

SAVÁLLÓAK LEHETNEK-E A BETONOK?



Dr. Erdélyi Attila - Kovács József - Gál Attila - Szegőné Kertész Éva

DOI: 10.32969/VB.2018.3.2

Az EN 206:2014 Beton. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség című szabvány csak a természetes vizek és talajok okozta agresszív vegyi környezet esetével foglalkozik, az agresszív ipari környezettel, ezen belül a savkorróziót okozó körülményekkel (pl. erjesztő silók, biogáz berendezések, füstgázelvezető hűtőtornyok esete) nem. A savállóság vizsgálatára semmilyen nemzetközileg elfogadott módszer nincs. A hiányzó előírásokat a nemzeti kiegészítésekben pótolják. Vizsgálati módszert és javított savállóságú beton tervezését, ellenőrzését csak külön kutatással lehet megalapozni. A Duna-Dráva Cement Kft. a Beton Technológiai Centrum Kft.-nél és a Cemkut Kft.-nél összehangolt kutatást rendelt meg. A pH=3,5 kémhatású ecetsavas tömegcsökkenési és kiegészítő vizsgálatokkal ellenőriztük különböző kohósalak tartalmú üzemi cementek, valamint kiegészítő anyagok (szilikapor, metakaolin, HDT stb.) keverékét megszilárdult pépeken, habarcsokon és betonokon, a $(v/c)_{ekv}$ mindig 0,4 volt. A legtömörebb szemcsehalmazt adó Fuller & Thompson féle teljes szemeloszlást és az ehhez tartozó legkisebb kötőanyag tartalmat (Cemkut) valamint az XA3 osztályra előírt nagyobb kötőanyag tartalmat és az AB16-os középgörbét követtük (BTC). A legjobb savállóság a CEM III/B típusú kohósalakcement és metakaolin (vagy HDT, illetve szilikapor) keverékétől várható. A tömegcsökkenés csak fele vagy még kevesebb, mint amennyit tiszta (közönséges vagy szulfátálló) CEM I portlandcementtel kaphatunk. Irodalmi adatok szerint kénsav korrózió esetén is a szulfátálló CEM III/B alkalmazandó, inkább két, mint egy kiegészítő anyag használatával. 570 napos korban 5% alatti tömegcsökkenéshez kb. 25% nyomószilárdság csökkenést és 84%-os relatív dinamikai modulust mértünk.

Kulcsszavak: cementkő savállósága, ecetsav okozta tömegcsökkenés, kiegészítőanyagok hatása a savállóságra, kohósalaktartalom hatása a savállóságra, E_{dm} csökkenés

1. BEVEZETÉS

Az EN 206:2014 Beton európai szabványban a beton tartóssága van a középpontban és a különböző környezeti hatásoknak ellenálló betonösszetételekre, a friss és a megszilárdult betonra ad meg követelményeket.

Az EN 206:2014 a többi környezeti osztályhoz képest nagyon mostohán bánik az agresszív vegyi környezetnek kitett, XA jelű osztályokba tartozó betonokkal, mert csak a természetes talajvizekből és talajból származó hatótényezőket sorolja föl (EN 206:2014 szabvány 2. táblázata) és ilyen környezeti körülmények előfordulására – eltérően az összes többi XC, XD, XS, XF stb. osztálytól – még példákat sem ad. A szulfátállóság vizsgálatára vannak „bevett”, nemzetközileg elfogadott módszerek és a nemzeti szabványok ezekből választhatnak, de a savállóságnak sem a vizsgálatára, sem a követelményre semmilyen előírás nincs. Megemlítjük, hogy az osztrák ÖNORM 4710-1:2014 (tervezet) az N mellékletében leír egy Ausztriában kötelező vizsgálati módszert 40x40x160 mm-es beton hasábok ecetsavas károsodásának megállapítására egy etalon betonnal való összehasonlítás alapján.

Ipari eredetű agresszív vizeknek kitett betonra (szennyvízkezelők, biogáz tartályok, mezőgazdasági tároló és erjesztő silók, erőművek füstgázelvezető hűtőtornyai stb.) az EN 206:2014 semmilyen támpontot nem ad.

A nemzeti szabványok esetenként kiegészítő előírásokat adnak. Az ÖNORM 4710-1:2014 egy úgynevezett HL-SW

(Hochleistungsbeton im Siedlungswasserbau) jelű, különleges tulajdonságú betont ír elő szennyvízkezelő építmények betonjára, az XA3 osztályban ($v/c \leq 0,34$; C40/50). A svájci SN EN 206-1/NE 2013 egy külön XAA (A=Abwasser, szennyvíz) betonosztályt ír elő. A német nemzeti előírás a DIN 1045-2:2014 (tervezet) az EN 206 XA osztályait kiterjeszti ipari agresszív környezet esetére is (lásd az ottani 1. táblázatot, benne szennyvíz- és trágyalétárolók, takarmány erjesztősilók, füstgázelvezetésű hűtőtornyok, stb.), egyúttal az XA2 osztályban szigorít és C35/45-öt, illetve $v/c \leq 0,45$ -öt ír elő, az XA3-osztályban pedig másodlagos védelmet is. A DIN 11622 külön tárgyalja a vasbeton erjesztő silókat.

A hazai szabályozás ugyan meghagyta az EN 206 szerinti XA1-XA2-XA3 értelmezést a természetes vizekre/talajokra, de az ipari eredetű agresszív folyadékokra külön magyar XA4(H)-XA5(H)-XA6(H) osztályokat alkotott, egyúttal (osztrák mintára) különbséget tett az oldódást illetve duzzadást okozó betonkorrózió között (v.ö. MSZE 15612:2014: Előre gyártott beton csatornázási aknaelemek; Kausay, 2013).

A Duna-Dráva Cement Kft. az előírási hiányosságok miatt a Beton Technológiai Centrum Kft.-nél (BTC) és a Cementipari Kutató-fejlesztő Kft.-nél (Cemkut) összehangolt kísérletsorozatot rendelt meg a „savállóbb” kötőanyagok, betonok jobb megismerése céljából. A vizsgálati folyadék mindkét helyen pH=3,5 kémhatású, az általában leggyakrabban használt ecetsav volt (CH_3COOH).

2. A BETON SAVÁLLÓSÁGÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

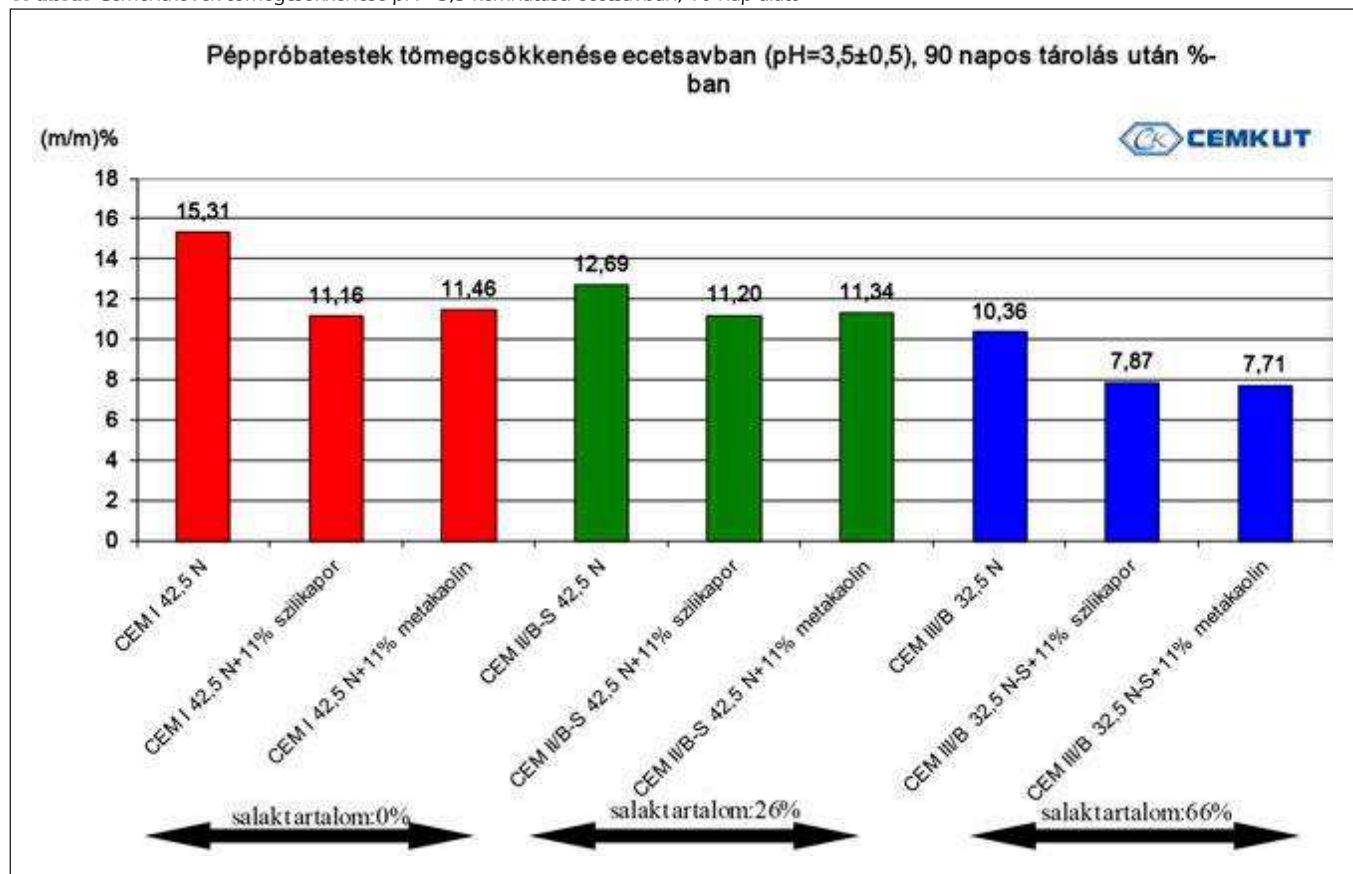
2.1 A kötőanyagok fajtái

A tiszta portlandcement betonja – a nagy $\text{Ca}(\text{OH})_2$, portlandit tartalom miatt – nem saválló, mert a portlandit oldódik, a keletkező C-S-H gélek kevésbé oldódnak. E gélek térfogat arányát hozzáadagolt vagy a cementben eleve meglévő, nagy SiO_2 tartalmú látens hidraulikus (granulált kohósalak) vagy puccolános hatású (savanyú pernye, trasz, szilikapor; stb.) anyagokkal növelni lehet. Az újabban alkalmazott metakaolin kiegészítő kb. 35-40% Al_2O_3 -t (alumínium-oxidot) tartalmaz és az ebből keletkező C-S-A-H gélek körülbelül ugyanannyira vagy jobban savállóak, mint pl. a szilikaporról kapható C-S-H gélek. Az 1. ábrán $(v/K)_{\text{ekv}}=0,4$ egyenértékű víz-cement tényezővel a Cemkut-ban készített péphengeren mért tömegveszteségek oszlopdiagramjai láthatók. Eszerint a növekvő kohósalaktartalmú cementek savállósága önmagában is növekszik (tömegveszteség: 15,3→12,7→10,4 m/m% a kohósalak-mentes, 26, illetve 66% kohósalak tartalmú cementek esetén).

A CEM III/B 32,5 N-S cement kedvező savállóságát, az egyébként szulfátálló CEM I 32,5 N-S cementhez képest a 2. ábra is igazolja.

A szilikaporról illetve metakaolinnal (11 m/m% cementre vonatkoztatva) készített változatok ugyanezekre a cementekre (CEM I 42,5 N és CEM II/B-S 42,5 N) még jobbak: a tömegveszteség egyaránt kb. 11,2 m/m%. Az egyébként is legkedvezőbb CEM III/B 32,5 N LH/SR esetében csak ~7,8 m/m% a tömegveszteség: ez kb. a fele a tiszta CEM I 42,5 N pép veszteségének. Az itt használt szilikapor (Centrilit Fume SX) és metakaolin (Metaver I) – az adott vizsgálati feltételekkel – egyenértékű volt. A hazai betonipar inkább az olcsóbb metakaolinokat választja.

1. ábra: Cementkövek tömegcsökkenése pH=3,5 kémhatású ecetsavban, 90 nap alatt

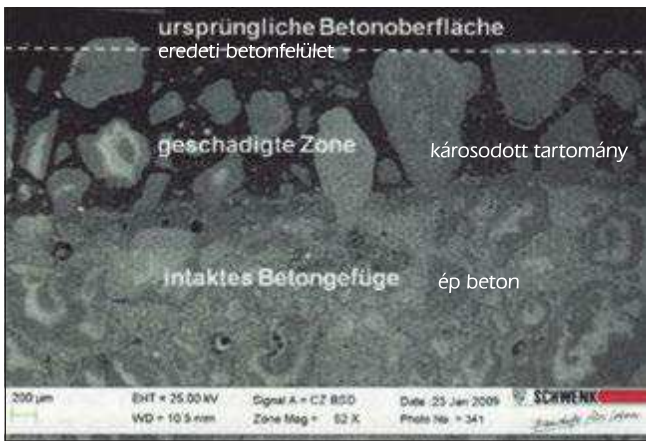


2/a ábra: 2005-ben CEM I 32,5 N-S cementtel készült takarmánytároló állapota 2010-ben (fényképezte: Kovács József DDC Kft.)



2/b ábra: 2005-ben CEM III/B 32,5 N-S cementtel készült takarmánytároló állapota 2010-ben (fényképezte: Kovács József DDC Kft.)

Németországban a szilikapor tartalmú kohósalakos CEM II/B-M (S-D) 52,5 N jelű kompozit cementeket sikeresen alkalmazták kénsvkorrózió esetén (König et al., 2010). A cement klinker és kohósalak részét külön örölték, hogy az eltérő keménységű anyagból a kívánt szemeloszlást kaphassák, majd utána a szilikaporról együtt nagy teljesítményű berendezésekben homogenizálták. Ehhez a 310 kg/m^3 cementhez még 50 kg/m^3 pernyét keverték a betonba és a $(v/c)_{\text{ekv}}=0,42-0,45$ -ös keverékből PCE alapú folyósító szerrel 90 N/mm^2 nyomószilárdságú (28d) betont kaptak (márkanéve: „DURACRETE®” Lichtmann, 2009). Ezeken a



3. ábra: Beton szövetszerkezetének elektronmikroszkópos felvétele (König et al., 2010)

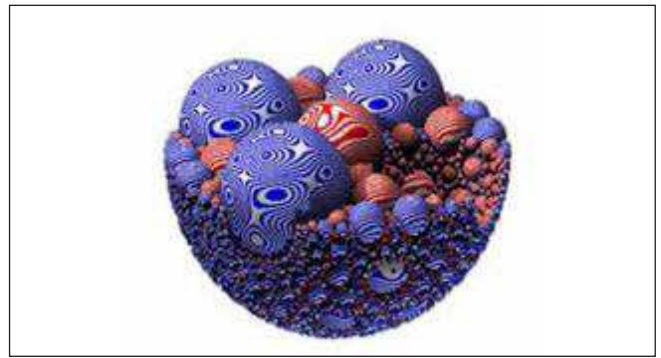
betonokon 12 heti, pH=2,5-ös kénsavban való áztatás után 5,5 m/m% tömegvesztés, a csiszolaton pedig 1,2 mm mély felületi veszteséget és 0,7 mm vastag savkárosodott (pH<10,5) átmeneti zónát mértek.

Ez utóbbit pásztázó elektronmikroszkóppal mérték. Jellegzetes felvétel a 3. ábrán látható.

A DURACRETE® kénsaválló beton kötőanyaga tehát 4-alkotós, 3 féle kiegészítő anyaggal, klinker+szilikapor+kohósalak (a cementben) és külön adagolt kőszénpernyével készül. A röntgendiffrakciós elemzés szerint a szulfátálló etalon portlandcementtel (CEM I 42,5 R-HS) –kiegészítők nélkül készített – beton kötőanyagán, illetve a sikeres DURACRETE® betonén az alábbi fázisokat mérték félkvantitatív módon – 1. táblázat (+=kevés, ++=közepes, +++=sok).

1. táblázat: Röntgendiffrakciós fáziselemzés (König et al., 2010, p.723)

	Etalon	DURACRETE®
Gipsz	++	+
Ettringit	++	+
Portlandit	+++	+
Calcit	+	-
C3S	+	-
C2AF	+	-



4. ábra: Idealizált szemcseméret-eloszlás (Hüttl - Hillemeier, 2000; Cemkut, 2011)

2.2 A kötőanyag és adalékanyag halmaz együttes szemeloszlása

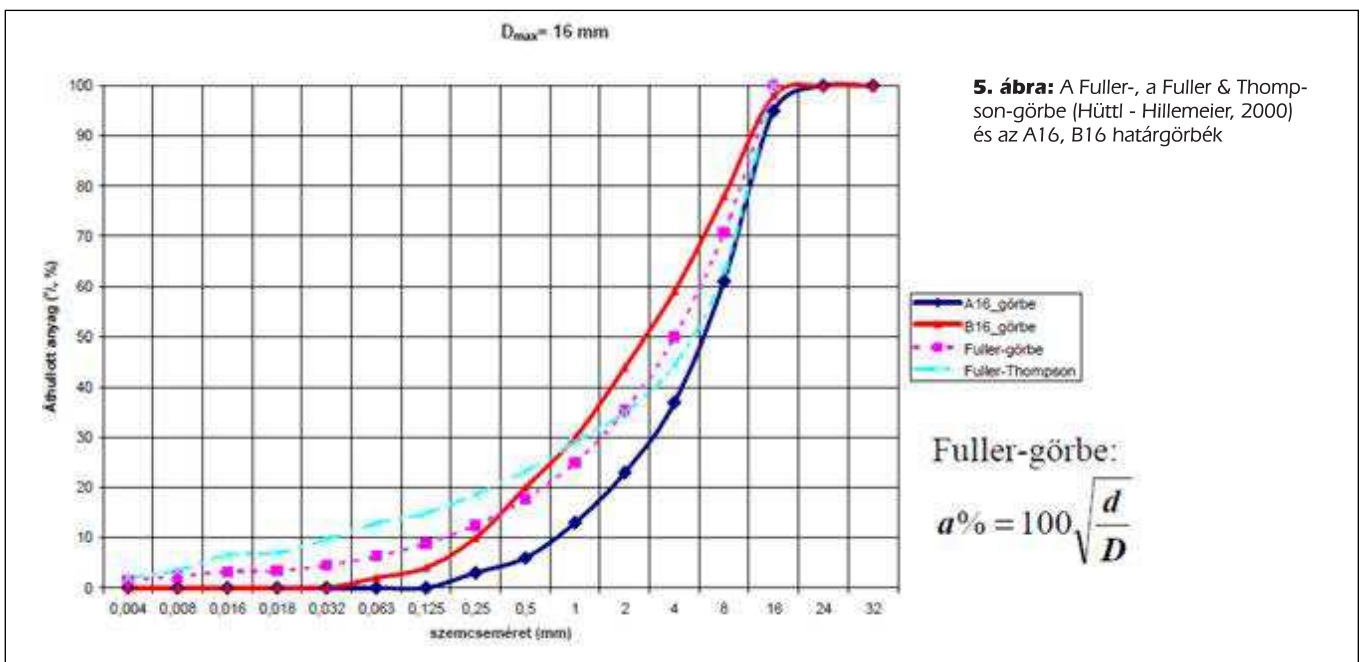
A folytonos, nyújtott szemeloszlás révén a legjobban „térkitöltő”, legkisebb hézagterefogatú szemhalmazt kapjuk. A legkedvezőbb hézagterefogat egyúttal a legkisebb vízigényt is jelenti. A szemeloszlás geometriai (térkitöltési) követelményeit a Fuller & Thompson görbe adja: *ebbe beletartozik az adalékanyag legnagyobb szemnagyságától (D) kezdve, az összes felező szemméretén végig, akár az 1 µm-ig lefele terjedően az előírt összes térfogat%, tehát a kötőanyagoké is.* Ilyen gömbhalmaz idealizált képe a 4. ábrán, a Fuller & Thompson (F&T) teljes szemeloszlás D=16 mm-re pedig az 5. ábrán látható.

Az 5. ábrán látható görbék alapadatait a 2. táblázatban gyűjtöttük össze.

Alkalmas szemeloszlású kötőanyagokból (cement+kiegészítők) és szűk adalékanyag frakciókból ilyen keverék összeállítható.

A Cemkut Kft. előkísérleteiben használt kötőanyagok szemnagyság szerinti gyakorisági diagramjai a 6. ábrán láthatók. A Centrlit Fume SX 57000 cm²/g fajlagos felületű szilikapor, a Metaver nevű metakaolin 23000 cm²/g, és a Centrlit NC nevű metakaolin 17000 cm²/g fajlagos felületű. A metakaolinok szemmérete közel van a CEM III/B 32,5 N LH/SR jelű (az egyébként legkedvezőbb sav-és szulfátállóságú) cementéhez: az F&T görbe követése szempontjából a szilikapor szemmérete kedvezőbb lenne.

A geometriai (F&T) megfelelésen kívül van a kötőanyag



5. ábra: A Fuller-, a Fuller & Thompson-görbe (Hüttl - Hillemeier, 2000) és az A16, B16 határgörbék

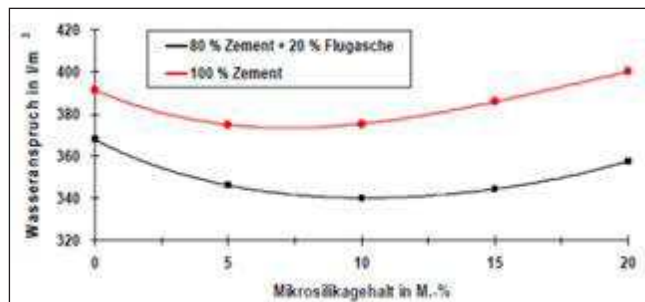
2. táblázat: Az F&T alapadatai és a szemeloszlási szabványos határ-görbék D=16 mm esetén

d/D,F&T	F&T térf%	Szita (mm)	A16	B16
1 / 4096	2	0,004	0	0
1 / 2048	3,5	0,008	0	0
1 / 1024	6,5	0,016	0	0
1 / 888	7	0,019	0	0
1 / 512	9,69	0,032	0	0
1 / 256	12,9	0,063	0	2
1 / 128	14,9	0,125	0	4
1 / 64	18,6	0,25	3	10
1 / 32	23,3	0,5	6	20
1 / 16	29,1	1	13	30
1 / 8	35,1	2	23	44
1 / 4	44,4	4	37	59
1 / 2	62,9	8	61	78
1 / 1	100	16	95	98

keveréknek a tényleges szemalakjuktól is függő vízigénye: ennek legkisebb értékét kísérlettel lehet meghatározni (7. ábra).

A 7. ábra szerinti 2-alkotós, cement+szilikapor keverék (felső vonal) alatt halad a 3-alkotós, [cement (80%) + pernye (20%)] + a hozzáadott változó mennyiségű szilikapor (alsó) vonala. Eszerint nem elegendő a kötőanyagok (cement+kiegészítők) szemeloszlásának geometriai megfelelése a Fuller & Thompson görbe szerint, hanem további „vízigény-finomításra” is szükség lehet. Ha a környezet kénsavas (füstgáz elvezető hűtőtornyok széntüzelésű erőművekhez, biogáz üzemű berendezések, egyes ipari szennyvizek), és ugyanakkor nagyobb és korábbi szilárdságra van szükség, akkor lehet szulfátálló (SR0) portlandcementet (42,5, illetve 52,5) használni, *de ehhez mindenképpen kell kiegészítő anyag, esetleg 2-3 féle is*, mert különben a beton nem lesz kénsaválló. Ezt szemlélteti a 8. ábra.

7. ábra: A Puntke módszerrel kimutatható legtömörebb változat 10% szilikapor tartalmú (cement+pernye) keverékhez (Puntke, 2002)



Zement= cement, Flugasche=pernye, Mikrosilikagehalt= mikroszilika tartalom, Wasseranspruch= vízigény

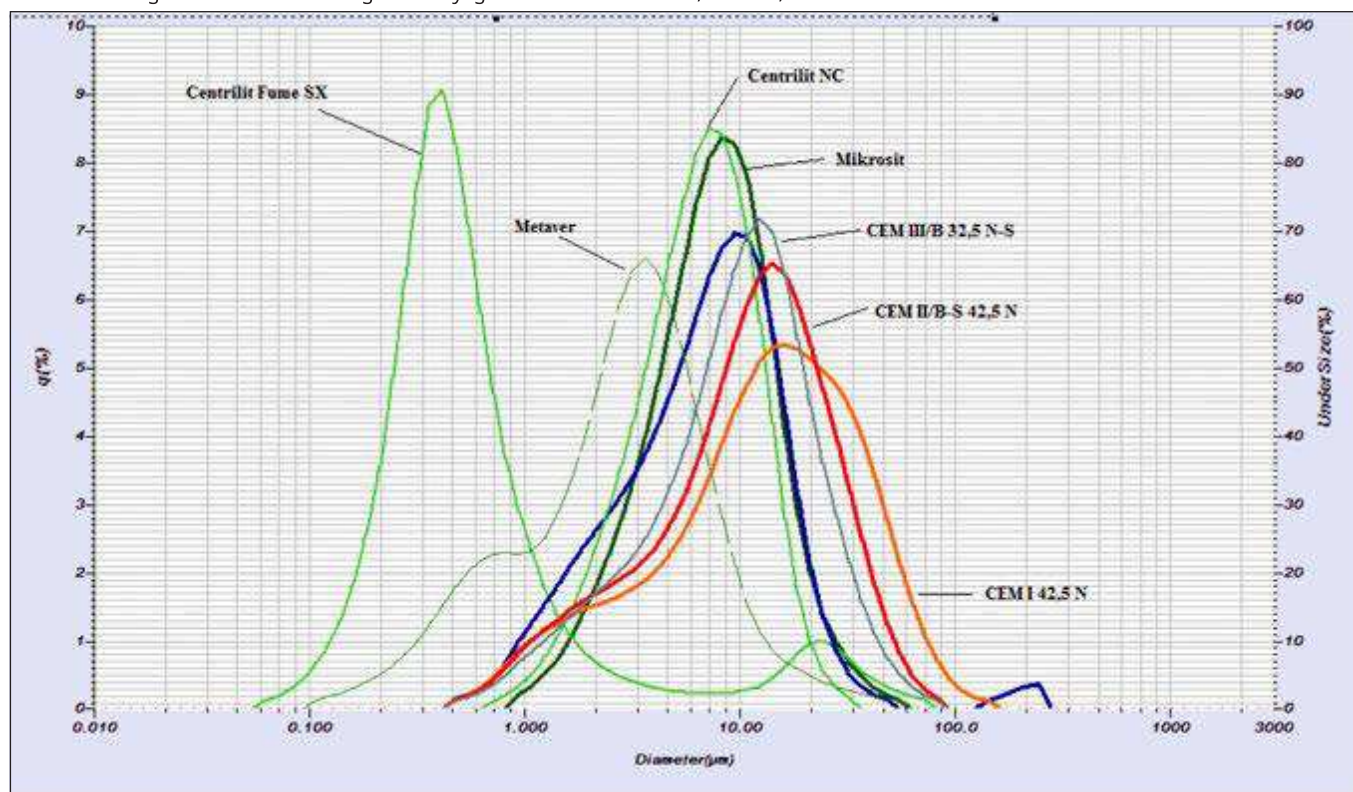


8. ábra: Kénsavban áztatott próbatetek roncsolódása 75 napos tárolás után: alul egy tiszta szulfátálló portlandcementből készült, felül pedig cementet, pernyét és mikroszilikát is tartalmazó 10x40x160mm-es habarcslemez látható. (Hüttl - Hillemeier, 2000)

2.3 A KÖTŐANYAGOK TÉRFOGATA

A betonból kioldható térfogat gyakorlatilag csak a cementkő, a megszilárdult kötőanyagpép, mert a hazai homokos kavicsokat és a zúzott követ (a mészkő kivételével) *gyakorlatilag savállóknak* tekinthetjük. A $CaCO_3$, akár mint adalékanyag (pl. kiegészítőként használt mészkőliszt az öntömörödő betonban),

6. ábra: A vizsgálati cementek és a kiegészítő anyagok szemméret-eloszlása, Cemkut, 2013



3. táblázat: A Ruhr-vidéken épített bevonat nélküli hűtőtornyok fontosabb adatai (Lohaus -Petersen - Griese, 2009)

Hűtőtorny	Niederaußem	Neurath	Boxberg	Datteln	Hamm
Építető	RWE		Vattenfall	EON	RWE
Kivitelező	Heitkamp	Weimer/Trachte und Alpine	Heitkamp	Wayss & Freytag und Schaffer Bauten	Wayss & Freytag
Építés kezdete	1999	2006	2007	2008	2008
cement típusa	CEM I 42,5 R-HS/NA	CEM I 42,5 R-HS/NA	CEM II/B-S 42,5 R-HS/NA	nincs adat	CEM I 42,5 R-HS/NA
cementtartalom [kg/m ³]	250	251	270	nincs adat	250
kiegészítőanyag	köszénpernye (SFA)+ szilikapor	köszénpernye (SFA)+ szilikapor	Köszénpernye+ igen finom pernye	nincs adat	köszénpernye (SFA)+ szilikapor
(v/c) _{ekv}	~0,40-tól 0,42-ig				

akár az L vagy LL jelű cementek mészköliszt tartalma *savoldható, tehát kerülendő*. Szennyvíz elvezető betoncsöveket mégis szoktak néha gyengén oldódó mészkő vagy dolomit adalékanyaggal készíteni, mert így a cementkő és az adalékanyag fogyasztása hasonló, a cső belső fala simább marad – kedvezőbb a medererdességi-tényező –, míg csak az egész csőfal egy idő múlva „el nem fogy” (Woods, 1968)

A beton kötőanyag tartalma tehát a lehető legkisebb legyen. A Ruhr-vidéki erőművek füstgáz elvezető hűtőtornyainak beton receptúráiból is ez a törekvés látható (3. táblázat). A beszámítható kötőanyag, illetve a cementtartalom együtt sem éri el a DIN 1045-2:2014 szabvány tervezetben az XA3-ra előírt legalább 360 kg/m³ értéket. Ugyanez a helyzet a „saválló” betoncsövek esetében (Breit, 2002)

A széleskörű kutatási eredmények alapján a F&T görbe szerinti legtömörebb szemhalmazsal és a finomrészek további optimalizálásával így is elérhető az elegendő kötőanyag tartalom, - megjegyezve, hogy a 3. táblázat példái közül csak a boxbergi, 270 kg/m³ cementtartalmú beton volt jól szivattyúzható (Lyhs - Silbereisen, 2008). Az F&T görbe szerint kiadódó kötőanyag (pl. 63 µm alatti) szemek mennyiségét tehát adott esetben felül kell bíráltni.

2.4 A kiinduló betonra vonatkozó egyéb követelmények

A szokásos betonösszetéti és szilárdsági követelményeken túl a savállósági vizsgálatokkal párhuzamosan a szakintézetek el szokták elvégzi a kloridbehatolási diffúziós tényező (D, m²/s), a porozitás, esetleg a pórusméret eloszlás vizsgálatát. Célszerű a vízfelvétel és a vízzáróság meghatározása is. Ha egy beton nem vízzáró, akkor saválló sem lehet: a vízzáróság a savállóságnak szükséges, de nem elégséges feltétele.

3. A SAV OKOZTA KÁROSODÁS NÉHÁNY LEHETSÉGES MÉRŐSZÁMA

1. A tömegcsökkenés a leggyakoribb, jól mérhető, ellenőrizhető és az m/m%-t(idő) diagramból a lassulás vagy gyorsulás is megítélhető.
2. A viszonyított (relatív:R) E_{din} dinamikai rugalmassági modulus változásainak nyomon követése ultrahang terjedési sebességek, illetve önrezgésszám változások alapján, - kipróbálva a fagyhatás okozta belső szerkezetváltozás (internal damage) mérésére vonatkozó MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti módszereket a savhatásra is.
3. A sav okozta külső réteg változása, kéreg keletkezése (méret, szövetszerkezet mikroszkópos elemzéssel, pl. a 3. ábra szerint) illetve a fenolftalein reakcióval kimutatható „ép mag” méretei.

4. A vizsgálat végén mérhető hajlító erők és szilárdságok, illetve nyomószilárdságok összehasonlítása az etalon (vízben tárolt) beton próbatestek adataival. A hajlító erőkől visszaszámolható a kezdeti „ép” keresztmetszet csökkenése. (ÖNORM 4710-1:2014 Beton, tervezet. N melléklet).

5. Célszerű a maradó lúgosságot (rest alkalinity) is meghatározni, tisztázandó, hogy a savanyú kiegészítők miatt nem csökkent-e a vasbetétek védettsége. Mérőszáma: Ca(OH)₂ g/100 g kötőanyag, követelmény ≥ 2,5 m/m% (Berlin Brandenburg MPA) illetve 91 napos korban ≥ 3% (Lyhs - Silbereisen, 2008) vagy maradó pH ≥ 12,5 lúgosság, amely még 20% szilikaporról is teljesül (Neville, 1995)

4. A FULLER&THOMPSON-GÖRBE SZERINT ÖSSZEÁLLÍTOTT BETON SAVÁLLÓSÁGI VIZSGÁLATA (CEMKUT)

4.1 Betonösszetétel és szabványos szilárdság

A Cemkut D=16 mm-es F&T görbe teljes szemeloszlása szerinti betonjának receptúrája (4. táblázat) is kis kötőanyag tartalmú. A pontos szemeloszláshoz az adalékanyagot a 4. táblázat szerinti frakciókra szitáltuk szét, és azokból állítottuk össze. Ez a gyakorlatban nyilván nem lehetséges.

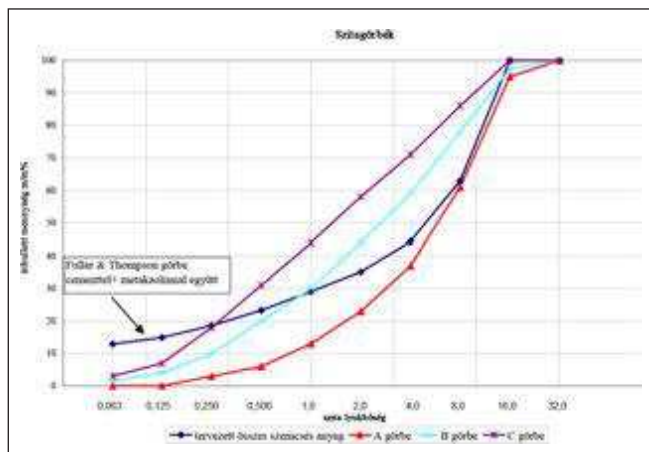
Az összes kötőanyag (CEM III/B 32,5 N-LH/SR + metakaolin) K=311,2 kg/m³ (=105,2 l/m³), a kötőanyagpép térfogata levegő nélkül 227,2 l/m³. Az adalékanyag összes tömege a=1980,8 kg/m³; az adalékanyag/kötőanyag arány a/K=6,36, tehát a beton aránylag kis kötőanyag tartalmú, és v/K=0,39 volt. Az F&T szemeloszlás 63 µm fölötti része a 9. ábrán látható, a szabványos határgörbékkel együtt. Üzemi gyakorlatban tehát **D=16 mm esetén** elegendő az A görbe közeli szemeloszlás és az F&T szerinti kötőanyag tartalom alkalmazása. Nagyobb D esetén (22,4 mm; 32 mm) az F&T-görbe túl kevés 63 µm alatti szemcsét ír elő, ezért ilyenkor a bedolgozhatósághoz előírt konzisztencia eléréséhez szükséges lisztfinom 0,125 mm alatti, illetve 0,25 mm alatti finom szemek mennyisége, benne a kötőanyag tartalom próbakeveréssel határozandó meg. A kötőanyag **fajtájára** nézve (cementfajta, kiegészítők) a 2.1 pont követendő.

Ha a F&T görbe 63 µm-hez tartozó kb. 13%-os pontjához (ennyi a kötőanyag) igazítjuk az „A16”, „B16”, és „C16” határgörbét, akkor látható, hogy az F&T az A16-hoz közel, 2 mm-ig kissé fölötte halad (10. ábra).

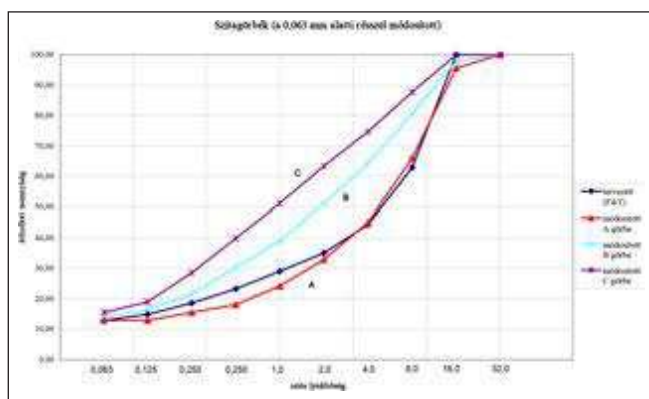
A 28 napig vízben tárolt 4 darab 150x150x150 mm-es próbakocka szilárdsága rendre 53,7-53,0-53,3-54,1 N/mm², átlaga: 53,5 N/mm². 5 N/mm² szórás feltételezve és 1,645-ös Student tényezőt alkalmazva a küszöbszilárdság, azaz

4. táblázat: A F&T görbe szerinti betonkeverék összetétele (Cemkut 37/2014)

1 m ³ beton összetétele	Adalékanyag	frakciók	tömeg [kg]	térfogat [l]
		Cement	< 90 μm	282,32
	Metakaolin	< 63 μm	28,89	11,12
		< 0,063 mm	16,54	6,26
		0,063/0,125	42,19	15,98
		0,125/0,25	83,57	31,65
		0,25/0,5	106,15	40,21
		0,5/1	131,00	49,62
		1/2	135,51	51,33
		2/4	209,13	79,22
4/8	418,75	158,62		
8/16	837,93	317,40		
Víz	-	122,00	122,00	
Levegő (2 tf%)	-	-	20,00	
Adalékyszer	-	2,49	2,49	
Tömeg:	-	2416,45	-	
Térfogat:	-	-	1000,00	



9. ábra: F&T beton szemeloszlása, D=16 mm



10. ábra: „A16”, „B16”, és „C16” határgörbékhöz igazított F&T görbe

karakterisztikus érték $f_{ck} = 53,5 - 8,2 \text{ N/mm}^2 = 45,3 \text{ N/mm}^2$. Az F&T beton tehát C35/45 szilárdsági osztályú, ami megfelel az XA3 környezeti osztálynak.

Az 56 napos (28 napig vízben tárolt) korban a próbakockák átlageredménye 57 N/mm^2 . Számottevő utószilárdulás vélhetően azért nincs, mert a kohósalakos kötőanyag a 28 napos vízben tárolás alatt gyakorlatilag teljesen hidratálódott.

4.2 Savállósági vizsgálat és a hozzátartozó mechanikai vizsgálati eredmények

Az F&T görbe szerinti szemeloszlású és a 4. táblázat szerinti összetételű betonból készített 70x70x250 mm-es próbahasábokat 28 napos vízben tárolás után $T=30^\circ\text{C}$ -on kiszárítottuk, hogy azután a savfelvétele a lehető legnagyobb legyen. Telítés után a próbatesteket 569 napig, a vizsgálat végéig $T=20\pm 2^\circ\text{C}$ hőmérsékleten vízben ill. $\text{pH}=3,5$ kémhatású ecetsavban tároltuk, a savat a szükséges időközönként lecseréltük. A folyamatos tömegmérésekből számított veszteségek diagramja a 11. ábrán látható, jellegében lassuló.

A vizsgálat ideje alatt a savban ázó próbatesteket nem dörzsöltük le, a vizsgálat végén kb. 1 m/m% laza anyagot lehet ledörzsölni. Ezt a veszteséget a diagramban nem tüntettük föl.

A „V” vízben tárolt, ill. „S” savban tárolt 3-3 próbatest mechanikai vizsgálati eredményei az 5. táblázatban találhatók.

A 75%-nyi maradó nyomószilárdság megfelel az MSZ 4719:1982 (visszavont) szabványban a fagyállóságra adott határértéknek. A mért 569 napos 3,5%-os tömegvesztés a ledörzsölt +1%-kal együtt a fenti szabványban megengedett 5%-os tömegcsökkenéshez közel van.

A hajlítás utáni törési keresztmetszet fenolftaleinnel kezelt törésképe a 12. ábrán látható. Eszerint egy 5-7 mm vastag fehér színű kéregben nem mutatható ki portlandit, a belső mag épek tekinthető. Joggal feltételezhető (Nischer, 1995), hogy a nem teherbíró kérgen belüli ép magnak (sötétszürke) ugyanaz a szilárdsága, mint a savnak ki nem tett etalon próbatesteké.

A savban áztatott próbatestek tönkrement kérgének vastagsága- makroszkópos és mikroszkópos méréseken kívül- tehát közvetve is meghatározható és ez az eredmény pontosabb lehet, mint a makroszkópos mérés. A savazott próbatesteknek „a_s” ismeretlen oldal méretű ép magja és a nyomatékok, illetve hajlító húzó feszültségek közti összefüggés az alábbi:

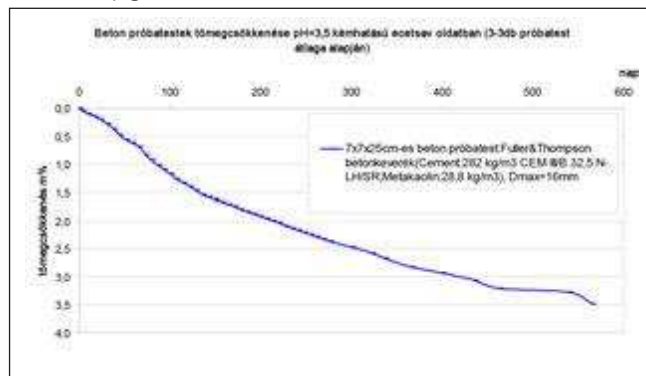
$$\sigma_v = \frac{M_v \times 6}{70 \times 70^2} = \frac{M_s \times 6}{a_s^3} \quad \text{és ebből:} \quad a_s = 70 \sqrt[3]{\frac{F_s}{F_v}}$$

ahol σ_v a vízben tárolt hasábok hajlító-húzószilárdsága, M_v illetve M_s a vízben, illetve savban tárolt 70x70x250 mm-es próbahasábokon mért hajlító nyomaték, és

$$\frac{M_s}{M_v} = \frac{F_s}{F_v} \quad \text{a törőerők aránya. A kéreg nem teherhordó}$$

átlagos vastagsága tehát: $b=(70-a_s)*0,5$. A „b” adatok (5,5-8 mm) szintén az 5. táblázatban találhatók.

11. ábra: Fuller & Thompson betonkeverék tömegcsökkenése ecetsavban 569 napig



5. táblázat: F&T betonkeverék mechanikai vizsgálati eredményei.

		testsűrűség átlag [kg/m ³]	hajlítóerő [kN]	hajlítóerő átlag [kN]	σ hajl. [N/mm ²]	ép "a" mag [mm]	roncsolt "b" kéreg [mm]	nyomóerő [kN]		nyomószilárdság [MPa]
Ecetsavban	S I-1	2286	4,53	4,1 (55%)	4,32	59,0	5,5	199	196	40 (75%)
	S I-2		4,245		4,08	60,5	4,8	199	198	
	S I-3		3,609		3,38	54,3	7,9	186	192	
Vízben	V II-1	2337	7,876	7,5 (100%)	6,95	-	-	210	264	53 (100%)
	V II-2		6,814		6,04	-	-	280	176*	
	V II-3		7,942		7,11	-	-	278	267	



12. ábra: Az F&T beton fenolftaleines vizsgálata



13. ábra: 70x70x250 mm-es próbatétel önrezgésszámának mérése. ÉMI

4.3 Roncsolás mentes vizsgálati eredmények

A BME Építőanyagok és Magasépítési Tanszék laboratóriumában – a mechanikai vizsgálatok előtt – megmérték a kiszáritott etalon vízben (V) ill. savban (S) tárolt próbatesteken az *ultrahang terjedési sebességét*. Az adatok és az ebből számítható RDM_{upt} (%) relatív dinamikai rugalmassági modulus a 6. táblázatban található.

A kapott ~ 84%-os relatív dinamikai modulus jóval nagyobb, mint a fagyállósági határra előírt 75%-os határérték (BAW Merkblatt, 2012). Az ultrahang tehát a savnak kitett keresztmetszet romlását kisebb mértékűnek ítéli meg, mint amennyi a nyomószilárdságból számítható (75%, 5. táblázat). Ennek oka az lehet, hogy a sav nem okoz „belső szerkezeti károsodást” (internal damage).

Az *önrezgésszám változásán alapuló* mérést az ÉMI Nonprofit Zrt. Anyagvizsgálati Laboratóriumában végezték (Molnár Tamás okleveles betontechnológus szakmérnök, ÉMI szakértő, Boros Dániel vizsgáló technikus). Az ottani készülékben (13. ábra) a próbahasábot kéttámaszú tartóként lehet elhelyezni és csekély átalakítással lehet pontosan az MSZ CEN/TR 15177:2009 szabvány szerinti módon, lágy aljzaton végigfektetve vizsgálni. Ezt az egyetlen ilyen hazai

6. táblázat: Fuller & Thompson-féle betonkeverék ultrahangvizsgálata (Az ultrahangos mérést végezte: dr. Salem George Nehme egyetemi docens, laboratóriumvezető)

Ultranhangvizsgálat 70x70x250mm-es kiszáritott próbatesteken						
	próbatétel	t átlag	km/s	átlag [km/s]	négyzete	RDM _{upt} [%]
vízben	SI-1	51,83	4,82	4,81	23,14	83,85
	SI-2	52,17	4,79			
	SI-3	51,90	4,82			
savban	VII-1	56,13	4,45	4,41	19,41	$\frac{v_s^2}{v_v^2}$ (%)
	VII-2	55,13	4,53			
	VII-3	59,13	4,23			

készüléket érdemes úgy átalakítani, hogy az MSZ CEN/TR 15177:2009 szabvány szerinti mérésre is alkalmas legyen, és ezzel a tönkremenetel folyamatát (fagy, szulfát, sav stb. hatása) roncsolás mentesen követni lehessen.

4.4 Kiegészítő vizsgálatok

Vízjáróság. A 28 napig vízben, utána laboratóriumi légtérben tárolt próbatesteken MSZ 12390-8:2011 szabvány szerint vizsgált (72±2 óra, 5 bar) próbatesteken 18mm-10mm-8mm behatolást mértünk. Ez megfelelt az MSZ 4798:2015 (tervezet) szabvány szerinti XV3(H) osztályban előírt ≤ 20 mm-nek. (A vizsgálatig, tehát végig vízben tárolt próbatesteken az eredmények kedvezőbbek lennének).

Fokozatos víztelítés. A fokozatos víztelítés az MSZ EN 4715-3:1972 szabvány szerint mérve 4 próbatesten átlagosan 0,96 m%-ra adódott. A térfogatos vízfelvétel a beton testsűrűségével számolva $2,4 \frac{kg}{dm^3} * 0,96 m\% = 2,3$ térfogat%, amely igen kedvezően kis érték.

Kloridpenetrációs vizsgálat. Az ASTM C1012 szerinti, a Cemkut-nál működő berendezéssel a szabványos 6 óra alatt a 3 próbatesten az alábbi töltésmennyiség hatolt át egyenként: 113, 126 illetve 152 Coulomb. A szabvány a 100 alatti töltésáthatolást „elhanyagolhatónak”, a 100-1000 közöttit „nagyon kicsinek” nevezi. A Cemkut mérések szerint tehát a kérdéses F&T beton klorid penetrációja az „elhanyagolható” és a „nagyon kicsi” határvonalához közel van: ezzel a savállóság egy közvetett feltétele teljesül.

Feltételezhető, hogy a másféle elv alapján mérhető diffúziós együttható megfelelne a $D = 1 * 10^{-12} m^2/s$ határértéknek (Lyhs, - Silbereisen, 2008). A ~60 m/m% kohósalak tartalmú cementek esetében 0,5 és $1,0 * 10^{-12} m^2/s$ közötti diffúziós tényező várható (Müller, - Wiens, 2014). Megemlítjük, hogy a Tang és Nilsson (1992) javaslatának



14. ábra: Vízben (elől) és ecetsavban (hátról) tárolt beton próbatétel nedvesedése

megfelelő gyorsvizsgálati klorid migrációs készülék a BME Építőanyag és Magasépítés Tanszéken működik.

A savban ázott próbatétel kérgének vizsgálata

A 12. ábrán látható 5-8 mm vastag kéreg szemmel láthatóan porózus, éles szerszámmal könnyen kaparható volt.

7. táblázat: Kiegészítő anyag nélküli üzemi cementekkel készített betonok tömegcsökkenési adatai, 160 napos ecetsavas tárolás után (vizsgálat kezdete: 190 napos korban)

Cementfajta	Tömegcsökkenés		Savállóság javulás [%]**
	[m/m%]	Viszonyított [%]*	
CEM I 42,5 N, ks=0-5%	4,82	100	0
CEM II/ B-S 42,5 N, ks=26%	3,45	71	29
CEM III/B 32,5 N-LH/SR, ks=67%	2,62	54	46

ks= kohósalak tartalom a gyártó szerint, *= CEM I 42,5 N-es cementből, kiegészítő anyag nélkül készített beton próbatetekhez képest, **=A savállóság javulása a CEM I 42,5 N-es cementből készített beton próbatetekhez képest, a tömegcsökkenések alapján.

8. táblázat: Három-féle kiegészítő anyaggal készített betonok $\Delta m\%$ tömegcsökkenési és javulási adatai, 160 napos ecetsavas tárolás után (vizsgálat kezdete: 190 napos kortól)

Cementfajta	Változások	Centrilit NC (metakaolin)	HM 20-044	HDT	Legjobb kiegészítők
CEM I 42,5 N	$\Delta m\%$	2,58	3,83	3,11	I.Centrilit NC II. HDT III. HM 20-044
	relatív $\Delta m\%*$	53	79	64	
	1Javulás%**	47	21	36	
	2Javulás%***	47	21	36	
CEM II/B-S 42,5 N	$\Delta m\%$	2,39	3,07	2,78	I.Centrilit NC II. HDT III. HM 20-044
	relatív $\Delta m\%*$	69	89	80	
	1Javulás%**	31	11	20	
	2Javulás%***	50	36	42	
CEM III/B 32,5 N-LH/SR	$\Delta m\%$	2,15	2,14	2,18	Mindhárom azonos hatású
	relatív $\Delta m\%*$	82	82	83	
	1Javulás%**	18	18	17	
	2Javulás%***	55	56	55	

*=Tömegcsökkenés változás a kiegészítő anyag nélküli (7. táblázat) cementekből készített beton próbatetekhez képest, **= Az ugyanezzel a cementtel készített, kiegészítő anyag nélküli betonhoz képest, ***= CEM I 42,5 N-es cementből, kiegészítő anyag nélküli készített betonhoz képest

Ennek igazolására szolgál a 14. ábra, az etalon vízben tárolt próbatesten nem terül szét, nem tűnik el a vízlencse, a savazott próbatést kérgébe viszont akadály nélkül beszívódik.

5. BTC VIZSGÁLATOK ÉS EREDMÉNYEK

5.1 Vizsgálati körülmények

A BTC laboratóriumok az előre egyeztetett CEM I 42,5 N, CEM II/B-S 42,5 N és CEM III/B 32,5 N-LH/SR cementtel, AB16 középgyörbéjű, 3 frakcióból kevert adalékanyaggal, mindig $v/c=0,4$ -gyel (metakaolin esetén $[v/c]_{\text{ekv}}=0,4$ -gyel) készített 48-54 cm területű, tehát szivattyúzható betonokból 70x70x250 mm-es hasábokat vizsgáltak. Az összetételek

- Etalon: 385 kg/m³ cement
- 340 kg/m³ cement +40 kg/m³, azaz 11,8 m/m% Centrilit NC (metakaolin),
- 385 kg/m³ cement +3 kg/m³, azaz 0,8 m/m% HM20-044 (por alakú kiegészítő),
- 385 kg/m³ cement + 7,7 kg/m³, azaz 2 m/m% HDT (por alakú folyósító hatású kiegészítő)

A pH=3,0-3,5 ecetsavas vizsgálatokat 190 napos (28 napig vízben tárolt) próbatetekkel végezték 160 napon át. A végső tömegcsökkenések és a belőlük számítható „javulási%”-okat az 7. és 8. táblázatban állítottuk össze. E két táblázatban Szegőné Kertész Éva tömegcsökkenési adatait elemeztük tovább (Szegőné, 2015). További adatokat közvetlenül a szerzőtől kaptunk.

A szürkével kiemelt eredmények a legjobb(ak). A CEM III/B 32,5 N-LH/SR + kiegészítő anyaggal itt kapott javulás hasonló a tiszta cementpépeken (lásd 2. ábra) mért javuláshoz, metakaolin és szilikapor esetén.

6. A BTC KÍSÉRLETEIBŐL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

A BTC vizsgáló laboratórium eredményeit tovább elemezve megállapítható, hogy:

1. Ha CEM I 42,5 N helyett névlegesen 21-35% (itt ténylegesen 26%) granulált kohósalak tartalmú CEM II/B-S 42,5 N cementet használunk, akkor az (ecet)sav állóság 30%-kal javul, CEM III/B 32,5 N cement alkalmazása esetén (névlegesen 36-80 %, itt ténylegesen 67% granulált kohósalaktartalom) pedig 46%-kal.
2. Ha szilárdulási okokból a tiszta CEM I 42,5 N-es cementet használjuk, akkor:
 - metakaolin (Centrilit NC) alkalmazásával 47%-os,
 - HDT univerzális adalékszer esetén 36%-os javulás,
 - HM 20-044 adalékszer esetén pedig 21%-os javulás várható.
3. A kohósalakos (CEM II, CEM III) cementek még javíthatók kiegészítő anyaggal saját magukhoz képest is:
 - a CEM II /B-S 42,5 N cement akár 31%kal is javítható (Centrilit NC),
 - a CEM III/B 32,5 N cement esetén 17-18%-os javulást mért a BTC Kft, közel azonosat mindhárom kiegészítő anyagra.
4. Az eleve jobb savállóságú (ún. kohósalakos) cementek a kiegészítővel kevésbé javíthatók (20-35%-kal), mint a CEM I 42,5 N cement (lásd fenti 2. pont).
5. *A legjobb savállóságot a CEM I 42,5 N cementhez képest a CEM III/B 32,5 N-es cementtel és kiegészítő anyaggal érhetjük el: az itt vizsgált 3-féle kiegészítő e cementtel gyakorlatilag azonos hatású, kb. 55-56% a javulás.*
6. A HDT előnyeként megemlítik, hogy folyósító hatása miatt e mellé nem kell külön folyósító szert alkalmazni. Silófalak javításhoz is sikeresen alkalmazták (BTC).
7. Ha kénsav okozza a korróziót (H_2S^+ és SO_4^{2-}), akkor a *szulfátduzzadás megakadályozására* is célszerű CEM III/B típusú cementet és kiegészítő anyagot alkalmazni. A CEM III/B típusú cementeken a megállapodásos 28 napnál hosszabb vizsgálati idő után sokkal kisebb duzzadás mérhető, mint a C₃A mentes CEM I típusú szulfátálló (SR0) cementeken (Gável, 2004).

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A beton savállósága – hazai viszonyok közt – javítható (azaz a tömegcsökkenés felére, vagy az alá is leszorítható) az alábbi feltételek teljesítésével.

1. Az adalékanyag szemmegoszlása az „A” görbe közeli, 2 mm-ig a görbe fölötti legyen
2. A kötőanyag tartalom (cement+kiegészítők) a lehető legkisebb (l/m^3 és kg/m^3) mennyiségére kell törekedni
3. Tiszta portlandcementek (CEM I) helyett – akár szulfátálló, akár nem – a heterogén portlandcementek (CEM II) illetve kohósalakcementek (CEM III) használata javasolt
4. Legalább egy (pl. metakaolin vagy szilikapor), de inkább két olyan kiegészítő anyag alkalmazása javasolt, amelyeknek szemeloszlása nyújtott (nem „egyszemcsés”) és a cement szemeloszlásával együtt legkisebb vízigényű folytonos szemhalmazzá keverhetők (F&T szemeloszlás).
5. A lisztfinom (125 μm alatti) szemek mennyisége az MSZ 4798:2015 (tervezet) szerinti 400 kg/m^3 -nél ne legyen több, de ne is hiányozzék a cement szemmérete fölötti 63-125 μm , sem pedig a 125-250 μm frakció. Ezt a finom frakciót nem szabad savoldható mészköliszttel pótolni.

6. Mészköliszt tartalmú L vagy LL jelű cementet savállónak tervezett betonban nem szabad alkalmazni.
7. A v/c illetve $(v/c)_{ekv} \leq 0,40-0,42$ (esetleg 0,45) legyen. A bedolgozhatóságot a kötőanyaghoz igazított, általában PCE (poli-karboxilát-éter) alapú folyósítóval kell elérni.
8. A kohósalak, illetve kiegészítő anyagok cementek „lassúak”: hosszú nedves utókezelés kell. Minél idősebb korban éri a betont a savhatás, annál savállóbbnak bizonyul.

8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton is megköszönik az itt felsorolt kollégák segítségét:

Dr. Gável Viktória (kutató mérnök – Cemkut Kft.) és Szabó Krisztián (ellenőrző mérnök – Cemkut Kft.) a kötőanyagok lézergranulometriás szemeloszlása és a F&T görbéhez igazodó frakciókeverékek kiszámítása terén; dr. Nehme George Salem (egyetemi docens, laboratórium vezető – BME Építőanyag és Magasépítési Tanszék), valamint Molnár Tamás (betontechnológus szakmérnök, szakértő – ÉMI Nonprofit Zrt.) és Boros Dánielnek (vizsgáló technikus – ÉMI Nonprofit Zrt.) a roncsolásmentes betonvizsgálatok terén; Spráncz Ferencnek (okl. építőmérnök, okl. betontechnológus – Dolomit Kőbányászati Kft.) a Metaver I nevű metakaolin részletes adatainak és anyagmintájának megküldéséért; dr. Walter Knaute-nek (mérnökigazgató – Saxotest Ing. GmbH, Drezda) a mezőgazdasági takarmánysilókhoz küldött háttér információiért; valamint a Duna-Dráva Cement Kft-nek, hogy cementjeikkel hozzájárultak a kutatómunkánkhoz.

9. HIVATKOZÁSOK

- BAW Merkblatt Frostprüfung MFB. 2012. p 17.
Berlin-Brandenburg 2011. július 10./3360/04y. *MPA tanulmány*
Biczók I (1972), „Concrete corrosion, concrete protection”, *Akadémia Kiadó* 1972, pp. 158-163.
Breit, W (2002), „Säurewiderstand von Beton. Acid resistance of concrete”, *beton*, 10. szám. 2002, pp. 505-510.
Cemkut (2011, 2013), „Saválló beton készítéséhez alkalmazandó cementtípusok fejlesztése”, Némethné, Takács E.- Gál A., Erdélyi A. *CK-37 kutatási jelentés*
Gável V. (2004), „A CEM III-jelű kohósalakcementek szulfátállósága”, *XXI Cementipari Konferencia Kiadvány*, Club Tihany. 2004. október 18-20.
Hüttl, R., Hillemeier, B. (2000), „Hochleistungsbeton - Beispiel Säureresistenz”, *Betonwerk + Fertigteile-technik*. 2000/1, pp. 52-60.
KausayT. (2013), „BETON. A betonszabvány néhány fejezetének értelmezése”, *Mérnöki Kamara Nonprofit Zrt.* 2013. ISBN 978-963-88358-4-0.
König, A., Rasch, S., Neumann, T., Dehn, F. (2010), „Betone für biogenen Säureangriff im Landwirtschaftsbau”, *Beton- und Stahlbetonbau*, 2010/11.
Lichtmann, M., (2009), „Säurewiderstandsfähige Betone”, Evonik Industries, Vortrag auf der 17. *Internationalen Baustofftagung*, Weimar, 2009. www.ibautil.de
Lohaus, L., Petersen, L., Grieser, R. (2009), „Beton mit hohem Säurewiderstand für den Kühlturbau- eine Zwischenbilanz”, *Beton*, 2009/9, pp. 370-379.
Lyhs, P., Silbereisen, R. (2008), „Entwicklung und Anwendung von Beton mit hohem Säurewiderstand”, *CEMEX Deutschland AG 2008*
Müller, H., Wiens, U. (2014), „Beton”, *Betonkalender* 2014. 2. kötet. p. 94.
Neville, A.M. (1995), „Properties of concrete”, Longman group Ltd., 1995, p. 674.
Nischer, P. (1995), „Hochleistungsbeton (HL) für den Strassen-und Brückenbau”, 3. fejezet *Strassenforschung* 441. Bécs 1995. ISSN 0379-1491.
Puntke, W. (2002), „Wasseranspuch von feinen Kornhaufwerken” *Beton*, 2002/5. szám. pp. 242-248.
Szegőné K. É. (2015), „Savkorrózió fokozottan ellenálló betonok”, *BETON* szakmai lap. 2015. március/április. pp. 18-20.
Tang, L., Nilsson, L.O. (1992), „Chloride diffusivity in high strength concrete”, *Nordic Concrete Research*. 1992. pp.162-170.
Woods, H. (1968), „Durability of concrete constructions”, *ACI Monograph* No.4, 1968. p. 140.

Dr. Erdélyi Attila (1933) okl. mérnök (1956), ny. egyetemi docens, a műszaki tudomány kandidátusa. Kivitelező a Máv Hídépítő Vállalatnál 1961-ig, majd tervező a Vízterv-nél 1963-ig. Tanársegéd, majd 1965-től adjunktus dr. Palotás László professzor mellett a BME Építőanyagok Tanszéken. 1973-ban egyetemi doktor, 1984-ben a műszaki tudomány kandidátusa, 1985-től egyetemi docens, 1991-től 1995-ig tanszékvezető. A FIP, majd fib Acélbizottságának magyar tagja, az ÉTE Előregyártási és SZTE Betonszakosztályának vezetőségi tagja. 2003-ban Palotás-díjat kapott. Szakterületei: feszítő acélok relaxációja, feszítési veszteségek, adalékszerek, különleges út-, híd-, vízépítési-, nagyszilárdságú-, tömeg- és gyorsbetonok, acélszálas betonok, nagyműtárgyak betontechnológusa. Hazai és európai szabványosítás. Szakmérnöki, továbbképző, doktorandusz és angol nyelvű oktatás a fenti tárgykörökben.

Kovács József (1957.) Nyárádtó, Románia, okl. vegyészmérnök (1984 VVE), okl. betontechnológus (2002 BME). Labor – MEO vezető (1984-1994), területi képviselő, tanácsadó (1994-2000) BÉCEM Rt, alkalmazástechnikai tanácsadó (2000-2018) DDC Kft, ügyvezető (2007-2016) Beton Technológia Centrum Kft.

Gál Attila (1984. Budapest) okl. mérnök, Műszaki Földtudományi Kar, Környezeti eljárás-technikai és hulladékélelőkészítési szakirány (2009 Miskolci Egyetem), Nemesdy Ervin diplomadíj, Harsányi István tanulmányi ösztöndíj. Ellenőrző mérnök (2010-2018 Cemkut Kft.). Kutatási terület: cementek szulfáduzzadásának mérése; cementek savállósági vizsgálatának fejlesztése. Laboratórium vezető (2018-tól jelenleg is) Beton Technológia Centrum Kft.

Szegőné Kertész Éva (1959. Miskolc) okl. bányamérnök (1982 NME), okl. betontechnológus (2000 BME). Beosztott mérnök (1982-1992): bányavízvédelem, új vízbeszerzési bázisok földtani feltárása. Tudományos munkatárs-fejlesztőmérnök, laboratóriumvezető (1992-2009), ellenőrzési irodavezető (2007-2009): ÉTI Betonosztály, Cemkut Kft. Alkalmazási tanácsadó (2009-2011): Holcim H. Zrt. MIR-KIR vezető (2011-től jelenleg is) Beton Technológia Centrum Kft.

CAN CONCRETE BE ACID RESISTANT?

Dr. Erdélyi Attila - Kovács József - Gál Attila - Szegőné Kertész Éva

The EN 206:2014: Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity standard deals only with exposure classes of chemical attack XA caused by natural soils and ground water but not a single world is told about the effect of aggressive acidic industrial environment, including silos, biogas tanks, cooling towers with smokegas conduction, etc. Furthermore there is no internationally accepted method to test and rate acid resistance of concrete. A reliable test method and mix design concept for concrete with improved acid resistance should be based on specially planned laboratory research. An order for a research work was given by the Duna-Dráva Cement Ltd. to two laboratories Concrete Technology Center Ltd. and Cemkut Ltd. to fulfil an agreed program. The loss of mass due to storing in acetic acid solution of pH=3.5 and the change of other accompanying properties were checked on hardened concrete samples made of factory cements containing different amounts of ground granulated blastfurnace slag (GGBF), without and with some additional materials, always with a $(w/c)_{eq}=0.4$. The distribution of Fuller & Thompson for all dense particles (cementing materials and aggregates) was used by Cemkut to attain the minimum gap volume and the smallest binding material content, and on the other hand with a higher one, conforming the Annex F, XA3 of EN 206 and the usual grading curve of A16/B16 aggregate was applied in the concretes made by Concrete Technology Center. The smallest loss of mass could be achieved with a mixture of CEM III/B 32.5 N-LH/SR cement + metacaolin (or silica fume, or HDT) addition. The loss after an acid storage of cc. 170 d was less than the half of a concrete made with CEM I (ordinary or sulphate resistant portland cement) without additions: 2.15 m/m% loss in spite of 4.82 m/m%. According to data of the technical literature even in case of sulphuric acid attack the CEM III/B types of cements are superior to the sulphate resistance of CEM I N-SR0 provided they are used together with at least one, better with two suitable additions. The concrete following the Fuller & Thompson particle distributions and kept in acetic acid for 570 days the suffered loss of mass less than 5 m/m% (together with the soft layer brushed down at the end of test) and 25% loss of compressive strength, and rendered $RDM_{upit} \sim 84\%$ relative dynamic modulus, - well over the 75% limit mentioned in prescriptions.