

Kiegészítőanyagok hatása a szokványos és az öntömörödő betonokra

1. rész. Szakirodalmi áttekintés

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.2015.6>

Influence of supplementary cementing materials on conventional and self compacting concretes

Part. 1. Literature review

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. Bevezetés

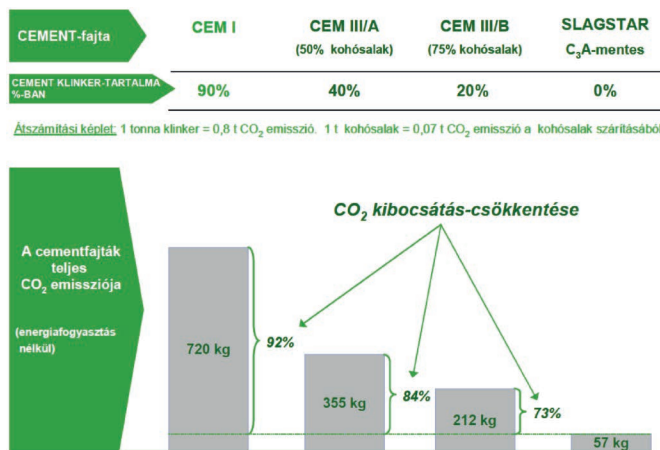
A beton előnyei közé tartozik, hogy sokoldalúan felhasználható. Megfelelő receptúra összeállításával kellő teherbírású, tartós szerkezetek hozhatók létre belőle.

Manapság számos kutatás témája új anyagok felhasználásával speciális tulajdonságú keverékek előállítására. A szilárdság mellett a tartósság is rendkívül fontos tényező, mivel biztosítani kell, hogy a megépült szerkezetnek megfelelő legyen az ellenállása a káros környezeti hatásokkal szemben. A mai betongyártásnak az egyik legjelentősebb mellékhatása az évente több mint 1000 Mt portlandcement előállításánál keletkező nagy mennyiségű CO₂ (Chandra, 1997), amely mennyiségnek a csökkentése környezetvédelmi fontosságú (1. ábra). Ez jelenleg körülbelül a világ teljes széndioxid kibocsátásának 5%-át teszi ki. Ha a beton készítése során különböző kiegészítőanyagokat alkalmazunk, legyen az gyártási melléktermék, amely éves mennyisége akár a cementmennyiség kétszeresét is meghaladhatja, vagy egyéb forrásból származó anyag, azzal csökkenthetjük a szükséges cement mennyiségét, energiát takaríthatunk meg és nagyobb szilárdságú, tartósabb szerkezeteket hozhatunk létre. Ilyen kiegészítőanyag például a pernye, a granulált kohósalak, a szilikapor, a metakaolin és a mészköliszt.

A kiegészítőanyagok alkalmazásával jobb tapadás érhető el a cementpép és az adalékanyag illetve a cementpép és az acélbetétek között, amely jelentősen növeli a szerkezet teherbírását (Siddique, 2008).

Salem Georges NEHME

Okleveles építőmérnök, PhD, egyetemi docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén. A Magyar Szabványügyi Testület MSZT/MB 112 Építési üveg és MSZT/MB 107 Beton és előre gyártott beton termékek nemzeti szabványosító műszaki bizottságok tagja; a főb Magyar Tagozat tagja; a Magyar Mérnöki Kamara tagja (MMK: 01-9159). Érdeklődési területei: betontechnológia, tömegbetonok, öntömörödő betonok, szálerősítéssel rendelkező betonok, minőségellenőrzés, roncsolásmentes anyagvizsgálatok, vasbeton szerkezetek, építőanyagok újrahasznosítása.



1. ábra Egy tonna cement előállításánál keletkező CO₂ kibocsátás (Novák et al, 2009)
Fig. 1. CO₂ emission due to the production of one ton Portland cement (Novák et al, 2009)

2. A szakirodalom áttekintése

A kiegészítőanyagokat három nagy csoportba sorolhatjuk tulajdonságaik szerint:

- hidraulikus anyagok,
- inert anyagok,
- puccolános tulajdonságú anyagok.

Adagolásuk általában a cement tömegére vonatkoztatva történik. A keverékhez adhatjuk őket kiegészítésként vagy a hidraulikus és puccolános anyagok esetén akár a cement egy részét is helyettesíthetjük velük.

2.1 Hidraulikus anyagok

A hidraulikus kötőanyagok eredetük szerint lehetnek zsugorított vagy olvasztott mesterséges anyagok. Jellemzőjük, hogy csak víz jelenlétében kötnek és szilárdulnak, ilyen anyag például a kohósalak vagy a pernye (Riesz, 1989).

A kalcium-szilikátok vízzel való érintkezés utáni reakcióit a következő egyenletekkel lehet leírni (Neville, 2002):



Az alitból és belitből is víz hozzáadásával kalcium-szilikát-hidrát (CSH) és kalcium-hidroxid (CH) keletkezik. A reakciókat a komponensek tömege szerint vizsgálva megállapítható, hogy a C_3S -ből több mint kétszer annyi CH keletkezik, mint a C_2S -ből (Neville, 2002). A CH kialakulása pl. savállósági szempontból kedvezőtlen is lehet, mert kioldódik és emiatt a beton tönkremeneteléhez vezet.

2.2 Inert anyagok

Közömbös anyagoknak nevezzük azokat, amelyek az adott feltételek között a beton alkotóanyagaival nem lépnek kémiai reakcióba, csupán töltőanyagként működnek. Ide tartozik például a kvarcliszt, a mészkőliszt vagy a pigmentek. A betontechnológiában általában nem nanotechnológiával gyártott anyagokról van szó.

2.3 Puccolános tulajdonságú anyagok

A puccolános anyagokat eredetük szerint két nagy csoportba oszthatjuk: természetes puccolánok, és gyártási melléktermékek. A puccolános anyagok aktív komponensei eltérőek (1. táblázat).

Kategória	Tipikus anyagok	Aktív komponens
Természetes anyagok	vulkáni hamu	alumínium-szilikát
	horzsakő	alumínium-szilikát
	kovaföld	amorf hidratált szilika
Melléktermékek	pernye	alumínium-szilikát kalcium-alumínium-szilikát
	szilikapor	amorf szilika
	rizshéj hamu	amorf szilika
	kalcinált agyagok	amorf alumínium-szilikát

1. táblázat Puccolánok és aktív komponenseik (Mindess *et al.*, 2003)

Table 1. Pozzolans and their active components (Mindess *et al.*, 2003)

A puccolános reakció során a kiegészítőanyagban található szilika kémiai reakcióba lép a kalcium-szilikátok hidratációja során létrejövő CH-dal. Ez a következő egyszerűsített egyenlettel írható le (Mindess *et al.*, 2003):

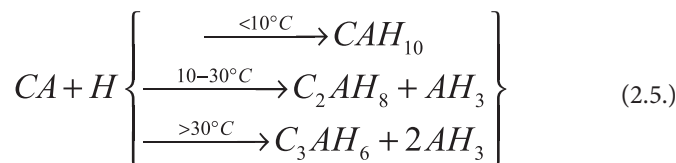


Az így létrejövő CSH szerkezete csak kis mértékben tér el a portlandcement hidratációjából létrejövő CSH szerkezetétől, így tehát hozzájárul a szilárdság növekedéséhez.

Ha az anyag nagyobb mennyiségű reakcióképes alumíniumot is tartalmaz, akkor a CSH mellett CAH (kalcium-alumínát-hidrát) is létrejön (Mindess *et al.*, 2003):



A CAH pontos összetétele a külső hőmérséklet függvénye:



A létrejövő CAH_{10} és C_2AH_8 metastabil, ha a beton hőmérséklete $30^\circ C$ fölé emelkedik, C_3AH_6 - tá alakulnak. Ez a változás porozitás növekedéssel jár, amely szilárdság és tartósság elvesztéséhez vezet (ld. a korai bauxitcementeket), emiatt gondosan kell választani az adagolt mennyiséget és a cement fajtát.

A (2.3.) és (2.4.) egyenletekből megállapítható, hogy mindkét reakcióhoz megfelelő vízmennyiség szükséges. A kiegészítőanyagok szilárdságnövelő hatása csak abban az esetben biztosítható, ha a beton nedves utókezelése hosszabb, mint a szokványos betonoké. Ellenkező esetben csak töltőanyagként funkcionálnak.

A puccolános kiegészítőanyag reakciókinetikája hasonló, mint a C_2S -é. Ebből következően ez is lassan megy végbe, ezzel csökkentve a kezdeti hőmennyiség kialakulását és a kezdeti szilárdságot (Mindess *et al.*, 2003).

A különböző kiegészítőanyagok eltérő mennyiségű CH-ot használnak fel reakciójuk során, így ezzel a tulajdonságukkal mérhető a reakcióképességük. A Chapelle vizsgálattal meghatározott értékeket mutatja be a 2. táblázat. A vizsgálat lényege, hogy a hígított puccolános anyagot léptetjük reakcióba a CH-dal, miközben állandó $95^\circ C$ hőmérsékletet biztosítunk. 18 óra elteltével megmérjük a reakció során felhasznált CH mennyiséget.

Puccolános tulajdonságú anyag	Elhasznált $Ca(OH)_2$ grammonként (mg)
Kohósalak	40
Szilikapor	400
Pernye	500 - 850
Metakaolin	1000

2. táblázat Puccolánok reakciókapacitása (Mindess *et al.*, 2003)

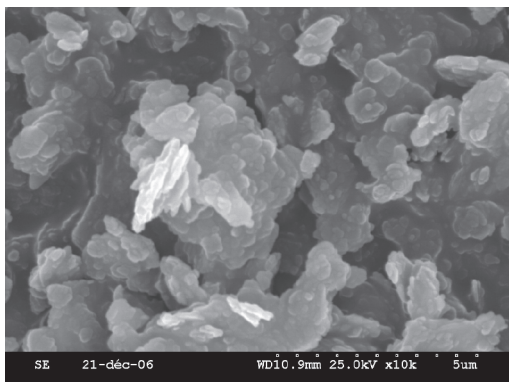
Table 2. Reaction capacity of pozzolans (Mindess *et al.*, 2003)

A 2. táblázatból látszik, hogy azoknak az anyagoknak, amelyek reakcióképes alumíniumot is tartalmaznak, jelentősen nagyobb a kapacitásuk. Ez abból adódik, hogy a CAH kialakulásához nagyobb mennyiségű CH szükséges.

A kísérletek során két puccolános tulajdonságú anyag hatását vizsgáltuk, ezek főbb tulajdonsági kerülnek bemutatásra a következőkben.

2.4 Metakaolin

A kaolin a kerámia és a tűzállóanyag-gyártás nyersanyaga. A metakaolin lehet gyártási melléktermék, például a téglagyártás során az elégtelen égetésből származó veszteség, de előállítható közvetlenül is.



2. ábra Metakaolin 10 000 – szeres nagyításban (chemie.at)
 Fig. 2. Metakaolinin 10 000x magnification (chemie.at)

A metakaolin gyártása 650-800 °C között történik kaolinit tartalmú agyag kalcinálásával. Fűtés során az agyagásványok viselkedése függ szerkezetüktől, a kristályok méretétől és kristályossági fokuktól. 100 °C felett eltávozik az adszorbeált víz nagy része, míg 500 °C felett a kaolinit bomlani kezd. Korábban úgy vélték, hogy a metakaolin amorf alumínium és szilícium-dioxid keveréke, a vizsgálatok azonban mostanra kimutatták, hogy rendelkezik meghatározott struktúrával. Ennek megfelelően utal a jelenlegi gyakorlat erre az anyagra metakaolinként.

Túlfűtés esetén, ~900 °C-on, a reakció tovább folytatódik, míg a végtermék szabad szilícium-dioxid és mullit lesz (Pera, 2001).

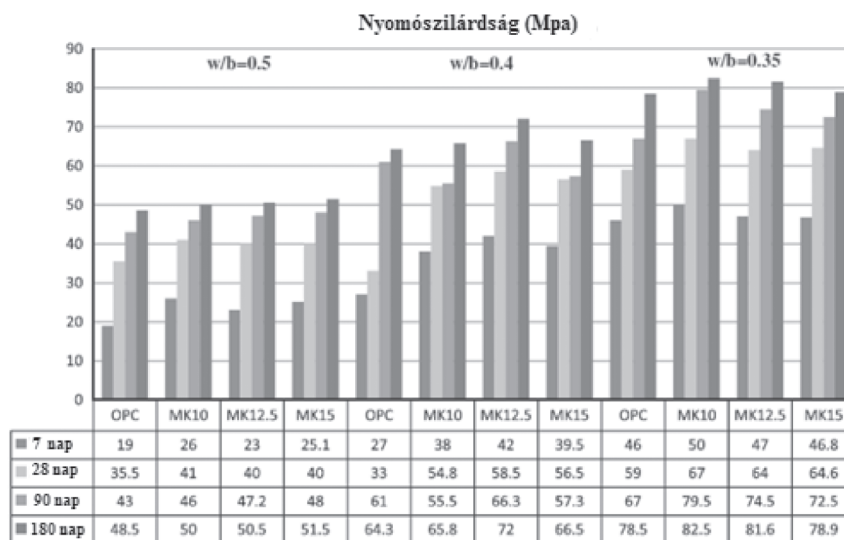
A tulajdonságait jelentősen befolyásolja a nyersanyag minősége, az égetés hőmérséklete és az őrlési eljárás. Színe fehér, szemcséi lemezes alakúak (2. ábra). Átlagos méretük 1-2 mm, fajlagos felülete 15000 m²/kg (Mindess, et al., 2003).

Wild *et al.* (1996) kísérletei alapján, az optimális adagolást a cement tömegére vonatkoztatva 15%-nak állapította meg, míg Poon, *et al.* (2001) eredményei szerint ez 10%. Egy ausztrál ki-mutatás szerint a nyomott szerkezetekhez 5-10%, a kloridion ellenállás biztosításához 10-15%, a kémiai hatásoknak és a ki-virágzásnak ellenálló betonhoz pedig 15-20% az ideális adago-lás (Sydney, 2015). Meg kell említeni, hogy a 10% fölötti adago-lás fagyállósági problémákat okozhat.

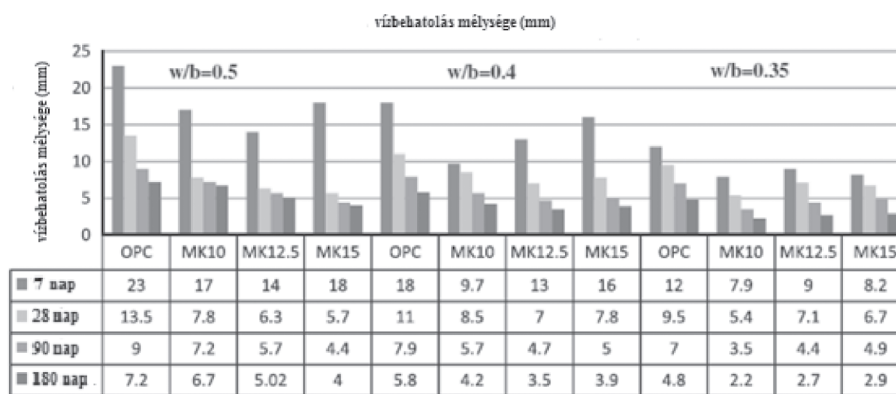
A metakaolin és a szilikapor alkalmazásával tömörebb szerkezetet kapunk, tehát csökken az áteresztőképesség, nő a nyomó-, a húzó- hajlítószilárdság (Siddique, Khan, 2011). Jus-tice és Kurtis (2007) kutatási eredménye is kimutatta, hogy a metakaolin használatával szilárdságnövekedés érhető el: 8% hozzáadásával az első nap 20%-os, 28 napon pedig 40%-os szilárdságnövekedést állapítottak meg a normál betonéhoz képest. A kalcium-szilikátok hidratációja során kialakuló CH kristályokat szinte teljesen eliminálja (Jones *et al.*, 1992; Larbi, Bijen, 1991). Ez egyrészt pozitív jelenség, mivel ahogy már említettük, a CH problémák forrása lehet. Hátránya, hogy a CH mennyiség túlzott csökkenésével a beton pH értéke is jelentősen csökken. Asbridge *et al.* (1994) kísérleteik során megállapították, hogy habár a CH mennyisége jelentősen csökken, a pH nem esik 12,5 alá, amely elegendő az acélbetétek passziválásához.

A metakaolinnal készült beton állaga „krémes”, így könnyeb-ben alakíthatóak ki szép felületek a többi kiegészítőanyaghoz képest és növeli a pumpálhatóságot is. A kohéziója miatt al-kalmas öntömörödő beton készítésére. Fehér színe miatt eszté-tikus világos betont lehet belőle készíteni, amely előny a többi kiegészítőanyaghoz képest (Kurtis, 2011). A metakaolin meg-köti a CH-t, védelmet nyújt a kivirágzás ellen.

A legtöbb kiegészítőanyag hozzájárul jobb beton tulajdon-ságához. Ramezianpour, Bahrami, Jovein (2012) meg-mutatták, hogy a szokványos betonhoz képest a metakaolin hozzáadásával készült beton nyomószilárdsága nagyobb, a szi-lárdság növekedése a metakaolin tartalom növekedésével line-áris (3. ábra).



3. ábra Metakaolin hatása a nyomószilárdságra eltérő korokban (Ramezianpour *et al.*, 2012)
 Fig. 3. Influence of metakaolin on compressive strength at different ages (Ramezianpour *et al.*, 2012)

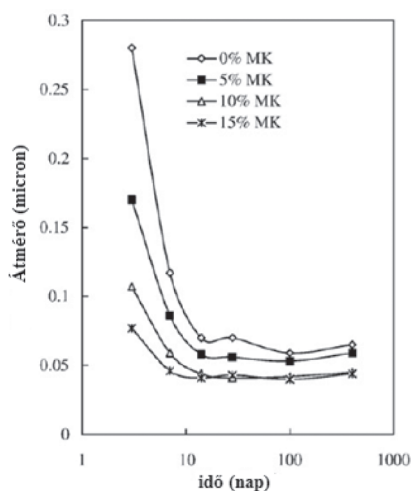


4. ábra Metakaolin hatása a vízzáróságra eltérő korban (Ramezianpour et al, 2012)
 Fig. 4. Influence of metakaolin on watertightness at different ages (Ramezianpour et al, 2012)

A metakaolin használata a beton vízzáróságára is kedvezően hat (4. ábra). A vízzáróság növelése fokozza a tartósságot és a korrózióval szembeni ellenálló képességet (Ramezianpour et al., 2012).

A metakaolin puccolános reakciója a hőmérséklet növelésével elősegíthető. A beton kötése hőtermelő folyamat, ami segíti a metakaolin beépülését (Siddique, 2009).

Khatib és Wild (1996) eredményei azt mutatják, hogy a cementpépbe beépülő metakaolin finomítja a pórusszerkezetet, azaz a pórusátmérő csökken (5. ábra). Azt tapasztalták, hogy a 14. nap után a pórusok átmérője tovább nem csökken (Siddique, 2009).



5. ábra Pórusátmérő változása az idő és metakaolin adagolásának függvényében (Khatib, Wild, 1996)

Fig. 5. Change of pore diameter due to metakaolin at different ages (Khatib, Wild, 1996)

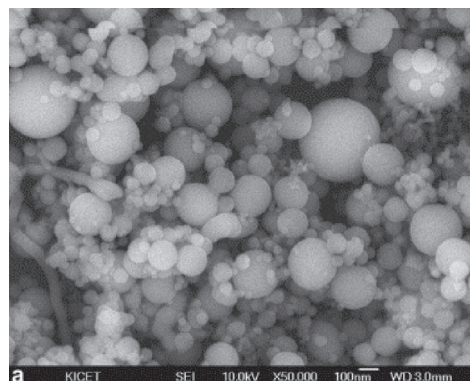
Metakaolin adagolásának növekedésével a húzó- és hajlítószilárdság növekszik. A vizsgálati eredmények azt is mutatják, hogy metakaolin adagolásával a hajlítószilárdság nagyobb mértékben nő, mint a húzószilárdság (Siddique, 2009).

2.5 Szilikapor

A szilikapor a szilícium, ferroszilícium és egyéb fémötvözetek gyártása során keletkező melléktermék (6. ábra), melynek nagy a SiO_2 tartalma. A gyűjtését először 1947-ben kezdték meg Norvégiában az egészségre káros hatásai miatt. Az első szilika-

porral foglalkozó betonszabvány szintén Norvégiában került bevezetésre 1976-ban (Newman, Choo, 2003a). A szilikapor előállítható közvetlenül is. Az így kapott anyag előnye, hogy a minőség állandó, hátránya a gyártás nagy energiaigénye.

A különböző igényeknek megfelelő betonokhoz más mennyiséget javasolnak a cement tömegére vonatkoztatva: normál betonokhoz 4-7%, nagy teljesítőképességű betonokhoz 8-10%, a nagy kémiai ellenállóképesség eléréséhez 10-12%, víz alatti betonozáshoz 10-15% a javasolt (Newman, Choo, 2003a). Fontos kiemelni azonban, hogy 10% fölötti adagolása fagyállósági problémákat okozhat.



6. ábra Szilikapor 50 000-szeres nagyításban (Joa et al., 2005)
 Fig. 6. Silica fume in 50 000× magnification (Joa et al., 2005)

A szilikapor adagolásával a betonkeverék kohéziója nő, csökken a szétosztályozódási hajlama, a kivérzése. Alshamsi et al.(1993) kihangsúlyozták, hogy használatával csökken a bedolgozhatóság. Fajlagos felülete nagy, így a keverék vízigénye jelentősen megnő. Khayat és Aitcin (1993) kutatása szerint ahhoz, hogy folyósító adalékszer használata nélkül az azonos összetételű cementbeton konzisztenciáját biztosítsuk, minden 1 kg/m^3 hozzáadott szilikapor után 1 liter/m^3 többlet vizet kellene a keverékhez adagolni. Az ilyen mértékben megnövekedett víz-cement tényező csökkentené a várható szilárdságot, ezért szilikapor használata esetén minden esetben javasolt a szuperfolyósítók használata.

Ramachandran (1996) megállapította, hogy 5-10% szilika-por adagolása nincs hatással a kötési időre, azonban 15% adagolásánál megfigyelte, hogy a kötés kezdete körülbelül 1, míg a kötés vége hozzávetőleg 2 órával tolódott el.

A szilikapor reakcióba lép a cementpépben keletkező szabad mésszel, ezzel tömörebbé teszi a beton szerkezetét minden korban. A porozitás csökkenésével és a létrejövő CSH kristályokkal nő a nyomószilárdság, ezzel együtt a hajlító- és húzószilárdság, valamint nő a vízzáróság is, használatával tartósabb beton hozható létre. A nagy reakcióképesség miatt 1-2 nap után szilárdságnövekedésének tendenciája gyorsabb, mint a normál betoné. Használatának hatására az ITZ (Interfacial Transition Zone) mérete jelentősen csökken vagy akár el is tűnik, ami javítja a cementpép tapadását az adalékanyaghoz és a betonacélhoz (Siddique, Khan, 2011). A szilikapor töltőanyagként is működik.

A nagy szilárdságú és nagy teljesítőképességű betonoktól nem csak a nagy szilárdságot követeljük meg, hanem hogy a környezeti hatásoknak is jól ellenálljanak. Ezek a betonok sok esetben teljesítik a környezeti (kítéti) osztályok (exposure classes) által előírt legszigorúbb követelményeket. A szilikapor tartalmú HPC betonokat főként autópályahidaknál, parkolóházaknál, tengeri szerkezeteknél alkalmazzák (Siddique, Khan, 2011). Ilyen környezetben a beton és a betonacél folyamatosan ki van téve a korrózióveszélynek, a só káros hatásának. A szilikapor használatával jelentősen csökken a beton áteresztőképessége, ezáltal jobban ellenáll a karbonátosodásnak, kémiai károsító hatásoknak.



7. ábra A Kinzua gát, Pennsylvania, USA(Elkem)
Fig. 7. Kinzua dam, Pennsylvania, USA(Elkem)

A szilikapor adagolása nagymértékben növeli a beton kopás szembeni ellenállását. Az egyik legérdekesebb példa a kopatathatás okozta károsodásra a 7. ábra által bemutatott Kinzua gát. Az üzembe helyezés után mindössze hat évvel már szükség volt az első felújításra, ekkor acélszálakkal erősített betont használtak erősítő réteggént. Azonban ez sem bizonyult tartós megoldásnak, tíz évvel később ismét beavatkozásra volt szükség.

Ekkor a szilikapor tartalmú betont alkalmazták, amely megfelelően tartósnak bizonyult.

Az idő előrehaladtával a hidráttermékek elkezdik feltölteni a hézagokat, ennek ellenére azonban az ITZ - t megnövekedett porozitás fogja jellemezni. Jelenlétének a következménye, hogy a beton nyomószilárdsága kisebb, mint önmagában a cementé vagy az adalékanyagé (Mehta, Monteiro, 2006; Mindess *et al.*, 2003).

Javítások során a régi és az új betonréteg közötti jó tapadás nagy előnyt jelent. A megnövekedett tapadás csökkenti a kimosódást a pillérek, vízzel érintkező felületek megerősítése során. A csökkent áteresztőképesség miatt nő a fagyási és a kémiai hatásokkal szembeni elleni ellenállás (Morgan, Wolsiefer, 1991).

A szilikapor és az acélszálak együttes alkalmazásával a repedések csökkentése és a szívósság növelése lényeges.

A szilikapor tartalmú löttbeton használatára az egyik kiváló példa a budapesti M4 metró és a Gotthárd-alagút építése.

Jövőbeli kutatásokat igényel a roncsolásmentes jellemzők (Szilágyi, Borosnyói, 2009) vizsgálata kiegészítőanyagok alkalmazása esetén.

3. Kísérleti terv

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

A kísérletek során 39 különböző receptúrát használtunk, a keverékek 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 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 hatásával.

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

A laboratóriumi vizsgálatok eredményeit cikksorozatunk második részében ismertetjük.

A jelen, két részes cikksorozat laboratóriumi háttérül szolgáló kísérletek elsődleges célja az volt, hogy különböző betonreceptúrák összeállításával megvizsgálja a mészköliszt, a

szilikaport és a metakaolin kiegészítőanyag hatását a friss, valamint a megszilárdult normál betonok és öntömörödő betonok tulajdonságaira, továbbá a szilárdulás folyamatára szokványos és öntömörödő betonok esetében is.

4. Köszönetnyilvánítás

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

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

Felhasznált irodalom

- [1] 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)
- [2] Asbridge, A. H. – Walters, G. V. – Jones, T. R. (1994): Ternary blended concretes-OPC/ggbs/metakaolin. *Proc. Int. Sym. Concrete across borders*, Denmark. 1994.
- [3] BASF: Tervezési segédlet öntömörödő beton készítéséhez Glenium® adalékszerekkel. *BASF Építőkémi Hungária Kft.*
- [4] Chandra, S. (1997): Waste Materials Used in Concrete Manufacturing. *Noyes Publication*, Göteborg. 1997.
- [5] chemie.at. <http://www.chemie.at/WebKatalog.aspx?se=category&id=26>. (2015.02.01.)
- [6] Elkem. <http://www.concrete.elkem.com/dav/38b6b593db.pdf>. (2015.02.01.)
- [7] 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>
- [8] 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.
- [9] 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))
- [10] Khayat, K. H. – Aitcin, P. C. (1993): Silica fume: a unique supplementary cementitious material. *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*, Vol. 4.
- [11] Kurtis, K. E. (2011): Benefits of Metakaolin in HPC. *HPC Bridge Views*, Vol. 67.
- [12] 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.
- [13] Mehta, P. K. – Monteiro, P. J. M. (2006): Concrete - Microstructure, Properties, and Materials. 3. kiadás. *McGraw Hill, USA*.
- [14] Mindess, S. – Young, J. F. – Darwin, D. (2003): Concrete. *Pearson Education*, Upper Saddle River, New Jersey. 2003.
- [15] Morgan, D. R. – Wolsiefer, J. T. (1991): Silica fume in shotcrete. *CANMET/ACI International Workshop on the use of Silica in Concrete*, Washington. 1991.
- [16] Nehme, S. G. (2004): A beton porozitása. *PhD értekezés*, BME.
- [17] Neville, A. M. (2002): Properties of concrete. 4th Edition. *Pearson Education*, Harlow, England. 2002.
- [18] Newchem. http://catalogue.newchem.org/hungary/Up_files%5CTDS%20Metaver%20N-hu.pdf. (2015.02.01.)
- [19] Newman, J. – Choo, B. S. (2003): Advanced Concrete Technology 3 - Processes. *Elsevier*, Oxford. 2003
- [20] Novák, D. – Novák E. (2009): Slagstar 42,5N C3A-mentes új speciális cementfajta az agresszív kémiai korrózió ellen. *Vasbetonépítés*, 2009/3 XI. évfolyam, 3. szám
- [21] 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)
- [22] 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)
- [23] Ramachandran, V. S. (1996) Mineral admixtures. *Noyes Publications*, USA.
- [24] Riesz, L. (1989): Cement- és mészgártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatói Központ, Budapest.
- [25] Scrivener, K. L. – Nemat, 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)
- [26] Siddique, R. – Khan, M. I. (2011): Supplementary Cementing Materials. *Springer - Verlag*, Berlin.
- [27] Siddique, R. (2008): Waste Materials and By-Products in Concrete. *Springer - Verlag*, Berlin.
- [28] Sika. <http://hucon.webdms.sika.com/fileshow.do?documentID=637>. (2015.02.01.)
- [29] Sydney_Construction_Materials. http://www.sydneyconstructionmaterials.com.au/mk_pozzolan.html. (2015.02.01.)
- [30] Szilágyi, K. – Borosnyói, A. (2009): 50 years of experience with the Schmidt rebound hammer, *Concrete Structures*, Vol. 10, pp. 46-56.
- [31] 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.

1. rész. Szakirodalmi áttekintés

Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 1 (2015), 28–33. p.

<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.6>



TUD COST Action TU1404
Towards the next generation of standards
for service life of cement-based materials and structures



Cement-based materials (CBM) are the foremost construction materials worldwide. Therefore, there are widely accepted standards for their structural applications. However, for service life designs, current approaches largely depend on CBM strength class and restrictions on CBM constituents. Consequently, the service life behaviour of CBM structures is still analysed with insufficiently rigorous approaches that are based on outdated scientific knowledge, particularly regarding the cumulative behaviour since early ages. This results in partial client satisfaction at the completion stage, increased maintenance/repair costs from early ages, and reduced service life of structures, with consequential economic/sustainability impacts. Despite significant research advances that have been achieved in the last decade in testing and simulation of CBM and thereby predicting their service life performance, there have been no generalized European-funded Actions to assure their incorporation in standards available to designers/contractors. Therefore, the main purpose of this Action is to bring together relevant stakeholders (experimental and numerical researchers, standardization offices, manufacturers, designers, contractors, owners and authorities) in order to accelerate knowledge transfer in the form of new guidelines/recommendations, introduce new products and technologies to the market, and promote international and inter-speciality exchange of new information, creating avenues for new developments.

www.tu1404.eu/

<http://www.cost.eu>