5.2. ábra – Nyomószilárdság vizsgálatok (terhelőgép és próbatestek)

- *terméskő próbatesteken*

A nyomószilárdság mérést egy WPM DrMB200 akkreditált terhelőgéppel végeztük el (5.3. ábra). A mintákat a rendelkezésre álló tömbökből gyémánt magfúróval vágtuk ki, úgy hogy az átmérő: magasság aránya a szabvány szerint 1:2 legyen [14]. A vizes fúrási technológia következtében, a fúrás követően a mintákat tömegállandóságig szárítószekrényben szárítottuk. Mind a három kőzettípusból



5.3. ábra – Nyomószilárdság vizsgálatok (próbatest kialakítás magfúrással és a terhelőgép

3-3 db henger próbatestet készítettünk ($\varnothing 55\text{mm}$, $H=100\text{mm}$), a mérés előtt magasságaikat és átmérőjüket akkreditált digitális tolómérővel mértük le századmilliméter pontossággal. A nyomószilárdság mérést fagyasztási ciklusvizsgálat előtt és után is elvégeztük. Tömegüket gramm pontossággal mértük. A nyomószilárdságok a teherbírás várható értékeként jelennek meg. A vizsgálatot a MSZ EN 1926-2007 [13] szerint végeztük.

A mérésről vizsgálati lapok készültek és fénykép készült az összes próbatest tönkremeneteli módjáról.

5.2.2. Hajlító-húzószilárdság vizsgálatok

- *beton próbatesteken*

Ezzel a vizsgálattal a célunk, hogy a későbbiekben összefüggést keressük a beton húzó-szilárdsága és kihúzódáshoz tartozó erő között az eltérő acél-beton illetve acél-kő kapcsolatokban. A húzó-hajlító szilárdság mérést $70*70*250$ mm-es hasáb alakú próbatesteken végeztük el, receptenként 3-3 db-on, 28 napos korban a MSZ EN 12390-5 [15] szerint.

A mérést beton próbatesteken egy WPM ZDM 10/91 típusú akkreditált, 3 pontos hajlító-húzó gépen végeztük (5.4. ábra). A támaszköz 200 mm volt. A leolvasást a gép legkisebb skáláján végeztük ez 0,1 N pontosságot jelent. A próbatestek geometriai méreteit századmilliméter pontossággal akkreditált digitális tolómérővel, tömegüket gramm pontos mérleggel mértük le.



5.4. ábra – Hajlító-húzó vizsgálat beton próbatesten

A húzószilárdság várható értéke az alsó szélső szálban az elemi szilárdságtan képleteivel könnyedén számítható.

A mérésről vizsgálati lapok készültek, illetve fénykép készült az összes próbatest tönkremeneteli módjáról.

- *terméskő próbatesteken*

A harmadpontos hajlító-húzószilárdság mérést termésköveken egy WPM ZDM 10/91 akkreditált nyomógéppel végeztük el, 3 pontos hajlító-feltétet alkalmazva (5.5. ábra). A kéttámaszú tartó támaszköze 150 mm. A próbatestet egy koncentrált erő terheli a támaszköz felénél, ez nyomatékot okoz, ezután elemi szilárdságtan képleteivel meghatározható az alsó szélső szálban az ébredő húzófeszültség. A próbatesteket a rendelkezésre álló tömbökből vizes technológiájú kővágóval készítettük elő, geometriájuk (25*40*200mm) megfelel az MSZ EN 13161-2008 [16] szabványnak. A vizes vágási technológia miatt a próbatest hasábokat tömegállandóságig szárítószekrényben szárítottuk.

A mérés elvégzése előtt a próbatesteket akkreditált, századmilliméter pontosságú tolómérővel mértük le, tömegüket gramm pontossággal mértük.

Az 7.13.-7.14. táblázatok tartalmazzák a kövek húzószilárdságát fagyasztási ciklusvizsgálat előtt és után.



5.5. ábra – Kő próbatestek és a hajlító-húzószilárdság vizsgálat

A mérésről vizsgálati lapok készültek és fénykép készült az összes próbatest tönkremeneteli módjáról.

5.3. Időállósági vizsgálatok

5.3.1. Fagyasztási ciklusvizsgálat

A terméskő próbatesteken lefuttattunk 50 fagyasztási ciklust, mindeközben a rögzítőelemek installálva voltak a próbatestekbe. A hőmérséklet -20°C - $+20^{\circ}\text{C}$ között változott. Ezzel a vizsgálattal a kő-acél kapcsolatok teherbírásának módosulását szeretnénk kimutatni, valós környezeti körülmények szimulálásával. A hőmérséklet változás hatással van a rögzítőelemek teljesítményére [18]. A kihúzókísérleteket tehát két részletben végeztük a termésköveken, laboratóriumi illetve fagyasztási ciklusvizsgálat után.



5.6. ábra - Fagyasztóláda

5.4. A kihúzó kísérlet mérési összeállítása

5.4.1 A terhelő gép

A terhelőgép egy INSTRON 1197 elmozdulás-vezérelt volt (5.7. ábra). Azért esett a választásunk erre a gépre, mert a tönkremenetel után a kapcsolat teherbírásának leszálló ága is vizsgálható, és a maradó erőhöz tartozó elmozdulás is megállapítható az elmozdulás vezérelt géppel való vizsgálat során.

Megjegyzések:

- „Elmozdulás-vezérelt” azt jelenti, hogy a gép működése közben a felső húzópadot állandó sebességgel mozgatja, azaz a húzópad időegység alatt megtett útja konstans. Ezt a felső és alsó padok közé helyezett elmozdulásmérővel igazoltuk. A felső pad mozgatási sebessége állítható 0.2-200 mm/min tartományban (5.8. ábra).
- Saját, általunk kalibrált erőmérő cellát használtunk a vizsgálatokhoz, mert az Instron erőmérő cellája a szükséges mérési tartományban (0-40 kN) pontatlan. Kalibrációt lásd 4.2. fejezet.
- A húzás sebessége a vizsgálatoknál 1 mm/perc volt egységesen.



5.7. ábra – A terhelő gép



5.8 ábra – Elmozdulás vezérlő konzol

5.4.2. Erőmérő cella kalibrációja

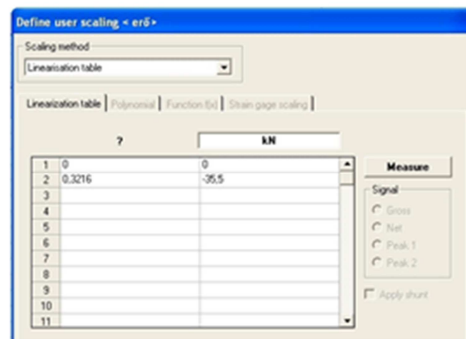
Az INSTRON 1197 beépített erőmérő cellája 1000 kN-ig terjedő tartományban mér, ami a mi mérésünkhöz pontatlan, ezért szükség van egy nyúlás-mérő bélyeg alapú erőmérő cella használatára. Feladatunk az erőmérő cella mV/V mértékegységben közölt jelét kN mértékegységgel lineáris összefüggésbe hozni. A kalibráció során egy VPM típusú akkreditált húzógéphez fogtuk be az erőmérő cellát (5.9. ábra). Az erőmérő cella egy HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik) Spider 8[®] típusú adatgyűjtő készüléken keresztül csatlakoztatva lett számítógéphez. A mérőprogram - CATMAN[®] - segítségével jelenítettük meg az adatokat.



5.9. ábra – Erőmérő cella kalibrációja

A kalibráció folyamata a következőképpen zajlik:

- Felterhelés 5 kN-ig (WPM gép szerint!), majd az ehhez tartozó mV/V érték leolvasása, majd tehermentesítés
- Felterhelés 10 kN-ig, majd mV/V érték leolvasása, majd tehermentesítés
- további felterhelés lépcsőzetesen 40 kN-ig ugyanezen elv szerint.
- végeredményben egy linearizációs táblázat készítése mV/V – kN összefüggésekkel (5.10. ábra)

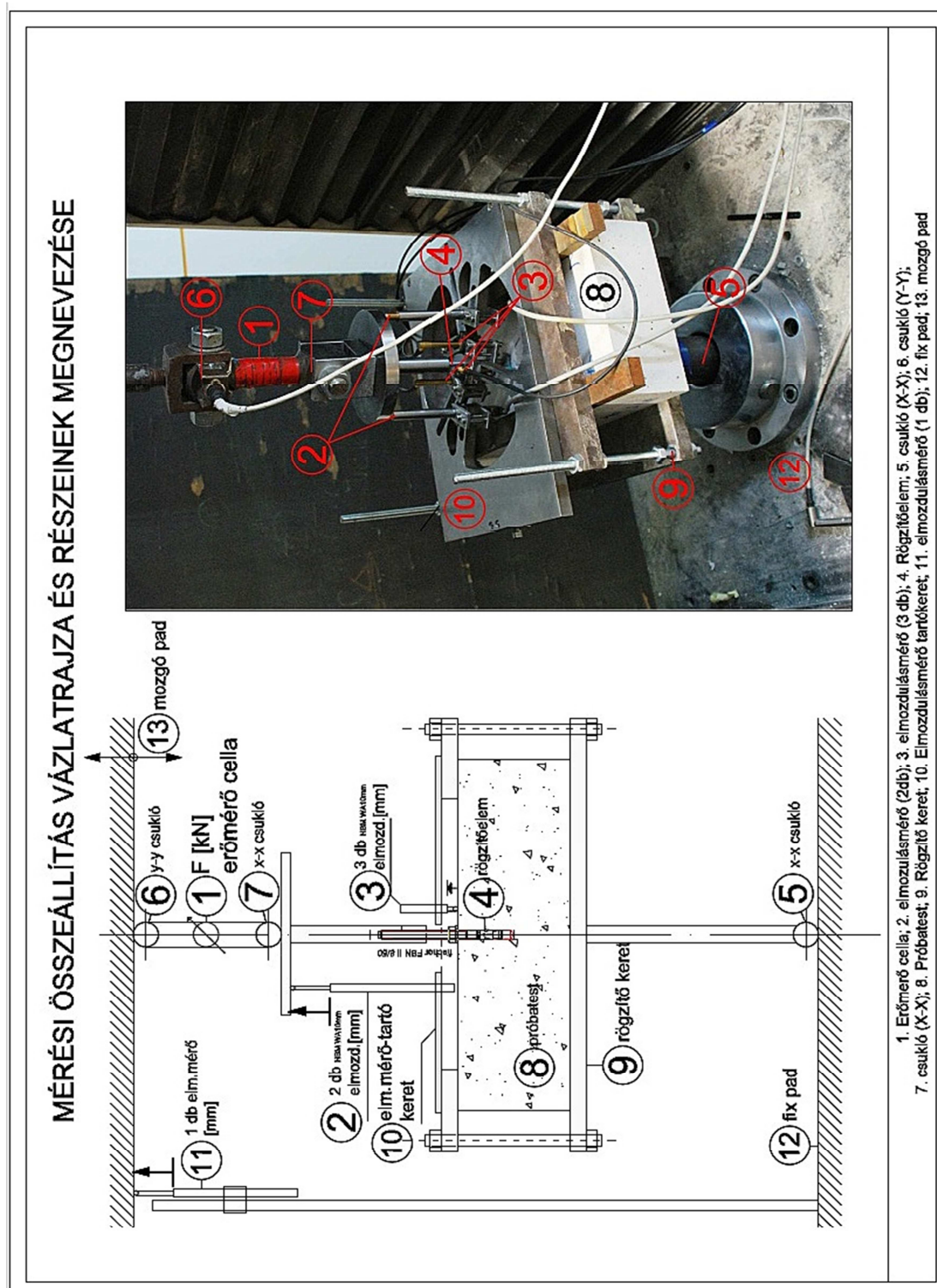


5.10. ábra – Linearizációs táblázat, CATMAN

Eredményül az alábbi táblázatban látható értéket használjuk. A Ø16-os acéldarab, amelyre rá van rögzítve a nyúlásmérő bélyeg σ - ϵ görbéje 40 kN-ig tartományon teljesen lineáris [19], tehát a mV/V-kN összefüggés ezen a tartományon szintén lineáris.



5.4.3. Mérési összeállítás sematikus rajza és magyarázata



5.11. ábra - A mérési összeállítás vázlatterve és magyarázata

1. Erőmérő cella: Kalibrációját lásd 4.2. fejezetnél. Nyúlás-mérő bélyegen alapuló mérőberendezés 0-40 kN-ig kalibrálva.

2. Elmozdulásmérő (2 db HBM WA10mm) Az elmozdulásmérők a rögzítőkeret felső síkja és a rögzítőelem fölé beiktatott acéllemez között dolgoznak, így ezek a kapcsolat teljes elmozdulását mérik (5.12. ábra).

3. Elmozdulásmérők (3 db HBM WA10 mm) a rögzítő keret felső síkja és a próbatest felső síkja közötti elmozdulást mérik. Alaprajzi nézetben egymással 120°-ot zárnak be, és a próbatest deformációjáról kapunk adatokat a rögzítési pont közvetlen környezetében (5.12. ábra).

4. Rögzítőelem. Fischer FBN II 8/50; M8 menetes szár + FIS V; M8 menetes szár + FIS EM (5.12. ábra)

5. -6.-7. Csuklók biztosítják, hogy a kísérlet során kizárólag központos húzás jöjjön létre, elkerülve azt, hogy hajlítás vagy nyírás befolyásolja a tönkremenetelt (5.11. ábra).

8. Próbatest. Geometriai követelmények betartása (3.5. fejezet).

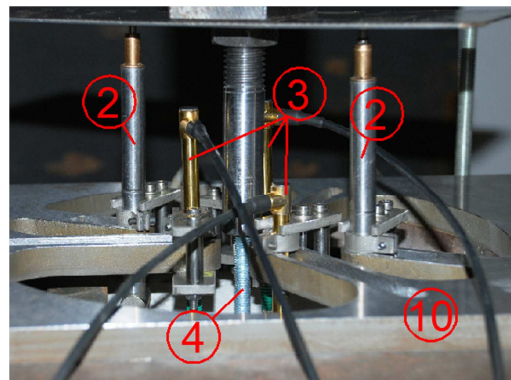
9. Rögzítőkeret. A próbatest rögzítésére szolgáló acél keret 4 db M10 5.6 menetes szárral van összefogva. Az acéllemezek vastagsága 15 mm, a próbatest felső síkján lévő lemezben 250 mm átmérőjű nyílás található a szakadókúpos tönkremenetel zavartalan létrejöttéhez (lásd. 3.5. fejezet). A 4 db menetes szár megnyúlása ezen kísérleti összeállításban elhanyagolható.

10. Elmozdulásmérő tartókeret. Funkciója, hogy fix síkot biztosítson az elmozdulásmérőknek (5.12. ábra). Ezt a keretet a *BME Gyártástudomány és - Technológia Tanszék* (Gépészmérnöki Kar) általunk készített egyedi tervezés alapján gyártotta le ehhez a kísérlethez. Tervek megtalálhatók 11.3.1. rajzi mellékleteknél.

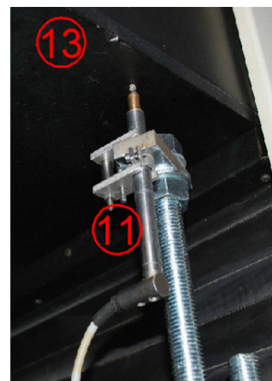
11. Ez az elmozdulásmérő a húzógép fix és mozgó padozata között mér. Így ellenőriztük le a terhelőgép húzási sebességet. (5.13. ábra)

12. A terhelő gép alsó fix padja.

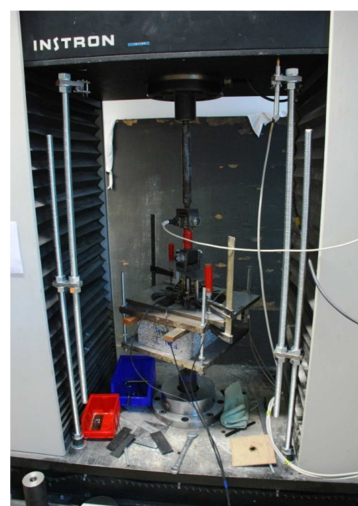
13. A terhelő gép felső, mozgó egysége.



5.12. ábra – Elmozdulásmérők



5.13. ábra – Mozgó padozat



5.14. ábra – A teljes mérési összeállítás

6. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS CÉLOK ÖSSZEFOGLALÓ TÁBLÁZATAI

6.1. Vizsgálatok és célkitűzések táblázata

A 6.1. táblázatban megfogalmaztuk célkitűzéseinket.

Vizsgált paraméterek:	Cél:
1. Beton vizsgálatok kísérleti paraméterek: eltérő beton szilárdságok eltérő kapcsolati típusok mért jellemzők: nyomószilárdság (roncsolás mentes, roncsolásos) hajlító-húzó szilárdság látszólagos porozitás kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó erő kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó elmozdulás	Előtanulmány készítése: A katalógus által közölt teherbírési értékek igazolása. A mérési összeállítás hitelesítése. A gyártó által a kapcsolatokhoz megadott biztonsági tényező megállapítása, és igazolása
2. Terméskő vizsgálatok a.) Ciklus vizsgálat előtt kísérleti paraméterek: eltérő terméskövek eltérő kapcsolati típusok mért jellemzők: nyomó szilárdság (roncsolásos) nyomó szilárdság (roncsolás mentes) hajlító-húzó szilárdság látszólagos porozitás kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó erő kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó elmozdulás az próbetest deformációja a rögzítési pont közvetlen környezetében b.) Ciklus vizsgálat után kísérleti paraméterek: eltérő terméskövek eltérő kapcsolati típusok mért jellemzők: nyomó szilárdság (roncsolásos) nyomó szilárdság (roncsolás mentes) hajlító-húzó szilárdság látszólagos porozitás kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó erő kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó elmozdulás az próbetest deformációja a rögzítési pont közvetlen környezetében	A különböző kapcsolatok (egy mechanikus, és két ragasztott) terméskövekben való teherbírásának, és a tönkremenetelhez tartozó elmozdulásának megállapítása. A tönkremenetekhez tartozó eredmények és a különböző közetfizikai paraméterek közötti A betonoknál használatos numerikus modell terméskövekre való ellenőrzése, és szükség esetén javaslattétel a függvény átalakítására. Porozitás hatása a kapcsolat teherbírására. A ciklusvizsgálat hatásának megállapítása a kapcsolatok viselkedésére, és ezzel összefüggésben a közetfizikai paraméterek megváltozására.



6.1. táblázat - Célkitűzések

A kihúzóvizsgálatokat a beton próbatesteken kezdtük el. 5 eltérő szilárdságú betonon (minősítési érték szerint: C20/25; C25/30; C40/50; C45/55; C55/67), a háromféle rögzítőelemmel (FBN II 8/50, FIS V vinilészter + M8 szár, FIS EM epoxi + M8 szár), 3-3 próbatestenként összesen 45 kihúzó kísérletet hajtottunk végre. A beton próbatesteken roncsolásos és roncsolásmentes nyomószilárdság, hajlító-húzószilárdság és látszólagos porozitás vizsgálatok készültek. A kihúzó kísérletben mértük az erőt és az elmozdulást. A vizsgálatok eredményét összevetettük a számítási modellekben meghatározott illetve a katalógus által közölt értékekkel, és ellenőriztük az összeállított kísérleti modell pontosságát.

A háromféle terméskővön a vizsgálatokat két részletben hajtottuk végre, laboratóriumi illetve fagyasztási ciklusvizsgálat után. A terméskőveken roncsolásos és roncsolásmentes nyomószilárdság, hajlító-húzószilárdság és látszólagos porozitás vizsgálatok készültek. A kihúzóvizsgálat során mérjük az erőt és a hozzátartozó elmozdulást, valamint a kő felületének deformációját a rögzítési pont közvetlen közelében.

Végül, az alábbi összefüggéseket vizsgáltuk:

- nyomószilárdság – kritikus húzóerő
- hajlítószilárdság – kritikus húzóerő
- porozitás – kritikus erő
- Schmidt visszapattanási érték – kritikus erő

6.2. Beton és terméskövek laboratóriumi vizsgálatainak összesítő táblázatai

A 6.2. táblázat tartalmazza a beton próbatesteken elvégzendő roncsolásos és roncsolásmentes laboratóriumi vizsgálatok tervezett ütemezését.

VIZSGÁLAT TÍPUSA			nyomószilárdság	hajlító-húzószilárdság	Schmidt-kalapács	porozitás
alkalmazott szabványok:			MSZ EN 12390-3:2009	MSZ EN 12390-5:2009	ÚT-2-2.204	MSZ EN 13755:2002
próbatestek:			150x150x150 mm	70x70x250mm	300x300x100mm	változó
Beton	Laboratóriumi körülmények között	C 20/25	3	3	1x10	6
		C 25/30	3	3	1x10	6
		C 40/50	3	3	1x10	6
		C 45/55	3	3	1x10	6
		C 55/67	3	3	1x10	6
Összesen (db)			12	12	50	24

6.2. táblázat – Beton próbatesteken elvégzett vizsgálatok összesítő táblázata

A 6.3. táblázat tartalmazza a terméskő próbatesteken elvégzendő roncsolásos és roncsolásmentes laboratóriumi vizsgálatok tervezett ütemezését.

VIZSGÁLAT TÍPUSA			nyomószilárdság	hajlító-húzószilárdság	Schmidt-kalapács	porozitás
alkalmazott szabványok:			MSZ EN 1926-2007	MSZ EN 12161-2008	-	MSZ EN 13755:2002
próbatestek:			Ø 55x100 mm	40x25x200 mm	250x200x100 mm	változó
Terméskövek	Ciklus vizsgálat előtt	Gránit (Rosa-Beta)	3	3	16x5	6
		Forrásvízi mészkő (Gazda)	3	3	16x5	6
		Forrásvízi mészkő(Haraszti)	3	3	16x5	6
	Ciklus vizsgálat után	Gránit (Rosa-Beta)	3	3	16x5	6
		Forrásvízi mészkő (Gazda)	3	3	16x5	6
		Forrásvízi mészkő(Haraszti)	3	3	16x5	6
Összesen (db)			18	18	480	36

6.3. táblázat – Terméskő próbatesteken elvégzett vizsgálatok összesítő táblázata

6.3. A kihúzóvizsgálatok kísérleti mátrixa

Az alábbi táblázat mutatja a próbatestek, kísérletek darabszámát a kihúzóvizsgálatokhoz (6.4. táblázat). A próbatestek csoportosításánál ügyeltünk arra, hogy minden összeállításból 3 kihúzókéísérletet hajtsunk végre. Az FBN horgonycsavar esetén azonban csak 1-1 próbatest állt rendelkezésre fagyasztási-ciklusvizsgálat után terméskövek esetén. Az összes próbatest tömege **2,2** tonna.

KÍSÉRLETI MÁTRIX a kihúzóvizsgálatokhoz			horgonycsavar	Vinilészter	Epoxi	Σ (db)
Beton	-	C 20/25	3	3	3	45
		C 25/30	3	3	3	
		C 40/50	3	3	3	
		C 45/55	3	3	3	
		C 55/67	3	3	3	
Terméskövek	Fagyasztási Ciklus vizsgálat előtt	Gránit (Rosa-Beta)	3	3	3	48
		Forrásvízi mészkő (Gazda)	3	3	3	
		Forrásvízi mészkő (Haraszti)	3	3	3	
	Fagyasztási Ciklus vizsgálat után	Gránit (Rosa-Beta)	1	3	3	
		Forrásvízi mészkő (Gazda)	1	3	3	
		Forrásvízi mészkő (Haraszti)	1	3	3	
Összesen (db)			27	33	33	93

6.4. táblázat – Kísérleti mátrix a kihúzóvizsgálatokhoz

7. KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

7.1. Próbatesten elvégzett anyagvizsgálatok eredményei

7.1.1. Beton vizsgálatok eredményei

7.1.1.1. Nyomószilárdság vizsgálatok eredményei

Az alábbi táblázat mutatja az egyirányú RONCSOLÁSOS nyomószilárdság eredményeket:

Receptúra	Szám	Méretek (mm)			Tömeg kg	Sűrűség kg/m ³	Törőerő kN	Feszültség N/mm ²	Átlag N/mm ²	Minősítési jele
		a	b	h						
I	1	149,7	150,5	149,9	8,08	2392,5	1786	79,27	77,76	C55/67
	2	149,7	150,7	149,9	7,93	2345,0	1759	77,97		
	3	149,8	150,1	150,1	7,98	2364,4	1738	77,30		
	4	149,8	149,8	150,2	8,07	2394,3	1717	76,52		
II	1	149,9	150,3	149,9	7,98	2362,9	1576	69,95	66,84	C45/55
	2	150,2	150,0	150,0	7,92	2343,5	1449	64,31		
	3	149,9	149,9	150,0	7,82	2320,1	1486	66,13		
	4	151,0	151,0	150,0	7,91	2312,8	1527	66,97		
III	1	149,6	152,5	149,8	7,90	2311,6	1350	59,17	60,51	C40/50
	2	149,7	152,0	149,7	7,90	2319,2	1356	59,59		
	3	149,8	151,0	149,8	7,88	2325,5	1423	62,91		
	4	149,8	152,5	149,7	7,86	2298,4	1379	60,36		
V	1	150,0	150,4	150,0	7,68	2269,5	891	39,49	40,71	C25/30
	2	150,2	146,1	150,1	7,43	2255,7	924	42,11		
	3	149,9	149,8	149,9	7,68	2281,6	918	40,88		
	4	150,0	148,2	149,8	7,60	2282,2	897	40,35		
VI	1	149,7	151,8	149,9	7,67	2251,6	700	30,80	32,82	C20/25
	2	150,0	147,7	150,5	7,43	2228,3	757	34,17		
	3	150,0	150,0	150,0	7,63	2260,7	812	36,09		
	4	150,1	150,5	150,0	7,65	2257,6	683	30,23		

7.1. táblázat – Beton próbatestek roncsolásos nyomószilárdságának várható értékei

Ezzel igazoltuk, hogy a betonszilárdságok tényleg jelentősen eltértek, tehát 5 különböző szilárdságú beton próbatesteket készítettünk. A minősítési értékeket az MSZ EN 1992-1 -1:2010 [17] alapján határoztuk meg.

A Schmidt-kalapács visszapattanási értékei és a becsült RONCSOLÁSMENTES nyomószilárdságok:

Receptúrák	Mérések								Átlag	f _{cm,200} N/mm ²	f _{cm,150} N/mm ²
	1	2	3	4	5	6	7	8			
I.	43	45	42	41	41	39	42	44	42,13	65,96	69,92
II.	43	37	38	42	38	36	41	38	39,13	53,85	57,08
III.	38	36	45	40	35	36	38	41	38,63	51,99	55,11
V.	31	30	29	30	31	31	31	29	30,25	28,02	29,70
VI.	27	26	27	24	28	24	27	31	26,75	21,05	22,31

7.2. táblázat – Beton próbatestek roncsolásmentes nyomószilárdságának várható értékei

A Schmidt kalapáccsal megállapított nyomószilárdsági értékek 200 mm élhosszúságú kockára értendők, tehát a roncsolásos illetve roncsolásmentes nyomószilárdságok összehasonlításához az ÚT 2-2.204:1999 szerinti szilárdsági értékeket az alábbi képlet szerint kell átszámolni 150 mm élhosszúságú kockára [17].

$$f_{cm,150,H} = 1,06 * f_{cm,200,H}$$

A roncsolásmentes vizsgálattal kisebb szilárdságot határoztunk meg, mint a roncsolásos nyomószilárdság mérésével.

7.1.1.2. Hajlító-húzószilárdság vizsgálat eredményei

Az alábbi táblázat mutatja a hajlító-húzó szilárdságok várható értékét:

Receptúra	Minősítési osztály	No.	Méretek (mm)			Tömeg kg	Sűrűség kg/m ³	Törőerő kN	Inercia mm ⁴	Nyomaték Nmm	Húzó feszültség N/mm ²	Átlag N/mm ²
			a	b	H							
I	C55/67	1	69,8	71,93	251,1	2,92	2316,2	9,71	2165043,2	485500	8,06	8,15
		2	69,9	72,4	251,0	3,01	2370,6	10,4	2207860,6	520000	8,52	
		3	70,3	71	250,7	2,95	2357,5	9,3	2096761,9	465000	7,87	
II	C45/55	1	69,8	70,3	249,8	2,88	2349,6	8,74	2020878,3	437000	7,60	7,58
		2	70,3	69,8	250,4	2,82	2295,1	9,14	1992234	457000	8,01	
		3	70,7	70,5	250,2	2,84	2277,3	8,35	2064455,5	417500	7,13	
III	C40/50	1	70,6	72,5	251,8	3,02	2343,2	9,41	2242009,6	470500	7,61	7,54
		2	70,6	73,4	250,6	3,01	2317,8	9,65	2326546	482500	7,61	
		3	70,8	70,8	250,5	2,95	2349,4	8,74	2093880	437000	7,39	
V	C25/30	1	70,1	69,5	250,1	2,77	2273,3	6,66	1961061,4	333000	5,90	5,61
		2	70,5	70,1	250	2,75	2225,8	6,49	2023773,6	324500	5,62	
		3	70	71,3	249,8	2,8	2245,8	6,28	2114391,4	314000	5,29	
VI	C20/25	1	71,6	69,88	250,6	2,79	2224,5	6,51	2036343,9	325500	5,58	5,59
		2	70,1	68,6	250,1	2,74	2279,5	6,38	1882561,6	319000	5,81	
		3	69,9	71,5	250,5	2,74	2190,7	6,40	2124116,6	320000	5,38	

7.3. táblázat – Beton próbatestek hajlító-húzószilárdságának várható értékei

A hajlító-húzószilárdság értékek a nyomószilárdságból származtatott $\frac{f_{cm}}{6} \div \frac{f_{cm}}{10}$ határ közé esnek.

7.1.1.3. Látszólagos porozitás

Receptúra	Légszáraz (kg)	Nedves				Sűrűség (kg/m ³)	Pórus tartalom	
		1 óra (kg)	24 óra (kg)	48 óra (kg)	72 óra (kg)		(m%)	(V/V%)
I.	8,971	9,094	9,182	9,189	9,197	2367,3	2,519	5,964
II.	2,134	2,188	2,219	2,221	2,223	2334,8	4,171	9,737
III.	9,969	10,146	10,293	10,301	10,306	2313,7	3,380	7,821
V.	9,397	9,681	9,866	9,868	9,871	2272,7	5,044	11,464
VI.	5,544	5,629	5,833	5,837	5,838	2249,9	5,303	11,931

7.4. táblázat – Beton próbatestek látszólagos porozitásának átlagértékei

A próbatestek porozitása összefüggésben van a megfelelő nyomószilárdságokkal. Nagyobb porozitáshoz kisebb nyomószilárdság tartozik.

7.1.2. Termésköveken végzett vizsgálatok eredményei

7.1.2.1. Roncsolásos nyomószilárdság vizsgálat eredményei

- laboratóriumi körülmények között

Név	Szám	Méretek (mm)			Tömeg g	Sűrűség kg/m ³	Törőerő kN	Feszültség N/mm ²	Átlag N/mm ²	
		d		h						
Forrásvízi mészkő (Gazdabánya, Süttő)	1	55,75	55,76	100,58	100,80	541	2199,0	112,91	46,26	51,92
		55,8		101,02						
	2	55,8	55,80	101,01	101,19	539	2179,8	132,44	54,19	
		55,81		101,4						
	3	55,79	55,88	101,2	101,20	540	2177,3	135,52	55,30	
		55,96		101,18						
Gránit (Rosa-Beta)	1	54,72	54,76	100,83	100,88	630	2653,1	165,094	70,13	84,78
		54,8		100,92						
	2	54,8	54,78	101,13	101,04	630	2647,0	225,23	95,61	
		54,8		100,9						
	3	54,78	54,81	101,0	100,98	630	2646,0	208,905	88,60	
		54,83		100,94						
Forrásvízi mészkő (Harasztibánya, Süttő)	1	54,66	54,66	86,25	86,45	520	2565,1	170,377	72,66	86,74
		54,7		86,65						
	2	54,6	54,65	86,05	86,03	520	2578,3	167,349	71,38	
		54,66		86,0						
	3	54,47	54,50	85,8	85,82	520	2598,8	270,882	116,18	
		54,53		85,79						

7.5 táblázat – Roncsolásos nyomószilárdság várható értékei a termésköveken

A mérési eredmények alapján a Haraszi-bányából származó mészkőnek legnagyobb a nyomószilárdsága (86.74 MPa), ami a mérési sorozatunkban is a legmagasabb szilárdsági érték. A gránit nyomószilárdsága 84.78 MPa, a gazdabányai mészkőé 51.92 MPa, ami a C40/50 és a C25/30 beton szilárdsága közé esik.



- fagyasztási ciklusvizsgálat után

Név	Szám	Méretek (mm)				Törőerő kN	Feszültség N/mm ²	Átlag N/mm ²
		d		h				
Forrásvízi mészkő (Gazdabánya, Süttő)	1	54,08	54,13	98,97	98,78	150,67	65,51	67,11
		54,2		98,59				
	2	54,4	54,44	98,97	98,82	162,66	69,93	
		54,44		98,7				
	3	54,29	54,28	99,0	98,76	152,39	65,90	
		54,26		98,57				
Gránit (Rosa-Beta)	1	54,4	54,47	93,15	93,91	146,07	62,72	69,68
		54,5		94,67				
	2	55,8	55,79	92,43	92,79	254,85	104,32	
		55,78		93,2				
	3	55,82	55,79	93,5	93,43	102,58	41,99	
		55,75		93,4				
Forrásvízi mészkő (Harasztibánya, Süttő)	1	55,76	55,82	82,74	82,83	156,12	63,84	90,72
		55,9		82,92				
	2	55,8	55,83	82,62	82,61	228,2	93,28	
		55,89		82,6				
	3	55,76	55,80	82,9	82,92	281,21	115,05	
		55,84		82,89				

7.6. táblázat – Roncsolásos nyomószilárdság várható értékei a termésköveken ciklusvizsgálat után

A nyomószilárdságok várható értékei fagyasztási ciklusvizsgálat után a forrásvízi mészkövek tekintetében nem változtak jelentős mértékben. Gránitnál 15 MPa-s szilárdságcsökkenés volt tapasztalható.

7.1.2.2. Roncsolásmentes nyomószilárdság vizsgálat eredményei (SCHMIDT)

- Gránit (Schmidt N) visszapattnási értékei laboratóriumi körülmények között

Próbatestek jele	Gránit (Rosa-Beta) LABORATÓRIUMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT						Átlag
FBN	I.	56	60	63	64	65	61,6
	II.	60	64	60	60	61	61,0
	III.	58	58	62	63	59	60,0
FisV	I.	60	60	58	61	62	60,2
	II.	60	62	65	59	62	61,6
	III.	60	64	63	63	60	62,0
FisEM	I.	58	59	60	60	62	59,8
	II.	60	60	60	60	60	60,0
	III.	59	62	63	60	60	60,8
FisV cykl.	I.	60	58	58	58	56	58,0
	II.	58	60	36	62	62	55,6
	III.	36	60	61	57	60	54,8
FisEM cykl.	I.	62	61	62	60	58	60,6
	II.	66	58	60	58	58	60,0
	III.	61	60	61	60	62	60,8
FBN cykl.	I.	60	62	58	62	60	60,4
							59,8

7.7. táblázat – Visszapattanási értékek gránit esetén

- Gránit Schmidt (Schmidt) visszapattanási fagyasztási ciklusvizsgálat után

Gránit (Rosa-Beta) FAGYASZTÁSI CIKLUSVIZSGÁLAT UTÁN									Átlag
FBN cikl.	I.	54	56	55	53	54	54	54	54,3
FisV cikl.	I.	51	57	55	57	57	56	55	55,4
	II.	53	56	54	53	53	57	55	54,4
	III.	55	58	58	58	59	56	60	57,7
FisEM cikl.	I.	59	58	59	59	56	58	59	58,3
	II.	55	52	54	56	57	55	54	54,7
	III.	55	54	56	55	56	56	60	56,0
									55,8

7.8. táblázat – Visszapattanási érték gránit esetén ciklusvizsgálat után

A Schmidt kalapácsos visszapattanási értékek a fagyasztási ciklusvizsgálat után csökkentek, következésképpen a nyomószilárdsága csökkent.

- Forrásvízi mészkő (Gazdabánya) Schmidt N visszapattanási értékei laboratóriumi körülmények között.

Forrásvízi mészkő (Süttő, Gazdabánya) LABORATÓRIUMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT								Átlag
FBN	I.	52	53	20	51	20		39,2
	II.	41	43	51	31	48		42,8
	III.	48	51	50	53	45		49,4
FisV	I.	55	52	53	50	51		52,2
	II.	50	24	43	42	50		41,8
	III.	50	56	54	30	24		42,8
FisEM	I.	50	50	49	47	46		48,4
	II.	49	46	50	46	51		48,4
	III.	49	51	51	45	52		49,6
FisV cikl.	I.	40	54	50	13	16		34,6
	II.	50	45	54	48	46		48,6
	III.	52	42	52	53	45		48,8
FisEM cikl.	I.	52	50	47	49	49		49,4
	II.	49	50	52	24	54		45,8
	III.	47	51	48	50	48		48,8
FBNcikl.	I.	52	48	50	47	52		49,8
								46,3

7.9. táblázat – Visszapattanási értékek Gazdabányai mészkő esetén

- Forrásvízi mészkő (Gazdabánya) Schmidt visszapattanási értékei fagyasztási ciklusvizsgálat után

Forrásvízi mészkő (Süttő, Gazdabánya) FAGYASZTÁSI CIKLUSVIZSGÁLAT UTÁN									<i>Átlag</i>
FBN cikl	I.	44	33	45	47	44	54	47	44,9
FisV cikl	I.	47	30	38	43	22	44	18	34,6
	II.	42	40	49	48	40	25	43	41,0
	III.	46	40	48	46	46	45	44	45,0
FisEM cikl	I.	48	47	49	48	46	49	51	48,3
	II.	43	46	40	41	39	41	46	42,3
	III.	43	43	43	41	41	44	45	42,9
									42,7

7.10. táblázat – Visszapattanási értékek Gazdabányai mészkő esetén ciklusvizsgálat után

A süttői Gazda-bányából származó forrásvízi mészkő nyomószilárdsága Schmidt kalapácsos becslés alapján a fagyasztási ciklusvizsgálat után lecsökkent.

- Forrásvízi mészkő (Haraszti) Schmidt visszapattanási értékei laboratóriumi körülmények között

	Forrásvízi mészkő (Süttő, Haraszti) LABORATÓRIUMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT								<i>Átlag</i>
FBN	I.	54	54	54	51	53	54		53,4
	II.	57	59	57	57	57	56		57,2
	III.	48	54	53	52	51	51		51,6
FisV	I.	56	56	52	54	54	54		54,4
	II.	54	57	58	54	55	53		55,2
	III.	50	58	57	53	55	57		55,0
FisEM	I.	59	57	58	58	58	59		58,2
	II.	56	58	56	58	56	55		56,6
	III.	53	52	54	53	52	49		52,2
FisV cikl.	I.	56	55	56	58	56	58		56,6
	II.	56	53	55	55	55	56		55,0
	III.	53	56	54	52	53	52		53,4
FisEM cikl.	I.	53	57	54	58	56	58		56,0
	II.	57	55	58	53	56	58		56,2
	III.	53	52	53	47	51	54		51,8
FBNcikl.	I.	54	54	55	56	54	53		54,4
									54,8

7.11. táblázat – Visszapattanási értékek Harasztibányai mészkő esetén



- Forrásvízi mészkő (Haraszi-bánya) Schmidt visszapattanási értékei laboratóriumi körülmények között

Forrásvízi mészkő (Süttő, Haraszi) FAGYASZTÁSI CIKLUSVIZSGÁLAT UTÁN									Átlag
FBN cikl	I.	51	50	48	46	49	44	48	48,0
FisV cikl	I.	51	49	51	49	50	50	50	50,0
	II.	50	50	46	50	45	46	50	48,1
FisEM cikl	I.	50	50	48	51	48	49	51	49,6
	II.	49	46	49	50	46	48	48	48,0
	III.	50	44	46	46	48	46	50	47,1
									41,6

7.12. táblázat – Visszapattanási értékek Haraszi-bányai mészkő esetén ciklusvizsgálat után

A Haraszi-bányai forrásvízi mészkő visszapattanási értékei is csökkentek, tehát ennek a terméskőnek is lecsökkent a nyomószilárdsága.

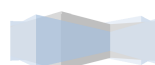
7.1.2.3. Hajlító-húzó szilárdság vizsgálat eredményei

- laboratóriumi körülmények közötti hajlító-húzószilárdságok

Név	N o.	Méretek (mm)						Tömeg g	Sűrűség kg/m ³	F kN	Inercia mm ⁴	Nyom. Nmm	Húzó fesz. N/mm ²	Átlag N/mm ²
		a		b		h								
Forrásvízi mészkő Gazdabánya, Süttő	1	49,83	49,80	26,84	25,23	199,69	199,63	570	2272,9	1,29	66610,34	48375	9,16	10,30
		49,77		23,61		199,57								
	2	47,46	47,31	27,01	24,84	199,9	199,72	550	2344,1	1,43	60383,50	53625	11,03	
		47,15		22,66		199,5								
	3	51,91	50,72	24,87	26,52	199,47	199,93	640	2380,0	1,70	78827,14	63750	10,72	
		49,52		28,17		200,39								
Gránit Rosa-Beta	1	52,91	51,81	22,95	24,58	200,38	200,34	690	2704,8	1,80	64111,52	67500	12,94	13,36
		50,70		26,21		200,29								
	2	50,09	48,59	30,88	31,14	200,5	200,47	810	2670,7	2,52	122257,86	94500	12,03	
		47,08		31,40		200,4								
	3	48,85	48,68	28,77	29,69	200,46	200,62	760	2621,5	2,88	106115,91	108000	15,11	
		48,51		30,60		200,77								
Forrásvízi mészkő Harasztibánya, Süttő	1	50,03	49,58	23,45	21,98	197,01	196,97	550	2563,1	1,40	43839,76	52500	13,16	14,38
		49,12		20,50		196,92								
	2	46,59	46,45	24,56	24,79	197,0	196,96	580	2557,6	2,22	58964,05	83250	17,50	
		46,30		25,02		197,0								
	3	48,08	49,05	25,40	25,01	196,95	196,93	620	2566,7	1,70	63937,34	63750	12,47	
		50,01		24,62		196,9								

7.13. táblázat – Hajlító-húzószilárdságok termésköveken laboratóriumi körülmények között

Megfigyelhető, hogy a beton szilárdsági értékeivel ellentétben, nem teljesül a nyomószilárdság/hajlító-húzószilárdság arány (5.1.1.2. fejezet). A húzószilárdságok értékei minden esetben nagyobbak a $\frac{f_{cm}}{6}$ aránynál.



- Fagyasztási ciklusvizsgálat utáni hajlító-húzószilárdságok

Név	N o.	Méretek (mm)					Törőerő kN	Inercia mm ⁴	Nyom. Nmm	Húzó feszültség g N/mm ²	Átlag N/mm ²
		a		B		h					
Gránit Rosa-Beta	1	45,56	45,70	23,18	23,19	200,29	200,30	1,80	47493,83	67500	16,48
		45,84		23,20		200,31					
	2	48,49	48,45	25,04	25,35	200,4	200,39	1,71	65733,90	64125	12,36
		48,41		25,65		200,4					
	3	47,33	47,32	25,02	24,76	200,22	200,26	1,92	59820,81	72000	14,90
		47,31		24,49		200,29					
Forrásvízi mészkő Gazdabánya, Süttő	1	45,93	45,89	24,41	24,04	201,02	201,07	1,12	53091,12	42000	9,51
		45,84		23,66		201,11					
	2	41,23	41,27	24,69	24,67	201,0	201,01	1,15	51599,32	43125	10,31
		41,30		24,64		201,0					
	3	47,44	46,58	31,86	31,44	200,87	201,00	2,45	120562,44	91875	11,98
		45,71		31,01		201,12					
Forrásvízi mészkő Harasztibánya, Süttő	1	37,39	38,34	26,34	26,10	195,82	195,90	1,84	56765,72	69000	15,86
		39,28		25,85		195,98					
	2	42,30	41,12	25,71	26,98	195,0	194,99	2,10	67259,90	78750	15,79
		39,94		28,24		195,0					
	3	37,65	38,66	22,22	21,82	194,82	195,00	1,57	33469,16	58875	19,19
		39,67		21,42		195,18					

7.14. táblázat – Hajlító-húzószilárdságok termésköveken fagyasztási ciklusvizsgálat után

A fagyasztási ciklusvizsgálat után a terméskövek hajlító-húzószilárdsága mészkövek esetén most sem változott nagy mértékben. Gránit esetén 3 MPa szilárdságcsökkenést tapasztaltunk.

7.1.2.4. Látszólagos porozitás vizsgálat eredményei

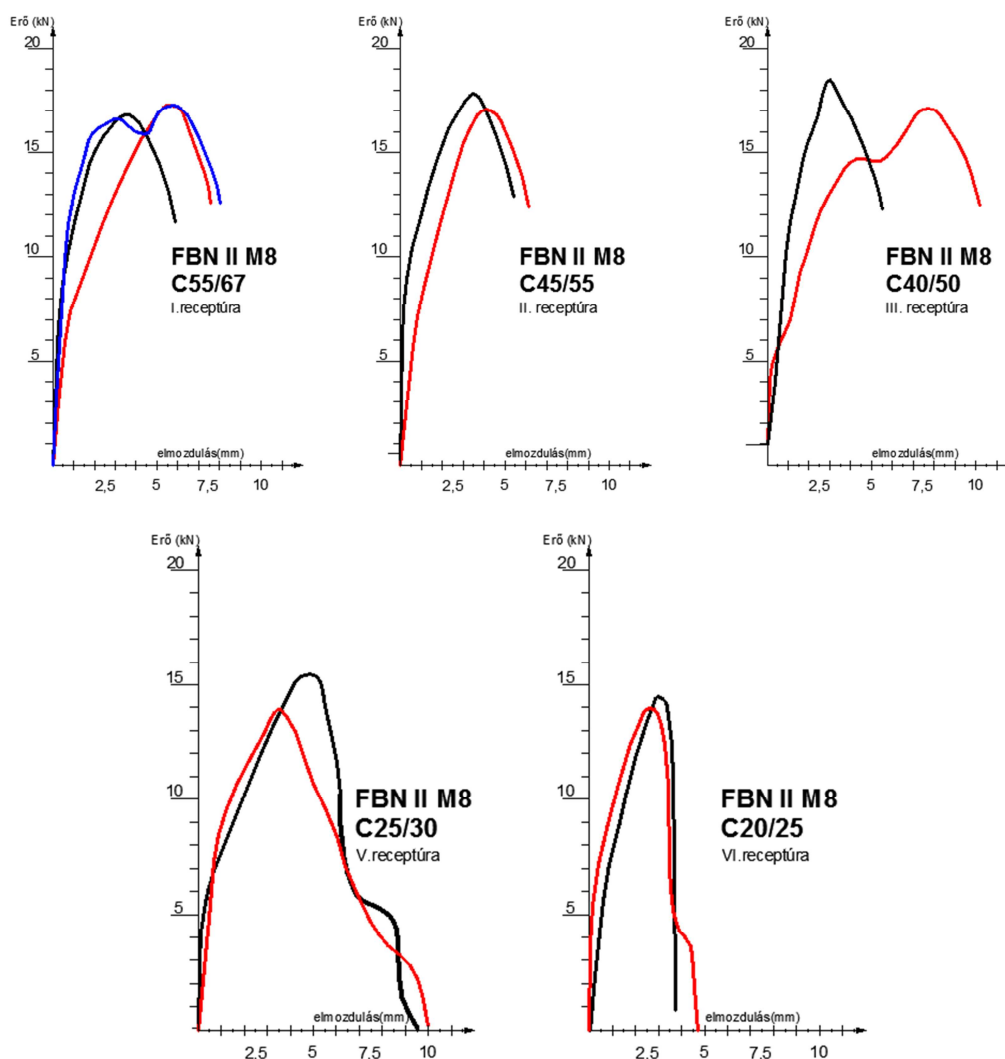
Minták		Légszáraz (kg)	Nedves --> Telített				Sűrűség (kg/m ³)	Pórus tartalom	
			1 óra (kg)	24 óra (kg)	48 óra (kg)	72 óra (kg)		(m/m%)	(V/V%)
Laboratóriumi körülmények között	Gránit (Rosa Beta)	2,723	2,775	2,734	2,732	2,733	2648,73	0,367	0,973
	Forrásvízi mészkő (Haraszi bánya Süttő)	8,336	8,411	8,394	8,4	8,403	2580,74	0,804	2,074
	Forrásvízi mészkő (Gazda bánya Süttő)	6,206	6,308	6,332	6,342	6,343	2331,47	2,208	5,147
Fagyasztási ciklusvizsgálat után	Gránit (Rosa Beta)	2,723	2,727	2,729	2,731	2,733	2650,42	0,367	0,973
	Forrásvízi mészkő (Haraszi bánya Süttő)	8,336	8,408	8,397	8,402	8,416	2582,32	0,960	2,478
	Forrásvízi mészkő (Gazda bánya Süttő)	6,206	6,302	6,339	6,349	6,356	2334,12	2,417	5,642

7.15. táblázat – Terméskövek látszólagos porozitása

7.2. A kihúzóvizsgálatok eredménye

7.2.1. Kihúzó kísérletek erő-elmozdulás görbéi beton esetén

- **FBN II 8/50 horgonycsavar erő-elmozdulás görbéi:**

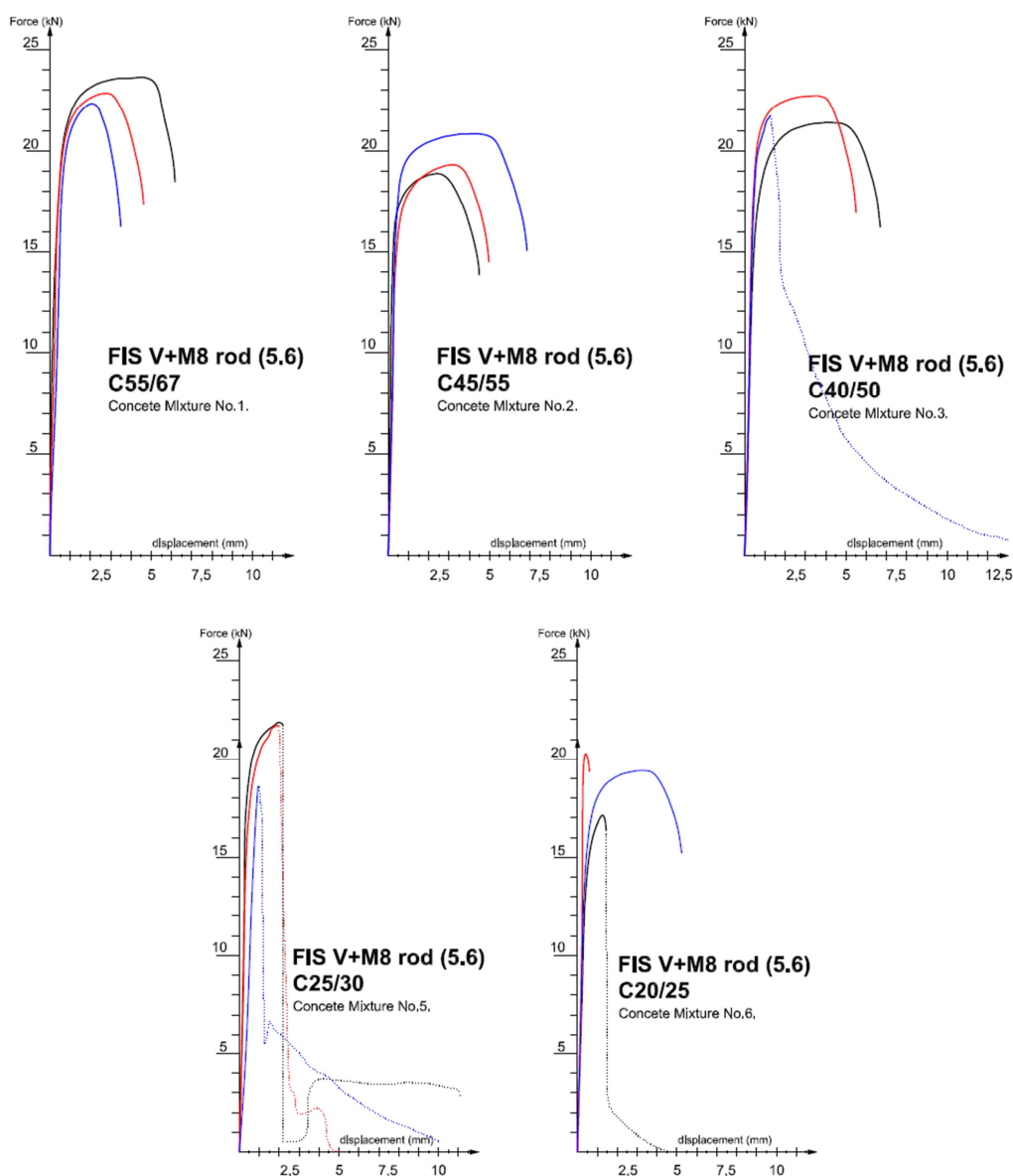


7.1. ábra – Horgonycsapok erő-elmozdulás görbéi betonok esetén

C40/50 – C45/55 – C55/67 betonok esetén az acél szárszakadás tapasztalható, ennél gyengébb nyomószilárdságú betonnál – C25/30, C20/25 – szakadókúpos tönkremenetel volt jellemző. Az acélszakadáshoz tartozó húzóerők átlaga 16,8 kN, az ehhez tartozó elmozdulások átlaga 6,4 mm. C25/30 beton esetén szakadókúpos tönkremenetel után jól látható a kapcsolat tartaléka – szaggatott vonal-, a kúp megjelenése után az erő nem esett vissza egészen addig, amíg a szakadókúp

palástfelületén a húzószilárdsági ellenállás nem csökkent zérusra. A C40/50 erő - elmozdulás grafikonján megfigyelhető a meglazulás és újra befeszülés jelensége (ld. 3.4.1.1. fejezet).

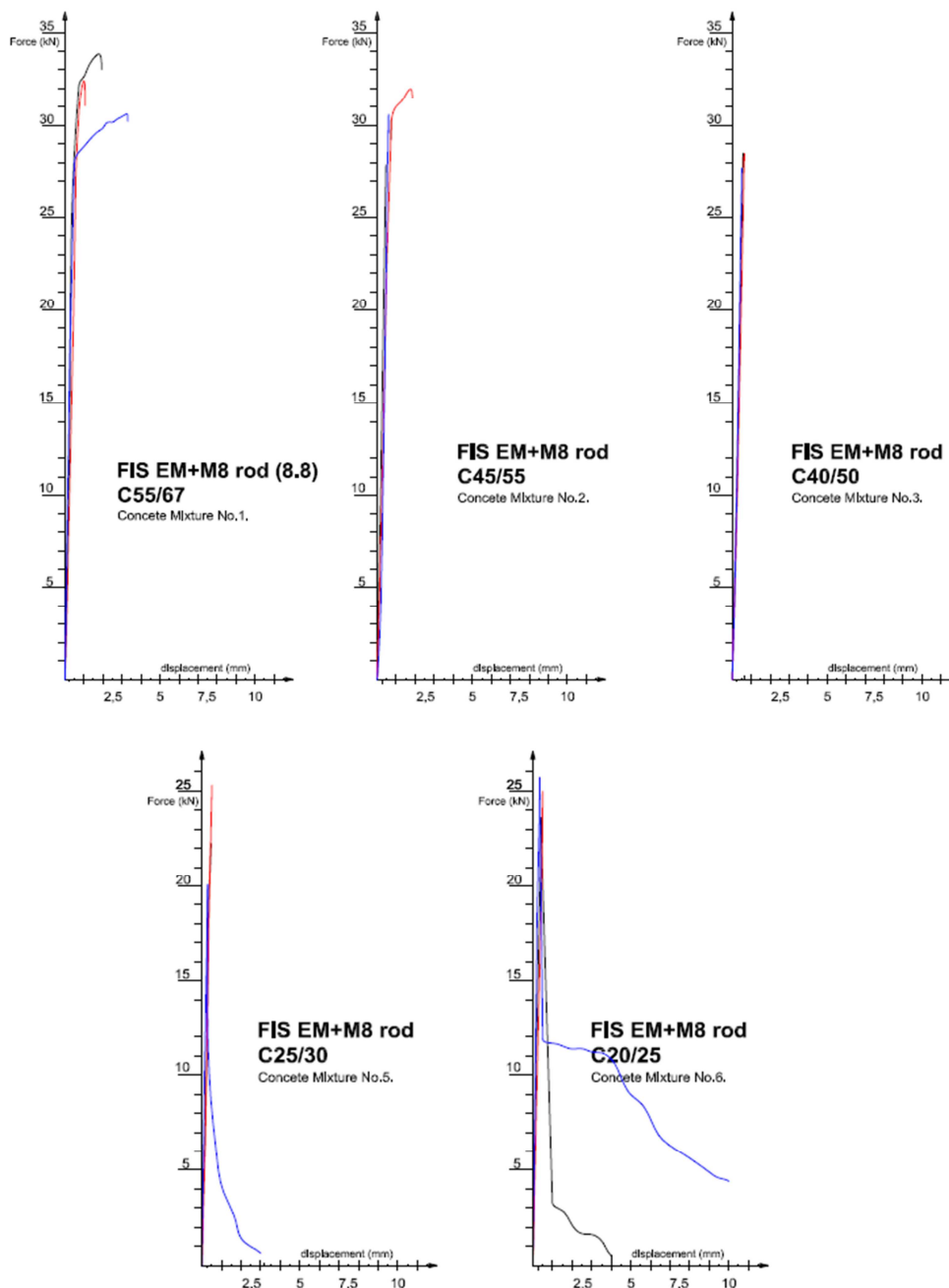
- **vinilészter hibrid ragasztó (FIS V+ M8 5.6 szár) erő-elmozdulás görbéi:**



7.2. ábra – Vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatok erő-elmozdulás görbéi betonok esetén

C55/67 és C45/55 betonoknál acél szárszakadás következett be. C40/50 beton esetén szakadókúp és acél szárszakadás egyaránt bekövetkezett, tehát 50 N/mm^2 az a szilárdság, amely felett az acél menetes szár megy tönkre. C25/30 betonnál teljes szakadókúpot tapasztaltunk, itt is megfigyelhető a tartalék a tönkremenetelt követően.

- **epoxi hibrid ragasztó (FIS V+ M8- 8.8 szár) erő-elmozdulás görbéi:**

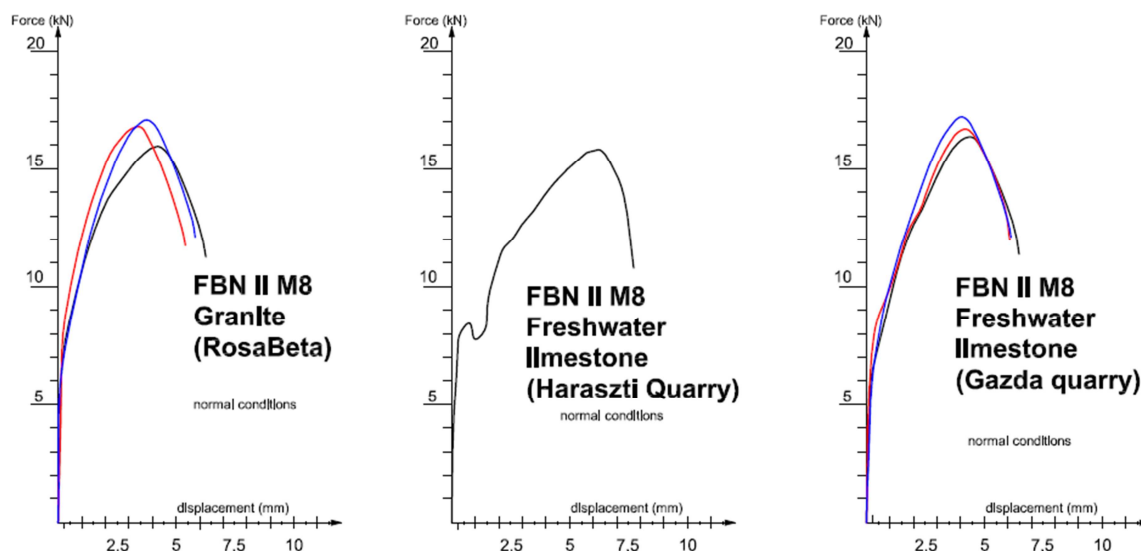


7.3. ábra – Epoxi ragasztós kapcsolatok erő-elmozdulás görbéi betonok esetén

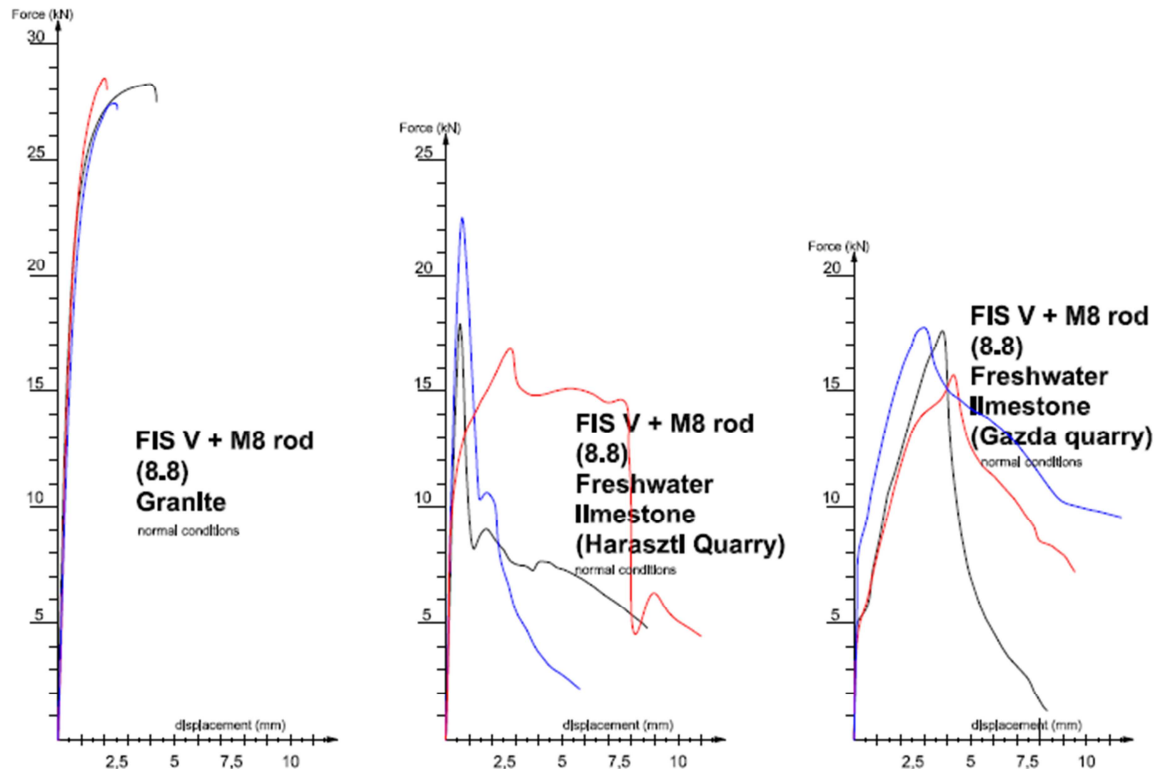
Vizsgálataink során az Epoxi ragasztós kapcsolatnál mértük a legnagyobb tapadási ellenállást. Jellemző a rideg viselkedés, láthatóan nagyon kis elmozdulás tartozik nagyon nagy erőhöz. Kúpos tönkremenetelt rendszerint a próbatest azonnali felrepedése követte, ezért nem alakulhatott ki erőtartalék, mint azt az előbbieken tapasztaltuk.

7.2.2 Kihúzó kísérletek erő-elmozdulás görbéi terméskövek esetén

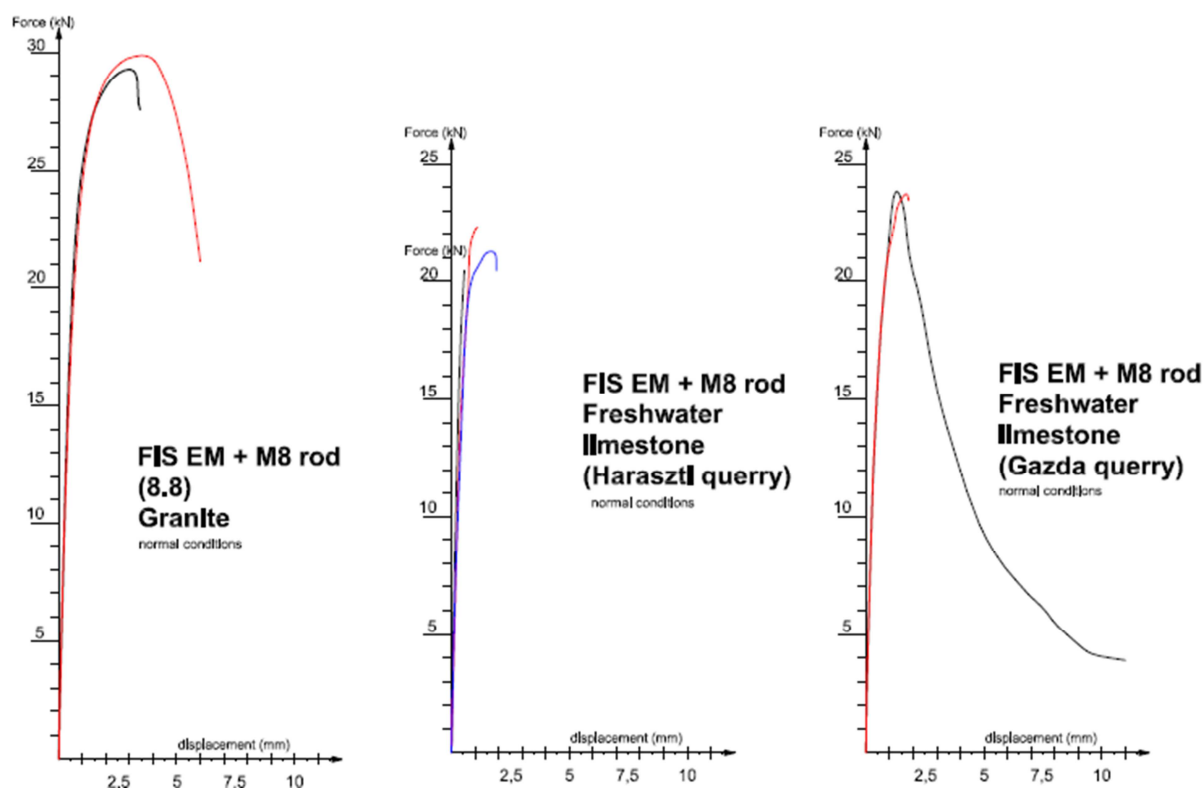
7.2.2.1. Fagyasztási ciklusvizsgálat előtt / Laboratóriumi körülmények között



7.4. ábra – Horgonycsapok erő-elmozdulás görbéi terméskövek esetén laboratóriumi körülmények között



7.5. ábra – Vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatok erő-elmozdulás görbéi terméskövek esetén lab. körülmények között



7.6. ábra – Epoxi ragasztós kapcsolatok erő-elmozdulás görbéi terméskövek esetén lab. körülmények között

Az 7.4. ábrán a nyomatékkontrollált feszítődübelek viselkedése látható gránitban és mészkövekben. A kövek nyomószilárdsága nagyobb mint 50 MPa, tehát horgonycsapok esetén minden esetben acél szárszakadás következett be. Haraszi mészkő esetén ismét a dübel megcsúszása és újra befeszülése látható.

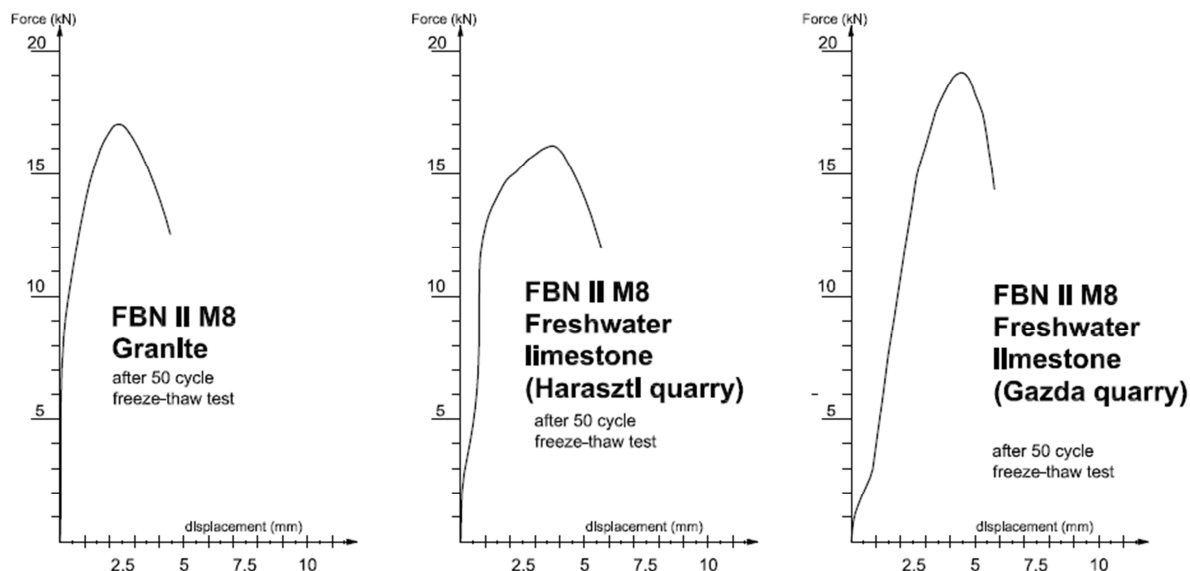
Az 7.5. ábrán a vinilészter-hibrid ragasztó viselkedése látható. Annak ellenére, hogy kövek esetén 8.8 acél anyagminőségű menetes szárat használtunk és a gazdabányai mészkő nyomószilárdsága meghaladja a C25/30 szilárdságát, mégis kisebb kritikus erő tapasztalható. Ezzel igazolódni látszik az a kezdeti feltevésünk, hogy a kapcsolatok teherbírását nem csak a fogadóanyag nyomószilárdsága befolyásolja.

Haraszi mészkő esetén az értékek nagy szórása látható. A tönkremenetel utáni erőtartalékok itt is megfigyelhetők. Gránit esetén a tönkremenetelhez tartozó erő - elmozdulás görbék közel megegyeznek, a kapcsolat teherbírása azonos tendenciát mutat, a tönkremenetel minden esetben kihúzóadás volt.

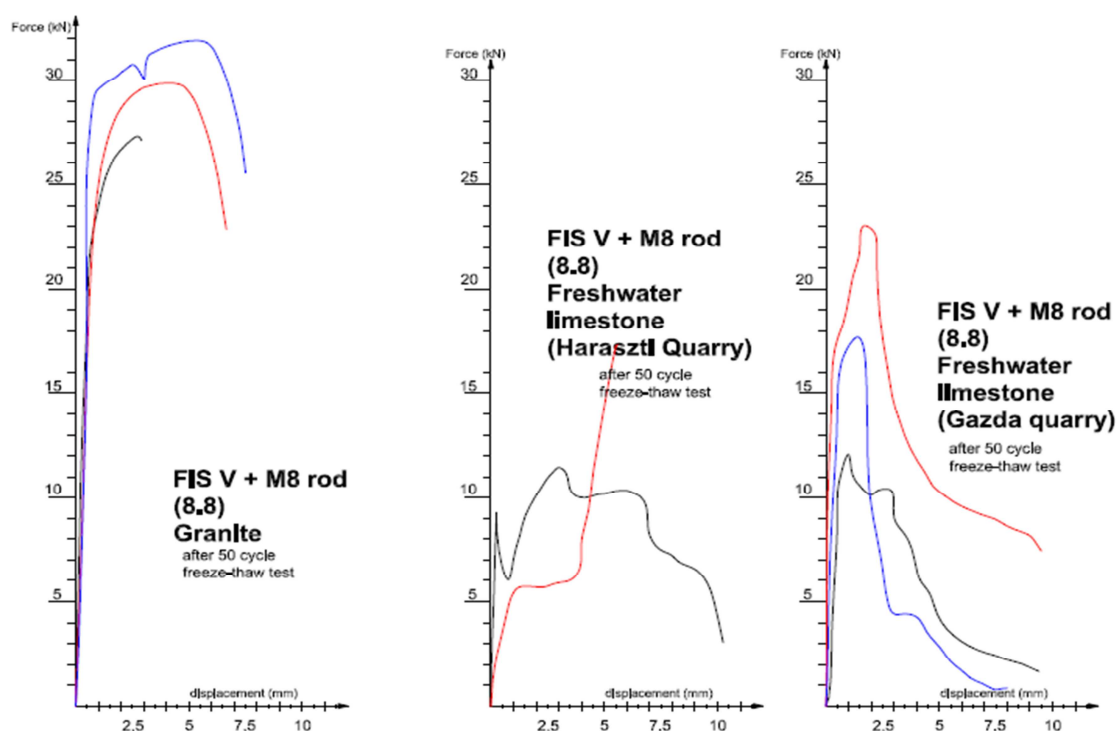
Az 7.6. ábrán jól látszódik, hogy a hiába nagy a gránit ill. haraszi-bányai mészkő nyomószilárdsága (nagyobb mint C55/67), a kihúzóadáshoz tartozó erő alulmarad a várt értékekhez képest.



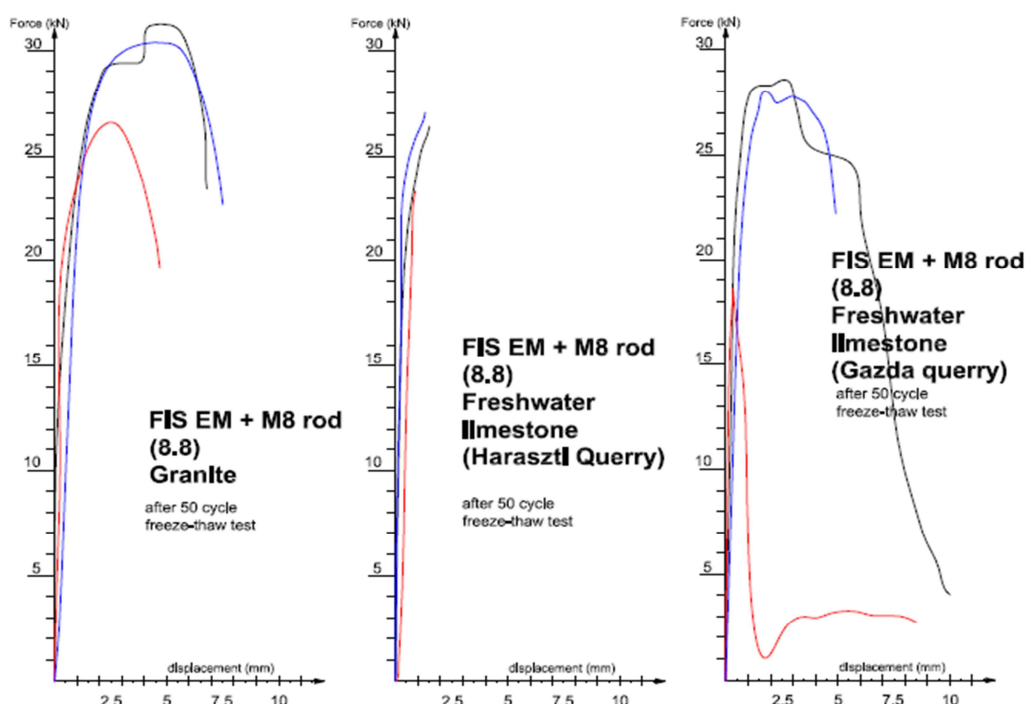
7.2.2.2. Fagyasztási ciklusvizsgálat után



7.7. ábra – Horgonycsapok erő-elmozdulás görbéi terméskövek esetén ciklusvizsgálat után



7.8. ábra – Vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatok erő-elmozdulás görbéi terméskövek esetén ciklusvizsgálat után



7.9. ábra – Epoxi ragasztós kapcsolatok erő-elmozdulás görbéi terméskövek esetén ciklusvizsgálat után

Az 7.7. ábrán a nyomatékkontrollált feszítődübel viselkedése látható fagyasztási ciklusvizsgálat után. Mivel a terméskövek nyomószilárdság fagyasztás után sem csökkent 50 MPa alá, így továbbra is acél szárszakadásos tönkremenetel figyelhető meg.

Az 7.8. ábrán az eredmények jóval nagyobb szórása és bizonytalansága tapasztalható mészkövek esetén. A gránit tönkremeneteli módja fagyasztási-ciklusvizsgálat után megváltozott, a domináns tönkremenetel az acél szárszakadás volt, és emiatt a kapcsolat tönkremeneteléhez tartozó alakváltozás is megnőtt.

Az 7.9. ábrán gránit esetén az egyetlen kiugró eredményt (piros színnel jelölt görbe) valószínűleg acél anyaghiba okozta, a többi gránithoz tartozó tönkremenetel szárszakadás volt. Az epoxi ragasztóval rögzített kapcsolatok teherbírása fagyasztási ciklusvizsgálat után nem mutatnak jelentős teherbírás csökkenést (a terméskövek nyomószilárdsága sem csökkent jelentősen).



8. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

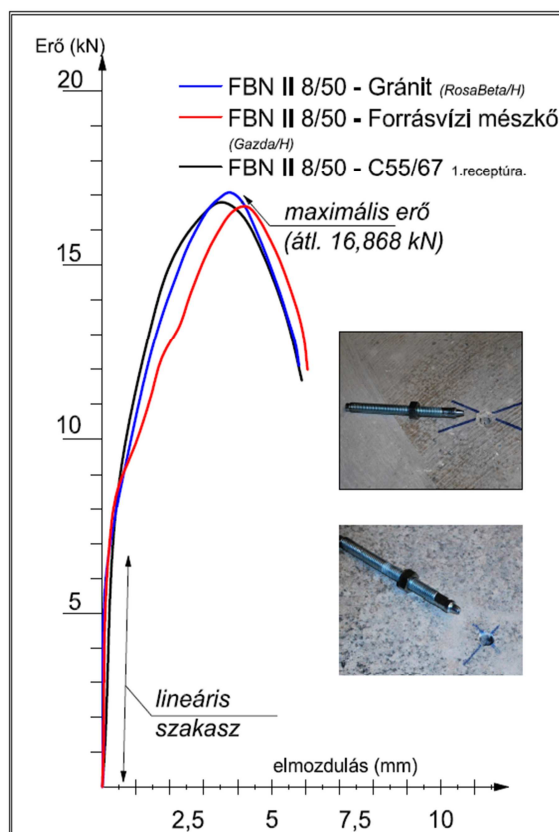
8.1. A jellemző tönkremeneteli módokhoz tartozó görbék értelmezése

8.1.1. Az acél rögzítőelem szakadása

Ezen tönkremenetelnél az erő-elmozdulás ábra teljesen affin az acél σ - ϵ diagrammjával (8.1. ábra). Jól látható a kezdeti lineáris szakasz, ezt követi az expanziós gyűrű szétnyílása illetve az erő visszaesése a tönkrementelt megelőző szakaszon. Betonszilárdság szempontjából megállapítható, hogy $f_{ck}=50$ MPa nyomószilárdság felett ez a jellemző tönkremenetel a horgonycsapos (FBN II 8/50) kapcsolat esetén. A gránit és a két forrásvízi mészkő nyomószilárdsága fagyasztási ciklusvizsgálat előtt és után is meghaladta a 35 Mpa-t, így a tönkremenetel horgonycsap esetén minden esetben az acél szakadása volt. Az FBN II 8/50 tönkremeneteléhez tartozó elmozdulások átlaga 6,2 mm volt, tehát a kapcsolat duktilis, szabad szemmel látható alakváltozás előzi meg a kritikus erő elérését.

Ragasztott kapcsolat esetén is jól megfigyelhető a σ - ϵ szabványos jellege, ezen értékek a $\varnothing 8$ menetes szár esetén azért nagyobb értékek, mert a $\varnothing 8$ -as horgonycsap esetén a húzás egy csökkentett – effektív – keresztmetszetben okoz szakadást, a menetes szár esetén a húzásra igénybevett keresztmetszet nagyobb. A FBN II 8/50 (gvz) horgonycsap effektív keresztmetszete 22.9 mm^2 , míg a $\varnothing 8$ -as szár húzott keresztmetszete $32,16 \text{ mm}^2$.

A menetes szárat és horgonycsapokat külön acél-húzókísérletnek is alávetettük, és így is igazoltuk a mérési összeállításunk pontosságát, valamint a szakadáshoz tartozó erőket.



8.1. ábra – Acél szakadásához tartozó erő-elmozdulás görbék

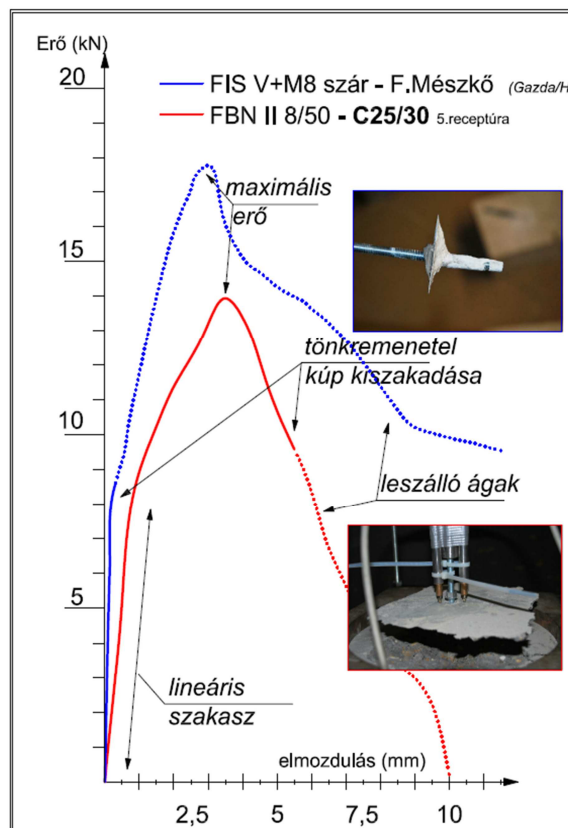
8.1.2. Kiszakadó kúp jellemző görbéje

Betonpróbatesteknél megállapítható, hogy $f_{ck}=35\text{MPa}$ -nál kisebb nyomószilárdság esetén kiszakadó kúp keletkezik tönkremenetelkor. A görbékből látható hogy a kúp megjelenése után a kapcsolatnak marad tartaléka legtöbb esetben.

Az alábbi ábrán kétféle tönkremenetel kerül bemutatásra. A piros színű görbe az FBN II 8/50 teljes szakadókúpos tönkremenetelét mutatja C20/25 szilárdságú beton esetén (8.2. ábra). A görbén látható, hogy a maximális erő elérése után röviddel a kúp megjelenik. Ebben az esetben a kúp a rögzítő elem aljától kb. 35 fokos szögben szakad ki (3.4.2. fejezet). A kúp teljes kiválásáig azonban további erőtartalék és alakváltozás tapasztalható. Ennek magyarázata, hogy a kúp teljes külső felületén a beton húzási ellenállása nem egyszerre merül ki.

A kék színű görbéhez gazdabányai forrásvízi mészkőbe rögzített (FIS V) menetes szár tartozik. Ebben az esetben a lineáris szakasz 8.3 kN-nál véget ér, és a képen látható gallér jelenik meg, tehát itt *részleges kúpról* beszélünk, és a tönkremenetel utáni ellenállást a ragasztó és a kő között létrejövő súrlódás adja. A kapcsolat jelentős tartaléka látható abból is, hogy a maximális erőt a „kőgallér” megjelenése után éri el. Ez a tönkremenetel tehát a részleges szakadókúp és kihúzódás kombinációja.

A vizsgálatok során előfordult olyan eset is ragasztott kapcsolat esetén amikor a kúp a fent említett módon a menetes szár alsó végétől indult ki, itt a galléros tönkremenetel speciális mivolta miatt került külön kiemelésre.



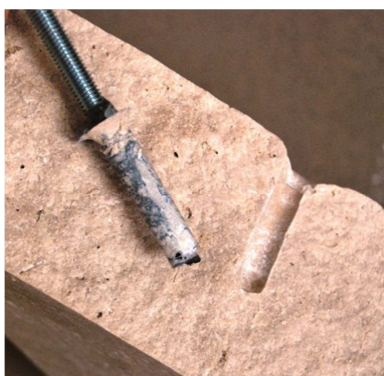
8.2. ábra – Szakadókúpos tönkremenetelhez tartozó jellemző erő-elmozdulás görbék

tehát a részleges szakadókúp és kihúzódás

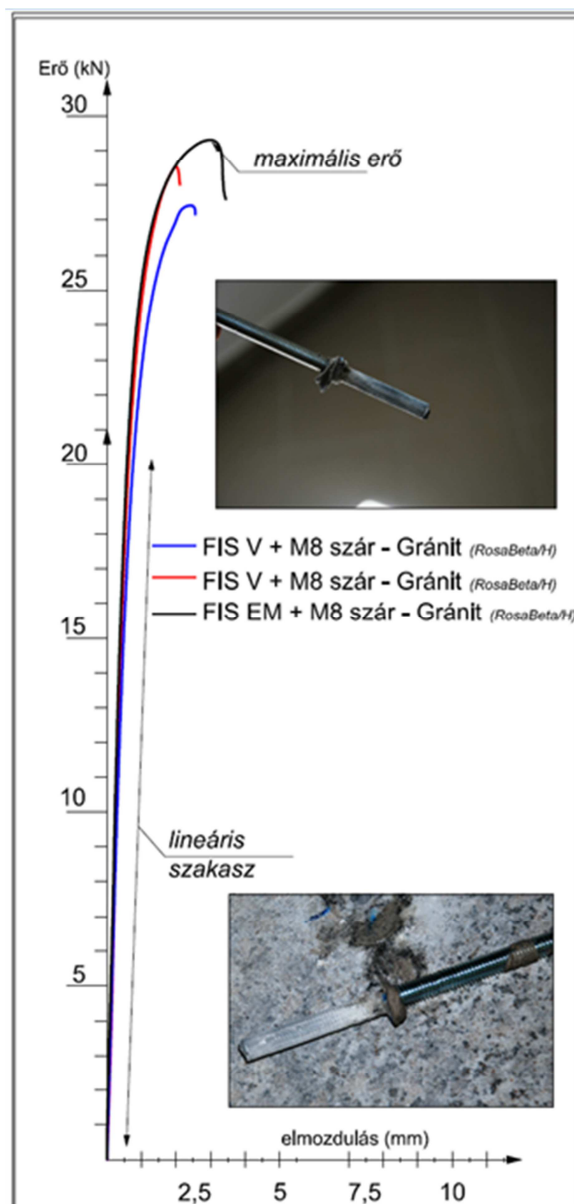
8.1.3. Rögzítőelem kihúzódása

A tönkremenetel során a rögzítőelem teljesen kihúzódik a próbatestből, a ragasztó elnyíródik vagy a ragasztó és a próbatest közötti kontaktfelületen a tapadószilárdsági ellenállás kimerül (8.4. ábra). Előfordulhat, hogy egy kis szakadókúp is tapasztalható, mely a próbatest felszíne alatt kb. 1 cm mélységtől indul, ez egy részleges szakadókúp. Ezen a görbén megfigyelhető a nagy meredekség és rideg viselkedés, nagyon hosszú a kezdeti lineáris szakasz. A ragasztó elnyíródása a vinilészter-hibrid ragasztós kapcsolatnál, a tapadószilárdság kimerülésével járó tönkremenetel az epoxi ragasztós kapcsolat esetén figyelhető meg. Fontos megkülönböztetni a két tönkremenetelét, mert elnyíródás esetén a ragasztó teljesen kihasználta, a másik esetben nem.

Az 8.3. ábrán látható, hogy az epoxi ragasztó nem szivárgott bele a mészkő kapillárisaiba, és kihúzódása során a ragasztó nem nyíródott el, az teljes mértékben a száron maradt. Ebben az esetben a ragasztó felülete és a furat belső oldala között tapadószilárdságot haladta meg a húzóerő.



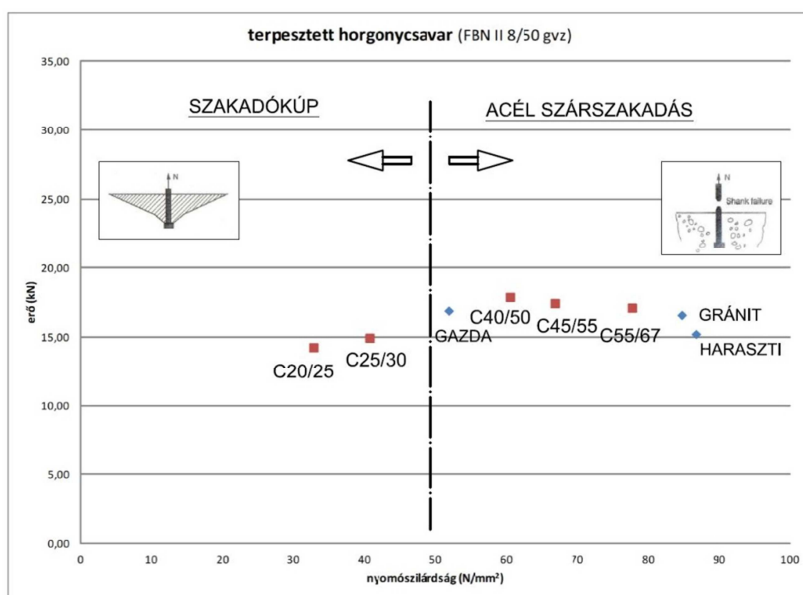
8.3. ábra – Tapadószilárdság kimerülése



8.4. ábra – Rögzítőelem kihúzódásához tartozó görbék

8.2. Roncsolásos nyomószilárdság – kritikus erő összefüggések

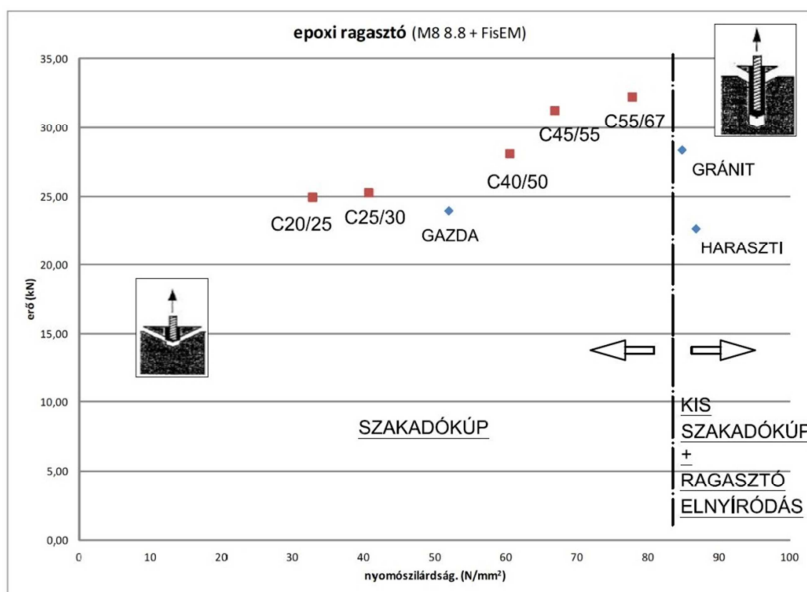
8.2.1. Terpesztett horgonycsavar



8.5. ábra – Nyomószilárdság – kritikus erő összefüggések horgonycsavarok esetén

Horgonycsavar (FBN II 8/50 gvz) esetén látszik, hogy 50 N/mm^2 nyomószilárdság felett mindig acél szárszakadás következik be, tehát a kapcsolat a rögzítőelem szempontjából teljesen kihasznált. 50 N/mm^2 nyomószilárdság alatt szakadókúpos tönkremenetelt tapasztaltunk. Az acél szárszakadáshoz tartozó erő átlaga 16,8 kN és az ehhez tartozó elmozdulások átlaga 6,4 mm volt.

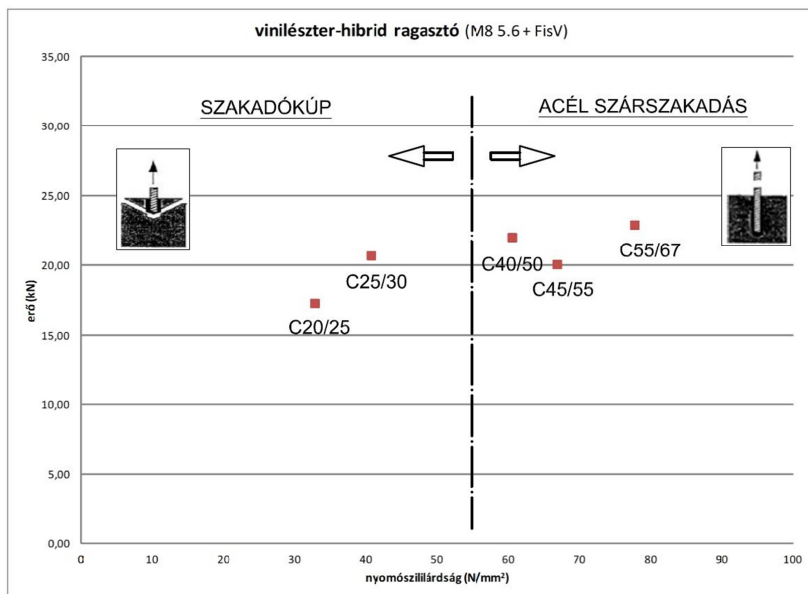
8.2.2. Epoxi ragasztó



8.6. ábra – Nyomószilárdság – kritikus erő összefüggések horgonycsavarok esetén

Ahogy növekszik a beton nyomószilárdsága, nagyjából lineárisan növekszik a kihúzáshoz tartozó erő értéke is. Ez a tendencia azonban nem mutatkozik a kövek esetén, ugyanis a ragasztó nem tud behatolni a kevésbé porózus terméskövek kapillárisaiba. 84 N/mm^2 felett a teljes szakadókúp helyett csak egy részleges szakadókúp tapasztalható, ennek magyarázata, hogy a kövek hajlító-húzószilárdsága nagyobb.

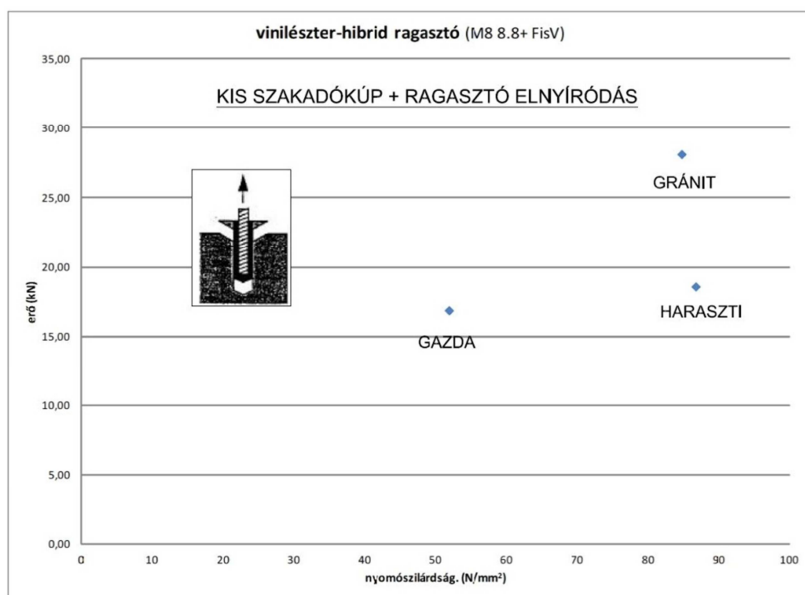
8.2.3. Vinilészter ragasztó



8.7. ábra – Nyomószilárdság – kritikus erő összefüggések vinilészter ragasztó esetén (5.6. szár!)

Ezek a méréseket 5.6-os minőségű menetes szárral végeztük el. Ez az oka annak, hogy a terméskövek eredményei a 6.4. ábrán láthatóak.

55 N/mm² felett acél szárszakadás tapasztalható, egyéb esetben szakadókúpos tönkremenetel. Ennek a kapcsolatnak kicsivel nagyobb a teherbírása mint az azonos átmérőjű horgonycsavaroké.



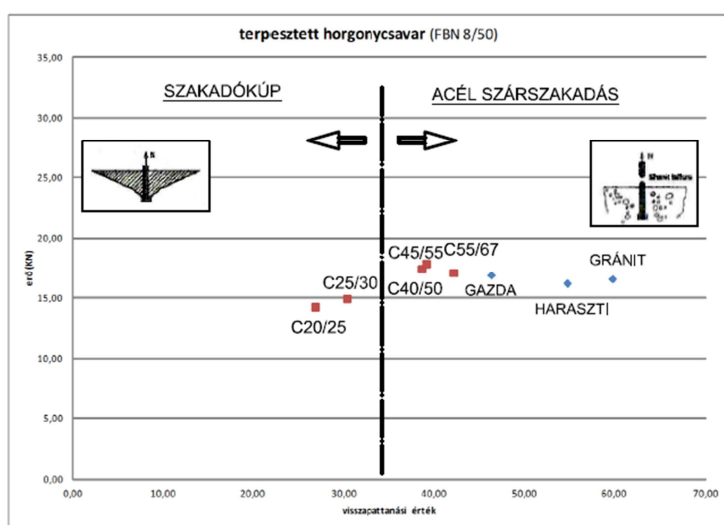
8.8. ábra – Nyomószilárdság – kritikus erő összefüggések vinilészter ragasztó esetén

A vizsgálat során teljes szakadókúpos tönkremenetel nem volt tapasztalható, ennek magyarázata a kövek relatív magas hajlító-húzószilárdsága. A terméskövek nyomószilárdsága függvényében a kapcsolat minden esetben ugyanúgy ment tönkre.

8.3. Schmidt Proceq N34 visszapattanási érték – kritikus erő görbék

A 8.9.-8.12. ábrákon a Schmidt kalapácsos vizsgálat visszapattanási értékeinek függvényében ábrázoltuk az egyes rögzítőelemek tönkremeneteléhez tartozó erőket. A kapcsolatok tönkremeneteli határaihoz visszapattanási értékeket rendeltünk. A kapcsoltok viselkedésének könnyű összehasonlítása miatt nem értékeltük ki a visszapattanási értékeket. Ennek további magyarázata, hogy nem létezik egységes Schmidt-kalapácsos kiértékelő szabvány betonra és terméskőre. A vizsgálatokhoz ugyanazt a Schmidt kalapácsot használtuk a esetleges műszerhiba elkerülése érdekében.

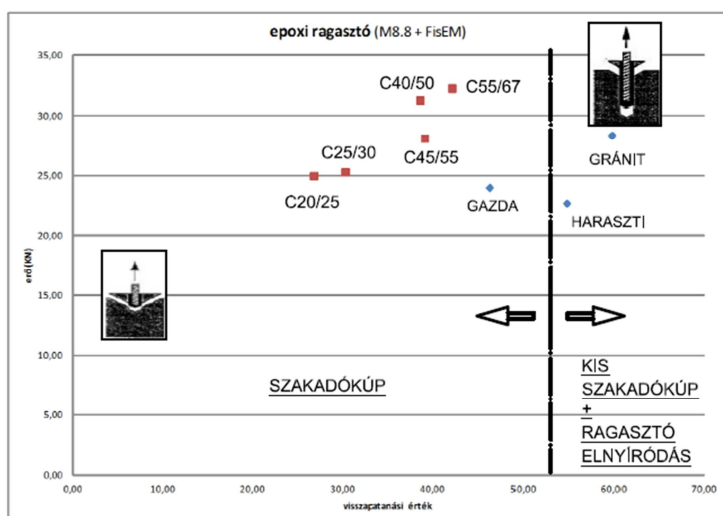
8.3.1. Terpesztett horgonycsavar



Hasonló tendencia látható mint a 8.5. ábrán. 35-ös visszapattanási értékhez tartozik a szakadókúp – acél szárszakadás tönkremeneteli határ (8.9. ábra).

8.9. ábra – Schmidt visszapattanási érték- kritikus erő horgonycsavar esetén

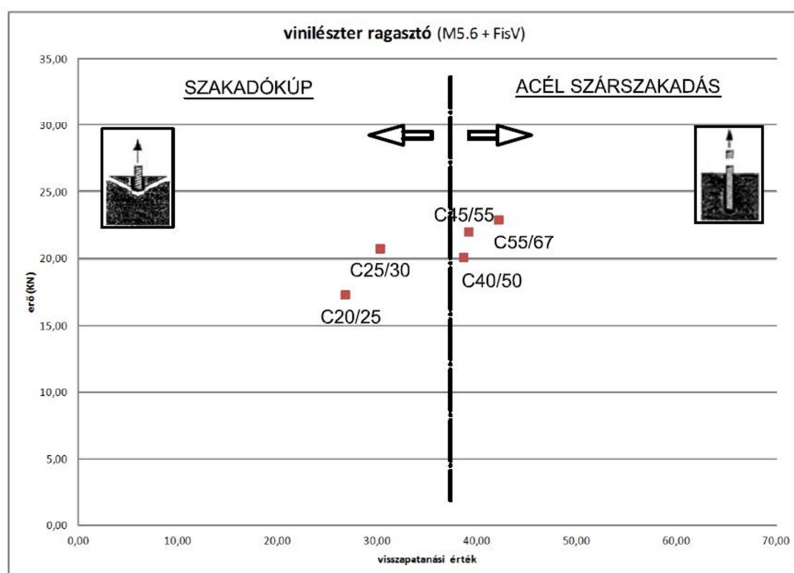
8.3.2. Epoxi ragasztó



8.10. ábra – Schmidt visszapattanási érték- kritikus erő epoxi ragasztó esetén

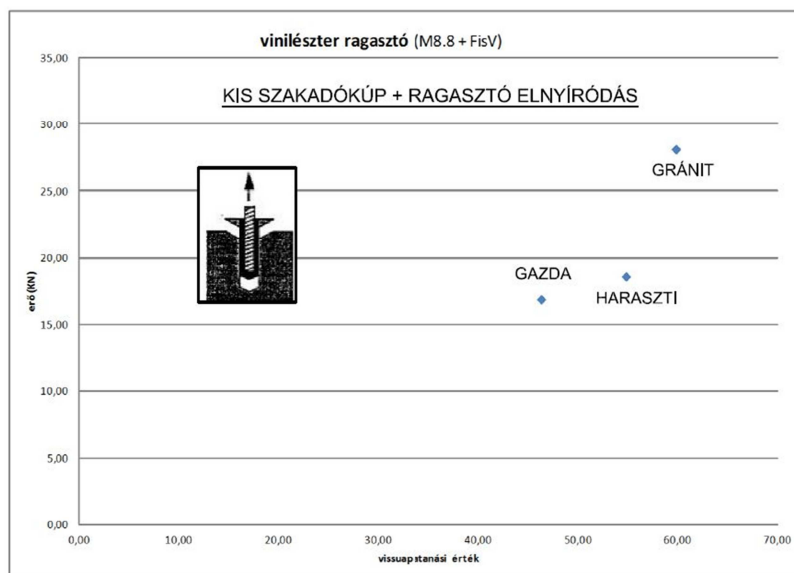
Jól látható, hogy 54-es visszapattanási érték felett nem teljes szakadókúpos tönkremenetel hanem részleges szakadókúp tapasztalható (8.10. ábra). Schmidt kalapácsos vizsgálat alapján is látszódik, hogy a nagy szilárdságú (nagy visszapattanási értékű) kövek esetén a várt kihúzási erőnél kisebb érték okozza a kapcsolat tönkremenetelét. A kapcsolat teherbírását tehát a nyomószilárdságon kívül más fizikai paraméterek is befolyásolják.

8.3.3. Vinilészter ragasztó



A 8.11. ábra mutatja, hogy 35-ös visszapattnási érték felett a kapcsolat tönkremeneteli módja acél szárszakadás. Ezt a vizsgálatot 5.6. acélminőségű szárral végeztük, ezért a kövek vinilészter ragasztós eredményei a 8.12. ábrán láthatók.

8.11. ábra – Schmidt visszapattnási érték- kritikus erő vinilészter ragasztó esetén betonokon



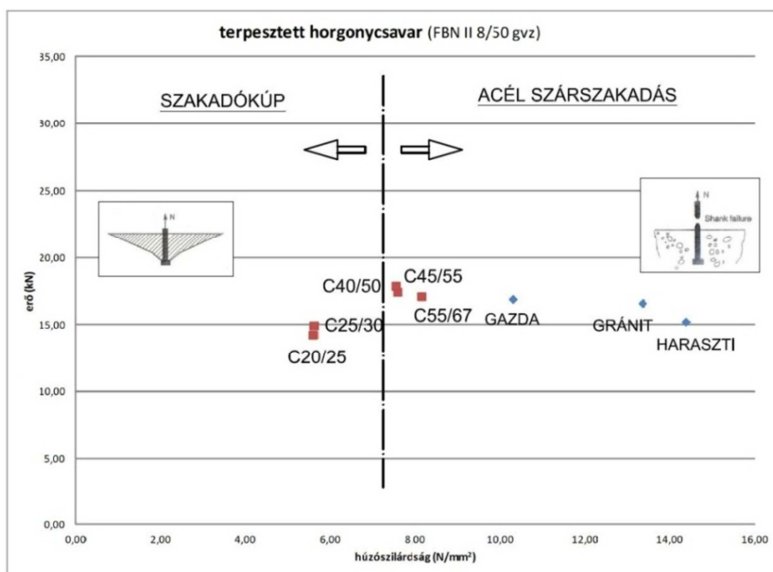
A 8.12. ábrán a vinilészter ragasztóval rögzített menetes szár (8.8) viselkedése látható terméskövekben. A tönkremenetel egységesen kis szakadókúp és ragasztó elnyíródásának a kombinációja.

8.12. ábra – Schmidt visszapattnási érték- kritikus erő vinilészter ragasztó esetén termésköveken

8.4. Hajlító-húzószilárdság – kritikus erő összefüggések

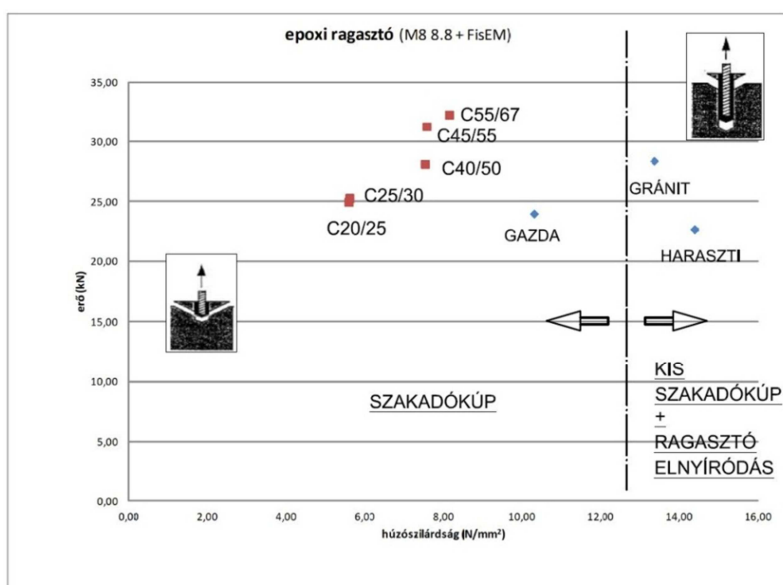
A 8.13.-8.16. ábrák a próbatestek hajlító-húzószilárdsága függvényében ábrázolják a kiszakadáshoz tartozó erőket. A tönkremeneteli fajták határaihoz hajlító-húzószilárdsági értékeket rendeltünk.

8.4.1 Terpesztett horgonycsavar



8.13. ábra – Húzószilárdság – kritikus erő összefüggések horgonycsavarok esetén

8.4.2. Epoxi ragasztó



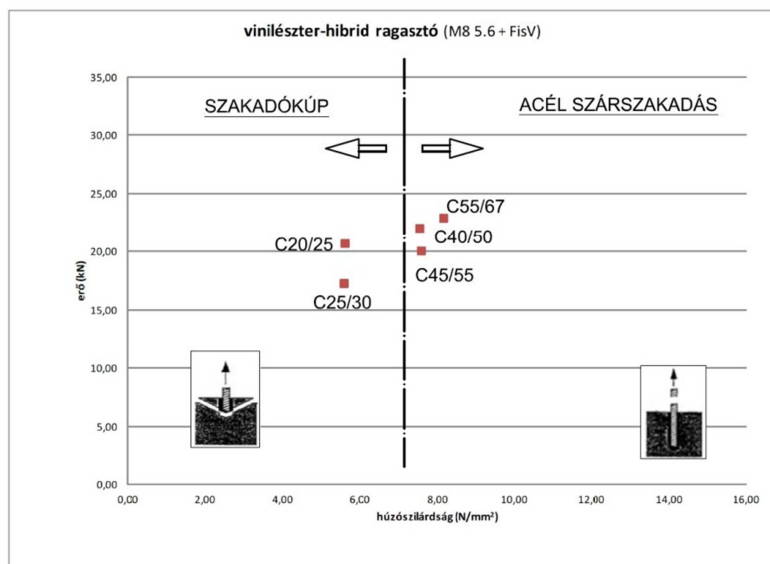
8.14. ábra – Húzószilárdság – kritikus erő összefüggések epoxi ragasztó esetén

7,5 N/mm² húzószilárdság felett a kövek és betonok esetén a horgonycsavar beleszakad a próbatestbe (8.13. ábra). Megállapítható, hogy a kúp kialakulását befolyásolja a fogadoszerkezet húzószilárdsága. További kutatás témája lehet annak igazolása, hogy „magnövelt” húzószilárdságú betonok (műszál-, ill. acélszál erősítés) esetén a teljes szakadókúp kialakulása milyen mértékben korlátozódik.

A szakadókúp egy húzási tönkremenetel, a kúp palástja mentén kialakuló húzófeszültségek meghaladják a húzási ellenállás értékét és a kúp kiválik a próbatestből. Itt is megfigyelhető, hogy a próbatest hajlító-húzószilárdsága befolyásolja ezt a húzási ellenállást ill. a teljes szakadókúp kialakulását.

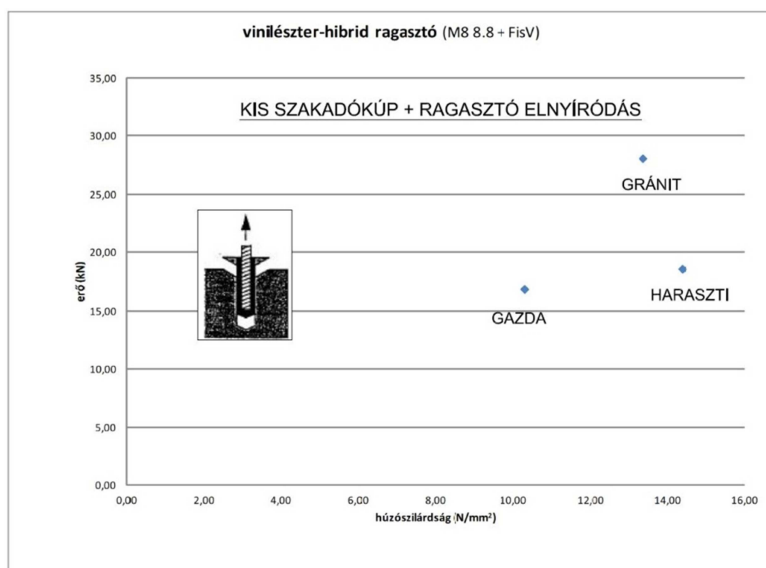
Részleges szakadókúp alakul ki 13 N/mm² húzószilárdság felett, ezalatt az érték alatt teljes szakadókúp tapasztalható (8.14. ábra).

8.4.3. Vinilészter ragasztó



8.15. ábra – Húzószilárdság – kritikus erő összefüggések vinilészter ragasztó esetén (5.6 szár!)

Ezen kapcsolat esetén 5.6. acélminőségű menetes szárat használtunk. A 8.15. ábrán látható kétféle tönkremenetel határa 7,5 N/mm² húzószilárdság. Ez összefügg a 8.13. ábrán látottakkal, mert itt nagyobb átmérőjű, de gyengébb anyagminőségű acél (5.6) húzási tönkremenetele következik be, horgonycsap esetén pedig jobb acélminőség ($f_y=700$ Mpa) szenved húzási tönkremenetelt a lecsökkentett keresztmetszetében.



8.16. ábra – Húzószilárdság – kritikus erő összefüggések vinilészter ragasztó esetén

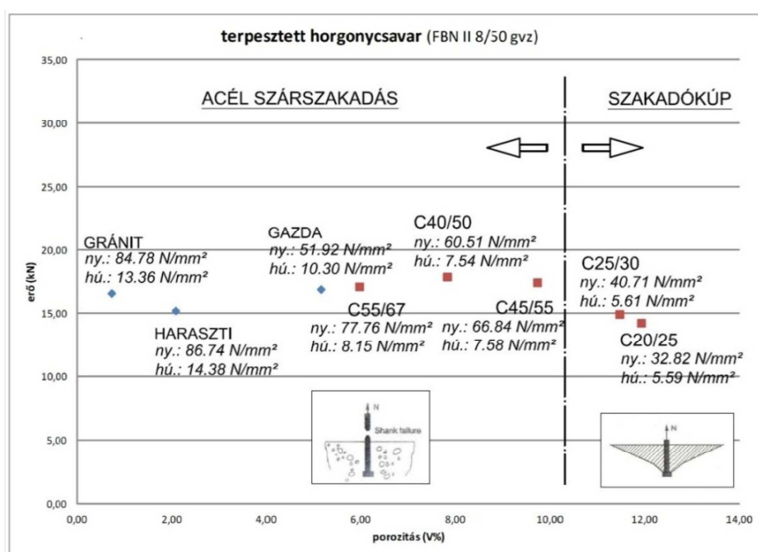
A terméskövek esetén azok, nagy húzószilárdságára való tekintettel, teljes szakadókúp helyett minden esetben részleges szakadókúpos tönkremenetel következett be (8.16. ábra).

Ennél a kísérletnél 8.8 menetes szárat alkalmaztunk. Ez az oka annak, hogy ellentétben a 8.15. ábrán látottakkal, itt nem acél szárszakadás következik be.

8.5. Porozitás – kritikus erő összefüggések

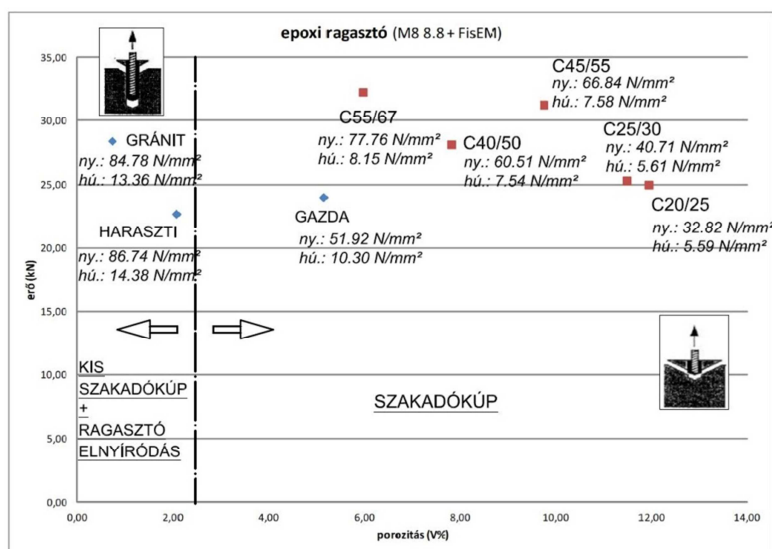
A 8.17.-8.20. ábrákon a próbatestek porozitásának függvényében ábrázoltuk a kihúzóerőhöz tartozó erőt, minden ponthoz feltüntetve azok nyomó-, és hajlító-húzószilárdságát a könnyű összehasonlítás és azonosítás érdekében.

8.5.1. Terpesztett horgonycsavar



8.17. ábra – Porozitás – kritikus erő összefüggések horgonycsavarok esetén

8.5.2. Epoxi-ragasztó

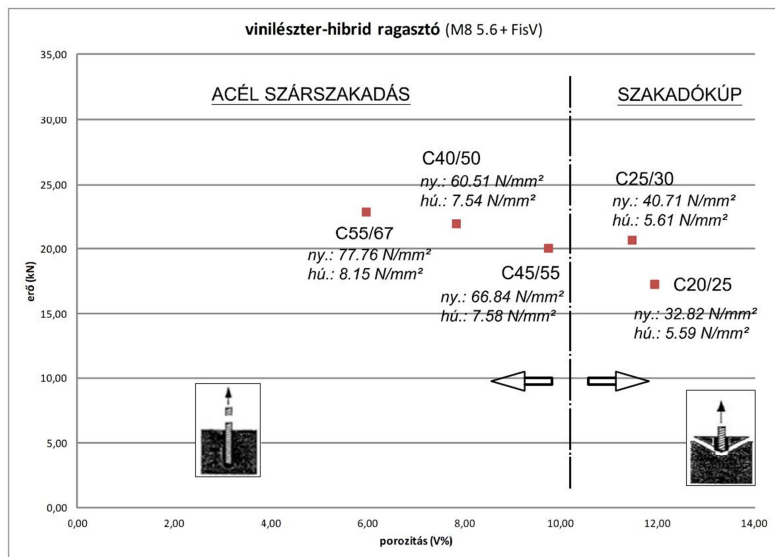


8.18. ábra – Porozitás – kritikus erő összefüggések epoxi ragasztó esetén

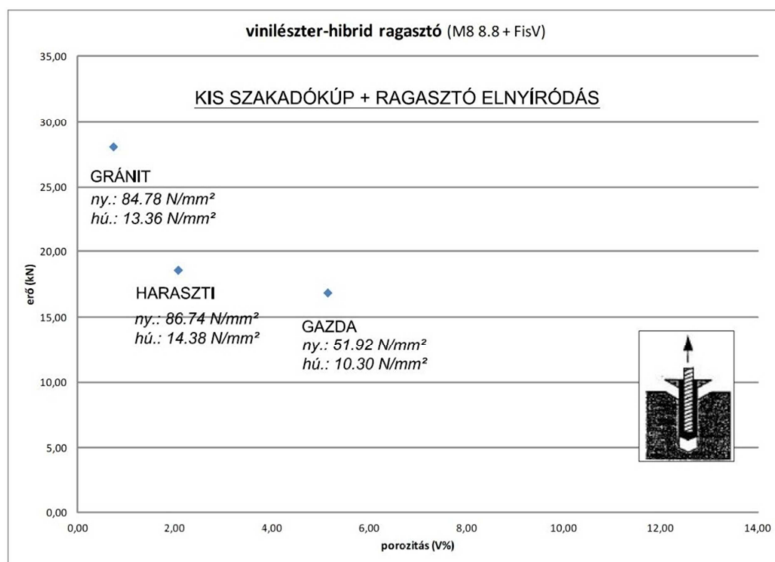
Terpesztett horgonycsavarok esetén a próbatest porozitása nem befolyásolja a kihúzóerőhöz tartozó erőt (8.17. ábra).

A 8.18. ábrán jól látható, hogy a nagy nyomószilárdságú, de kis porozitású harashti mészkőhöz illetve gránithoz kisebb kihúzóerő tartozik, mint a kisebb nyomószilárdságú, de nagyobb porozitású betonokhoz. Az általunk vizsgált legnagyobb nyomószilárdságú Harashti mészkő (86 N/mm²) alulmarad az összes jóval kisebb szilárdságú, de nagyobb porozitású betonokhoz képest. Tehát igazoltuk, hogy ragasztott kapcsolatok esetén a próbatestek porozitása nagyban befolyásolja a kihúzóerőhöz tartozó erő nagyságát.

8.5.3. Vinilészter ragasztó



8.19. ábra – Porozitás – kritikus erő összefüggések vinilészter ragasztó esetén, beton próbatesteken



8.20. ábra – Porozitás – kritikus erő összefüggések vinilészter ragasztó esetén, terméskő próbatesteken

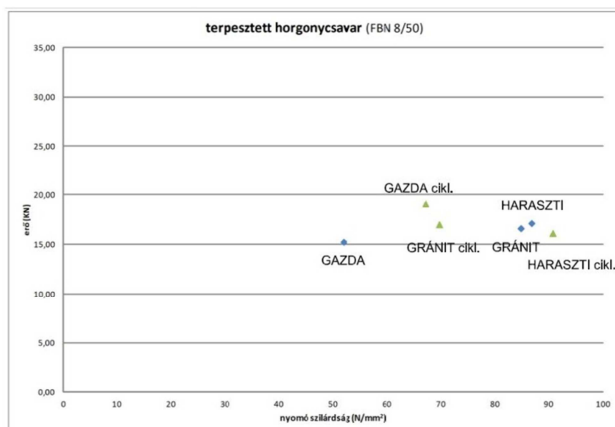
A vinilészter ragasztós kapcsolatok ábrái (8.19. -8.20. ábra) továbbra is külön vannak kezelve, eltérő acélminőségű szár alkalmazása miatt. Tehát feltételezhető, hogy a nagyobb szilárdságú betonok esetén, ahol most szárszakadás következett be, nagyobb teljesítményű kapcsolat létesült volna 8.8 menetes szár alkalmazásával. Tovább látszódik, hogy ennek ellenére, hogy betonban 5.6-os szár volt installálva, így is nagyobb

kihúzóerőhöz tartozó erőt mértünk. Tehát biztosan alátámasztható, hogy a nagyobb porozitás –azonos nyomószilárdság mellett - kedvező hatással van a kapcsolatok teherbírására. Hasonlítsuk össze a gazdabányai mészkövet a hasonló nyomószilárdságú C25/30 betonnal. A mészkő porozitása kb. 5%, a C25/30 porozitása több mint 11% és a kihúzáshoz tartozó erők közötti különbség megközelítően 5 kN.

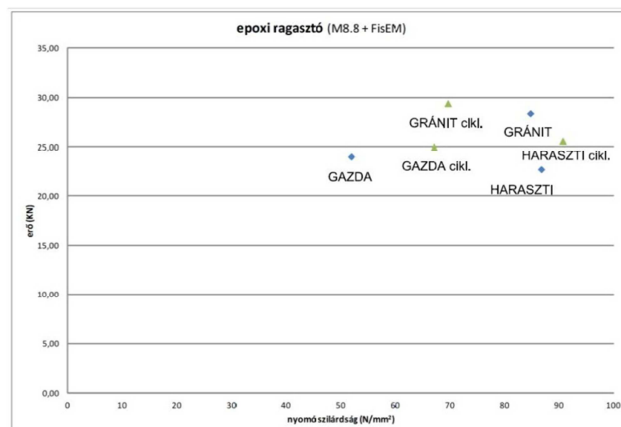
8.6. Fagyasztási ciklusvizsgálat terméskövekre gyakorolt hatásának összefoglalása

- nyomószilárdság –kihúzóáshoz tartozó erő görbék

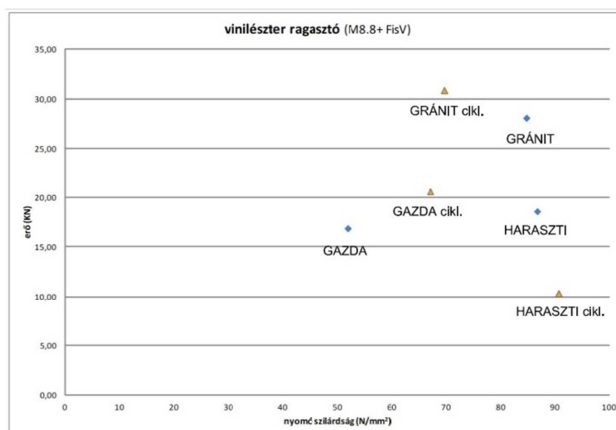
A 8.21. -8.23. ábrákon a terméskövek fagyasztási ciklusvizsgálat előtti és utáni nyomószilárdsága függvényében ábrázoltuk a kihúzáshoz tartozó erőket.



8.21. ábra – Nyomószilárdság – kritikus erő görbék horgonycsavar esetén ciklus vizsgálat előtt és után



8.22. ábra – Nyomószilárdság – kritikus erő görbék epoxi ragasztó esetén ciklus vizsgálat előtt és után



8.23. ábra – Nyomószilárdság – kritikus erő görbék vinil-észter ragasztó esetén ciklus vizsgálat előtt és után

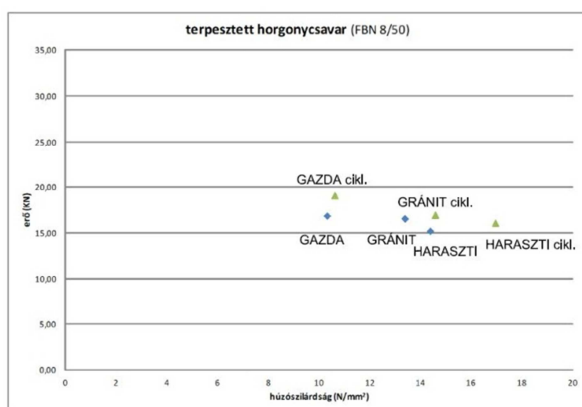
A 8.21. ábra alapján megállapítható, hogy a horgonycsavarok tönkremeneteléhez tartozó erők nem változtak (~16,5 kN). A tönkremenetel mindenesetben acél szárszakadás volt (ld. 7.2.2.1., 7.2.2.2. fejezetek erő-elmozdulás görbéi).

Epoxi ragasztó esetén a fagyasztási ciklusvizsgálat nem idézett elő jelentős teherbírás-csökkenést, de a tönkremeneteli mód megváltozott. Gránit esetén a kis szakadókúp+ragasztó elnyíródás kombinált

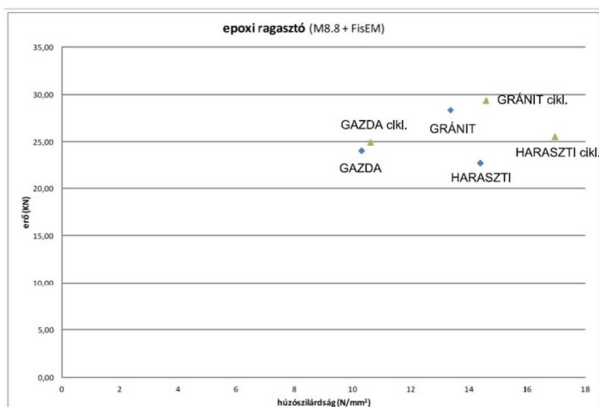
tönkremenetele ciklusvizsgálat után megváltozott és a jellemző tönkremenetel az acél szárszakadás volt. Ennek magyarázata, hogy maga a rögzítő elem a fagyasztás következtében enyhén korrodálódott, ami a húzási ellenállását redukálta.

- hajlító-húzószilárdság – kritikus erő görbék

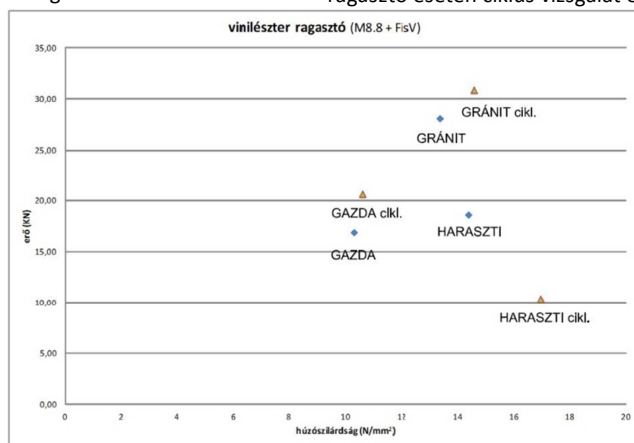
A 8.24. -8.26. ábrákon a terméskövek fagyasztási ciklusvizsgálat előtti és utáni húzószilárdsága függvényében ábrázoltuk a kihúzáshoz tartozó erőket.



8.24. ábra – Hajlító -húzószilárdság – kritikus erő görbék horgonycsavar esetén ciklus vizsgálat előtt és után



8.25. ábra – Hajlító -húzószilárdság – kritikus erő görbék epoxi ragasztó esetén ciklus vizsgálat előtt és után



8.26. ábra – Hajlító -húzószilárdság – kritikus erő görbék vinilészter esetén ciklus vizsgálat előtt és után

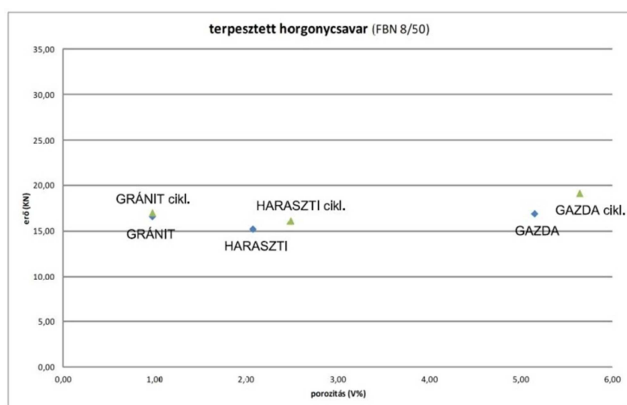
A 8.24. ábra alapján megállapítható, hogy a horgonycsavarok teherbírása fagyasztási ciklusvizsgálat után nem változott, tönkremeneteli mód minden esetben acél szárszakadás volt.

A 8.25. és 8.26. ábrán megfigyelhető enyhe húzószilárdság növekedés illetve acél korróziós hatások miatt a tönkremeneteli módok epoxi ragasztónál megváltoztak gránit esetén és jellemzően acél szárszakadás volt tapasztalható.

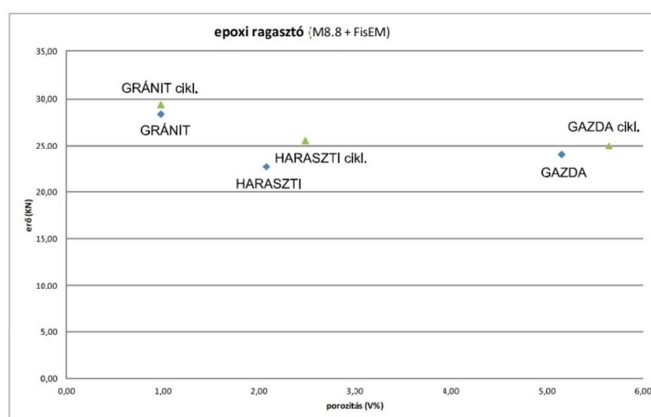
A 8.26. ábrán a vinilészter ragasztó bizonytalan viselkedése tapasztalható fagyási ciklusvizsgálat után mészkövek esetén, gránit esetén a kapcsolat továbbra is stabil maradt és a kihúzóerő nem csökkent.

- porozitás – kritikus erő görbék

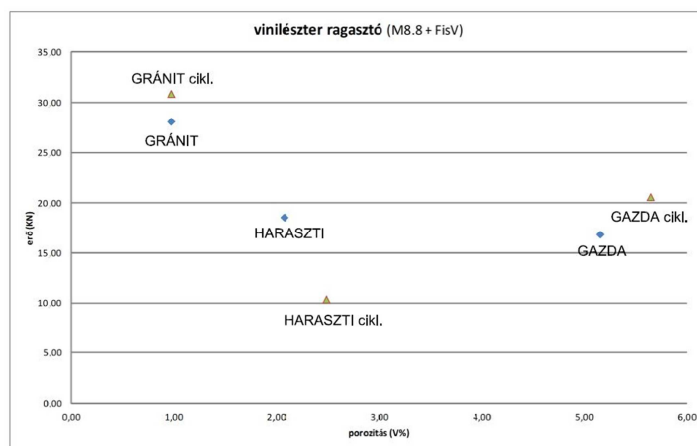
A 8.27. – 8.29. ábrákon a terméskövek fagyasztási ciklusvizsgálat előtti és utáni porozitása függvényében a kihúzóerőhöz ábrázoltuk a tartozó erőket.



8.27. ábra – Porozitás – kritikus erő görbék horgonycsap esetén ciklusvizsgálat előtt és után



8.28. ábra – Porozitás – kritikus erő görbék epoxi ragasztó esetén ciklusvizsgálat előtt és után



8.29. ábra – Porozitás – kritikus erő görbék vinilészter ragasztó esetén ciklusvizsgálat előtt és után

A 8.27.-8.29. ábrákon látható, hogy a ciklusvizsgálat után a mészkövekben nőtt a porozitás mértéke, viszont a gránit nem változott. Ennek oka, hogy a mészkövek porózus szerkezetébe jobban be tudott szivárogni a víz, és a fagyasztás következtében ezek a pórusok kitágultak.

Ez a pórustartalom változás a horgonycsapos és az epoxi ragasztós kapcsolatokra nem volt nagy hatással, a kritikus erők is csak csekély mértékben tértek el, és az eredmények szórása sem változott (8.27. – 8.28. ábra). A vinilészter ragasztóknál viszont az eredmények bizonytalanságát, nagy szórását okozta (8.29. ábra).

8.7. Tönkremenetek összesített táblázata

A különböző dübel típusokhoz és anyag típusokhoz tartozó jellemző tönkremeneteli módokat az alábbi táblázatban adtuk meg.

	Anyag	Rögzítési mód		
		Vinilészter-hibrid ragasztó	Epoxi ragasztó	Terpeszett horgonycsavar
Labor körülmények között	C55/67	acél szárszakadás 	szakadókúp 	acél szárszakadás 
	C45/55	acél szárszakadás 	szakadókúp 	acél szárszakadás 
	C40/50	acél szárszakadás 	szakadókúp 	acél szárszakadás 
	C25/30	szakadókúp 	szakadókúp 	szakadókúp 
	C20/25	szakadókúp 	szakadókúp 	szakadókúp 
	Gránit (RosaBeta/H)	szakadókúp+ragasztó tönkremenetel 	szakadókúp+ragasztó tönkremenetel 	acél szárszakadás 
	Forrásvízi mészkő (Gazda/H)	szakadókúp+ragasztó tönkremenetel 	szakadókúp 	acél szárszakadás 
	Forrásvízi mészkő (Haraszt/H)	szakadókúp+ragasztó tönkremenetel 	szakadókúp+ragasztó tönkremenetel 	acél szárszakadás 
FAGYASZTÁSI CIKLUSVIZSGÁLAT UTÁN	Gránit (RosaBeta/H)	acél szárszakadás 	acél szárszakadás 	acél szárszakadás 
	Forrásvízi mészkő (Gazda/H)	szakadókúp 	szakadókúp 	acél szárszakadás 
	Forrásvízi mészkő (Haraszt/H)	szakadókúp 	szakadókúp+ragasztó tönkremenetel 	acél szárszakadás 

8.1 táblázat – Jellemző tönkremenetek

9. ÖSSZEGZÉS ÉS MEGÁLLAPÍTÁSOK

A tanulmányunk alapját képezte, hogy a terméskövekbe történő rögzítések bizonytalanságaira választ keressünk. A gyártók hiányos adatokkal rendelkeznek terméskövekbe történő rögzítés kérdéseire. Helyszíni kihúzópróbákkal és egyéb anyagokhoz (pl. tömör kisméretű téglához) hasonló viselkedést feltételeznek a kapcsolatok tervezése során. Következésképpen, három fajta – az építőiparban gyakran előforduló – terméskövön kihúzókísérleteket hajtottunk végre. Kezdeti feltételezésünk volt, hogy az anyagok (beton, kő) porozitása befolyásolja a kapcsolatok teherbírását.

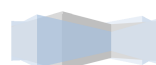
A vizsgálataink előtt megterveztünk egy mérési összeállítást, amely geometriai paraméterek okozta befolyásoló tényezők nélküli eredményt szolgáltat tiszta húzás igénybevétel esetén. A kísérlet méréstechnikailag alkalmas a kapcsolat erő-elmozdulás görbéinek megállapítására, illetve az alapanyag deformációjának mérésére a rögzítési pont közvetlen közelében.

Kiválasztottunk 3 féle gyakori rögzítési rendszert – nyomatékkontrollált feszítődübel, vinilészter hibrid ragasztóval ill. epoxi alapú ragasztóval rögzített menetes szár-, és egy előre megtervezett kísérleti mátrix alapján végeztük el a kihúzókísérleteket.

Vizsgálataink során 5 eltérő szilárdságú, összesen 600 liter betont kevertünk (C20/25, C25/30, C40/50, C45/55, C55/67). Kétféle forrásvízi mészkő (Gazda ill. Harasztibánya, Süttő) és gránit állt rendelkezésünkre. Összesen 93 darab (45 beton + 48 terméskő) komplex kihúzókísérletet és 131 önálló laboratóriumi mérést hajtottunk végre. Vizsgáltuk a próbatestek nyomó ill. hajlító-húzószilárdságát, porozitását és összefüggéseket kerestük ezen paraméterek és a kihúzóerőhöz tartozó erők között.

A méréseket követően az eredményeket kiértékeltek, nyomószilárdság-kihúzó erő, hajlító-húzószilárdság, porozitás-kihúzóerő görbéket készítettünk.

Végül megállapítottuk, hogy kezdeti feltételezésünknek megfelelően a kapcsolatok teherbírását nem csak a nyomószilárdság befolyásolja, ahogy azt a tervezési modellekben látjuk, a porozitás nagyban befolyásolja ragasztott kapcsolatok esetén a teherbírást. A beton próbatestek porozitása 5-11% között volt, a terméskövek porozitása minden esetben 5% alatt volt. Nyomószilárdság szempontjából a Haraszi mészkő illetve a gránit volt a legerősebb, mégis a kihúzókísérletek során azt tapasztaltuk, hogy ennek ellenére mégsem a terméskövekben esetén mértük a nagyobb kihúzóerőt. A magyarázatot abban találjuk, hogy a ragasztó a beton kapilláris rendszerébe jobban beszivárog és nagyobb teljesítményt produkál, mint a terméskövek esetén. A kísérletek után félbehasított próbatestek is igazolják a feltevésünket, a terméskövekbe a ragasztó nem szivárog bele, annak kisebb porozitása miatt.



10. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

Az alábbi pontokban pár ötletet illetve javaslatot szedtünk össze, milyen területeken lehetne további érdekes kutatást végezni a rögzítéstechnika témakörében. Ezen címszavakat és témamegjelöléseket az általunk gyűjtött tapasztalatokra alapozzuk, ezzel is bizonyítva a rögzítéstechnika, mint témakör komplexitását illetve a folyamatos kutatás lehetőségét.

- Eltérő porozitású, de azonos nyomószilárdságú beton próbatesteken annak igazolása, hogy a porozitás befolyásolja a kapcsolat teherbírását, majd megfelelő számú kísérletek után egy új numerikus függvény javaslása, amelyben a beton porozitása is szerepel.
- Nagyobb húzószilárdságú beton esetén a szakadókúp kialakulása valószínűleg korlátozható. Méréseink során azt tapasztaltuk ugyanis, 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.
- Terméskövek esetén a tűzteher hatásának vizsgálata a ragasztott kapcsolatok viselkedésére. A terméskövek, a ragasztó illetve az acél rögzítőelem hővezető képességeinek (Thermal Conductivity) megállapítása után végeselemes modell készítése a kapcsolat hőeloszlásáról.
- A kísérleti összeállításunk alkalmas arra, hogy a felület deformációját 3 pontban mérje a rögzítési pont közvetlen közelében. A deformációt terméskövek esetén 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, tovább az is tapasztalható volt, hogy a fagyasztási ciklusvizsgálat után némileg nagyobb felületi deformáció előzte meg a tönkremenetelt. Ez a mérés nagyobb teljesítményű (nagyobb $\emptyset$ és rögzítési mélység) rögzítőelemeknél újabb kérdéseket vet fel. Feltételezéseink szerint a felületdeformáció mérésének kidolgozása kitűnő diagnosztikai módszer lehet kiemelt tartószerkezeti elemek rögzítésénél használt kapcsolatok minőségi ellenőrzésére.



11. FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- [1] Termékkatalógus 2009, Fischer Hungary Bt., Palatia Nyomda és Kiadó Kft., Győr, 2009
ISBN: 99991
- [2] Technical Handbook - Europe, *fischerwerke GmbH., Stuttgart, 2010*, pp. 13-19, pp. 76-86., pp. 172-186.
- [3] Nemes R., Lublőy É. (2011), „Application of anchors under special concrete conditions”, *PERIODICA POLYTECHNIKA - Civil engineering* 55/1 (2011) pp.73-79, ISSN 1587-3773, http://www.pp.bme.hu/ci/2011_1/pdf/ci2011_1_09.pdf (letöltés időpontja: 2011.06.16.)
- [4] Sara C., Giovanni M., Gianpaolo R.: „Expansion anchors in high performance concrete”, *CONNECTIONS BETWEEN STEEL AND CONCRETE VOLUME 1*, R.Elgehausen, W.Fuchs, G.Genesio, P. Grosser, ibidem-Verlag, Stuttgart 2007 pp.297-306. ISBN 978-3-89821-807-8
- [5] CAD CLICK Database: <http://www.cadclick.de/katalog/cc-fihi.asp?Auswahl=44&la=eng> (letöltés időpontja 2011.06.18.)
- [6] Kausay T.: „Víztartalom, vízfelvétel, látszólagos porozitás”
<http://www.betonopus.hu/notesz/viztartalom.pdf> (letöltés időpontja 2011.04.10.)
- [7] Természetes építőkövek vizsgálati módszerei: A vízfelvétel meghatározása légköri nyomáson - MSZ EN 13755:2008 szabvány
- [8] Borján J.: „Roncsolásmentes betonvizsgálatok” Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1981
ISBN: 963 10 3514 X
- [9] 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 2011.10.04.)
- [10] Közúti betonok vizsgálata Schmidt-kalapáccsal és ultrahanggal, ÚT 2-202.4:1999 szabályzat
- [11] A megszilárdult beton vizsgálata – A próbatestek nyomószilárdsága MSZ EN 12390-3:2009 szabvány
- [12] Kausay T.: Beton nyomószilárdságának megfelelésége és elfogadása (2007)
<http://www.betonopus.hu/szakmernoki/130-betonmegfeleloseg.pdf> (letöltés időpontja: 2011.07.30.)
- [13] Természetes építőkövek vizsgálata: A nyomószilárdság meghatározása MSZ EN 1926:2007 szabvány



- [14] Török Á.: „Geológia mérnököknek”, *Műegyetemi Kiadó, 2007 Budapest*, ISBN 978-963-420-934-8
- [15] A megszilárdult beton vizsgálata – A próbatestek hajlító-húzószilárdsága MSZ EN 12390-5:2009 szabvány
- [16] Természetes építőkövek vizsgálati módszerei: A hajlítószilárdság meghatározása harmadpontos terheléssel - MSZ EN 16161:2008 szabvány
- [17] Kausay T.: A beton nyomószilárdsági osztályának értelmezése 1949-től napjainkig,
<http://www.betonopus.hu/notesz/nyomoszilardsagi-osztalyok-valtozasa.pdf> (letöltés időpontja: 2011.08.13.)
- [18] Lublőy É., György L. B.: „Behaviour of expansion and bonded anchors subjected to elevated temperatures”, *CONNECTIONS BETWEEN STEEL AND CONCRETE VOLUME 1*, R.Elgehausen, W.Fuchs, G.Genesio, P. Grosser, ibidem-Verlag, Stuttgart 2007, pp.329-338, ISBN 978-3-89821-807-8
- [19] Balázs Gy.: „Építőanyagok és kémia”, *Műegyetemi Kiadó 2002 Budapest*, ISBN 94493
- [20] Elgehausen R., Fuchs W., Sippel T.: „Anchorage to Concrete”, *TARTOK 2000* (Budapest, 2000), pp. 261–270. ISBN: 963-420-640-9
- [www1] http://www.owl.hu/owl/3gallery/gownpic2009/2009_01_05q2.htm



12. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Köszönjük **Dr. Majorosné Dr. Lublós Éva Eszter** adjunktusnak, **Dr. habil. Török Ákos** docens Úrnak és **Kovács-Sebestény Szabolcs** Úrnak a segítséget és az útmutató szakmai tanácsokat, akik példátlan támogatással és idejüket nem kímélve álltak folyamatosan rendelkezésünkre a TDK dolgozat elkészítése során.

Külön köszönjük **Dr. Salem Georges Nehme** docens úrnak a 4.1.1. fejezetben látható betonreceptúrák összeállítását és az Építőanyagok Laboratóriumban található összes szükséges berendezés használatának a lehetőségét.

Köszönjük a **fischer® Hungária Bt.** -nek, hogy vizsgálatainkhoz biztosították az összes felhasznált FISCHER® terméket.

Köszönjük a **RENESZÁNSZ Kőfaragó Zrt.** -nek a terméskövek rendelkezésünkre bocsájtását.

A laboratóriumi vizsgálatokban nyújtott segítségért hálás köszönetünket fejezzük ki:

- **Eipl Andrásnak**, *technikus, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék*
- **Pálinkás Bálintnak**, *technikus, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék*
- **Emszt Gyulának**, *tanszéki mérnök, laborvezető, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék*
- **Kovács Gábornak**, *technikus, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék*
- **Diriczi Dávidnak**, *technikus, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék*
- **Póka Tamásnak**, *tanszéki mérnök, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék*
- **Kocsis Imrének**, *tanszéki főmérnök, BME-GPK Gyártástudomány és -Technológia Tanszék*
- **Zsolnay Tamásnak**, *szakmunkás, BME-GPK Gyártástudomány és -Technológia Tanszék.*

Továbbá köszönjük az Építőanyagok Tanszék azon – itt név szerint külön nem megemlített – dolgozóinak a segítségét is, akik a laboratóriumi vizsgálatok és kísérletek során észrevételeikkel és méréstechnikai tanácsaikkal hozzájárultak a választott téma részletes kidolgozásához.

Végül köszönjük barátainknak és hozzátartozóinknak kitartó támogatását és biztatását.

A Szerzők



13. ABSTRACT IN ENGLISH

PERFORMANCE OF EXPANSION AND BONDED ANCHORS INSTALLED TO CONCRETE IN COMPARISON TO LIMESTONE AND GRANITE

Máté Tóth / Viktor Hlavička/ Éva Lublós¹/ Ákos Török¹

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

Abstract

The design method and basic design parameters of applying expansion and bonded anchors for concrete is thoroughly studied. To the contrary, there are still uncertainties related to the usage and application of anchors for rock that has an inhomogeneous nature.

Mostly, a local „in-situ” pull-out test is required before fixing into rocks or fix rocks, therefore the appropriate anchorage could be determined –including the embedment depth and load transfer type - in accordance to the current conditions. This fact indicates the importance of giving valuable results for rocks and predicting the behavior of these steel-rock connections.

In this experimental study, a torque controlled expansion anchor (*fischer* FBN II 8/50) as well as bonded anchors (*fischer* FIS V – vinyleaster, *fischer* FIS EM-epoxy) with Ø8 threaded rod were tested. The embedment depth was 50mm. Two types of freshwater limestone (*Süttő/Hungary*), granite (*RosaBeta/Hungary*) and even five different strength classes of concrete (C20/25, C25/30, C40/50, C45/55, C55/67) were investigated. 93 pull-out tests were carried out focusing on the application of tension stress, the displacement related to the punching force, and even the deformation of surface was measured near to the fixing point. The tests were implemented in two series on rocks – normal conditions and after a 50 cycle freeze-thaw test.

The relationship between the compressive-, flexural-tension strength values and the critical punching force for concrete do not show the same trend as the ones of rocks. This study calls the attention to the importance of porosity on the performance of the anchorages.

Keywords

expansion anchors, bonded anchors, pull-out test, limestone, granite, concrete, strength properties, primary porosity

Corresponding authors: Mate TOTH, matetoth.bme@gmail.com + 36 30 604 0327

Viktor HLAVIČKA, hlavickav@gmail.com +36 20 621 2707



MELLÉKLETEK

Számítási melléklet

Rajzi mellékletek



1. FBN II 8/50 gvz húzási ellenállásának meghatározása

Kiindulási adatok:

beton: C20/25

$$f_{ck.cube} := 32.82 \frac{N}{mm^2}$$

$$h_{ef} := 40mm$$

A vizsgálatok során eltört kockák nyomószilárdságának várható értéke 32.82 Mpa (6.1. táblázat), ezért $f_{ck.cube}$ helyére nem a karakterisztikus nyomószilárdság érték hanem a várható érték került, hogy a számítási modell a kihúzási erő várható értékét adja (ténylegesen azt amit mi is mértünk).

próbatest geometriája: 30x30x10 cm, és a dübel központosan van elhelyezve

A húzási ellenállás: $\min(N_{Rd.s}, N_{Rd.p}, N_{Rd.c}, N_{Rd.sp})$ **- acél szárszakadáshoz tartozó ellenállás**

$$N_{Rd.s} := 16.0kN$$

Anchor type		FBN 6	FBN II 8
		A4	gvz
characteristic resistance	$N_{Rk.s}$ [kN]	10.0	16.0
design resistance	$N_{Rd.s}$ [kN]	6.2	11.4

- kihúzódáshoz tartozó ellenállás meghatározás

$$N_{Rd.p0} := 12.8kN$$

beton nyomószilárdság hatása:

$$f_{ck.cube} := 32.82 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{b.N} := \sqrt{\frac{f_{ck.cube}}{25}} = 1.146$$

Anchor type		FBN II 8
h_{ef}	[mm]	gvz 40
non-cracked concrete		
characteristic resistance	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	12.8
design resistance	$N_{Rd,c}^0$ [kN]	8.5

$$N_{Rd.p} := N_{Rd.p0} \cdot f_{b.N} = 14.666 \cdot kN$$

- szakadókúp kialakulásához tartozó ellenállás meghatározása:

$$N_{Rd.c0} := 12.8kN \quad (\text{ld. előző pontban})$$

beton nyomószilárdság hatása:

$$f_{ck.cube} := 32.82 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{b.N} := \sqrt{\frac{f_{ck.cube}}{25}} = 1.146$$

Anchor type		FBN II M8
h_{ef}		40
$s_{cr,N}$	[mm]	120
$c_{cr,N}$	[mm]	60

dübelek tengelytávolságának hatása:

$$f_{s1} := f_{s2} = \alpha \cdot f_{s3} \quad \text{dübelek tengelytávolságából származó redukciós tényező 1, mert csak 1 dübelt alkalmazunk}$$

$$s_{cr.N} := 120mm$$

$$f_{s1} := 1$$

$$f_{s2} := 1$$

$$f_{s3} := 1$$

dübelek széltől való távolságának hatása (spacing):

$$c_{cr.N} := 60 \quad c_{cr.N} := 100$$

$$f_{c1.A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr.N}} \right), 1 \right] = 1$$

$$f_{c1.B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr.N}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2} := 1$$

tehát a széltől való távolságból származó redukció 1.

tehát a szakadókúpos tönkremenetelhez tartozó ellenállás:

$$N_{Rd.c} := N_{Rd.c0} \cdot f_{b.N} \cdot f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3} \cdot f_{c1.A} \cdot f_{c1.B} \cdot f_{c2} = 14.666 \cdot \text{kN}$$

alapanyag hasadásához tartozó ellenállás

$$N_{Rd.c0} = 12.8 \cdot \text{kN} \quad (\text{ld. előző pontban})$$

$$f_{b.N} = 1.146$$

dübelek tengelytávolságának hatása 1, mert csak egy dübelt használunk

$$f_{s1.sp} := 1 \quad f_{s2.sp} := 1 \quad f_{s3.sp} := 1$$

dübel széltől való távolsága

$$h_{min} := 100 \quad h := 100$$

$$c_{cr.sp} := 95$$

Anchor type		FBN II M8
h_{ef}		40
$s_{cr, sp}$	[mm]	190
$c_{cr, sp}$	[mm]	95
h_{min}	[mm]	100

$$f_{c1.sp.A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr.sp}} \right), 1 \right] = 1$$

$$f_{c1.sp.B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr.sp}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2.sp} := 1$$

anyag vastagságának a hatása:

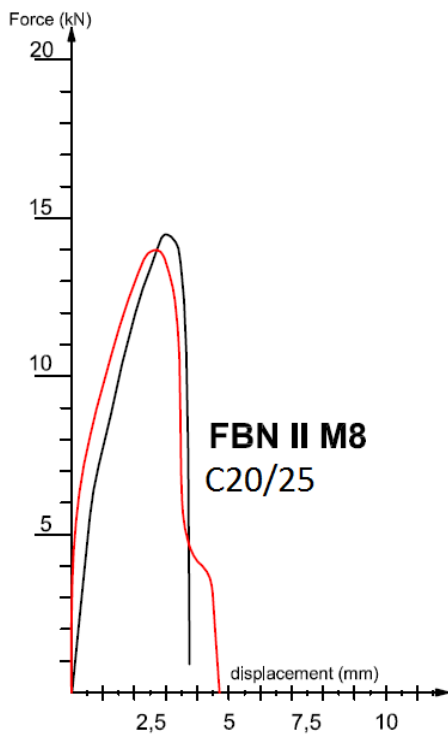
$$f_h := \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{\frac{2}{3}} = 1$$

tehát a próbatest kettéhasadásához tartozó ellenállás:

$$N_{Rd.sp} := N_{Rd.c0} \cdot f_{b.N} \cdot f_{s1.sp} \cdot f_{s2.sp} \cdot f_{s3.sp} \cdot f_{c1.sp.A} \cdot f_{c1.sp.B} \cdot f_{c2.sp} \cdot f_h = 14.666 \cdot \text{kN}$$

A kapcsolat tényleges teherbírása (várható értéke) a fent említett tönkremenetekhez tartozó értékek közül a minimális:

$$N_{Rd} := \min(N_{Rd,s}, N_{Rd,p}, N_{Rd,c}, N_{Rd,sp}) = 14.666 \cdot \text{kN}$$



A mérések várható értékeinek átlaga: **14.2 kN**

A mérésünk tehát 0.4 kN-t téved a biztonság javára, ezzel igazoltuk, hogy a mérési összeállítás **megfelelő**.

2. FBN II 8/50 gvz húzási ellenállásának ellenőrzése grániton

Kiindulási adatok:

Gránit

$$f_{ck.cube} := 84.78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$h_{ef} := 40 \text{ mm}$$

A vizsgálatok során eltört kockák nyomószilárdságának várható értéke 32.82 Mpa (6.1. táblázat), ezért $f_{ck.cube}$ helyére nem a karakterisztikus nyomószilárdság érték hanem a várható érték került, hogy a számítási modell a kihúzási erő várható értékét adja (ténylegesen azt amit mi is mértünk).

próbatest geometriája: 25x20x10 cm, és a dübel központosan van elhelyezve

$$\min(N_{Rd,s}, N_{Rd,p}, N_{Rd,c}, N_{Rd,sp})$$

- **acél szárszakadáshoz tartozó ellenállás**

$$N_{Rd,s} := 16.0 \text{ kN}$$

Anchor type		FBN 6 A4	FBN II 8 gvz
characteristic resistance	$N_{Rk,s}$ [kN]	10.0	16.0
design resistance	$N_{Rd,s}$ [kN]	6.2	11.4

- **kihúzódáshoz tartozó ellenállás meghatározás**

$$N_{Rd,p0} := 12.8 \text{ kN}$$

beton nyomószilárdság hatása:

$$f_{ck.cube} := 84.78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{b,N} := \sqrt{\frac{f_{ck.cube}}{25}} = 1.842$$

Anchor type		FBN II 8 gvz 40
non-cracked concrete		
characteristic resistance	$N_{Rk,c}$ [kN]	12.8
design resistance	$N_{Rd,c}$ [kN]	8.5

$$N_{Rd,p} := N_{Rd,p0} \cdot f_{b,N} = 23.571 \cdot \text{kN}$$

- szakadókúp kialakulásához tartozó ellenállás meghatározása:

$$N_{Rd,c0} := 12.8 \text{ kN} \quad (\text{ld. előző pontban})$$

beton nyomószilárdság hatása:

$$f_{ck,cube} := 84.78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{b,N} := \sqrt{\frac{f_{ck,cube}}{25}} = 1.842$$

Anchor type		FBN II M8
h_{ef}		40
$s_{cr,N}$	[mm]	120
$c_{cr,N}$	[mm]	60

dübelek tengelytávolságának hatása:

$$f_{s1} := f_{s2} = 1 \cdot f_{s3} \quad \text{dübelek tengelytávolságából származó redukciós tényező 1, mert csak 1 dübelt alkalmazunk}$$

$$s_{cr,N} := 120 \text{ mm}$$

$$f_{s1} := 1 \quad f_{s2} := 1 \quad f_{s3} := 1$$

dübelek széltől való távolságának hatása (spacing):

$$c_{cr,N} := 60 \quad c := 100$$

$$f_{c1,A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \right), 1 \right] = 1$$

$$f_{c1,B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr,N}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2} := 1$$

tehát a széltől való távolságból származó redukció 1.

tehát a szakadókúpos tönkremenetelhez tartozó ellenállás:

$$N_{Rd,c} := N_{Rd,c0} \cdot f_{b,N} \cdot f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3} \cdot f_{c1,A} \cdot f_{c1,B} \cdot f_{c2} = 23.571 \cdot \text{kN}$$

alapanyag hasadásához tartozó ellenállás

$$N_{Rd,c0} = 12.8 \cdot \text{kN} \quad (\text{ld. előző pontban})$$

$$f_{b,N} = 1.842$$

dübelek tengelytávolságának hatása 1, mert csak egy dübelt használunk

$$f_{s1,sp} := 1 \quad f_{s2,sp} := 1 \quad f_{s3,sp} := 1$$

dübel széltől való távolsága

$$c_{cr,sp} := 95$$

Anchor type		FBN II M8
h_{ef}		40
$s_{cr,sp}$	[mm]	190
$c_{cr,sp}$	[mm]	95
h_{min}	[mm]	100

$$f_{c1.sp.A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr.sp}} \right), 1 \right] = 1$$

$$f_{c1.sp.B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr.sp}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2.sp} := 1$$

anyag vastagságának a hatása:

$$h_{min} := 100 \quad h := 100$$

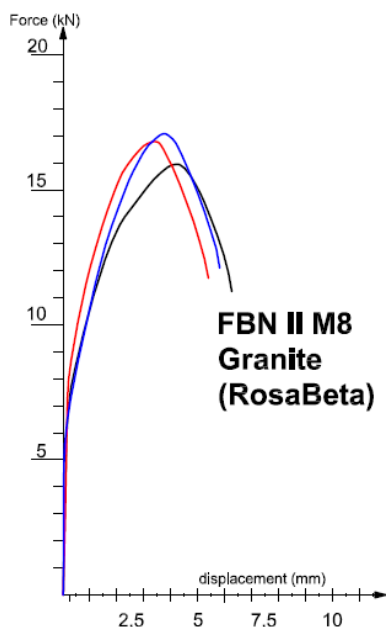
$$f_h := \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{\frac{2}{3}} = 1$$

tehát a próbatest kettéhasadásához tartozó ellenállás:

$$N_{Rd.sp} := N_{Rd.c0} \cdot f_b \cdot N \cdot f_{s1.sp} \cdot f_{s2.sp} \cdot f_{s3.sp} \cdot f_{c1.sp.A} \cdot f_{c1.sp.B} \cdot f_{c2.sp} \cdot f_h = 23.571 \cdot \text{kN}$$

A kapcsolat tényleges karakterisztikus teherbírása a fent említett tönkremenetelehez tartozó értékek közül a minimális:

$$N_{Rd} := \min(N_{Rd.s}, N_{Rd.p}, N_{Rd.c}, N_{Rd.sp}) = 16 \cdot \text{kN}$$



Az általunk mért kihúzási erők átlaga gránit esetén 16,5 kN, tehát az FBN horgoncsavarokra vonatkozó számítási módszer megfelel!

3. FIS EM ragasztóval rögzített M8 8.8 menetes szár húzási ellenállása

Kiindulási adatok:

beton C20/25

$$f_{ck.cube} := 32.82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A vizsgálatok során eltört kockák nyomószilárdságának várható értéke 32.82 Mpa (6.1. táblázat), ezért $f_{ck.cube}$ helyére nem a karakterisztikus nyomószilárdság érték hanem a várható érték került, hogy a számítási modell a kihúzási erő várható értékét adja (ténylegesen azt amit mi is mértünk).

próbatest geometriája: 30x30x10 cm, és a dübel központosan van elhelyezve

Steel failure:

$$N_{Rd,s}$$

Combined pull-out and concrete cone failure:

$$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \cdot f_{b,N,p} \cdot f_{s1,p} \cdot f_{s2,p} \cdot f_{s3,p} \cdot f_{c1,p,A} \cdot f_{c1,p,B} \cdot f_{c2,p}$$

Concrete cone failure:

$$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_{b,N,c} \cdot f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3} \cdot f_{c1,A} \cdot f_{c1,B} \cdot f_{c2}$$

Concrete splitting failure:

$$N_{Rd,sp} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_{b,N,c} \cdot f_{s1,sp} \cdot f_{s2,sp} \cdot f_{s3,sp} \cdot f_{c1,sp,A} \cdot f_{c1,sp,B} \cdot f_{c2,sp} \cdot f_h$$

A feltüntetett tönkremeneteli módokhoz tartozó ellenállások közül a legkisebb a mértékadó.

- acél szárszakadáshoz tartozó ellenállás

$$N_{Rd,s} := 20.0 \text{ kN}$$

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

- kihúzóadás és szakadókúp kombinációjához tartozó ellenállás meghatározás

$$N_{Rd,p0} := 16.1 \text{ kN}$$

beton nyomószilárdság hatása:

$$f_{ck,cube} := 32.82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{b,N,p} := 1.02$$

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

dübelek egymástól való távolságának a hatása:

$$f_{s1,p} := 1 \quad f_{s2,p} := 1 \quad f_{s3,p} := 1 \quad (\text{csak egy dübelt alkalmaztunk})$$

dübelek szélétől való távolsága

$$c_{cr,N} := 90 \quad c := 100$$

$$f_{c1,p,A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \right), 1 \right] = 1$$

$$f_{c1,p,B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr,N}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2,p} := 1$$

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

$$N_{Rd,p} := N_{Rd,p0} \cdot f_{b,N,p} \cdot f_{s1,p} \cdot f_{s2,p} \cdot f_{s3,p} \cdot f_{c1,p,A} \cdot f_{c1,p,B} \cdot f_{c2,p} = 16.422 \cdot \text{kN}$$

- szakadókúp kialakulásához tartozó ellenállás meghatározása:

$$N_{Rd,c0} := 15.6 \text{ kN}$$

beton nyomószilárdság hatása:

$$f_{ck,cube} := 32.82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$f_{b.N.c} := \sqrt{\frac{f_{ck.cube}}{25}} = 1.146$$

dübelek tengelytávolságának hatása:

$$f_{s1} := f_{s2} = 1 \cdot f_{s3} \quad \text{dübelek tengelytávolságából származó redukciós tényező 1, mert csak 1 dübelt alkalmazunk}$$

$$f_{s1} := 1 \quad f_{s2} := 1 \quad f_{s3} := 1$$

dübelek széltől való távolságának hatása (spacing):

$$c_{cr.N} := 90 \quad c := 100$$

$$f_{c1.A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr.N}} \right), 1 \right] = 1$$

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

$$f_{c1.B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr.N}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2} := 1$$

tehát a széltől való távolságból származó redukció 1.

tehát a szakadókúpos tönkremenetelhez tartozó ellenállás:

$$N_{Rd.c} := N_{Rd.c0} \cdot f_{b.N.c} \cdot f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3} \cdot f_{c1.A} \cdot f_{c1.B} \cdot f_{c2} = 17.874 \cdot \text{kN}$$

alapanyag hasadásához tartozó ellenállás

$$N_{Rd.c0} = 15.6 \cdot \text{kN} \quad (\text{ld. előző pontban})$$

$$f_{b.N.c} = 1.146$$

dübelek tengelytávolságának hatása 1, mert csak egy dübelt használunk

$$f_{s1.sp} := 1 \quad f_{s2.sp} := 1 \quad f_{s3.sp} := 1$$

dübel széltől való távolsága

$$c_{cr.sp} := 60 \quad c := 150$$

$$f_{c1.sp.A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr.sp}} \right), 1 \right] = 1$$

$$f_{c1.sp.B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr.sp}} \right), 1 \right] = 1$$

Anchor type			FIS EM M8		
eff. anchorage depth		h_{ef} [mm]	60	80	160
application with concrete member thickness	$h/h_{ef} \geq 2.0$	$s_{cr,sp}$ [mm]	120	160	320
		$c_{cr,sp}$ [mm]	60	80	160
	$2.0 > h/h_{ef} > 1.3$	$s_{cr,sp}$ [mm]			
		$c_{cr,sp}$ [mm]			
	$h/h_{ef} \leq 1.3$	$s_{cr,sp}$ [mm]	271	362	723
		$c_{cr,sp}$ [mm]	136	181	362
		h_{min} [mm]	100	110	190

$$f_{c2.sp} := 1$$

anyag vastagságának a hatása:

$$h_{\min} := 100 \quad h := 100$$

$$f_h := \left(\frac{h}{h_{\min}} \right)^{\frac{2}{3}} = 1$$

tehát a próbatest kettéhasadásához tartozó ellenállás:

$$N_{Rd.sp} := N_{Rd.c0} \cdot f_b \cdot N_c \cdot f_{s1.sp} \cdot f_{s2.sp} \cdot f_{s3.sp} \cdot f_{c1.sp} \cdot A \cdot f_{c1.sp} \cdot B \cdot f_{c2.sp} \cdot f_h = 17.874 \cdot \text{kN}$$

A kapcsolat teherbírásának tervezési értéke a fent említett tönkremenetelehez tartozó értékek közül a minimális:

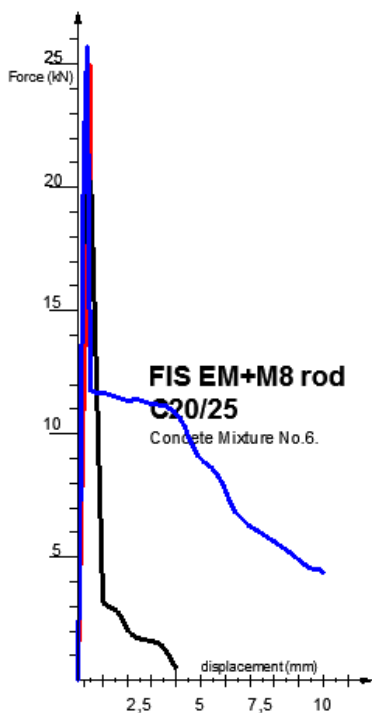
$$N_{Rd} := \min(N_{Rd.s}, N_{Rd.p}, N_{Rd.c}, N_{Rd.sp}) = 16.422 \cdot \text{kN}$$

a karakterisztikus ellenállás: $N_{Rd} \cdot 1.5 = 24.633 \cdot \text{kN}$

Az általunk mért kihúzóerőhöz tartozó erők átlaga

$$24.982 \cdot \text{kN}$$

Tehát a számítási modellel való egyezés alátámasztja a mérésünk megfelelő pontosságát.



4. FIS EM ragasztóval rögzített M8 8.8 szár húzási ellenállásának ellenőrzése grániton

Kiindulási adatok:

mészke, Haraszt

$$f_{ck.cube} := 86.74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A vizsgálatok során eltört gránit nyomószilárdságának várható értéke 84.78 Mpa (6.5. táblázat), ezért $f_{ck.cube}$ helyére nem a karakterisztikus nyomószilárdság érték hanem a várható érték került, hogy a számítási modell a kihúzási erő várható értékét adja (ténylegesen azt amit mi is mértünk).

próbatest geometriája: 25x20x10 cm, és a dübel központosan van elhelyezve

Steel failure:

$$N_{Rd,s}$$

Combined pull-out and concrete cone failure:

$$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \cdot f_{b,N,p} \cdot f_{s1,p} \cdot f_{s2,p} \cdot f_{s3,p} \cdot f_{c1,p,A} \cdot f_{c1,p,B} \cdot f_{c2,p}$$

Concrete cone failure:

$$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_{b,N,c} \cdot f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3} \cdot f_{c1,A} \cdot f_{c1,B} \cdot f_{c2}$$

Concrete splitting failure:

$$N_{Rd,sp} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_{b,N,c} \cdot f_{s1,sp} \cdot f_{s2,sp} \cdot f_{s3,sp} \cdot f_{c1,sp,A} \cdot f_{c1,sp,B} \cdot f_{c2,sp} \cdot f_h$$

- acél szárszakadáshoz tartozó ellenállás

$$N_{Rd,s} := 20.0 \text{ kN}$$

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

- kihúzóadás és szakadókúp kombinációjához tartozó ellenállás meghatározás

$$N_{Rd,p0} := 16.1 \text{ kN}$$

beton nyomószilárdság hatása:

$$f_{ck,cube} := 86.74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{b,N,p} := 1.15$$

Anchor type		FIS EM M8		
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

dübelek egymástól való távolságának a hatása:

$$f_{s1,p} := 1$$

$$f_{s2,p} := 1$$

$$f_{s3,p} := 1 \quad (\text{csak egy dübelt alkalmaztunk})$$

dübelek szélétől való távolsága

$$c_{cr,N} := 90$$

$$c := 100$$

$$f_{c1,p,A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \right), 1 \right] = 1$$

$$f_{c1,p,B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr,N}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2,p} := 1$$

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

$$N_{Rd,p} := N_{Rd,p0} \cdot f_{b,N,p} \cdot f_{s1,p} \cdot f_{s2,p} \cdot f_{s3,p} \cdot f_{c1,p,A} \cdot f_{c1,p,B} \cdot f_{c2,p} = 18.515 \cdot \text{kN}$$

- szakadókúp kialakulásához tartozó ellenállás meghatározása:

$$N_{Rd,c0} := 15.6 \text{ kN}$$

beton nyomószilárdság hatása:

$$f_{ck,cube} := 86.74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{b,N,c} := \sqrt{\frac{f_{ck,cube}}{25}} = 1.863$$

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

dübelek tengelytávolságának hatása:

$f_{s1} := f_{s2} = 1 \cdot f_{s3}$ dübelek tengelytávolságából származó redukciós tényező 1, mert csak 1 dübelt alkalmazunk

$$f_{s1} := 1 \quad f_{s2} := 1 \quad f_{s3} := 1$$

dübelek széltől való távolságának hatása (spacing):

$$c_{cr,N} := 90 \quad c := 100$$

$$f_{c1,A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \right), 1 \right] = 1$$

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

$$f_{c1,B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr,N}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2} := 1$$

tehát a széltől való távolságból származó redukció 1.

tehát a szakadókúpos tönkremenetelhez tartozó ellenállás:

$$N_{Rd,c} := N_{Rd,c0} \cdot f_{b,N,c} \cdot f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3} \cdot f_{c1,A} \cdot f_{c1,B} \cdot f_{c2} = 29.058 \cdot \text{kN}$$

alapanyag hasadásához tartozó ellenállás

$$N_{Rd,c0} = 15.6 \cdot \text{kN} \quad (\text{ld. előző pontban})$$

$$f_{b,N,c} = 1.863$$

dübelek tengelytávolságának hatása 1, mert csak egy dübelt használunk

$$f_{s1,sp} := 1 \quad f_{s2,sp} := 1 \quad f_{s3,sp} := 1$$

dübel széltől való távolsága

$$c_{cr,sp} := 60 \quad c = 100$$

$$f_{c1,sp,A} := \min \left[\left(0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,sp}} \right), 1 \right] = 1$$

$$f_{c1,sp,B} := \min \left[\left(1.0 + \frac{c}{c_{cr,sp}} \right), 1 \right] = 1 \quad f_{c2,sp} := 1$$

Anchor type			FIS EM M8		
eff. anchorage depth		h_{ef} [mm]	60	80	160
application with concrete member thickness	$h/h_{ef} \geq 2.0$	$s_{cr,sp}$ [mm]	120	160	320
		$c_{cr,sp}$ [mm]	60	80	160
	$2.0 > h/h_{ef} > 1.3$	$s_{cr,sp}$ [mm]			
		$c_{cr,sp}$ [mm]			
	$h/h_{ef} \leq 1.3$	$s_{cr,sp}$ [mm]	271	362	723
		$c_{cr,sp}$ [mm]	136	181	362
		h_{min} [mm]	100	110	190

anyag vastagságának a hatása:

$$h_{min} := 100 \quad h := 100$$

$$f_h := \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{\frac{2}{3}} = 1$$

tehát a próbatest kettéhasadásához tartozó ellenállás:

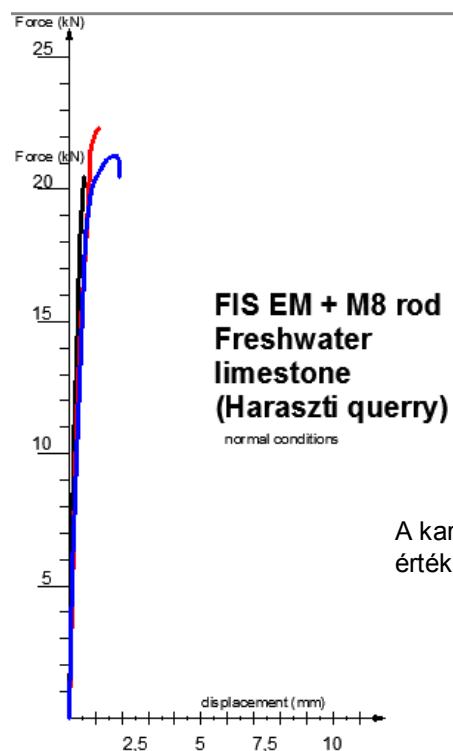
$$N_{Rd,sp} := N_{Rd,c0} \cdot f_{b,N,c} \cdot f_{s1,sp} \cdot f_{s2,sp} \cdot f_{s3,sp} \cdot f_{c1,sp,A} \cdot f_{c1,sp,B} \cdot f_{c2,sp} \cdot f_h = 29.058 \cdot \text{kN}$$

A kapcsolat teherbírásának tervezési értéke a fent említett tönkremenetelehez tartozó értékek közül a minimális:

$$N_{Rd} := \min(N_{Rd.s}, N_{Rd.p}, N_{Rd.c}, N_{Rd.sp}) = 18.515 \cdot \text{kN} \quad \text{tervezési érték}$$

$$N_{Rd} \cdot 1.5 = 27.773 \cdot \text{kN} \quad \text{karakterisztikus érték}$$

A mérésein alapján a kihúzáshoz tartozó erők átlaga: 22.704 kN



Megállapítható, hogy terméskövekre a számítási modell ragasztott kapcsolatok esetén, nem megfelelő. Az eltérés legalább 5 kN.

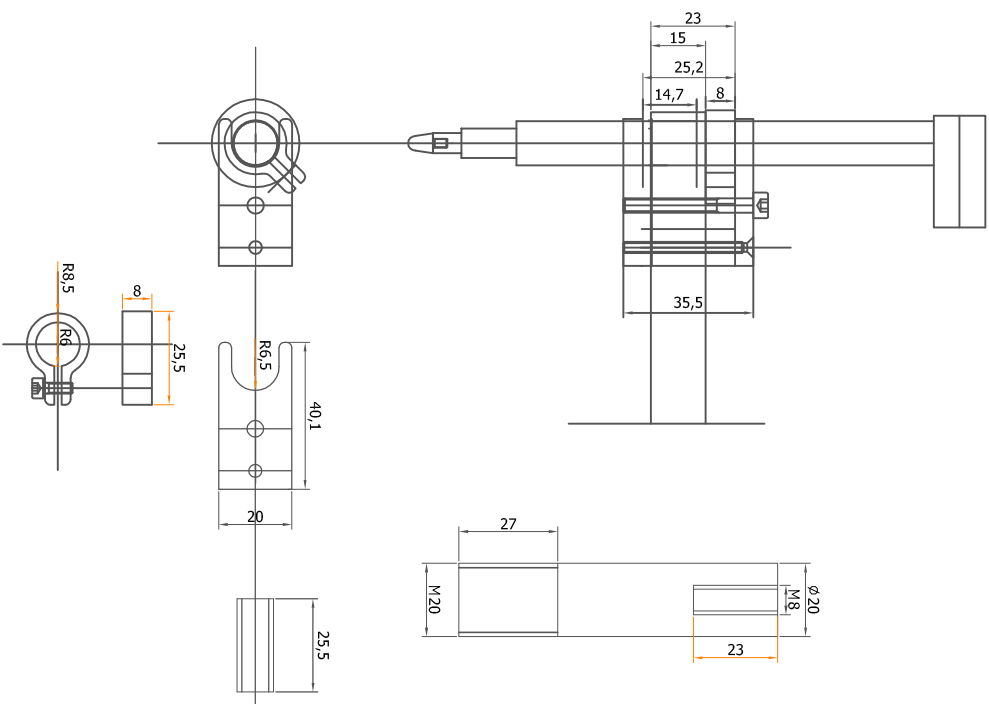
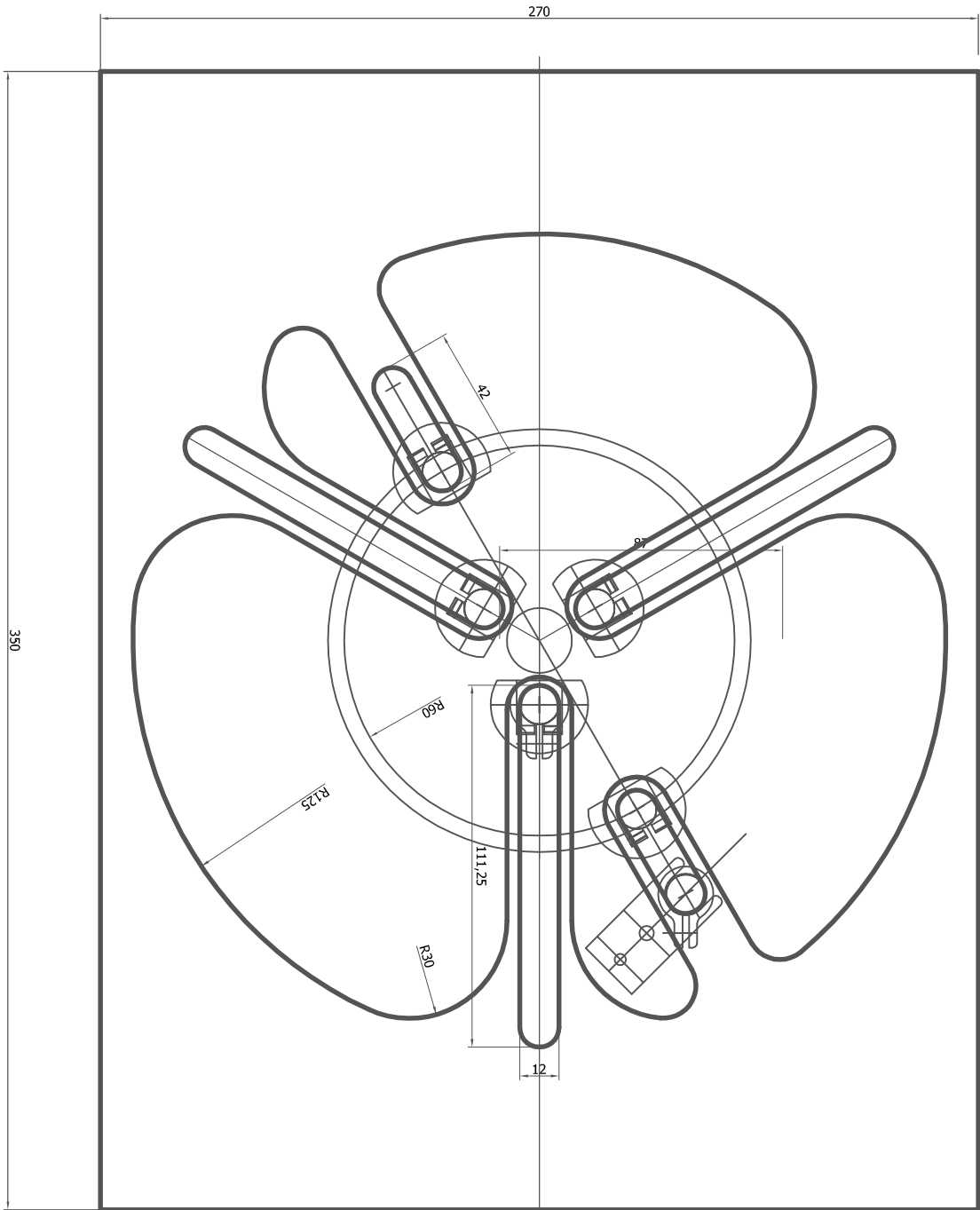
A karakterisztikus értéknél a várható érték még nagyobb érték, tehát az eltérés valóban "legalább" 5 kN.

Készült a Fischer Technical Handbook 2011 számítási segédlete alapján

Budapest, 2011.10.27.

Tóth Máté, Hlavicka Viktor

ELMOZDULÁSMÉRŐ RÖGZÍTÉSÉRE SZOLGÁLÓ SZERELVÉNYEK



BME GYÁRTÁSTUDOMÁNY ÉS -TECHNOLÓGIA TANSZÉK			
M Ő E G Y Á R T Á S I T Ő R É S Z			
1111 Budapest, Magyaror. Rep. 3.			
Projekt:	Rögzítőkészlet, kinyitódoboznak összehajszórtó	Rögz. méret:	A4
Vizsgálata	előírt szilárdsági beton és terméskő esetén	Dátum:	2011. március 25.
Típus:	Elmozdulásmérő rögzítésére szolgáló	Mezárás:	Re-112
acél tartókörrel gyártmány/any			
Típus:	10000 mm, 1000 mm, 1000 mm, 1000 mm	Rögz. szám:	2