

KÍSÉRLETEK NAGY TELJESÍTŐKÉPESSÉGŰ BETONOKKAL

Farkas György - Huszár Zsolt** - Kovács Tamás*** - Szalai Kálmán*****

RÖVID KIVONAT

A nehéz, a különösen nehéz és a rendkívül nehéz forgalmi terhelési osztályba tartozó gyorsforgalmi utakon lévő hidak fenntartási költségeinek csökkentése, továbbá a fokozott tartóssági igények teljesítése érdekében változtatni kell az eddigi hídépítési gyakorlaton. Nemzetközi és hazai kutatási, valamint nemzetközi alkalmazási tapasztalatok alapján, a fokozott igények a nagyszilárdságú (High Strength Concrete - HSC) és a nagy teljesítőképességű (High Performance Concrete - HPC) betonból készülő vasbeton-, vagy feszített vasbeton szerkezetekkel elégíthetők ki.

Korábban OTKA támogatással, jelenleg az ÁKMI megbízásából a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén széleskörű kutatási program keretében vizsgáljuk a nagyszilárdságú és a nagy teljesítőképességű betonok jellemzőit, valamint az előállítás és a gyártás feltételrendszerét.

A továbbiakban ismertetjük a HSC/HPC betonok legfontosabb tulajdonságait és a tanszékünkön a hídépítési alkalmazásokkal kapcsolatos kísérletek eddigi eredményeit.

2. A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ÉS A NAGY TELJESÍTŐKÉPESSÉGŰ BETONOKRÓL

2.1. Betontechnológiai korszakváltás

A XX. században felgyorsult a tudományágak fejlődése. Az építőipari fejlődés napjainkban már szinte robbanásszerű. A modern vasbetonépítő-ipar ma már elképzelhetetlen az ún. építőipari vegyi anyagok (képlékenyítők, folyósítók, késleltetők, gyorsítók stb.) alkalmazása nélkül. Új megvilágításba kerültek a cementek (a hidraulikus, vagy puccolán-tulajdonságú anyagok általában), a betontervezésben központi szerepet játszik az adalékok (a szilikátalapú folyami homok és kavics és a mikro-adalékok) minősége, szemcsemérete, alakja, fajlagos felülete. A megszerzett új ismeretek mind a betontechnológia, mind az alkalmazott betonfajták területén jelentős előrelépéshez, korszakváltáshoz vezettek. [13].

Ennek legfrissebb eredménye a nagyszilárdságú és a nagy teljesítőképességű betonok (> C50/60) megjelenése a hazai vasbetonépítésben. A HSC-HPC betonok alkalmazása különösen nagy jelentőségű a hidak építésénél, ugyanis a hagyományos betonból, feszített vasbetonból készült hidak tartóssága a közutak téli

* okl. építőmérnök, Dr. habil. egyetemi tanár, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

** okl. építőmérnök, doktor univ. tudományos munkatárs, MTA Mérnöki szerkezetek Kutatócsoport

*** okl. építőmérnök, egyetemi tanársegéd, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

**** okl. mérnök, a műsz. tud. doktora, kutató professzor, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

csúszásmentesítéséhez hazánkban használt olvasztó sók miatt nem megfelelő. Ezzel szemben a HSC-HPC betonból készülő vasbeton, feszített vasbeton hidak a tartóssági igényeket kielégítik.

2.2. A korszerű betonfajták kialakulásának történeti áttekintése

Az elmúlt 50 évben a tudományos kutatás számos, jelentős eredményt ért el a betonszerkezetek fejlesztésének területén. A HSC-HPC betonok gyártási technológiájának kidolgozásában elsősorban az USA, Kanada, Japán és a Skandináv országok és újabban Franciaország állnak az élen. Az USA-ban már 1967-ben cikk jelent meg e tárgyban.

1980 után igen jelentős kutatás indult el az említett országokban a nagyszilárdságú beton alkalmazásának területén, főleg a felhőkarcolók oszlopaival, valamint a hidak nagy igénybevételű elemeivel kapcsolatban. 1988-ban Seattle-ben (USA) acélköpenyű oszlopoknál 131 N/mm^2 nyomószilárdságot értek el. A hídépítés területén Franciaországban az Elorn hídnál az átlagos nyomószilárdság 97 N/mm^2 volt.

1992 után a kutatás mindinkább a nagy teljesítőképességű betonok felé irányult, és ma már főként HPC betonokkal foglalkoznak. A beton összetételének változtatásával az alkalmazási célnak megfelelően lehet kombinálni a kedvező tulajdonságokat, mint pl. nagy szilárdság, öntömörödés, korai szilárdulás, alacsony permeabilitás, hosszú élettartam. A jövő perspektívája az „előre meghatározott tulajdonságú beton”.

A HSC-HPC betonokkal kapcsolatos első nemzetközi konferenciát 1987-ben Norvégiában Stavangerben tartották, “International Symposium on High-Strength/High-Performance Concrete” címen. A legutóbbi nemzetközi HSC/HPC konferenciát 2002-ben Lipcsében rendezték. A 2004 Avignoni Konferencia a vasbeton építés számos részterületére, többek között a HSC/HPC betonok vizsgálataira és alkalmazására is kiterjedt. A soron következő HSC/HPC konferenciát 2005-ben fogják tartani az USA-ban.

A kedvező eredmények nyomán a HSC-HPC betonok alkalmazása világszerte elterjedt. Számos folyóiratcikk jelent meg a kutatási eredményekről és a kivitelezett műtárgyakról, egyes közlemények az interneten is hozzáférhetőek. A CEB nyilvántartja azokat a kutatókat, akik e témával foglalkoznak.

2.3. Irodalmi áttekintés

Több kutatás foglalkozik az új, korszerű betonfajtákkal [1], [2], [3], [4]. Főbb témáik: a beton az összetétel, a szemcsenagyság megválasztásának szempontjai, a bedolgozhatóság, a mechanikai jellemzők és a tartósság. A korszerű betonfajták:

- Nagyszilárdságú beton (HSC)
- Nagy teljesítőképességű beton (HPC)
- Ultra nagyszilárdságú beton (UHSC)
- Öntömörödő beton (SCC)
- Szálerősítésű öntömörödő beton (FRSCC)
- Ultra nagy teljesítőképességű szálerősítésű beton (UHPFRC)

A kutatások egyik fő irányvonala a HPC betonban kialakuló autogén és plasztikus zsugorodás okainak, valamint a hidratáció alatt a betonban lezajló folyamatoknak a vizsgálata [5]. Ehhez kapcsolódik a zsugorodás csökkentése érdekében alkalmazott utókezelési módszerek értékelése.

A kutatások másik irányvonala a HPC betonok fagyállóságát befolyásoló legfontosabb tényezők – pl.: a fagyveszélyes pórusvíz-tartalom, az önszáradás alatti szabad víztartalom, a permeabilitás - vizsgálata [6]. Több kutató publikált laboratóriumi kísérleti eredményeket a HPC betonok sózás okozta károsodásaival kapcsolatban [7], [8], [9].

A HSC-HPC betonok ridegebb viselkedése miatt kiemelt figyelmet kell fordítani az ilyen betonból készült szerkezetek fáradási és nyírási viselkedésére [10].

Több publikáció ismerteti a modern beton- és acélanyagok felhasználásával a közelmúltban megépült hidak jellemzőit, és az építési és üzemeltetési tapasztalatokat [11], [12].

Az HPC betonok tulajdonságaival illetve a szerkezetépítésben való felhasználásukkal kapcsolatban az OTKA kutatási feladatok keretében BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén is intenzív kutatás folyt az elmúlt évtizedben. A [14] kutatási zárójelentésben a szerzők a HSC-HPC betonok összetételével, készítésével, a szerkezetépítésben való alkalmazásával és időállóságával foglalkoztak.

A [15] irodalom külön foglalkozik a vasbetonszerkezetek időállóságának speciális kérdéseivel. Ezek a tartósság csökkenésének legfontosabb okai, a tartósság biztosításának legfontosabb területei, valamint a betonstruktúra és a tartósság kapcsolata.

3. A HSC-HPC BETONOK JELLEMZÉSE

Az utóbbi években végzett sikeres kutatásoknak köszönhetően, a beton összetételének kis változtatásával jelentősen befolyásolhatók az anyag tulajdonságai. Első lépésként a betonhoz szilikaport adagolva létrejött a nagyszilárdságú (HSC) beton. Aztán felismerték, hogy különböző mérettartományú adalékanyag-szemcsék kombinációja mellett, minimális vízadagolással nagyobb tömörség érhető el, ha a bedolgozhatóságot plasztifikátor ill. folyósító szerekkel biztosítják.

3.1. Nagyszilárdságú beton (HSC)

Nagyszilárdságúnak nevezzük azokat a betonokat, amelyek hengeres próbatesten mért nyomószilárdsága $f_c = 60 \div 140 \text{ N/mm}^2$, és amelyek az építés helyszínén is előállíthatók [1], [2], [25]. Az $f_c = 140 \text{ N/mm}^2$ -nél nagyobb nyomószilárdság elérése, a cement és az adalékanyagok inhomogenitása miatt már lényegesen nehezebb feladat.

Az HSC beton mindenekelőtt abban különbözik a hagyományos betontól, hogy szilikapor adalékot is tartalmaz és víz/cement-tényezője hozzávetőlegesen 0,25-0,30 körüli érték. A keverék helyszíni kezelhetősége és bedolgozhatósága a kis víztartalom és a finom szemcsék nagy mennyisége miatt csak megfelelő plasztifikátorokkal biztosítható.

Az HSC beton ötkomponensű anyagi rendszer, melynek összetevői:

- cement,
- adalék, $d < 16$ mm,
- víz,
- finom adalékok (szilikapor, pernye),
- adalékszerek (plasztifikátorok késleltetők, vagy gyorsítók, stb.)

A HSC beton fontos anyaga a szilikapor, melynek fizikai és kémiai jellemzőit a 1. táblázatban adjuk meg. A táblázatban a cement mellett feltüntetjük a szilikapor és a pernye legfontosabb jellemzőit.

1. táblázat: A cement, a szilikapor és a pernye jellemzői

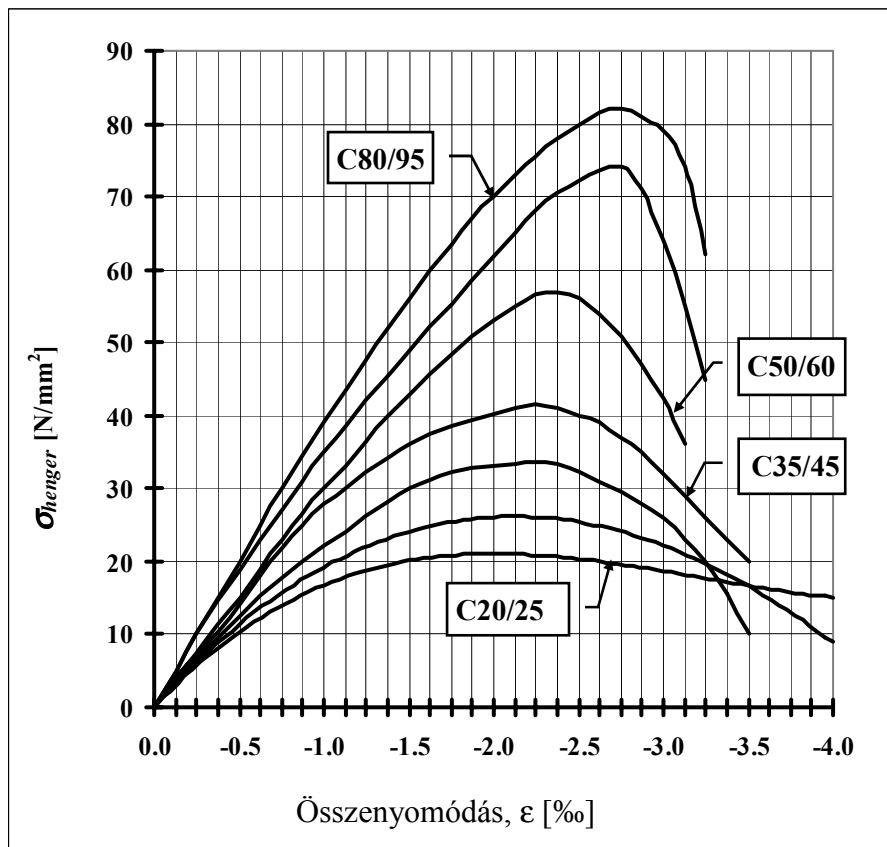
anyagok	fizikai jellemzők		kémiai jellemzők					
	fajlagos felület [m ² /kg]	sűrűség [kg/m ³]	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O N ₂ O
portlandcement	300-400	1 300	19,2	3,4	5,9	63,9	2,7	0,56
pernye	400-700	1 000	50,0	10,4	28,0	3,0	2,0	3,20
szilikapor	15 000-20 000	200-300	92,0	1,2	0,7	0,2	0,2	2,00

A szilikapor szemcse nagysága rendkívül kicsi, mindössze 1/100-ad része a cement szemcseméretének. Emiatt kitöltő anyagként jellemezhető. (Az angol elnevezés szilika-füst (silica fume) jobban megközelíti a valóságot.) A kicsi szemcsék jól kitöltik a cement szemcsék közötti hézagokat, ami által növelik a beton tömörségét. Ezen kívül még reakcióképesek is és elősegítik a cementpépben a nagyobb kristályok kialakulását és a közönséges betonokban megfigyelhető kötéseknél erősebb kötések létrejöttét. Emellett, a kötőanyag rugalmassági modulusa nagymértékben megnő, megközelítve az adalékokét. A szemcseváz a jó hézagkitöltéssel az optimumot közelíti így a beton sokkal homogénebbé válik, aminek eredményeképpen a nyomószilárdság megnő.

A HSC betonban mikro-repedések csak magasabb terhelési szinten következnek be, mint a szokásos normál szilárdságú betonokban, ezért a nyomó diagramban a lineáris rugalmassági szakasz hosszabb, mint a hagyományos betonok esetében (1. ábra).

A beton szilárdságának növelésével a nyomókísérletekben a σ - ϵ diagramok tetőpontja egyre nagyobb összenyomódásnál érhető el. A tetőponton túl a feszültségek meredeken csökkennek. Ennek következtében a nagyszilárdságú próbatesteken végzett nyomó-kísérletekben az elnyelt energiát kifejező görbe alatti területnek a tetőpont utáni része a teljes befektetett energiához viszonyítva kisebb, mint a normál betonok esetén, vagyis az anyag némileg ridegebbé válik. Ezt a szerkezet tervezésénél figyelembe kell venni.

A HSC betonok előállítási költsége az összetétel miatt 2-3-szorosan haladja meg a hagyományos betonokét ezért gazdaságosan csak ott alkalmazhatók, ahol a nagy szilárdságra és/vagy a fokozott tartósságra valóban szükség van. Alkalmazásuk indokolt hidak, beton útpályaburkolatok, illetve magas épületek, építmények függőleges tartószerkezeti elemei esetében.



1. ábra: Különböző nyomószilárdságú betonok σ - ϵ diagrammjainak összehasonlítása

Az HSC betonból készült szerkezetek előnyei a normál betonból készütekkel szemben:

- nagy szilárdság,
- kisebb cement felhasználás,
- kevesebb feszítőkábel szükséges,
- kisebb súly,
- rövidebb építési idő,
- tartósság,
- kisebb fenntartási költségek.

3.2. Nagy teljesítőképességű beton (HPC)

A nagyszilárdságú (HSC) beton továbbfejlesztésével jött létre a nagy teljesítőképességű (HPC) beton, mely a nagy szilárdságon kívül, számos más kedvező tulajdonsággal is rendelkezik [3]. A két betonfajta között nincs határozott választóvonal.

Az HPC betonnak egyenesítene kell a nagy teljesítőképességet az egyenletes anyagminőséggel, és az alábbi speciális követelményeket kell kielégítenie:

- jó bedolgozhatóság és tömörítés szétosztályozódás nélkül,
- térfogat állandóság,

- korai szilárdulás,
- időálló mechanikai tulajdonságok mostoha környezetben is (vízzáróság, só-, fagy- és kopásállóság).

Az adalékanyag optimális összetétele és minimálisra csökkentett vízadagolás ($w/c = 0,26 - 0,28$) és szuperplasztifikátor adagolás mellett a szilikapor, vagy (kisebb hatékonysággal és mértékben) a pernye alkalmazásával készített HPC beton folyadékokkal és gázokkal szembeni áteresztőképessége csökken, az időállósága növekszik. A szerkezet anyagai eleve jobban ellenállnak a külső agresszív környezetnek, pl. fagyáscsökkentő sók hatásainak.

3.3. Ultra nagyszilárdságú beton (UHSC)

Az ultra nagyszilárdságú beton előállításának alapelve, hogy minimálisra csökkentik a betonban a felhasználásra kerülő anyagok inhomogenitását [1]. Az alapanyagok megválasztásával és ezzel összefüggésben jó kivitelezéssel, valamint kellő utókezeléssel csökkenteni lehet a pórusok méretét és mennyiségét és ezzel a mikro-repedési hajlamot is. A betonkeverék szükséges homogenitása úgy érhető el, hogy korlátozzák a legnagyobb szemcsék átmérőjét, általában $d \leq 6$ mm. A homogenitás növelésével és a pórusok méretének csökkentésével a beton teherbíró képessége és időállósága jelentősen megnő.

A kémiai értelemben ideális esetben a vízcement – tényező $w/c = 0,13 - 0,15$ és nem haladhatja meg a 0,20 értéket. A bedolgozhatóságot megfelelő szuperplasztifikátorokkal lehet elérni.

Az előző szempontok szerinti betonkeverékkel és megfelelő utókezeléssel akár $200 \div 250$ N/mm² nyomószilárdság is elérhető. Kifinomult laboratóriumi körülmények között már 800 N/mm² szilárdságú betont is készítettek. Ugyanakkor azonban maga az anyag nagyon rideggé válik.

Annak érdekében, hogy az UHSC kedvező tulajdonságait teljesen kiaknázhassák, további szerkezeti változtatásokat kell alkalmazni a szükséges duktilitás érdekében. Ilyen lehet, pl. ösvér szerkezeteknél az UHSC betonnal kitöltött acélcső.

3.4. Öntömörödő beton (SCC)

A HPC betonok változatainak intenzív használata segítette elő, illetve eredményezte az öntömörödő beton [2] (Self-Compacting Concrete; SCC) kifejlesztését. Az SCC olyan beton, amely mézszerűen folyik, kiszorítja a levegőt, vagyis kitölti a zsaluzatnak minden üregét, tömörítés (vibrálás) nélkül is, csupán a gravitáció hatására. Az ilyen betont jó minőségben könnyen lehet önteni és bedolgozni még akkor is, ha nagyon sűrű a vasalás vagy nagyon bonyolult a zsaluzat alakja.

Az öntömörödő betonban többlet cementpép, szilikapor vagy mészköliszt és speciális adalékszerek adagolásával elérhető, hogy egy vékony kenőréteg vegye körül a szemcséket, ily módon a szemcsék lebegnek. Mivel ez a réteg nagyon vékony, hatása a megszilárdult beton tulajdonságait illetően nem jelentős. Szuperplasztifikátor adagolás a folyósságot tovább növeli.

A mészköliszt adagolással készült beton hosszabb távú viselkedését azonban valószínűleg kedvezőtlenül befolyásolja az a körülmény, hogy a mészkőszemcsék

(kalcium-karbonát: CaCO_3) a hidratáció folyamán nem képesek reakcióba lépni a cement szilikát ásványaival. Lényegében idegen elemként szerepelnek a rendszerben és jelenlétükkel a szilikát szemcsék közötti kötések lehetőségét csökkentik. Ez a hatás rontja a beton szilárdságát. (Igaz, ezt kezdetben a nagyobb homogenitás kompenzálja). A későbbiekben azonban, a pórusokban való vízmozgás, továbbá a széndioxid jelenléte miatt, a kalcium-karbonát részben kalcium-hidro-karbonáttá alakulhat, mely kioldódik. Így kedvezőtlen környezeti hatások esetén számítani lehet a pórusok kitágulására. A pórusméret növekedése a makroszinten mérhető szilárdság fokozatos csökkenéséhez vezethet.

A mészköliszt adagolásnak a tartósságra gyakorolt hosszabb távú hatását még részletesen nem vizsgálták, ezért a mészköliszt-betonok alkalmazása megbízhatóbb ismeretek hiányában, a hídépítésben nem javasolható.

4. A BME HIDAK ÉS SZERKEZETEK TANSZÉKÉN FOLYÓ KUTATÁSOK

4.1. A kutatások célja

A tanszéken egy évtizede folynak kutatások a nagyszilárdságú és nagyteljesítő-képességű (HSC-HPC) betonokkal kapcsolatban. Az OTKA (1993-1996) kutatási téma eredményeinek hasznosításaként jelenleg az ÁKMI (2002-2003) megbízásából folyamatban lévő kutatási program célja az HSC-HPC betonok hazai hídépítési alkalmazásának elősegítése, s ezzel együtt a hazai vállalatok EU szintű versenyképességének növelése.

4.2. A kutatási program ismertetése

Elővizsgálatok ismertetése

1. A kutatás feladata a C80/105 szilárdsági jelet megközelítő betonkeverék kiválasztása ipari méretű megvalósítással és az ilyen betonból készítendő hídgerendák legyártása törési vizsgálat céljából.
2. Az előzetes terveknek megfelelően a Ferrobeton Kft az 2. táblázat szerinti „A”, „B” és „C” (C50/60; C60/75; C70/85 tervezett szilárdsági jelű) betonkeverékeket készített üzemi körülmények között. A vizsgálatokat részben az üzem MEO Laboratóriumában, részben a BME Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék Laboratóriumában, illetve a Kemokorr Kft Laboratóriumában végeztük el.
3. Az előzetes tervek bővítéseként a TBG Ferihegyi úti üzeme is bekapcsolódott a vizsgálatokba. A TBG üzemében (a program véglegesítése kapcsán felvetődött) mészkő és szilikapor hatásának vizsgálatát Tóth Tibor betontechnológus szakmérnök közreműködésével végeztük. A vizsgálat fontosabb adatai az 2. táblázat „MK”, „SZ1”, „MKSZ” és „SZ” jelzésű soraiban találhatóak.

A C50/60 jelű és a C90/105 jelű betonkeverék és ebből feszített vasbeton gerenda gyártása

1. Az elővizsgálatok alapján betonkeverék összetételének véglegesítése és anyagvizsgálati célra próbaelemek gyártása és (a betonkor függvényében) részbeni vizsgálata.
2. A véglegesített betonkeverék felhasználásával feszített vasbeton híderendák gyártása.

4.3. Az előkísérletek adatai

A kutatás első lépéseként összeállítottuk – előkísérleti jelleggel – a 2. táblázat szerinti hét betonkeverék receptúráját. Ennek során a következő szempontokat vettük figyelembe:

- 1) tartós hídszerkezetekhez szükséges és megfelelő (min. C50/60) szilárdságú beton keverék biztosítása,
- 2) megfelelő fagyállóságú, továbbá
- 3) az acélbetétek korrózió védelmét biztosító betonkeverék kiválasztása.

A betonok kötőanyaga Ferrobeton esetén CEM-I 52,5, míg TBG-nél CEM I 42,5 cement volt, az adalékanyag mosott, osztályozott, I. osztályú, $d_{max} = 16$ mm kavics, és homokos kavics. Mindegyik keverékhez adagoltunk betonfolyósító adalékszer is.

2. táblázat: A betonkeverékek főbb adatai

Tervezett szilárdsági jel	Keverék jele	Cement [kg/m ³]	Víz/cement tényező	Adalékszer [%]	Mész-köliszt [%]	Szilika-por [%]
C50/60	„A”	440,6CEM-I 52,5	0,284	Glénium 51 1,15	--	--
C60/75	„B”	409,4CEM-I 52,5	0,282	Glénium 51 2,0	--	15
C70/85	„C”	450CEM-I 52,5	0,264	Glénium 51 2,0	--	10
C60/75	„MK”	420CEM-I 42,5	0,28	FM95 2,5	4,5	--
C60/75	„SZ1”	420CEM-I 42,5	0,28	FM95 2,5	--	4,5
C60/75	„MKSZ”	420CEM-I 42,5	0,28	FM95 2,5	4,5	3,0
C60/75	„SZ2”	420CEM-I 42,5	0,28	FM95 2,5	--	7,5

(Az utolsó három oszlopban a % a cement mennyiségére vonatkozik.)

Mindegyik receptúrából beton próbatesteket készítettünk, melyekből meghatároztuk a beton nyomószilárdságát, hasító-húzószilárdságát. Ezek alapján a következő megállapítások tehetők:

- A relatív hasító-húzószilárdság a mészköliszt adagolásakor a legnagyobb (f_c/f_t arány a legkisebb).

- A magasabb szilárdsági osztályoknál a nyomószilárdság hatékony növelése szilikapor adagolásával oldható meg.

Ezután a tartóssággal kapcsolatos – vízzárósági és fagyállósági és sóállósági – vizsgálatokat is végeztünk.

A fagyállóság vizsgálatokból megállapítottuk, hogy 50 fagyasztási ciklus után az A, B, C jelű keveréknél a tömegcsökkenés maximum 0,62%, míg a nyomószilárdság nem csökkent. A MK, SZ1, SZ2 és MKSZ jelű keverékeknél a tömegcsökkenés 2% alatt van, a szilárdságcsökkenés maximum 1,2%.

A 6 bar nyomás alatt végzett vízzárósági vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy az A, B, C jelű keverékeknél a vízbehatolás mélysége maximum 3 mm, a MK, SZ1, SZ2 és MKSZ jelű keverékeknél maximum 5 mm.

A sóállósági vizsgálat a próbatetek nagy tömörsége miatt a hagyományos elektropotenciál vizsgálattal nem lehetett elvégezni, mivel az ehhez szükséges mélységig nem hatolt be a sóoldat.

4.4. A tervezett feszített vasbetongerenda keverékének kiválasztása

Az előkísérletek eredményei alapján véglegesítettük a C90/105 szilárdsági jelű betonkeveréket (3. táblázat), amelyet a feszített vasbetongerenda kísérleteknél használunk.

3. táblázat: Ferrobeton dunaújvárosi üzemében készített betonkeverék

Anyag megnevezése	Testsűrűség [kg/m ³]	Mennyiség [kg/m ³]
1./ Cement: CEM 42,5	3 150	450
2./ Szilikapor (7,5%)		36
3./ Vízz	1 000	117
4./ Adalékanyag D _{max} =16 mm, m ₀ = 6,24 OH 0/4 homok 38 % OK 4/8 kavics 15 % Zúzalék 8/16 47 %	2 640	1 860
5./ mészkőliszt (0 %)	2 710	0
6./ Adalékszer: Glémium TM51 (2,2 %)	1 100	9,9
Frissbeton testsűrűség. [kg/m ³]		2 473

A C50/60 feszített gerendákhoz a 2. táblázat „A” jelű betonkeverékét használtuk.

4.5. A véglegesített betonkeverék vizsgálatai

Az előkísérletek és az előkeverés értékelése alapján kiválasztott C50/60 és C90/105 szilárdsági jelű betonból 8,6 méter hosszú feszített vasbetongerendák készültek a Ferrobeton dunaújvárosi üzemében.

A gerendán kívül ugyanabból a keverésből keverékenként 12 db 150 mm élhosszúságú kocka készült a nyomószilárdság, 3 db $\phi 150/300$ mm-es henger a hasító-húzó szilárdság megállapításához, továbbá 3 db $200 \times 200 \times 120$ mm-es hasáb a fagyállósági, 6 db 150 mm élhosszúságú kocka a vízzárósági, 6 db 90×50 mm-es henger a sóállósági, és 3 db $100 \times 100 \times 300$ mm hasáb a zsugorodási vizsgálatokhoz.

E tanulmányban a területi korlátok miatt a feszített gerendák vizsgálatának ismertetéséről le kell mondanunk.

Szilárdsági vizsgálatok

A 150 mm-es próbakockák nyomóvizsgálata 2 és 7 napos korban a Ferrobeton dunaújvárosi egységének MEO Laboratóriumában történt, míg 28 napos korban a nyomószilárdságot a BME Építőipari Laboratóriumában határoztuk meg.

A próbakockák nyomási szilárdságának mérési eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: A C50/60 és C90/105 jelű keverékek 28 napos szilárdsága

Keverék jele	N/mm ²		
	2 napos	7 napos	28 napos
C50/60			
1	63,2	58,7	65,87
2	57,4	57,4	65,43
3	61,4	66,2	60,24
átlagos érték	60,7	60,8	63,85
Szórás	3,4	5,2	3,33
karakterisztikus érték	50,2	44,8	53,67
C90/105			
1	74,5	88,0	107,22
2	69,3	79,6	111,25
3	73,9	89,5	110,81
4			111,70
5			111,26
6			112,14
7			131,57
8			109,33
9			110,81
10			107,73
átlagos érték	72,6	85,7	112,38
Szórás	3,05	5,86	6,80
karakterisztikus érték	62,7	65,80	101,20

A 150 mm átmérőjű és 300 mm magasságú (150*300) hengerek hasító-húzó szilárdságát 28 napos korban a BME Építőipari Laboratóriumában határoztuk meg. A vizsgálati eredményeket a 5. táblázatban adjuk meg.

5. táblázat: A hasító-húzó szilárdsági értékek

Keverék jele: C50/60	28 napos szilárdság [N/mm ²]
1. próbatest	4,88
2. próbatest	4,95
3. próbatest	5,71
átlagos érték	4,92
Szórás	0,46
karakterisztikus érték	4,57
Keverék jele: C90/105	
1. próbatest	5,80
2. próbatest	5,91
3. próbatest	7,13
átlagos érték	6,28
Szórás	0,74
karakterisztikus érték	4,60

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A gyorsforgalmi utak nehéz, különösen nehéz és rendkívül nehéz forgalmi terhelési osztályba tartozó hidak fenntartási költségeinek csökkentése, illetve a tartósság növelése érdekében hazai alkalmazásra javasolt nagyszilárdságú (HSC) és nagy teljesítőképességű (HPC) betonokkal kapcsolatos hazai és külföldi kutatási eredmények az alábbiakban foglalhatók össze:

1. Az HSC/HPC betonok alkalmazása különösen nagy jelentőségű a hidak építésénél. A hagyományos betonból, feszített vasbetonból készült hidak tartóssága ugyanis, a közutak téli csúszás-mentesítéshez hazánkban használt olvasztó sók miatt nem megfelelő. Ezzel ellentétben az HSC/HPC beton készülő vasbeton, feszített beton hidak tartóssága (só- és fagyállósága és vízzárósága) ugyanekkor minden igényt kielégítően, megfelelő.
2. A BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke irányításával ipari körülmények között gyártott próbatestek és feszített vasbeton híderendák tanszéki és üzemi laboratóriumokban nyert törési, fagy-és sóállósági, vízzárósági vizsgálatának eredményei tanúsítják, hogy az HSC/HPC betonok készítéséhez és ilyen beton felhasználásához a hazai tárgyi és személyi feltételek – egyelőre korlátozottan ugyan, de - rendelkezésre állnak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fenti tanulmány az MTA Támogatott Kutatóhelyek Irodája Mérnöki Szerkezetek Kutatócsoportjának részvételével és a T-32055 számú OTKA támogatásával készült.

HIVATKOZÁSOK

- [1] König, G.: High Performance Concrete in Hybrid Structures. *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002*, pp 92-102.
- [2] Walraven, J.C.: From High Strength, through High Performance, to Define Performance Concrete, *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002*, pp 77-89.
- [3] Hoff, G.C.: HPC/HSC – A North American Perspective, *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002*, pp 63-76.
- [4] Simon, A. - Hajár, Z. - Lecointre, D. - Petitjean, J.: Realization of two road bridges with Ultra-High-Performance Fibre Reinforced Concrete, *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002*, 753-768 pp.
- [5] Aitcin, P.C.: Curing HPC Structures to Minimize Early Cracking, *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002*, pp 1-15.
- [6] Fagerlund, G.: Freeze-Thaw Resistance of High-Performance Concrete, *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002*, pp 45-62.
- [7] Pinto, R. - Hover, K.: *Frost and Scaling Resistance of High-Strengt Concrete*. Report of Cornell University pp.1-75.
- [8] Cody, R.D. - Cody, A.M. - Spry, P.G. - Gan, G.: Experimental Deterioration of Highway Concrete by Chloride Deicing Salts. *Environmental & Engineering Geoscienc*, Vol. II, No.4. Winter 1996, pp. 575-588.
- [9] Detwiler, R.J. - Kojundic, T. - Fidjestol, P.: Evaluation of Bridge Deck Overlays. *Concrete International Magazine of American Concrete Institute*, August 1997, Vol. 19, No. 8.
- [10] Russell, H. G. et al.: Fatigue and Shear Behavior of HPC Bridge Girders, *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002* 543-552 pp
- [11] Toutlemonde, F. - Larrand, F. - Brazillier, D.: Structural Application of HPC: a Survey of Recent Research in France, *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002*, 17-34 pp.
- [12] Toutlemonde, F. - Legeron, F. - Brazillier, D.: Rational structural design using HPC in some typical bridge structures, *Proceedings of 6th Int. Symp. On High Strength/High Performance Concrete 2002*, 797-812 pp.
- [13] Szalai K.: A nagyszilárdságú beton a betontechnológia forradalma. *Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle* 1995. XLV. évf. 3. sz. 105-107. old.
- [14] Szalai K. (témafelelős): A nagyszilárdságú-nagy teljesítőképességű betonok és az abból készített tartószerkezetek mechanikájának specifikumai. OTKA kutatás 1993-96. Zárójelentés 1997.04.25.
- [15] Farkas Gy. – Szalai K.: Betontechnológia, az időálló vasbetonszerkezetek kulcsa. OTKA: T-7604