

Kiegészítőanyagok hatása a szokványos és az öntömörödő betonokra

2. rész. Laboratóriumi vizsgálatok

SALEM GEORGES NEHME • egyetemi docens, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
 ▪ sgnehme@yahoo.com

Érkezett: 2015. 02. 22. ▪ Received: 22. 02. 2015. ▪ <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.12>

Influence of supplementary cementing materials on conventional and self compacting concretes

Part. 2. Laboratory tests

The use of supplementary cementing materials in concrete technology may help reducing the large carbon-dioxide emission that is resulted from the production of Portland cements. The supplementary cementing materials can be classified as hydraulic additives, pozzolanic additives and inert additives. The supplementary cementing materials form calcium-silicate-hydrates and calcium-aluminate-hydrates with the calcium hydroxide available due to Portland cement hydration. Most active supplementary cementing materials are the silica fume and the metakaolin. The literature indicates that the application of silica fume or metakaolin improves the durability of concrete due to the finer pore microstructure that results lower porosity, lower permeability, higher strength, higher resistance against water penetration and higher resistance to acidic solutions. The present paper is the first part of a series of papers dealing with conventional and self compacting concretes containing silica fume or the metakaolin supplementary cementing materials. The first part gives a literature review of the supplementary cementing materials tested. The second part summarizes own experimental results.

Keywords: concrete, self compacting concrete, supplementary cementing materials, metakaolin, silica fume

Kulcsszavak: beton, öntömörödő beton, kiegészítőanyagok, metakaolin, szilikapor

1. Előzmények

Cikksorozatunk első részében összefoglaltuk a kapcsolódó szakirodalmi adatokat. Jelen cikk a saját kísérleti eredményeket ismerteti.

2. Kísérleti terv

A kísérlet célja a szilikapor, a metakaolin és a mézsköliszt adagolás hatásának elemzése a szokványos és öntömörödő betonokra, mind a frissbetonra, mind a megszilárdult betonra.

A kísérletek során 39 különböző receptúrát használtunk, ezeket az 1. táblázatban foglaljuk össze. A keverések fele szokványos, fele öntömörödő beton volt. A 18-18 keverést hármas csoportokra bontva készültek etalonok, szilikaport és metakaolint tartalmazó próbatestek.

A vizsgálatok során a következő állandó paramétereket alkalmaztuk:

- az adalékanyag szemmegoszlása,
- az adagolt víz mennyisége (180 l/m³),
- a cement típusa,
- 10 m % szilikapor és metakaolin.

A kísérletek változó paraméterei:

- a cement mennyisége (300, 320, 340, 360, 380, 400 és 420 kg/m³),
- az adagolt szilikapor és metakaolin mennyisége (a cementtartalom tömegének függvényében 30, 32, 36, 38, 40 és 42 kg/m³),
- a víz-cement tényező (0,60 - 0,56 - 0,53 - 0,50 - 0,47 - 0,45 - 0,429).

A kísérletekhez hét eltérő cementtartalmú receptúrát vettünk alapul. A kísérletek célja:

- A különböző cementtartalmú, de állandó víztartalmú szokványos és öntömörödő betonok esetén, hogyan változnak a friss és a megszilárdult betonok tulajdonságai metakaolin és szilikapor adagolása esetén a nagy fajlagos felületük miatt.
- Összehasonlítani a metakaolin hatását a szilikapor hatásához.

Az irodalom alapján a cement tömegére vonatkoztatott 10%-os adagolás mellett vizsgáltuk a szilikapor és a metakaolin hatását.

3. Kísérleti paraméterek

3.1 A kísérlet során felhasznált anyagok

3.1.1 Adalékanyag

Az alkalmazott adalékanyag homokos kavics volt (TBG, Basa utcai telep). A keverési arányokat a 2. táblázat tartalmazza.

A maximális szemmagyság $d_{max} = 16$ mm volt. Felhasználás előtt a kavicsot levegőn, a homokot pedig szárítószekrényben szárítottuk.

3.1.2 Kiegészítőanyagok

3.1.2.1 Szilikapor

Sika Silicoll P gyártmányú szilikaport használtunk a keverésekhez. A gyártótól származó adatokat a 3. táblázat tartalmazza (Sika, 2015).

Salem Georges NEHME

Okleveles építőmérnök, PhD, egyetemi docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén. A Magyar Szabványügyi Testület MSZT/MB 112 Építési üveg nemzeti szabványosító műszaki bizottság tagja; a *fib* Magyar Tagozat tagja; a Magyar Mérnöki Kamara tagja (MMK: 01-9159). Érdeklődési területei: betontechnológia, tömegbetonok, öntömörödő betonok, szálerősítésű betonok, minőségellenőrzés, roncsolásmentes anyagvizsgálatok, vasbeton szerkezetek, építőanyagok újrahaznosítása.

Jele	Ce-ment	Szi-likapor	Meta-kaolin	Mész-kőliszt	Finom-rész-tartalom	Víz	v/c
[kg/m ³]						[-]	
1	300	-	-	-	300	180	0,60
2	320	-	-	-	320	180	0,56
3	340	-	-	-	340	180	0,53
4	360	-	-	-	360	180	0,50
5	380	-	-	-	380	180	0,47
6	400	-	-	-	400	180	0,45
7	420	-	-	-	420	180	0,43
8	300	-	30	-	330	180	0,60
9	320	32	-	-	352	180	0,56
10	340	-	34	-	374	180	0,53
11	360	36	-	-	396	180	0,50
12	380	-	38	-	418	180	0,47
13	400	40	-	-	440	180	0,45
14	420	-	42	-	462	180	0,43
15	320	-	32	-	362	180	0,56
16	360	-	36	-	396	180	0,50
17	400	-	40	-	440	180	0,45
ÖNT 1	300	-	-	300	600	180	0,60
ÖNT 2	320	-	-	260	580	180	0,56
ÖNT 3	340	-	-	260	600	180	0,53
ÖNT 4	360	-	-	220	580	180	0,50
ÖNT 5	380	-	-	220	600	180	0,47
ÖNT 6	400	-	-	180	580	180	0,45
ÖNT 7	420	-	-	180	600	180	0,429
ÖNT 8	300	-	30	270	600	180	0,60
ÖNT 9	320	32	-	228	580	180	0,56
ÖNT 10	340	-	34	226	600	180	0,53
ÖNT 11	360	36	-	184	580	180	0,50
ÖNT 12	380	-	38	182	600	180	0,47
ÖNT 13	400	40	-	140	580	180	0,45
ÖNT 14	420	-	42	138	600	180	0,429
ÖNT 15	300	-	32	228	560	180	0,60
ÖNT 16	320	-	32	228	580	180	0,56
ÖNT 17	340	-	34	186	560	180	0,53
ÖNT 18	360	-	36	184	580	180	0,50
ÖNT 19	400	-	40	140	580	180	0,45
ÖNT 20	420	-	42	98	560	180	0,429
ÖNT 21	300	-	-	260	560	180	0,60
ÖNT 22	420	-	-	140	560	180	0,429

1. táblázat A beton összetételek
Table 1. Concrete compositions

Frakció mm	Keverési arány %
0/4	45
4/8	25
8/16	30

2. táblázat Adalékanyagok keverési arányai
Table 2. Mixing ratio of aggregate fractions

3.1.2.2 Metakaolin

Metaver® N típusú metakaolint használtunk a keverések során. A gyártó által megadott jellemzőket a 4. táblázat tartalmazza (Newchem, 2015).

3.1.3 Mész-kőliszt

Az öntömörödő betonhoz a Carmeuse által előállított mész-kőlisztet használtunk. A mész-kőliszt fajlagos felületét és sűrűségét az 5. táblázatban foglaltuk össze.

3.1.4 Adalékszer

A BASF által gyártott polikarboxilát éter bázisú Glenium® 51 jelű szuperfolyósítót használtuk a keverések során.

4. Vizsgálatok és eredmények

4.1 A frissbeton tulajdonságai

A konzisztencia meghatározását elsősorban területméréssel hajtottuk végre (6. táblázat).

A hagyományos betonok esetében a mérést az MSZ EN 12350-5:2009 szabvány alapján végeztük. Minden esetben két, egymásra merőleges mérés átlaga adta a mért értéket. A méreteket 0,5 cm pontossággal állapítottuk meg.

Az öntömörödő betonok roszakadási területét a kifolyási időt vizsgáltuk és az eredményeket a 6. táblázatban foglaltuk össze. Ellenőriztük a friss beton testsűrűségét is.

4.2 Nyomószilárdsági vizsgálatok

Az MSZ EN 12390-3:2009 szabványnak megfelelően a vizsgálat elvégzéséhez FORM+TEST gyártmányú ALPHA-3-3000 S jelű, 3000 kN maximális terhelésű, erővezérelt berendezést használtunk.

Keverésenként 3-3 darab 150 mm élhosszúságú próbakockát 1, 2, 7 és 28 napos korban törtünk el. A törőerőkből számított nyomószilárdságot a 7. táblázat tartalmazza.

Sika Silicoll P		
SiO ₂ tartalom	96 ± 1,5	%
Elsődleges szem nagyság	0,1 - 0,3	µm
Másodlagos részecskék (> 1 mm)	30	%

3. táblázat A szilikapor tulajdonságai
Table 3. Properties of silicafume

Fő kémiai összetevők		
SiO ₂	52-53	%
Al ₂ O ₃	43-44	%
Tipikus szemcseeloszlás (lézergranulométer)		
< 1mm	7 - 9	V%
d ₅₀	3,4 - 4,5	µm
d ₉₅	12 - 18	µm

4. táblázat Metakaolin tulajdonságai
Table 4. Properties of metakaolin

Mész-kőliszt tulajdonságai	
Sűrűség, g/cm ³	Fajlagos felület, m ² /kg
2.7455	658

5. táblázat Mész-kőliszt sűrűsége és fajlagos felülete
Table 5. Density and specific surface area of limestone powder

Jele	Cement	Szilikapor	Meta- kaolin	Mész- kő- liszt	Finomrész tartalom	Víz	v/c	Terület	Friss beton testsűrűség
				kg/m ³			[-]	mm	kg/m ³
1	300	-	-	-	300	180	0,60	575	2326
2	320	-	-	-	320	180	0,56	570	2363
3	340	-	-	-	340	180	0,53	505	2283
4	360	-	-	-	360	180	0,50	570	2371
5	380	-	-	-	380	180	0,47	565	2359
6	400	-	-	-	400	180	0,45	540	2362
7	420	-	-	-	420	180	0,43	570	2321
8	300	-	30	-	330	180	0,60	580	2344
9	320	32	-	-	352	180	0,56	525	2355
10	340	-	34	-	374	180	0,53	525	2291
11	360	36	-	-	396	180	0,50	540	2345
12	380	-	38	-	418	180	0,47	510	2282
13	400	40	-	-	440	180	0,45	520	2351
14	420	-	42	-	462	180	0,43	590	2323
15	320	-	32	-	362	180	0,56	550	2365
16	360	-	36	-	396	180	0,50	545	2357
17	400	-	40	-	440	180	0,45	530	2376
ÖNT 1	300	-	-	300	600	180	0,60	750	2310
ÖNT 2	320	-	-	260	580	180	0,56	710	2374
ÖNT 3	340	-	-	260	600	180	0,53	705	2383
ÖNT 4	360	-	-	220	580	180	0,50	750	2383
ÖNT 5	380	-	-	220	600	180	0,47	670	2354
ÖNT 6	400	-	-	180	580	180	0,45	760	2397
ÖNT 7	420	-	-	180	600	180	0,429	780	2321
ÖNT 8	300	-	30	270	600	180	0,60	745	2316
ÖNT 9	320	32	-	228	580	180	0,56	600	2365
ÖNT 10	340	-	34	226	600	180	0,53	705	2437
ÖNT 11	360	36	-	184	580	180	0,50	740	2376
ÖNT 12	380	-	38	182	600	180	0,47	750	2335
ÖNT 13	400	40	-	140	580	180	0,45	715	2390
ÖNT 14	420	-	42	138	600	180	0,429	740	2349
ÖNT 15	300	-	32	228	560	180	0,60	620	2337
ÖNT 16	320	-	32	228	580	180	0,56	675	2370
ÖNT 17	340	-	34	186	560	180	0,53	760	2334
ÖNT 18	360	-	36	184	580	180	0,50	745	2397
ÖNT 19	400	-	40	140	580	180	0,45	770	2356
ÖNT 20	420	-	42	98	560	180	0,429	700	2339
ÖNT 21	300	-	-	260	560	180	0,60	770	2326
ÖNT 22	420	-	-	140	560	180	0,429	755	2317

6. táblázat A területmérés eredményei

Table 6. Results of flow table tests

Jele	v/c	Nyomószilárdság, N/mm ²			
		1	2	7	28
1	0,60	4,34	-	28,1	44,8
2	0,56	-	14,6	28,1	45,4
3	0,53	6,67	-	28,7	47,8
4	0,50	-	19,5	36,6	48,9
5	0,47	7,21	-	37,9	52,6
6	0,45	-	22,2	41,4	53,5
7	0,43	10,53	-	42,1	65,1
8	0,60	6,71	-	34,1	57,7
9	0,56	-	17,3	40,4	60,8
10	0,53	6,71	-	35,9	66,7
11	0,50	-	23,8	47,7	70,2
12	0,47	7,68	-	49,7	70,1
13	0,45	-	25,2	50,0	71,9
14	0,43	8,96	-	51,9	77,2
15	0,56	-	16,1	34,3	56,5
16	0,50	-	25,8	46,2	68,4
17	0,45	-	29,9	51,2	73,3
ÖNT 1	0,60	7,01	-	31,3	51,8
ÖNT 2	0,56	6,3	20,4	36,9	49,7
ÖNT 3	0,53	7,8	-	37,4	56,5
ÖNT 4	0,50	7,2	26,8	45,9	59,4
ÖNT 5	0,47	9,3	-	44,6	67,2
ÖNT 6	0,45	5,4	29,8	47,5	67,7
ÖNT 7	0,429	14,71	-	49,7	75,7
ÖNT 8	0,60	10,61	-	40,1	64,0
ÖNT 9	0,56	5,6	23,9	43,2	66,5
ÖNT 10	0,53	13,93	-	43,0	70,5
ÖNT 11	0,50	5,4	28,3	51,0	77,3
ÖNT 12	0,47	16,47	-	46,6	78,1
ÖNT 13	0,45	5,5	34,3	57,0	83,3
ÖNT 14	0,429	16,86	-	52,4	81,0
ÖNT 15	0,60	11,36	-	47,3	63,0
ÖNT 16	0,56	7,6	26,0	44,9	69,0
ÖNT 17	0,53	11,64	-	53,1	71,1
ÖNT 18	0,50	6,4	31,8	53,9	78,4
ÖNT 19	0,45	6,2	27,4	54,2	79,2
ÖNT 20	0,429	15,96	-	62,2	84,5
ÖNT 21	0,60	11,93	-	39,3	53,6
ÖNT 22	0,429	14,9	-	53,8	69,6

7. táblázat Nyomószilárdsági eredmények
Table 7. Compressive strength results

Jele	Cement	v/c	Friss-beton test-sűrűsége	Beton test-sűrűsége 28 napos korban	Átlagos vízbe-hatolási mélység	Környezeti osztály
1	300	0,60	2326	2284	28,4	XV2 (H)
2	320	0,56	2363	2324	24,2	XV2 (H)
3	340	0,53	2283	2294	21,9	XV2 (H)
4	360	0,50	2371	2340	16	XV3 (H)
5	380	0,47	2359	2332	15,4	XV3 (H)
6	400	0,45	2362	2337	14,5	XV3 (H)
7	420	0,43	2321	2298	14,1	XV3 (H)
8	300	0,60	2344	2312	15,1	XV3 (H)
9	320	0,56	2355	2345	11	XV3 (H)
10	340	0,53	2291	2313	8,9	XV3 (H)
11	360	0,50	2345	2347	5	XV3 (H)
12	380	0,47	2282	2274	8,75	XV3 (H)
13	400	0,45	2351	2334	8	XV3 (H)
14	420	0,43	2323	2316	8,9	XV3 (H)
15	320	0,56	2365	2339	10	XV3 (H)
16	360	0,50	2357	2328	5,5	XV3 (H)
17	400	0,45	2376	2352	9,6	XV3 (H)
ÖNT 1	300	0,60	2310	2290	18,8	XV3 (H)
ÖNT 2	320	0,56	2374	2333	16	XV3 (H)
ÖNT 3	340	0,53	2383	2262	15,4	XV3 (H)
ÖNT 4	360	0,50	2383	2351	15	XV3 (H)
ÖNT 5	380	0,47	2354	2303	9,3	XV3 (H)
ÖNT 6	400	0,45	2397	2371	9	XV3 (H)
ÖNT 7	420	0,429	2321	2298	7,5	XV3 (H)
ÖNT 8	300	0,60	2316	2298	10,7	XV3 (H)
ÖNT 9	320	0,56	2365	2356	14,2	XV3 (H)
ÖNT 10	340	0,53	2437	2311	6,2	XV3 (H)
ÖNT 11	360	0,50	2376	2353	9	XV3 (H)
ÖNT 12	380	0,47	2335	2317	6,4	XV3 (H)
ÖNT 13	400	0,45	2390	2376	6	XV3 (H)
ÖNT 14	420	0,429	2349	2311	6,6	XV3 (H)
ÖNT 15	300	0,60	2337	2290	8,1	XV3 (H)
ÖNT 16	320	0,56	2370	2342	10	XV3 (H)
ÖNT 17	340	0,53	2334	2317	7,6	XV3 (H)
ÖNT 18	360	0,50	2397	2355	8	XV3 (H)
ÖNT 19	400	0,45	2356	2363	7	XV3 (H)
ÖNT 20	420	0,429	2339	2309	5,2	XV3 (H)
ÖNT 21	300	0,60	2326	2331	15,8	XV3 (H)
ÖNT 22	420	0,43	2317	2321	9,9	XV3 (H)

8. táblázat Vízzársási eredmények
Table 8. Watertightness results

4.3 Vízárósági vizsgálatok

A vízárósági vizsgálatot az MSZ EN 12390-8:2009 szabvány alapján WE 6 MM jelű készülékkel hajtottuk végre. Receptúránként 3-3db 150 cm élhosszúságú kockát tartottunk 72 óráig a berendezésben. A víznyomás a kísérlet ideje alatt végig 5 bar volt. A vizsgálati eredményeket a 8. táblázatban foglaltuk össze.

5. Kísérleti eredmények értékelése

5.1 A nyomószilárdsági vizsgálat eredményeinek értékelése

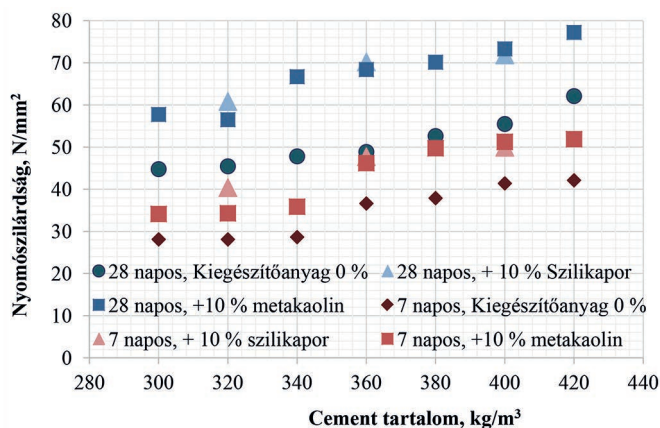
A kísérlet során kapott szilárdsági eredményeket részletesen a 7. táblázat tartalmazza.

A nyomószilárdsági vizsgálatokat 1, 2, 7 és 28 napos korban végeztük el 3-3 próbatesten.

5.1.1 A szokványos betonok nyomószilárdsága

Az 1. ábra mutatja az egyes keverékek szilárdságának alakulását. A hozzáadott víz mennyisége állandó volt, így a cementtartalom növekedésével csökkent a víz-cement tényező, ami a szilárdságnövekedést okozhatta.

A metakaolin és a szilikapor nyomószilárdság növelő hatása jól megfigyelhető állandó víz-cement tényező esetén, de a metakaolin tartalmú és a szilikapor tartalmú összetételek közti nyomószilárdság különbséget nem tapasztaltuk. Állandó víz-tartalom mellett a 10 % metakaolin és szilikapor adagolással nagyobb nyomószilárdságot értünk el, mint többlet 10% cement adagolással.



1. ábra Szokványos betonok nyomószilárdsága cementtartalom függvényében állandó víz-cement tényező mellett

Fig. 1. Compressive strength of conventional concretes in the function of cement content

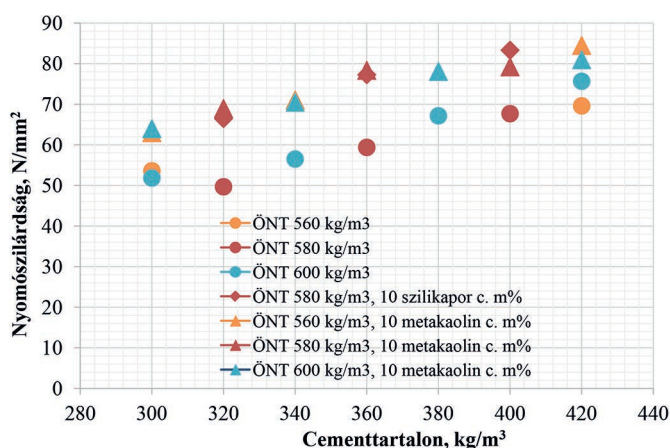
Az 1. ábrán megfigyelhetjük, hogy a nagyobb víz-cement tényező esetén a metakaolin és a szilikapor nagyobb mértékben fejti ki hatását. Víz jelenlétében a metakaolin vagy a szilikapor és a cement hidratációjából keletkező kalcium-hidroxid reakcióba lép, melynek eredménye kalcium-szilikát-hidrát (CSH). A nagyobb v/c tényezővel rendelkező receptúra esetén több víz párolog el, ami után nagyobb kapillárisok maradnak a beton mikrostruktúrájában, ahol könnyebben végbemegy ez a reakció.

5.1.2 Az öntömörödő betonok nyomószilárdsága

A 2. és 3. ábra mutatja az egyes keverékek szilárdságának alakulását 7 napos és 28 napos korban. Az öntömörödő betonoknál is hasonlóan alakult a hőmérséklet, mint a szokványos betonoknál. A hozzáadott víz mennyisége állandó volt, így a cementtartalom növekedésével csökkent a víz-cement tényező, ami a szilárdságnövekedést okozhatta.

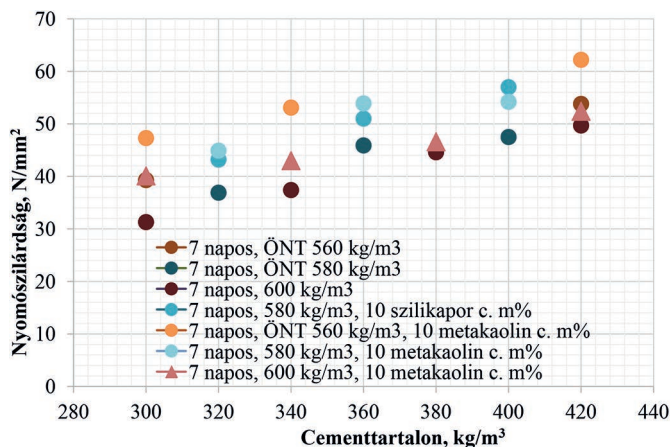
A metakaolin és a szilikapor nyomószilárdság növelő hatása itt is jól megfigyelhető állandó víz-cement tényező esetén. A metakaolin tartalmú és a szilikapor tartalmú összetételek között nyomószilárdság különbséget nem tapasztaltunk.

A 2. ábrán és 3. ábrán is megfigyelhetjük, hogy a nagyobb víz-cement tényező esetén a metakaolin és a szilikapor nagyobb mértékben fejti ki hatását. Továbbá a kisebb víz-cement tényező és nagyobb finomrész-tartalom (600 kg) esetén kisebb a metakaolin hatása a nyomószilárdságra. A megállapítások 28 napos korra vonatkoznak.



2. ábra A öntömörödő betonok nyomószilárdsága cementtartalom függvényében állandó víztartalom mellett 28 napos korban

Fig. 2. Compressive strength of self compacting concretes in the function of cement content (water content constant; 28 days of age)



3. ábra A öntömörödő betonok nyomószilárdsága cementtartalom függvényében állandó víztartalom mellett 7 napos korban

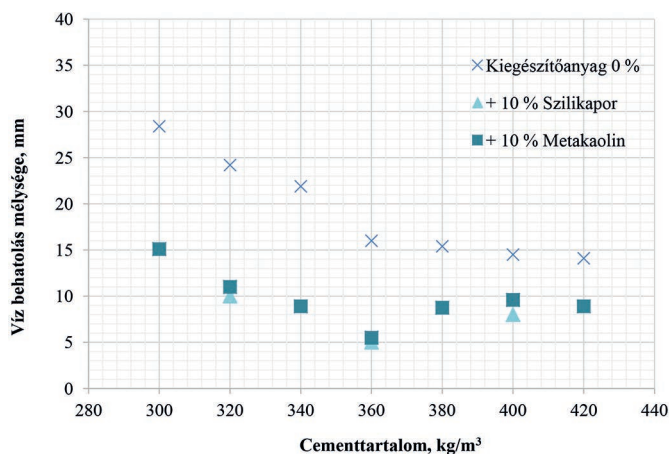
Fig. 3. Compressive strength of self compacting concretes in the function of cement content (water content constant; 7 days of age)

5.2 A vízzárósági vizsgálat eredményeinek értékelése

Minden keverés esetén végeztünk vízzárósági vizsgálatot is. Keverésenként 3-3 próbatestet vizsgáltunk, a vízbehatolás mértékét a három mérés átlaga adta.

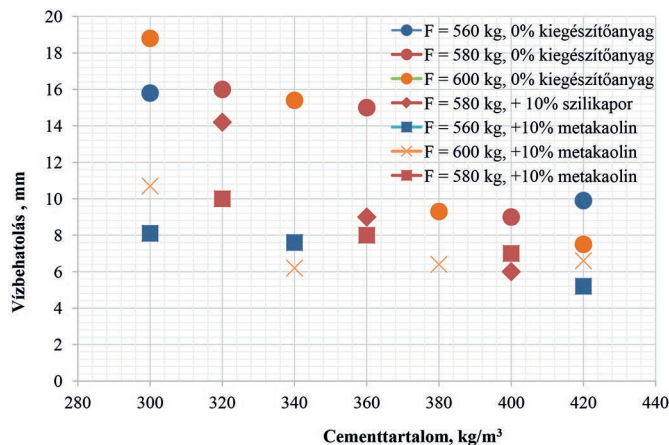
Szokványos betonok esetén, a kísérletek alapján a vízbehatolásra vonatkozó, XV3 (H) osztályhoz tartozó max. 20 mm előírást kivétel nélkül mindegyik próbatestet teljesítette, ahol a víz-cement tényező kisebb volt, mint 0,53. Ahol szilikaport vagy metakaolint adagoltunk, ott mindegyik próbatestet teljesítette az XV3 (H) osztályt (lásd 4. ábra). Ezzel szemben, ha a szabvány által előírt paraméterek alapján vizsgáltuk a betonokat, egy vagy akár két osztállyal is gyengébb kategóriába kerültek. Érdeemes megfigyelni, hogy a gyengébb osztályba sorolás oka az esetek kb. 70 %-ban az volt, hogy a betonok nem feleltek meg a testsűrűsége előírt követelményeknek. Az eredmények alapján tehát jogos az előírások újragondolása, a testsűrűsége előírt feltételek változtatása vagy akár törlése a szabványból.

Öntömörödő betonok esetén, a kísérletek alapján a vízbehatolásra vonatkozó, XV3 (H) osztályhoz tartozó max. 20 mm előírást kivétel nélkül mindegyik próbatestet teljesítette. Ahol szilikaport vagy metakaolint adagoltunk, ott mindegyik próbatestet teljesítette az XV3 (H) osztályt és a vízbehatolás különbségek mértéke elhanyagolható volt (lásd 5. ábra).



4. ábra A szokványos betonok vízbehatolása cementtartalom függvényében állandó víztartalom mellett

Fig. 4. Water penetration into conventional concretes (water content constant)



5. ábra Az öntömörödő betonok vízbehatolása cementtartalom függvényében állandó víztartalom mellett

Fig. 5. Water penetration into self compacting concretes (water content constant)

6. Összefoglalás

Összesen 39 különböző keveréket készítettünk.

A kísérletek során alkalmazott összetételekben a következő állandó és változó paramétereink voltak:

Állandó paraméterek:

- szemeloszlási görbe,
- cement fajta,
- víz adagolás: 180 l/m³,
- metakaolin vagy szilikapor adagolása 10 %.

Változó paraméterek:

- cement mennyiség 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420 kg/m³ és az által a v/c tényező,
- öntömörödő betonok esetén mészköliszt adagolás és finomrész-tartalom.

A következő megállapítások tehetők a fent említett paraméterek függvényében:

Nyomószilárdságra vonatkozóan:

- A cement tömegére vonatkoztatott 10 m%-os mennyiségében történő metakaolin vagy szilikapor adagolás mellett a szokványos és öntömörödő betonok esetében a nyomószilárdság átlagosan 15-30%-kal nő. Állandó víz mennyiség mellett a 10 m% metakaolin vagy szilikapor adagolás esetén nagyobb szilárdság növekedést értünk el, mint 10 % többlet cement adagolással.
- Nagyobb víz-cement tényező esetén nagyobb hatást értünk el a metakaolin vagy szilikapor adagolással a kis víz-cement tényezőhöz képest. Víz jelenlétében a metakaolin vagy a szilikapor és a cement hidratációjából keletkező kalcium-hidroxid reakcióba lép, melynek eredménye kalcium-szilikát-hidrát (CSH).
- Metakaolin vagy szilikapor adagolása közötti nyomószilárdság különbséget nem észleltünk 28 napos korban.
- A finomrész tartalom változtatása során azt állapítottuk meg, hogy egy adott mészköliszt adagolás túllépése szilárdságcsökkenéshez vezet.
- Az öntömörödő betonok esetében a szilikapor és a metakaolin azonos adagolása a normál betonokhoz képest jobban kifejtette a hatását. A normál beton esetén a k érték felülről közelíti a 2-öt, míg az öntömörödő betonoknál felülről közelíti a 3-at.

Vízzáróságra vonatkozóan:

- A vízzárósági vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy a metakaolin vagy szilikapor adagolás csökkenti a vízbehatolás mértékét.
- Szokványos és öntömörödő betonok esetén a 0,5 alatti víz-cement tényezőnél a vízbehatolás mélysége csekély mértékben változik a v/c csökkenésével. A metakaolin vagy szilikapor adagolásával a vízbehatolás mélységének változása nem észlelhető.
- A mért vízbehatolási mélységek 5 és 30 mm tartomány közé estek.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatásáért (OTKA K 109223).

Külön köszönet illeti Mogyorósi Zsuzsát, Szántó Juditot, Eipl András, Molnár Pétert és Takács Krisztiánt, a fáradságot és időt nem kímélő laboratóriumi munkájukért.

Irodalomjegyzék

(a cikksorozat 1. és 2. részére vonatkozóan)

Alshamsi, A. M. – Sabouni, A. R. – Bushlaibi, A. H. (1993): Influence of set-retarding superplasticisers and microsilica on setting times of pastes at various temperatures. *Cement and Concrete Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 592-598. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90009-X](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(93)90009-X)

Asbridge, A. H. – Walters, G. V. – Jones, T. R. (1994): Ternary blended concretes-OPC/ggbs/metakaolin. *Proc. Int. Sym. Concrete across borders*, Denmark. 1994.

BASF: Tervezési segédlet öntömörödő beton készítéséhez Glenium® adalékszerekkel. *BASF Építőkémi Hungária Kft.*

Chandra, S. (1997): Waste Materials Used in Concrete Manufacturing. *Noyes Publication*, Göteborg. 1997. [chemie.at](http://www.chemie.at)

<http://www.chemie.at/WebKatalog.aspx?se=category&tid=26>. (2015.02.01.)

Elkem. <http://www.concrete.elkem.com/dav/38b6b593db.pdf>. (2015.02.01.)

Joa, B.-W. – Kima, C.-H. – Taeb, G.-h. – Parka, J.-B. (2007): Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, No. 6, pp. 1351-1355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.020>

Jones, T. R. – Walters, G. V. – Kostuch, J. A. (1992): Role of metakaolin in suppressing asr in concrete containing reactive aggregate and exposed to NaCl solution. *Proc. Int. Conf. on AAR*, London. 1992.

Justice, J. M. – Kurtis, K. (2007): Influence of Metakaolin Surface Area on Properties of Cement-based Materials. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 19, No. 9, pp. 762-771. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:9\(762\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(762))

Khayat, K. H. – Aitcin, P. C. (1993): Silica fume: a unique supplementary cementitious material. *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*, Vol. 4.

Kurtis, K. E. (2011): Benefits of Metakaolin in HPC. *HPC Bridge Views*, Vol. 67.

Larbi, J. A. – Bijen, J. M. (1991): The role of silica fume and metakaolinite in the Portland cement paste-aggregate interfacial zone in relation to the strength of mortars. *PhD értekezés*, Delft University.

Mehta, P. K. – Monteiro, P. J. M. (2006): Concrete - Microstructure, Properties, and Materials. 3. kiadás. *McGraw Hill, USA*.

Mindess, S. – Young, J. F. – Darwin, D. (2003): Concrete. *Pearson Education*, Upper Saddle River, New Jersey. 2003.

Morgan, D. R. – Wolsiefer, J. T. (1991): Silica fume in shotcrete. *CANMET/ACI International Workshop on the use of Silica in Concrete*, Washington. 1991.

Nehme, S. G. (2004): A beton porozitása. *PhD értekezés*, BME.

Neville, A. M. (2002): Properties of concrete. 4th Edition. *Pearson Education*, Harlow, England. 2002.

Newchem. http://catalogue.newchem.org/hungary/Up_files%5CTDS%20Me-taver%20N-hu.pdf. (2015.02.01.)

Newman, J. – Choo, B. S. (2003): Advanced Concrete Technology 3 – Processes. *Elsevier*, Oxford. 2003

Novák, D. – Novák E. (2009): Slagstar 42,5N C3A-mentes új speciális cement-fajta az agresszív kémiai korrózió ellen. *Vasbetonépítés*, 2009/3 XI. évfolyam, 3. szám

Pera, J. (2001): Metakaolin and calcined clays, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 23, No. 6, pp. iii [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00098-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00098-6)

Poon, C. S. – Lam, L. – Kou, S. C. – Wong, Y. L. – Wong, R. (2001): Rate of pozzolanic reaction of metakaolin in high-performance cement pastes. *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 9, pp. 1301-1306. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00581-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00581-6)

Ramachandran, V. S. (1996): Mineral admixtures. *Noyes Publications*, USA.

Riesz, L. (1989): Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ, Budapest.

Scrivener, K. L. – Nemati, K. M. (1996): The Percolation of Pore Space in the Cement Paste/Aggregate Interfacial Zone of Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 35-40. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00185-9](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(95)00185-9)

Siddique, R. – Khan, M. I. (2011): Supplementary Cementing Materials. *Springer – Verlag*, Berlin.

Siddique, R. (2008): Waste Materials and By-Products in Concrete. *Springer – Verlag*, Berlin.

Sika. <http://hucon.webdms.sika.com/files/show.do?documentID=637>. (2015.02.01.)

Sydney_Construction_Materials. http://www.sydneyconstructionmaterials.com.au/mk_pozzolan.html. (2015.02.01.)

Szilágyi, K. – Borosnyói, A. (2009): 50 years of experience with the Schmidt rebound hammer, *Concrete Structures*, Vol. 10, pp. 46-56.

Wild, S. – Khatib, J. M. – Jones, A. (1996): Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 10, pp. 1537-1544. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00148-2](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(96)00148-2)

Ref:

Nehme, Salem G.: Kiegészítőanyagok hatása a szokványos és az öntömörödő betonokra.
2. rész. Laboratóriumi vizsgálatok
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 2 (2015), 71–78. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.12>



Topic Overview

On the chemie.de topic pages you find science and product information, news, facts and backgrounds on techniques, products, disciplines, companies, chemicals, and other topics regarding chemistry, analytics and chemical engineering. The dossiers offer you fast and easy access to different subjects and combine basic and specific information, trends and development in a comprehensive overview.

