

Betonacél tapadása különböző könnyű adalékanyagok alkalmazása esetén

NEMES RITA, PhD ■ BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék ■ nemes.rita@gmail.com

TÖRÖK BÁLINT ■ Jakem AG Stahlbau Fassadenbau ■ balint.toeroek@gmail.com

Érkezett: 2014. 02. 02. ■ Received: 02. 02. 2014. ■ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.2>

Bond of steel reinforcement in different lightweight aggregate concretes

Nowadays both concrete and reinforcing steel are of significant interest in research and development, including the question of bond between concrete and reinforcing materials. Steel bars and non metallic bars are studied in details, but the composition of the concrete is rarely investigated as a varying parameter. Earlier literature data discussed only compressive strength grade up to B200 (cca. LC12-LC16). Many recent publications mainly compare the bond strength with only concrete strength grade, and do not examine the type of aggregate. Our research focused on the bond between lightweight aggregate concrete (LWAC) and deformed steel bar (BSt 500 S) with standard pull-out test. The variable parameter was the type of aggregate: expanded clay gravel and sand, expanded glass gravel, crushed ceramic brick gravel and sand, as well as natural quartz gravel and sand for reference. The compressive strength of lightweight aggregate concrete is lower than the compressive strength of a normal weight concrete with the same cement and water content and same volume of aggregate. Our experiments resulted that the ratio between bond strength and compressive strength is not significantly different in case of lightweight aggregate concrete compared to normal weight concrete. In case of full lightweight aggregate content (as fine and coarse aggregate) this ratio can be higher than that of normal weight concrete.

Keywords: concrete, bond, lightweight aggregates, pull-out test

Kulcsszavak: beton, tapadás, könnyű adalékanyagok, kihúzó vizsgálat

1. Bevezetés

Napjainkban mind a betonok mind a betonacélok (vagy az azt helyettesítő nem acél anyagú betétek) területén jelentős kutatás folyik. Minden esetben fontos kérdés a beton és a betonacél együttműködése. Ez részletesen kutatott terület különleges acélbetétek és nem acél anyagú betétek esetén [1],[2], különleges körülmények között is [3],[4], de a hagyományostól eltérő beton alkalmazásának hatása a betonacélok tapadására kevésbé ismert. A betonacélok viselkedését könnyűbetonokban, elsősorban a különböző betonacélok szempontjából vizsgálták. A korábbi részletes szakirodalmi adatok pedig csak B200-ig (~LC12~LC16-ig) foglalkoztak a különböző könnyűbetonok és betonacélok tapadásra, kapcsolati feszültségre vonatkozó hatásával [5]. Az újabb publikációk is elsősorban nyomószilárdsági szempontok szerint hasonlítják össze a viselkedést [6], és az adalékanyagok fajtájára vonatkozóan nem találtak szakirodalmi adatokat. Jelen vizsgálatunkban erre koncentráltunk.

A vasbeton ideálisnak feltételezett mechanikai viselkedésénél a húzó- és nyomóerő felvétele külön történik: a beton csak nyomóerőt vesz fel, míg a betonacél csak húzóerőt, így az együttműködésük alapvető feltétel. Ezen túlmenően, hogy a használhatósági és teherbírási határállapotokat le tudjuk ellenőrizni, ismernünk kell a két anyag között kialakuló kapcsolati erőket, és azok határait. Ezek az együttműködést biztosító erők számos tényezőtől függnek, mint a betonacél minősége, a szilárdsága, alakváltozási képessége és bordázatának kialakítása (alak, felület); a beton minősége, a bebetonozott hossz, stb. Ezek számos kombinációja teszi nagyon nehezen általánosíthatóvá a kialakuló kapcsolati erőt. Így nagyon sok kutatásra,

kísérletre van szükség, míg általános érvényű szabályokat tudunk alkotni ebben a témakörben. Ugyanakkor a speciális esetekre ezeket külön ellenőrizni kell. Ilyen speciális eset például a könnyűbeton. A könnyűbetonokat teherhordó szerkezetként is egyre gyakrabban alkalmazzuk az egyre nagyobb szilárdságuknak köszönhetően, ehhez viszont szükséges az adalékanyagok könnyűbeton és a betonacél együttműködésének részletes ismerete.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A beton és a betonacél kapcsolata

A beton és a betonacél kapcsolata a vasbeton működésének meghatározó tényezője. A két összetevő között együttműködés jön létre, ami nem más, mint a határfelületen kialakuló kapcsolati erő. Az együttműködés a mechanikai hatások összegeként áll elő. A vasbeton és könnyűbeton tartók teherbírásának feltétele, hogy az acélbetét a betonban ne csússzon meg. Ezt segíti a betonacél bordázata is. A tartókban a terhelés hatására a betonacél behúzódása, a megcsúszás mindig a végeken jelentkezik, és a terhelés növelésével egyre beljebb terjed. Így statikai szempontból elsősorban az acélbetétek végeinek megfelelő lehorgonyozódását kell biztosítanunk. Az alapvető kérdés, hogy milyen hosszra kell az acélbetétet a betonba beágyazni, hogy az általa felvehető húzóerőt a felületén, tapadófeszültség révén a betonnak biztonságosan átadhassa. A repedésmentes vasbeton, illetve a vasalt könnyűbeton elemekben elhelyezett acélbetét és a beton együttműködését az $\epsilon_c = \epsilon_s$ feltételezés alapján számíthatjuk (ahol ϵ_c a beton, míg ϵ_s az acélbetét fajlagos alakváltozása). Az egyenlet szerint az azonos fajlagos alakváltozás következtében az acélbetét környezetében a beton

Dr. Nemes Rita

Okl. építőmérnök, PhD, egyetemi adjunktus a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: könnyűbeton összetételének tervezése, könnyűbeton szerkezetek tervezése. A fib Magyar Tagozat tagja. Az SZTE Beton Szakosztály tagja.

Török Bálint

Okl. építőmérnök, statikus, projektvezető, Jakem AG Stahlbau Fassadenbau, Zürich. Fő érdeklődési területei: magasépítési szerkezettervezés-optimalizálás, acélszerkezetek, mélyépítési vasbetonszerkezetek viselkedése különböző járműterhekre.

a beágyazott betonacélokkal együtt nyúlik. Az együttdolgozást a beton és az acélbetét érintkező felületein kialakult kapcsolat biztosítja. Ezt a kapcsolatot általánosságban tapadásnak hívjuk. Ez a jelenség egymást követő állapotokból, tényezőkből áll [7]. A kezdeti, vagy adhéziós állapot, a betonban lévő cementnek az acélbetét felületén kialakuló, részben fizikai, részben kémiai kapcsolata alapján jön létre. Ebben az állapotban az acélbetét és a beton egymáshoz képest relatív elmozdulás nélkül együtt változtatja az alakját. A növekvő terhelés hatására az adhéziós állapot megszűnése következtében az acélbetét és a beton közötti elmozdulás linearitása megszűnik. A betonba ágyazott betonacélnak – teljes hossza mentén sértetlen adhéziós kapcsolat esetén – a feltámaszkodási pontban az elmozdulása a terhelőerővel arányos.

A tulajdonképpeni tapadás (nekitámaszkodás) jelensége az adhéziós és a súrlódási tapadást egyaránt előnyösen fokozza. Az érintkező felületek – elsősorban az acélbetét – felületi érdessége, azaz az acélbetét felületéből kiálló bordák nyomást gyakorolnak az érintkező betontestre, ezért a kapcsolati erő növekszik.

A felhasadás akkor következik be, ha a betonacél relatív bordafelülete túl nagy, vagy nem megfelelő nagyságú a betonfedés. Ellenkező esetben, a kapcsolati erőket a beton a fogak feltámaszkodásával veszi fel egészen a szétmorzsolódásig, amikor is a betonfogak elnyíródnak. Ez a pont a kapcsolati feszültség maximum pontja. Ezután a relatív elmozdulás folyamatos növekedése mellett a súrlódás által még van együttdolgozás, de ez nem jelent nagy erőket [8].

2.2. Együttdolgozást befolyásoló tényezők

Ha a beton húzószilárdságának kimerülése a mértékadó tönkremenetel, akkor a betontest felhasad. A szakirodalomban sok erre irányuló kísérlet alapján kijelenthető, hogy a beton húzás során kialakuló *képlékenyedése*, vagy *puhulása* a kezdeti mikrorepedések következménye. Amikor a betonban mikrorepedések jönnek létre, akkor a betonacél bordázataról a nyomóerő koncentráltan adódik át a betonra, ekkor a beton nyomószilárdsága is meghatározó tényező. A kapcsolati erők átadása szempontjából meghatározó tényező a betonacél felülete. A hatás a fajlagos bordafelülettel (α_{sb}) jellemezhető.

$$\alpha_{sb} = \frac{k \cdot F_R \cdot \sin \beta}{\pi \cdot \phi \cdot c_s} + \frac{i \cdot a_1}{j \cdot \phi} \quad (1)$$

ahol

F_R – az acélbetét bordamentén vett keresztmetszeti területe

a_1 – az acélbetét hosszanti bordamagassága

c_s – a távolság a keresztbordák között

i – a bordák száma

$j \cdot \phi$ – a hosszanti csavart borda hossza

k – a keresztbordák száma az acélbetét kerülete mentén

β – dőlésszög a bordázat és az acélbetét hosszanti tengelye között

ϕ – névleges átmérő

Ahogy növekszik a relatív bordafelület úgy nő lineárisan a tapadás erőssége. A tapadás erősödésével csökken a csúszás mértéke. Az α_{sb} értékét célszerű 0,05 és 0,08 között tartani. A felhasadás veszélye is nő mindezek mellett, ha az α_{sb} értéke

növekszik. Fontos tényezők a tapadás vizsgálatának szempontjából [9]:

- a betonacél helyzete a vizsgálat során,
- a beton összetétele,
- az adalékanyag legnagyobb szemnagysága,
- a szabad acél felület,
- az egy síkban lévő betonacélok száma,
- a terhelés módja és mértéke.

2.3. Könnyűbetonok

A 2000 kg/m³-nél kisebb száraz testsűrűségű betonokat nevezzük könnyűbetonoknak. A betonok testsűrűségét kétféle módon csökkenthetjük, vagy a cementkő vagy az adalékanyag porozításának növelésével. Ha a hagyományos adalékanyagokhoz képest nagyobb porozítású, így kisebb testsűrűségű adalékanyagot alkalmazunk, akkor adalékanyagos könnyűbetonról beszélünk. A cementkő-vázuk, a hagyományoshoz képest általában kisebb víz-cement tényezőjű, jól tömörített, a beton rendszerint túltelített, tehát vasalhatók. Készíthetők tartószerkezeti, sőt akár nagyszilárdságú könnyűbetonok is. A leggyakrabban alkalmazott könnyű adalékanyag a duzzasztott agyagkavics, de egyéb duzzasztott termékek vagy aprított tufák is előfordulnak. Hulladékokat, pl. bontott téglát vagy bontott pórusbeton törmeléket is lehet alkalmazni [10]. Az adalékanyag fajtája (anyaga és teherbíró képessége) alapvetően befolyásolja könnyűbeton teherviselési módját, a húzó- és nyomószilárdság arányát [11].

2.4. Kihúzókísérletek

A betonacél tapadásának vizsgálatára számos módszert dolgoztak ki, amelyek két fő csoportra oszthatók [12]. A leggyakoribb módszer az egyszerű kihúzás. A betonacélt központosan kell bebetonozni a próbatestbe, és az előre megválasztott terhelési sebességgel és móddal kihúzni azt. Az erőt a betonacélra fejtjük ki, és az veszi fel az összes terhet. Ennél a vizsgálati módszernél mindenképp egytengelyű tiszta húzással kell terhelnünk a betonacélt, hogy a feszültség is egytengelyű legyen, különben nem a kihúzóerőt mérjük, hanem többtengelyű feszültségállapot következtében a próbatestünk felhasadhat. Ennél a kísérleti módnál a beágyazási hossz megválasztása is nagyon fontos, a maximális és minimális kapcsolati feszültségek aránya annál kisebb, minél kisebb a beágyazási hossz. A beágyazási hossz csökkentésének a betonacél bordázati kiosztása szab határt, így az ajánlott beágyazási hossz legalább 3Ø értékűre vehető fel, amely több kísérlet során is optimálisnak adódott. További, ritkán alkalmazott kihúzóerőkísérlet típusokat is említ a szakirodalom; például cél lehet az acélbetét hosszirányú nyúlásának mérése is. Olyan gerendakísérleteket is végeztek, ahol a külső teher nem közvetlenül a vasalásra hatott [6].

3. Laboratóriumi kísérletek

3.1. A kísérletek célja

A kísérleteink során az együttdolgozást vizsgáltuk a betonacél és a könnyűbetonok között. A kihúzóerőkísérletek közül az egyszerű kihúzás mellett döntöttünk. Állandó paraméter

volt a betonacél minden jellemzője: BSt 500 S minőségű Ø12 mm-es névleges átmérőjű bordázott betonacél. Változó paraméter a könnyűbeton adalékanyaga volt. A vizsgálatokat két eltérő korban, 7 napos és 28 napos korban, végig víz alatti tárolást követően végeztük el. Henger alakú beton próbatestet alkalmaztunk, amelynek előnye a kocka alakú próbatesthez képest, hogy konstans betonfedést biztosít, ezzel is pontosítva a kísérletet (1. ábra). A szakirodalom alapján a henger magasságát 10 cm-nek választottuk, amelyből 4 cm a beágyazási hossz, és 6 cm a szabad rész.



1. ábra A felhasított próbatesten jól látszik a bebetonozott és tapadásmentes acélhossz
Fig. 1. Bonded and debonded lengths are clearly visible on the split specimen

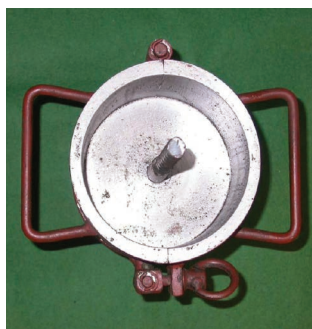
3.2. A kísérlet leírása

Speciálisan a kísérletekhez készített sablonokat használtunk (2. és 3. ábra). A kísérletek végrehajtásánál a 4. ábrán látható összeállítást alkalmaztuk. Egy acél terhelőkeretet szereltünk be a szakító gépbe. Az alsó és a felső fedéllapon is volt egy furat a betonacél számára. A keret függőleges helyzetét az alsó rögzítésnél lévő csuklóval értük el. A terhelőkeretben úgy helyeztük el a próbatestet, hogy a betontest egyik véglapja közvetlenül a felső fémlapra támaszkodott. Ezután befogtuk az acélszál felső végét, és az alsó végére rögzítettük az elmozdulásmérő szerkezetet, amelynek útadóit a betontest másik véglapjára ragasztottuk. A vizsgálat során a kerethez alulról csuklósan csatlakozó acélszárat húztuk lefelé, amelybe egy erőmérő volt beépítve. Így gyakorlatilag a keret nekifeszült a betonrésznek, és azt húzta lefelé a rögzített betonacélhoz képest. Az így kivitelezett vizsgálat során, szabályos próbatest esetén, egyenletesen felfeküdt a kihúzókeret, a betonacél kihúzódott, és mind az erő, mind az elmozdulásokat tudtuk mérni a kísérlet során.

A betonösszetétel volt a fő változó paraméter. Az összetevők térfogatos aránya megegyezett. Az adalékanyagok fajtáját változtattuk meg, ezzel együtt a könnyű adalékanyagok szilárdságának függvényében a beton szilárdsága is változott. Az etalon (1) kvarckavics és kvarchomok helyett a durva frakciót duzzasztott agyagkavicsal (3) és duzzasztott üveggavicsal (4) helyettesítettük és készítettünk egy keveréket (2) ahol a teljes adalékanyagot duzzasztott agyagkavicsal helyettesítettük és hasonlóan teljes egészében csak téglázualék adalékanyaggal (5) is készítettünk könnyűbetont.



2. ábra Az alkalmazott acélsablon összeszerelt állapotban
Fig. 2. Steel mould ready for concreting



3. ábra Acélsablon felülnézete
Fig. 3. Top view of the steel mould



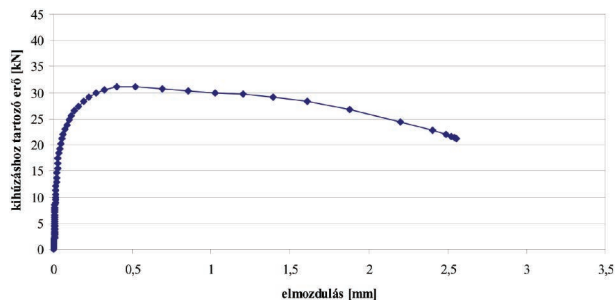
4. ábra Az alkalmazott acélkeret a kihúzáshoz
Fig. 4. Loading frame for the pull-out tests

Az adalékanyagok fajtája összetételenként:

- 1) kvarckavics (4/16) és természetes kvarchomok (0/4),
- 2) duzzasztott agyagkavics és homok (Liapor HD (5N) 4/16 és Liasand 0/8),
- 3) duzzasztott agyagkavics (Liapor HD (5N) 4/16 és természetes kvarchomok 0/4),
- 4) duzzasztott üveggavics (Geofil (800) 2/10 és természetes kvarchomok (0/4),
- 5) zúzott tégl (0/20).

Könnyű adalékanyagok esetén az elméleti víz-cement tényezőhöz képest – az adalékanyag félórás vízfelvételének megfelelő – többlet vízzel dolgoztunk és a folyósító adalék-szer adagolás is az adalékanyag függvényében változott, hogy azonos konzisztencia mellett tudjuk bedolgozni. A kihúzó próbatestek mellett készítettünk kocka próbatesteket is nyo-

mószilárdság vizsgálathoz. Ezek 70 mm élhosszúságú kockák voltak, tehát nem a szabványos szilárdságot határoztuk meg, de a vizsgált összetételek szilárdsági összehasonlításra alkalmasak. Minden esetben egy kihúzó és egy kocka próbatest készült. Egy receptúrából 3-3 db mindkét vizsgálati korbán. A kihúzás során mértük a betonacél elmozdulást az útdó segítségével a betonhengerhez képest és a reakcióerő értékét. Az értékeket folyamatosan megjelenítettük számítógépen. A kapott eredményt minden egyes esetben diagramon ábráztuk az 5. ábrán látható módon.



5. ábra (2) jelű összetétel (duzzasztott agyagkavics és homok adalékanyaggal) erő-elmozdulás diagramja 28 napos korban (B24 jelű próbatest)
 Fig. 5. Load-displacement diagram for 28 days of age specimen (expanded clay and sand aggregate, (2) mixture, B24 specimen)

A diagram első szakaszában nem történik elmozdulás, a tapadást az adhéziós erő biztosítja, azaz a cement fizikai, részben kémiai kötése. Majd amikor a berepedt betonba az acélfogak belekapaszkodnak, a betonacél elkezd erőt felvenni, közben folyamatosan nő a relatív elmozdulás értéke a betonhoz viszonyítva, ez mintegy lineáris növekedést mutat. Amikor a betonfogak elnyíródnak, a betonacél nem képes nagyobb erőt felvenni, és kihúzódik a betonból. Ez a diagramon a maximális erő értékénél jelenik meg, ahonnan kezdve a betonacél által felvett erő folyamatosan leépül.

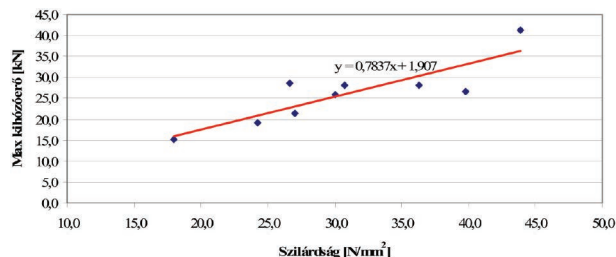
A kihúzás során igyekeztünk a lehető legkisebb terhelési sebességet alkalmazni, hogy ez ne befolyásolja a maximális kihúzóerő értékét. Ha nagyobb sebességgel terheltük a próbatestet, akkor sokkal nagyobb maximális erőt kaptunk eredményként, ám ekkor nem kihúzásra ment tönkre a hengerünk, hanem a legtöbbször felhasadt. A vizsgálatok során az erő-elmozdulás diagramok a fent leírtak szerint alakultak az összes esetben, csak a maximális erő értéke változott.

4. Eredmények

4.1. A szilárdság és a maximális kihúzóerő kapcsolata

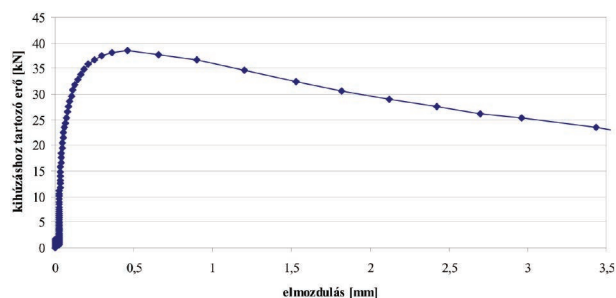
A nyomószilárdság és a maximális kihúzóerő értékelésekor a kapott kihúzóerő és nyomószilárdsági értékek átlagát vettük egy anyagra és korra vonatkoztatva, és azokat ábráztuk egymáshoz képest. A nyomószilárdság és a kihúzóerő kapcsolata lineárisan közelíthető, minél nagyobb a szilárdság, annál nagyobb a kihúzáshoz szükséges erő. A mérési eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze. Ez elsősorban az adalékanyagok közötti különbségre ad összefüggést, mert a cementkőváz mennyisége és szilárdsága azonos mindegyik vizsgált betonösszetétel esetén. Általános összefüggésként elmondható, hogy a nyomószilárdság növekedésével a kapcsolati erő lineárisan nő (6. ábra).

A 2. táblázatban közölt eredmények mutatják, hogy bár könnyűbetonok esetén kisebb nyomószilárdságot kaptunk a hagyományos betonhoz képest, és így természetesen a kihúzóerő is kisebbre adódott, azonban a kihúzóerő a nyomószilárdsághoz viszonyítva a könnyűbetonok esetén nem csökken. Ha csak az adalékanyag durva frakcióját cseréljük könnyű adalékanyagra, akkor a szilárdságok aránya közel azonos, mint normál betonnál, ha viszont a teljes adalékanyag mennyiség könnyű (2 és 5 jelű keverék), akkor a kihúzóerő a nyomószilárdsághoz viszonyítva nagyobb.

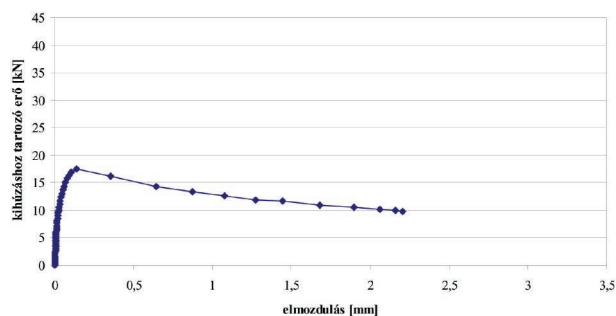


6. ábra A nyomószilárdság és a maximális kihúzóerő kapcsolata
 Fig. 6. Relationship between compressive strength and maximum pull-out force

Diagramon ábrázolva a kapott eredményeket alapvetően két különböző alakot kapunk. A duzzasztott üveggavics és természetes homok adalékanyaggal készített beton esetén kívül mindig egy rövid lineáris szakasz után (a maximális erő eléréséhez tartozó elmozdulás kb. 10%-ig), a maximális erő eléréseig nagy elmozdulások zajlanak le (a teljes kihúzóerőhöz tartozó elmozdulás kb. 50%-a), és ez már parabolikus jellegű. Ezután a teljes kihúzóerő jelenségéig az erő értéke alig változik (7. ábra).



7. ábra (1) jelű- etalon- összetétel (természetes kvarckavics és homok adalékanyaggal) erő-elmozdulás diagramja 28 napos korban (B5 jelű próbatest)
 Fig. 7. Load-displacement diagram for 28 days of age specimen (natural quartz gravel and sand aggregate, (1) reference mixture, B5 specimen)



8. ábra (4) jelű összetétel (duzzasztott üveggavics és természetes homok adalékanyaggal) erő-elmozdulás diagramja 28 napos korban (B35 jelű próbatest)
 Fig. 8. Load-displacement diagram for 28 days of age specimen (expanded glass and quartz sand aggregate, (4) mixture, B35 specimen)

A duzzasztott üvegvadics és természetes homok adalékanyagú betonoknál ettől eltérő viselkedést tapasztaltunk. Erre az volt a jellemző, hogy a terhelés elején az erő és az elmozdulás között majdnem a teljes maximális erő felvételéig lineáris kapcsolat állt fenn, majd a kihúzóerő elérése után az erő nem állandósult a teljes kihúzóerőig, hanem kis mértékben ugyan, de csökkent. A kihúzóerő maximuma kis elmozdulás mellett jelentkezett (0,1-0,15 mm) és mintegy a lineáris szakasz végét jelentette. Ebben az esetben tehát sokkal ridegebb kihúzóerővel van dolgunk (8. ábra).

4.2. A könnyű adalékanyag hatása a tapadásra

A kiértékelés során külön foglalkoztunk a duzzasztott agyagkavics és duzzasztott homok, illetőleg a duzzasztott agyagkavics és a természetes homok adalékanyaggal készített betonok eredményeinek a kapcsolatával. Azt vártuk, hogy a természetes homokkal készített beton nyomószilárdsága nagyobb lesz, ezért is készítettük el ezt a keveréket. Ez be is igazolódott (28 napos korban vizsgálva; ld. 1. táblázat).

Adalékanyag	Kor [nap]	Törőerő [kN]	Szilárdság [N/mm ²]	Max. kihúzóerő [kN]	Arány (Kihúzóerő/Törőerő) [%]
kvarckavics és kvarchomok (1)	7	190,5	39,8	26,6	14
	28	226,3	43,9	43,0	19
duzzasztott agyagkavics és homok (2)	7	80,3	16,2	25,9	32
	28	136,1	26,7	28,6	21
duzzasztott agyagkavics és term. homok (3)	7	123,3	24,3	19,0	15
	28	184,1	36,3	28	16
duzzasztott üvegvadics és term. homok (4)	7	90,1	18,0	15,1	17
	28	136,8	27,0	21,4	16
téglaüzalék (5)	7	157,9	30,7	28,1	18
	28	166,9	33,7	34,5	21

1. táblázat A nyomószilárdság és a kihúzóerő aránya a különböző összetételeknél
Table 1. Ratio of compressive strength and pull-out load for the compositions tested

A szilárdság és a maximális kihúzóerő kapcsolata alapján azt is várhatnánk, hogy a növekvő szilárdsági értékhez nagyobb kihúzóerő is tartozik. Ez a várakozásunk viszont nem igazolódott be. A teljes mértékben könnyű adalékanyag betonhoz nagyobb kihúzóerő tartozott, különösen 7 napos korban. Ekkor megvizsgáltuk a másik, csak könnyű adalékanyagot tartalmazó betont, a téglaüzalék adalékanyaggal készítettet, és ehhez szintén magas kihúzóerő érték tartozott (1. táblázat). Így a vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy a könnyű homokok alkalmazása kedvezően hat a beton és a betonacél együttműködésére.

A kort, mint változó tényezőt tekintve megállapíthatjuk, hogy a 28 napos vizsgálatoknál nagyobb kihúzóerőt tapasztaltunk, mint a 7 napos próbatesteknél. A betonszilárdság növekedésével, ahogy ez várható is volt, a beton és a betonacél közötti

tapadás is erősödik. A legjelentősebb növekedést a duzzasztott agyagkavics adalékanyag betonnál tapasztaltuk. Általánosan elmondható, hogy a kihúzóerő nagyobb mértékben növekedett, mint a nyomószilárdság (2. táblázat).

	Nyomószilárdság 28d/7d	Kihúzóerő 28d/7d
kvarckavics és homok	1,10	1,46
duzzasztott agyagkavics és homok	0,89	1,10
duzzasztott agyagkavics és természetes kvarchomok	1,50	1,48
duzzasztott üvegvadics és természetes kvarchomok	1,50	1,42
téglaüzalék	1,09	1,23

2. táblázat A nyomószilárdság és a maximális kihúzóerő arányának alakulása a 7. ill. 28 napos korban

Table 2. Time development of the ratio of compressive strength and pull-out load (7 and 28 days)

5. Összefoglalás

A kutatásaink során a beton és a betonacél együttműködését vizsgáltuk különböző könnyűbetonokban. A változó paraméter a beton összetétele, elsősorban az adalékanyag típusa volt (alkalmaztunk: duzzasztott agyagkavicsot, duzzasztott üvegvadicsot és téglaüzalékot könnyűbeton esetén, illetve kvarckavicsot etalonként), egy adott típusú (BSt 500S jelű) betonacéllal. A kihúzóerő kísérlet módja, a betonacél típusa és az utókezelés módja állandó tényezőként szerepelt. A betonacélokat henger alakú próbatestekbe központosan betonoztuk be. Kihúzó kísérleteket végeztünk, közvetlenül erre a célra készített kísérleti összeállításban, ügyelve arra, hogy a beton próbatestben csak tiszta nyomás keletkezzen. A kihúzás során mértük az erőt és a betonacél elmozdulását, és ezeket az adatokat folyamatosan ábrázoltuk. A kísérletsorozat során összesen ötféle könnyűbetont vizsgáltunk 7 ill. 28 napos korban.

A kihúzóerők összehasonlításakor megállapítható, hogy a legnagyobb kihúzóerő az etalon (kvarckavics adalékanyag) betonhoz tartozott, majd sorrendben utána következett a téglaüzalék adalékanyag beton, a duzzasztott agyagkavics és duzzasztott homok, majd a duzzasztott agyagkavics és természetes homok adalékanyagú és legvégül a duzzasztott üvegvadicsal és természetes homokkal készített beton.

A maximális erőhöz tartozó elmozdulás a normál betonnál volt a legnagyobb, 1,0 mm, a többi esetben 0,5 mm alatti értékeket kaptunk. A duzzasztott üvegvadics és természetes homok adalékanyaggal készült betonnál ez az érték nagyon kicsi volt (0,1 mm alatti), itt rideg kihúzóerő zajlott le.

A kihúzóerőhöz tartozó erő-elmozdulás diagramok kétféle alakúak voltak: az általános és a ridegebb tönkremenetelhez tartozó görbék. Kis elmozdulás mellett kialakuló maximális erő a duzzasztott üvegvadics és természetes homok adalékanyagú betonnál fordult elő, de az ehhez tartozó kihúzóerő volt a legkisebb.

6. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a Duna-Dráva Cement Kft.-nek, a Liabau Kft.-nek és a Geofil Kft.-nek, hogy biztosították számunkra a kísérletekhez szükséges alapanyagokat.

Irodalomjegyzék

- [1] Tefpers, R. (2004) Bond clause proposal for FRP-bars/rods in concrete based on CEB/PIF Model Code 90 with discussion of needed tests, Report 04:2 Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden
- [2] Borosnyói A. (2013) Betonszerkezetek korrózióállóságának biztosítása innovatív, szálerősítéssel polimer (FRP) anyagokkal. *Építőanyag-JSBCM*, 65. évf. 1. szám, pp. 26–31.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.6>
- [3] Lublőy É. – Borosnyói A. – Bánki T. – Balázs L. Gy. (2002) Bond of CFRP prestressing bars under elevated temperature. *Proceedings of 3rd International Symposium on Bond in Concrete – From Research to Standards*, Eds.: Balázs, Bartos, Cairns, Borosnyói, 20-22 November 2002, Budapest, pp. 685–691.
- [4] Borosnyói A. (2010) Szénszálalás polimer (CFRP) feszítőbetétek tapadása betonban – többparaméteres laboratóriumi vizsgálatok. *Építés-Építéstudomány*, 38. évf. 1-2. szám, pp. 95–120.
<http://dx.doi.org/10.1556/EpTud.38.2010.1-2.5>
- [5] Litrai T. – Tobiás L. (1965) Tanulmány – Betonacélok könnyűbetonokban, *Építéstudományi Intézet*, Budapest
- [6] Chen, H. J. – Huang, C. H. – Kao, Z. Y. (2004) Experimental investigation on steel-concrete bond in lightweight and normal weight concrete. *Structural Engineering and Mechanics* Vol. 17, No. 2, pp. 141–152
<http://dx.doi.org/10.12989/sem.2004.17.2.141>

- [7] Balogh T. (1993) A beton és a betonacél közötti együttműködés hatása a vasbetonszerkezetek teherbírására, Kandidátusi értekezés
- [8] Baranyai-Horváth M. (1965) Tanulmány – Betonacélok könnyűbetonokban, *Építéstudományi Intézet*, Budapest
- [9] Comité Euro-International du Béton (1982) Bulletin D'Information No.151 „Bond Action and Bond Behaviour of Reinforcement”, Contribution à la 22. Session Plénière du C.E.B.; Munich
- [10] Jankus B. – Fenyvesi O. – Józsa Zs. (2013) Újrahasznosított pórusbeton adalékanyagként való alkalmazhatósága könnyűbetonban. In: Dr Köllő Gábor (szerk.) XVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia: ÉPKO 2013. Csíksomlyó, Románia, 2013.06.13-2013.06.16. Kolozsvár: *Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság*, pp. 140–145.
- [11] Nemes, R. – Józsa, Zs. (2006) Strength of Lightweight Glass Aggregate Concrete. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 18, No. 5, pp. 710–714. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:5\(710\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:5(710))
- [12] Tastani, S. P. – Pantazopoulou, S. J. (2002) „Experimental Evaluation of the Direct Tension Pullout Bond Test”, *Proceedings of 3rd International Symposium on Bond in Concrete – From Research to Standards*, Eds.: Balázs, Bartos, Cairns, Borosnyói, 20-22 November 2002, Budapest, pp. 268–276.

Ref.:

Nemes R. – Török B.: *Betonacél tapadása különböző könnyű adalékanyagok alkalmazása esetén*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 66, No. 1 (2014), 7–12. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.2>

CCC 2014

Preliminary Invitation
and Call for Papers



Central European Congress
on Concrete Engineering
Středoevropský
betonářský kongres

LIBEREC 2014



CCC MEMBER COUNTRIES

The 10th Central European Congress on Concrete Engineering



Concrete Offers for the Period
of Economic Recovery

Preliminary Invitation
and Call for Papers

LIBEREC 2014
1–2 October 2014
Liberec,
Czech Republic

Host CCC Association
Czech Concrete Society
www.csbeton.eu

Congress website
www.csbeton.eu/ccc2014

