

A betonok klorid- és savkorróziójáról

• KIVONAT

A beton- és vasbetonszerkezetek korrózióállóságával, ezen belül a kloridok, a savak és a szulfátok okozta korrózióval kapcsolatban sok tévhit kering a szakemberek körében. Hazai és külföldi kutatások alapján is olyan összefüggések mutatkoznak a betonok szövetszerkezeti jellemzői, átteresztőképessége és tartóssága között, melyek megalapozni látszanak a legfrissebb nemzetközi szakmai kiadvány (fib Bulletin 76) súlyos kritikáját az EN 206 betonszabvánnyal kapcsolatban. A Minnotech–2016 konferencián megismerhettünk továbbá néhány olyan ipari technológiai innovációt, melyek a beton iránti bizalom növelését szolgálják. A jelen cikk szándéka, hogy felhívja a tervezők és a beruházók figyelmét a növekvő agresszivitású környezeti hatások, a betonszerkezetek tartóssága és a betonstruktúra közötti szoros kapcsolatra, mely egyelőre még nem tükröződik a vonatkozó európai szabványokban. A cikk ezért vázlatosan feltárja a lényeges tartalmi eltéréseket néhány kapcsolódó európai cement-, beton- és betontermékszabvány [1, 2, 3], valamint egyes tagállami nemzeti szabványok [4, 5, 6, 7] és nemzetközi műszaki szabályozó dokumentumok [8, 9] között; továbbá hangsúlyozni kívánja a szakintézetek tervkiadást megelőző bevonásának fontosságát.

Kulcsszavak: mezostruktúra, diffúziós együttható, pórusméret-eloszlás

• ABSTRACT

In connection with the corrosion resistance of concrete and reinforced concrete structures, including chlorid-, sulfate and acid corrosion many misconceptions circulate among professionals. On the grounds of domestic and foreign research correlation is detected between the structural characteristics, permeability and durability of the concrete so the serious critique of the latest international professional publication (fib Bulletin 76) in connection with the concrete standard EN 206 seems to be substantial. During the Minnotech–2016 Conference we had the opportunity to meet some industrial technological innovations, which serve the growth of confidence in concrete. This article intends to draw attention of planners and investors on the close link between the environmental impact with growing aggressivity, the durability of concrete structures and the mezostructure of concrete, what is not reflected in the relevant European standards. Therefore this article schematically explores essential content discrepancies between some European cement-, concrete- and concrete product standards [1, 2, 3], as well as some Member States' national standards [4, 5, 6, 7] and international technical regulatory documents [8, 9]; furthermore it wants to stress on importance of involving competent professional institutions before expending plans.

Keywords: mezostructure, diffusion coefficient, pore size distribution

1. A KORRÓZIÓ ÉS AZ ELAVULT TECHNOLÓGIÁK OKOZTA KÁROK

A kloridkorrózióknak kitett szárazföldi és tengeri vasbetonszerkezetek (1. ábra) a gyakorlatban többnyire nemhogy a

tervezett 100 év, de még az 50 év használati élettartamot sem érik meg tetemes felújítási költségek nélkül (persze az acélszerkezetek fenntartási költségei még jelentősebbek).

A kloridkorrózió mellett a betonszerkezetek sav-, főként kénsavtámadás okozta károsodása, valamint a talajvíz növekvő elszennyeződése is világszerte bizonyítottan nagymértékű

anyagi veszteségeket okoz. Németországban a kommunális szennyvízelvezető rendszerek oldódásos, azaz savkorrózió miatti kárainak elhárításához közel 40 milliárd euro/év költség szükséges [10].

A megváltozott vízhasználati szokások és a háztartási vegyszerek növekvő mennyisége miatt a szokásos betoncsövek várható élettartamát a PVC-vel

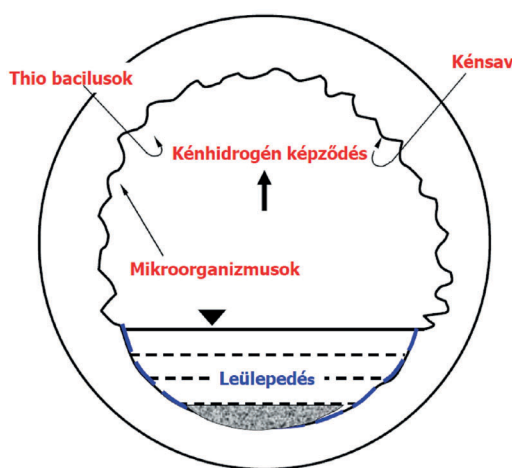
^o betontechnológus szakmérnök, betonüzem vezető, Dolomit Kft.



1. ábra: Jégolvasztó sózás és tengervíz okozta betonacél korrózió

azonos mértékűre, azaz max. 25 évre csökkentették Düsseldorf város csatornavizsgálatának eredményei alapján [11]. Az elmúlt évtizedekben világszerte tapasztalják az ún. biogén kénsavkorróziót a szennyvízcsatornában (2. ábra). Ezt a jelenséget a thio-bacillusok okozzák, melyek mikrobiológiai oxidációval kénhidrogénből 7%-os kénsavat képesek előállítani, ami a természetben fellépő legerősebb savas behatás [12].

Németországban a 2000-es évek elején kb. 40%-ot tett ki a csatornahálózatokba kívülről bejutó víz. Annak elkerülésére, hogy a kilépő szennyvíz beszennyezze a talajvizet, és ezzel egyidejűleg megakadályozzák a talajvíz



2. ábra: Biogén kénsavkorrózió a szennyvízcsatornában.



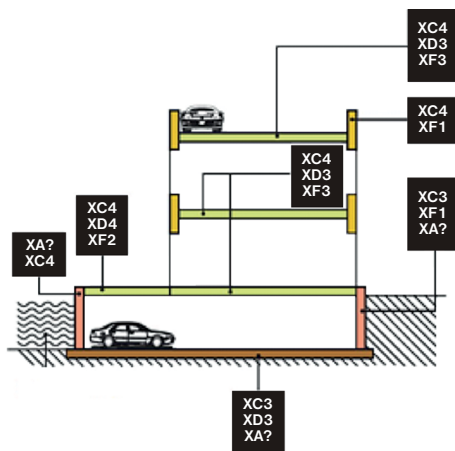
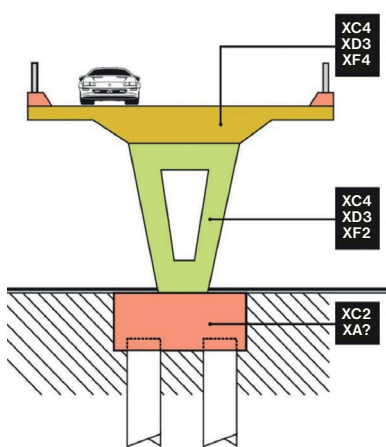
3. ábra: Elavult technológiai megoldások, talajvíz bejutása és talaj szennyeződése

bejutását a csatornahálózatba (3. ábra), az EU víz-keretirányelve [13] szerint jól tömített és biztonságos csatornahálózatokra van szükség. Ez azt jelenti, hogy a modern csatornahálózatoknak egyrészt meg kell felelniük a legmagasabb követelményeknek, és ez

zel együtt hosszú élettartamúnak kell lenniük.

A betonipart addig különösebben nem rázták meg sem a szakirodalmi figyelmeztetések, sem a javítási költségek nagyságrendje, sem az ajánlásokként megfogalmazott irányelvek, amíg

egyrészt más iparágak fel nem fedezték a piacnak ezt a beavatkozásra alkalmas szegmensét (pl. kerámia-csővek, műanyag tisztítóaknák) másrészt, amíg pl. a német vízdíjakba be nem építették az amortizációs díjtételt, mely jelentős áremelkedéshez vezetett mindazonokon a területeken, ahol betoncsővek kerültek beépítésre [11].



4. ábra: Fontos az európai betonszabvány szerinti egységes szemlélet, de a tartalom vajon jó-e?

2. A PROBLÉMA AZ EN SZABVÁNYOKBAN ÉS A SZAKIRODALOMBAN

Az EN szabványokban a szilárdsági osztályok mellett az igénybevételi oldalhoz tartozó környezeti osztályok is megjelentek (4. ábra), melyek jelrendszere elismerésre méltóan közös nyelvet ad a különböző európai nemzeteknek. Az egységes szemlélet fontosságát és az elv megfelelést senki nem vitatja, de az ellenállási oldalra vonatkozó, az összetételeket előíró típusú megközelítést („prescriptive approach”) egyre erősebb kritikák érik [9,

1. táblázat: A kloridok okozta és a kémiai korrózióra vonatkozó összetételi előírások [2]

	Környezeti osztályok								
	Kloridok által okozott korrózió						Kémiai korrózió		
	Tengervíz			Nem tengervízből származó kloridok					
	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XA1	XA2	XA3
Max. v/c tényező	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,50	0,45
Min. nyomószil. osztály	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45
Min. cementtartalom (kg/m ³)	300	320	340	300	300	320	300	320	360
Más követelmények								szulfátálló cement	

2. táblázat: Az MSZ EN 206:2014 szerinti kémiai korróziós környezeti osztályokat kellene alkalmazni savas (pH ≤ 6,5) környezetben is [2]

Kémiai jellemző	Referencia vizsgálati módszer	XA1 Enyhén agresszív kémiai környezet	XA2 Mérsékelt agresszív kémiai környezet	XA3 Nagymértékben agresszív kémiai környezet
Talajvíz				
SO ₄ ²⁻ , mg/l	EN 196-2	≥ 200 és ≤ 600	> 600 és ≤ 3000	> 3000 és ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 és ≥ 5,5	< 5,5 és ≥ 4,5	< 4,5 és ≥ 4,0
CO ₂ , mg/l agresszív	EN 13577	≥ 15 és ≤ 40	> 40 és ≤ 100	> 100 telítettségig
NH ₄ ⁺ , mg/l	ISO 7150-1 vagy ISO 7150-2	≥ 15 és ≤ 30	> 30 és ≤ 60	> 60 és ≤ 100
Mg ²⁺ , mg/l	ISO 7980	≥ 300 és ≤ 1000	> 1000 és ≤ 3000	> 3000 telítettségig

3. táblázat: Az MSZ EN 197-1:2011 szerinti szulfátálló cementek [1]

Fő típusok	7 szulfátálló cementtípus jelölése		Összetétel (tömegszázalékban)					
			Fő alkotórészek				Mellék alkotórészek	
			Klinker	Kohósalak	Természetes puccolán	Savas pernye		
			K	S	P	V		
CEM I	Szulfátálló portland-cement	CEM I-SR0 CEM I-SR3 CEM I-SR5	95–100					0–5
CEM III	Szulfátálló kohósalak-cement	CEM III/B-SR CEM III/C-SR	20–34 5–19	66–80 81–95				0–5 0–5
CEM IV	Szulfátálló puccolán-cement	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	65–79 45–64			21–35 36–55		0–5 0–5

14, 15, 16, 17]. Az európai betonszabvány legelső (prEN 206-1:1985) és jelenlegi (EN 206:2014) verziója között, a környezeti osztályokban előírt összetételek tartalmát tekintve alig mutatkozik különbség; a problémák megközelítési módja sem változott az eltelt 30 év alatt.

Hadd idézzek Ujhelyi János 1998-as szakmérnöki jegyzeteiből: „... általában nagyobb bizalmat ébreszt a szilárdabb beton a kevésbé szilárdnál, azonban a beton tartósságát nem a szilárdsága, hanem a szövetszerkezete (struktúrája) határozza meg. Ebből viszont az következik, hogy a nagyobb szilárdságú, de kedvezőtlen struktúrájú betonok tartóssága elmarad a ki-

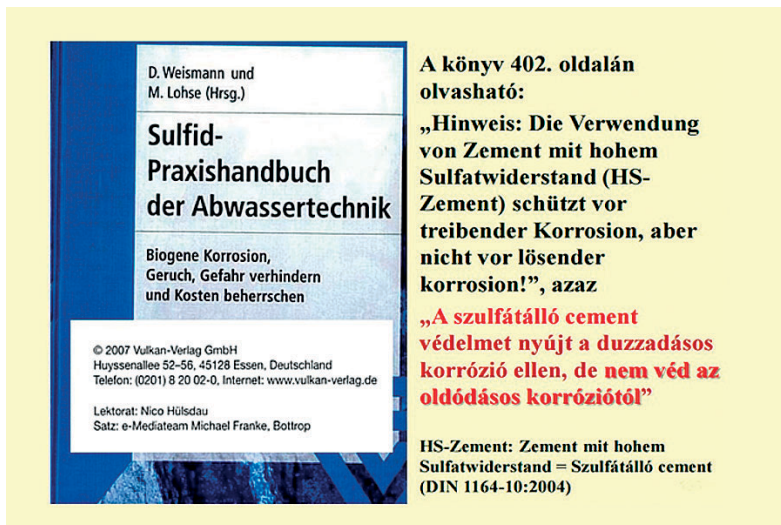
sebb szilárdságú, de kedvező struktúrájú betonokétól” [14].

Mind a kloridkorrózió, mind pedig az agresszív vegyi igénybevételeknél a beton nyomószilárdságának növelését írja elő a szabvány (1. táblázat), kiegészítve azzal, hogy az XA2 és XA3 osztályokban szulfátálló cementet kell használni. A szabvány betűje szerint így kell nagyságrendi lépésekben javítani a betonok savállóságát a talajból vagy talajvízből érkező vegyi hatásokkal szemben; lévén az XA1 osztály szerinti pH = 6 és az XA3 szerinti pH = 4 között 100-szoros a koncentráció-különbség (2. táblázat).

Az EN 206 betonszabvány egyik legnagyobb hibájának tartom, hogy egy-

bemossa a savállóság és a szulfátállóság kérdését. Mivel a szennyvízes szakemberek tudják, hogy a gyakorlatban együttesen is előfordul e két korrozív hatás (főként szennyvíz-csatornahálózatokban), ezért különösen félrevezető a cementkémiaiban kevésbé jártas szakemberek számára az EN szabvány e fejezete. A zűrzavart tovább fokozza, hogy a cementszabványban megjelölt szulfátálló cementek 7 típusából 3 eredendően alkalmatlan (fizikai és kémiai alaptermészetükből fakadóan) a betonszabvány szerinti savas hatások (pH ≤ 6,5) elviselésére (3. táblázat kiemelt sora).

Sok esetben érik bonyolult fizikai, kémiai és biológiai hatások is a be-



A könyv 402. oldalán olvasható:
 „Hinweis: Die Verwendung von Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) schützt vor treibender Korrosion, aber nicht vor lösender Korrosion!“, azaz
 „A szulfátálló cement védelmet nyújt a duzzadásos korrózió ellen, de nem véd az oldódásos korróziótól”

HS-Zement: Zement mit hohem Sulfatwiderstand = Sulfátálló cement (DIN 1164-10:2004)

5. ábra: A különböző szakirodalmak már régóta jelzik, hogy a tiszta szulfátálló cement mire alkalmas és mire nem [18]

FBS-Schachtunterteil SU-M DN 1000 nach DIN EN 1917 + DIN V 4034-1

Schachtunterteile innen und außen kreisrund und monolithisch. Anschluss von Beton- und Stahlbetonrohren DN 300 bis DN 600mm möglich, sowie Steinzeug, PVC, Faserzement, PE-HD und Guss DN 150 bis DN 400 mm, weitere auf Anfrage. Die Anschlussmuffen sind in die Schachtwand integriert.

Wanddicke 150 und 185 mm Bodendicke mindestens 150 mm. Als Versetzanker sind jeweils 3 Stück Kugelkopfancker Laststufe 2,5 t eingebaut.

Boden und Schachtwände sind stets monolithisch herzustellen.

Rohr-anschluss DN	Wandstärke s	Bodenstärke t	Außenhöhe einschließlich Boden	Gerinnenhöhe h ₂
150	150	150	650	150
200	150	150	700	200
250	150	150	750	250
300	150	150	850	300
400	150	150	950	400

6. ábra: Részlet egy német cég aknaelem prospektusából [19]

XA1: schwach XA2: mässig XA3: stark **BETONSUISSE**

Expositionsklasse XA (CH) – SN EN 206-1, Tab. 2

	Chemisches Merkmal	XA1	XA2	XA3
Grundwasser	SO ₄ ²⁻	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3000	> 3000 und ≤ 6000
	pH-Wert	≤ 6.5 und ≥ 5.5	< 5.5 und ≥ 4.5	< 4.5 und ≥ 4.0
	CO ₂ mg/l angreifend	≥ 15 und ≤ 40	> 40 und ≤ 100	> 100
	NH ₄ ⁺ mg/l	≥ 15 und ≤ 30	> 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
	Mg ²⁺ mg/l	≥ 300 und ≤ 1000	> 1000 und ≤ 3000	> 3000 bis zur Sättigung
Boden	SO ₄ ²⁻ mg/kg ^a insgesamt	≥ 2000 und ≤ 3000 ^a	> 3000 ^a und ≤ 12000	> 12000 und ≤ 24000
	Säuregrad	> 200 Baumann-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

Gilt nicht für Abwasser!

Stefan Bischof Seite 5
 Betonerosion in ARA, 07.08.2010

7. ábra: Szennyvízes szerkezetekre Svájcban nem használhatók az XA környezeti osztályok [20]

ton-vasbeton építményeket: pl. nitrátok, ammónia, huminsavak, stb. Megjelenésük és egymásra hatásra határos pH-, hőmérsékletváltozást, speciális körülményeket eredményezhet a betonban, melyekre csak felkészült szakemberek és előzetes vizsgálatok eredményei képesek megoldást adni.

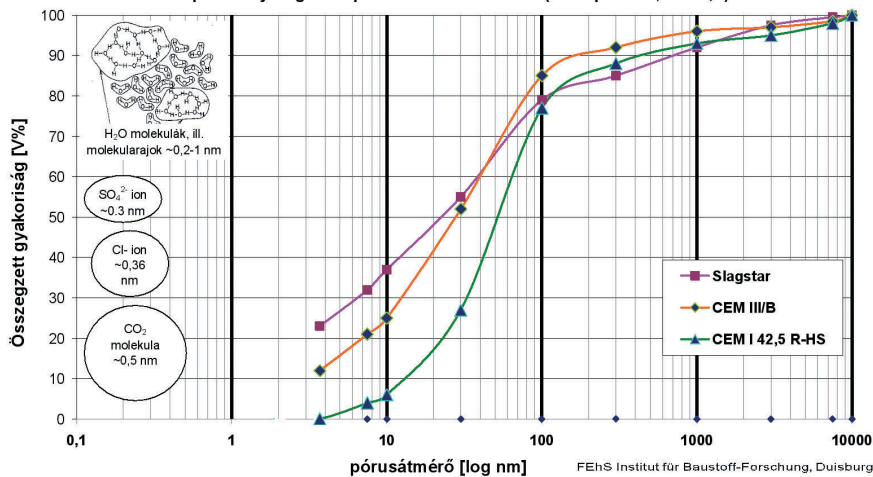
Ugyanakkor a cementkémikusok szilikátvegyészek és betontechnológusok a világ minden táján tudják, hogy a CEM I-SR és általában a tiszta portlandcementek vegyszerállósága a lehető leggyengébb, azok fizikai és kémiai alaptermészete miatt (5. ábra).

A fejlett tagországok ezért nemzeti előszabványok, műszaki irányelvek kiadásával igyekeznek kijavítani, pótolni az EN szabványokban esetenként meglévő műszaki hiányosságokat. Pl. Németországban a csatornázási aknaelemek irányában „állami elvárás” az EU Víz-keretirányelvét is figyelembe vevő DIN V 4034-1 előszabványnak való megfelelés a DIN EN 1917 mellett (6. ábra); a betoncsöveknél „állami elvárás” a DIN V 1201 előszabványnak való megfelelés a DIN EN 1916 mellett.

Svájcban a szennyvízzel érintkező betonszerkezetekre tilos az EN 206 szerinti XA osztályokat alkalmazni (7. ábra); Ausztriában a tervezőnek meg kell tudni különböztetni az oldódásos és a duzzadásos betonkorróziót az ÖNORM B 4710-1 szerint és kiegészíteni az XA jelölést az L vagy a T betűvel („Lösender Angriff”-oldódásos korrózió, „Treibender Angriff”-duzzadásos korrózió).

Ujhelyi (2005) szerint a CEM I és CEM I-SR cementek gyenge vegyszerállóságának kémiai oka a savhatásra kioldódó nagy portlandit tartalom (kb. 25% Ca(OH)₂), a fizikai oka pedig az a nagy átmérőjű, könnyen átjárható pórusrendszer, mely nem alkalmas a károsító transzportfolyamatok sebességének mérséklésére. A savak ezért gyorsan kioldják a betonból a kalciumhidroxidot. Minél kisebb mennyiségben tartalmaz kalciumhidroxidot a cementkő, annál hatékonyabban tud a savas behatásoknak ellenállni. A pucolános és hidraulikus kiegészítő anyagok nemcsak kémiai úton hatnak (csökkentik a kalciumhidroxidot), hanem sűrűbb, nehezebben átjárható pórusstruktúrát is eredményeznek. Mivel a CEM I cementtel készített betonok pórusaiba az agresszív anyagok viszonylag gyorsan be tudnak hatolni, ezért az ilyen betonok tartóssága és ellenál-

Főbb korrozív ionok, molekulák mérettartománya és különböző osztrák cementeken tapasztalt jellegzetes pórusméret eloszlások (28 napos kor, $v/c=0,5$)



8. ábra: A szemmegoszlási görbék mintájára átalakított pórusméret-eloszlási eredmények

lása a kémiai igénybevételekkel szemben még a víz-cement tényező $\times \leq 0,4$ értéke mellett is törvényszerűen rosszabb, mint a pernyés vagy kohósalakos cementtel készített, akár kisebb szilárdságú betonoké. A határfelületi zóna (ITZ) és a pórusméret-eloszlás tekintetében a heterogén cementek jobbak, mint a tiszta portlandcementek, mert a felszabaduló és kioldódó vagy karbonátosodó $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -t a hidraulikus tulajdonságú kiegészítő anyagok (pernye, granulált kohósalak, trasz, szilikapor) kémiaiilag lekötik [21].

Szakmai körökben egy ideig ugyan tartotta magát az a felfogás, hogy a puccolán anyagok túlzott mértékű adagolásának hatására a cementkő „elsavanyodik”, csökken a pH, aminek hatására „poliszilikátos lebomlás” szenved és tönkremegy. A hosszú idő (30 éves) szilárdságvizsgálatok keretében a puccolántartalmú cementek és betonok stabilitásának kérdésére a Cemkút Kft.-ben Révay (2002) adott választ. A „poliszilikátos lebomlás” elmélete nem igazolódott a 0–64% szilikaporttartalmú pép-próbatetek gyorsított öregedési vizsgálata során sem (80 ciklusos váltakozó tárolás vákuumban és nyomás alatt szén-dioxiddal telített vízben) [22].

Stein-Brauer (2005) a $\text{pH} \leq 6,5$ kémhatású, azaz gyengén savas közegekben javasolja a semlegesítő hatású kemény mészkövet, valamint a szulfátálló cement helyettesítését 30–40% puccolános kiegészítő anyaggal [23]. Japán kutatók, Jariyathitipong és Goyal (2009) is a kemény mészkő, vagy az őrlött-frakcionált kohósalakok és a nagy kohósalaktartalmú cemen-

tek együttes alkalmazásával érték el a szennyvízrendszerekben szükséges megnevelt kénsavállóságot [24].

A puccolános anyagok között a szilikapor és a metakaolin hatása hasonló a szilárd beton fizikai jellemzőit tekintve, de a cementkőre gyakorolt kémiai hatásuk különböző. Hewayd (2007) vizsgálatai szerint a kalcium-szilikát-hidrátok könnyebben kioldódnak, mint a savas közegekben ($\text{pH} \leq 3$) kémiaiilag stabilabb kalcium-aluminát-hidrátok [25]. A cementmátrix portlandit-tartalmát gyorsabban megkötő, azokat részben kalcium-aluminát-hidrátokká átalakító, ezáltal az oldódásos korrózióval szemben a szilikapornál hatékonyabb, emellett a korai (1–2 napos) szilárdságot is radikálisan emelő metakaolint ma már világszerte (pl. USA, Kanada, Ausztrália, Anglia, Franciaország, Németország, Szlovénia) alkalmazzák a megnevelhet korrózióállóságú, gyorsan kiszulvezhető monolit és előregyártott beton-, vasbetonszerkezetekhez. A metakaolinnak az oldódásos mellett a duzzadásos korrózióra gyakorolt hatását vizsgálta Khatib (1997) hosszú idejű mérésekkel [26]. Kopeckó-Mlinárik (2014) állapította meg, hogy a szulfátálló és a kis kohósalak-tartalmú cementhez adagolt megfelelő kiegészítőanyag-tartalom esetén a cementkő diffúziós együtthatója akár az ötödére csökkenthető ($\sim 1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) még $\text{pH} = 1$ kénsav és $\text{pH} = 3$ ecetsav oldatokban való 1 hónapos tárolási körülmények mellett is [27]. Szegőné (2015) és Erdélyi-Gál-Kovács (2016) 5 éves kutatásai is megállapították, hogy a „tiszta” és a „modifikált” metakaolinokkal (pl. Me-

taver, Centrilit, HDT) jelentősen fokozható a betonok savas közeggel szembeni ellenállóképessége [28, 17].

A betonra, mint porózus építőanyagra érvényes, hogy minél kisebb a porozitás, annál nagyobb a porózus anyag szilárdsága (Balázs 1987). A betonok pórusstruktúrája, korrózióállósága és tartóssága között szoros kapcsolat van (Ujhelyi 2000, Nehme 2005). A szakirodalomban viszont többen is említik, hogy a betonok korróziós vizsgálatai során nem találtak általános összefüggést sem a porozitás-áteresztőképesség, sem a szilárdság-áteresztőképesség kapcsolatában (Breit 2001, Hewayd 2007). A beton struktúrajellemzői közül mások kiemelik a pórusméret-eloszlás és az áteresztőképesség kapcsolatának általános megbízhatóságát (Collins 2000, Novák 2004).

A **8. ábrán** az FEHS Institut für Baustoff-Forschung Duisburg vizsgálólaboratórium higany-porozimetriás mérési eredményeinek egy sajátos feldolgozása látható. Az alkáli-aktivált kohósalak (Slagstar), a nagy kohósalaktartalmú CEM III/B cement és a CEM I szulfátálló cement felhasználásával készített szabványhabarcok savállóságában tapasztalt nagy különbségekkel jó egyezést mutattak ugyan a klorid-diffúziós tényező relatív értékei (tiszta cement: 100%, CEM III/B: 5%, Slagstar: 1%), de szerencsére továbbmentek az ok-okozati összefüggések keresésében. A „miért jobb az egyik összetétel, mint a másik?” kérdésre a feleletet a pórusméretek jelentősen különböző eloszlásában találták meg (Novák 2004). Annak ellenére, hogy a higanyporoziméterrel mérhető átjárható porozitás mértéke („teljes porozitás”) a szulfátálló cementes mintában volt a legkedvezőbb ($V_{\text{pórusok}} = 35\%$); mégis az alkáli aktivált kohósalakos (Slagstar $V_{\text{pórusok}} = 39\%$), valamint a CEM III/B cementes minta ($V_{\text{pórusok}} = 42\%$) bizonyult lényegesen ellenállóbbnak a savas közegekben.

A pórusméret-eloszlás jelentőségének könnyebb megértéséhez, a duisburgi szilikátvegyészek által használt eloszlásfüggvényeket átalakítottam a szakmánkban jobban ismert log-lin típusú, szemmegoszlási görbék mintájára (**8. ábra**). Így vizuálisabb a finompórusok (10, 20 és 50 nm alatti pórusméretek) részarányának Collins és Novák szerinti kitüntetett szerepe az áteresztőképesség és az oldódásos korrózió szempontjából, ahogyan pl. kitüntetett szerepet adunk betontechn-

nológiai szempontból a szivattyúzhatóság és a vízzáróság vonatkozásában a 0,25 és 0,125 mm alatti finomhómoz tartalom arányának is. A pórusok „átesett” 25%-ához tartozó méreteket megfigyelve tapasztalható, hogy a Slagstar esetében ez kb. 4 nm, a CEM III/B esetében 10 nm, míg a szulfátálló cementnél közel 30 nm. Ha pedig a másik irányból, azaz pl. a 20 nm-nél nagyobb, tehát a potenciálisan már ártalmas pórusok arányából nézzük, akkor látható, hogy a szulfátálló CEM I típusnál ez több mint 80%, míg a másik két típusnál csak 50, ill. 60%. A magyar származású Novák hosszúidejű vizsgálataiban – a savhatás mértékétől és típusától függően – előbb vagy utóbb mindegyik cementtípussal készült beton károsodott, ill. tönkrement, de nem mindegy, hogy a roncsolódás kisebb sebessége akár 6–7-szer hosszabb élettartamot nyújt egy szerkezetnek pusztán a kötőanyag gondos megválasztásával [29].

A 2000 éves, római kori betonokban (9. ábra) és a több mint 200 éves



Az Augustus császár idején emelt híres Pantheon építéséhez is felhasználták alapanyagként a pozzolana nevű vulkáni hamut.
 Forrás: Wikimedia Commons/Jean-Pol Grandmont

9. ábra: Rómában a Pantheon 2000 éves betonkupolája tartósnak bizonyult

„románcementes” betonokban is igen kevés a portlandit, nagy az alumínát-tartalmú ásványok mennyisége, szinte az összes pórus 20 nm alatti (az idők folyamán egyre több pórus záródik el); tehát a kötőanyag „genetikai adottságai” olyanok, hogy a fizikai és kémiai háttérű anyagkárosodást igen nagy mértékben (néhány ezer évig) képesek lelassítani.

E kötőanyagok hátránya mindössze annyi, hogy:

- alig van trikálcium-szilikát a rendszerben, ezért kicsi a kezdőszilárdság (pár hónapig várni kellene a kizsaluzással),
- nem védi magas pH-jú közeg a vasalást (ne tegyünk bele betonacélt),

- a kötési idő 8–10 perc (nem iparosítható).

A hosszú idejű bedolgozhatóság, a kellően nagy korai és a stabil késői szilárdság, a betonacéllal való jó együttdolgozás és a vasalás viszonylagos védettsége miatt alkalmazzuk napjainkban a portlandcementeket.

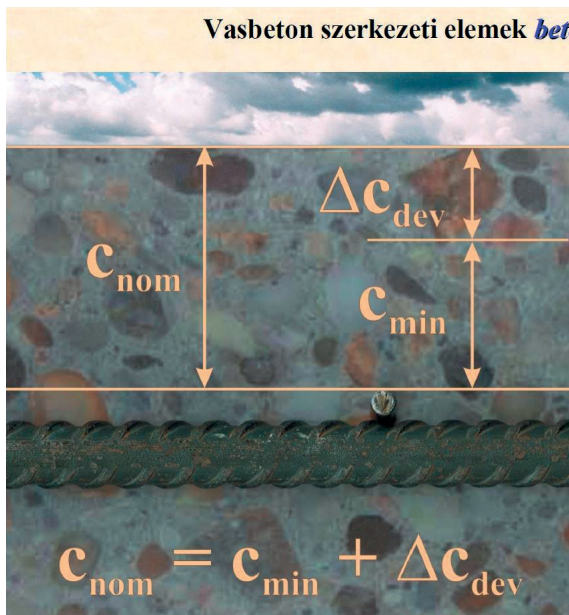
Megfigyelhető ugyanakkor, hogy az elmúlt száz év egymást követő tervezési előírásai egyre nagyobb betonfedéseket írtak elő az azonos veszélyeztetettségű vasbeton szerkezetekre vonatkozóan. Ebben mutatkozik meg az a tapasztalat, hogy a korróziót a vasbeton szerkezeteken gyakorlatilag nem lehet teljesen kiküszöbölni, legfeljebb késleltetni lehet a bekövetkezését. Ennek egyik leghatékonyabb módszere a

betonfedés vastagságának növelése (10–11. ábra) és a beton átteresztőképességének csökkentése, mely főképp az újonnan épített szerkezeteknél valószínűsíthető; a meglévő szerkezeteken pedig olyan impregnálás, bevonat készítésével, amely a vízben oldott kloridionok kapilláris felszívódását gátolja, ill. a szén-dioxid molekulák bejutását akadályozza, de a párávándorlást nem.

3. A TAGORSZÁGOK NEMZETI SZABVÁNYBIZOTTSÁGAINAK TÖREKVÉSEI

Sajnos tényként kezelhetjük, hogy az EN 206 betonszabvány kiforrotlan, de

Vasbeton szerkezeti elemek *betonfedése*



Az előírt névleges betonfedés (c_{nom}) az előírt legkisebb betonfedés (c_{min}) és a kötelező ráhagyás (Δc_{dev}) összege:

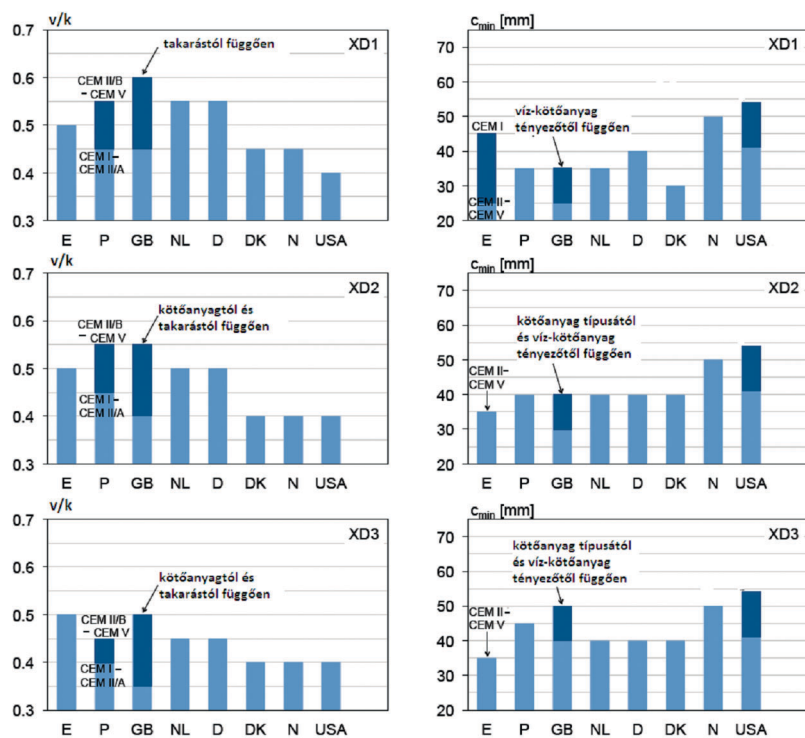
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

($\Delta c_{dev} \rightarrow$ a „dev” index az eltérésre „deviation” utal)

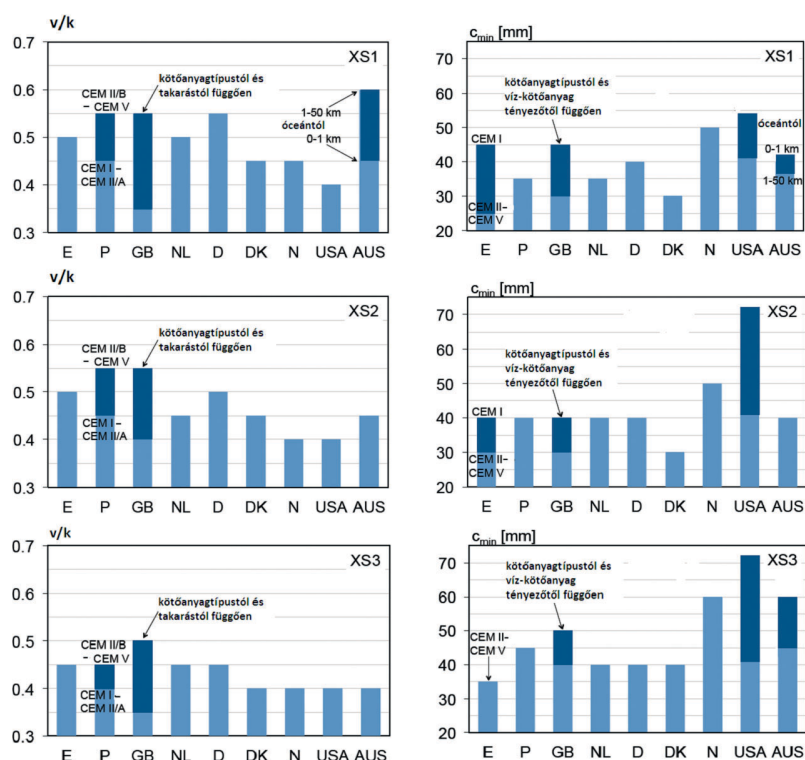
Környezeti hatások miatt előírt legkisebb betonfedések ($c_{min,dur}$) külön védelemmel el nem látott, MSZ EN 10080:2005, MSZ 339:2010 J. szerinti betonacélok esetén az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány alapján

Szerkezeti osztály jele	Környezeti osztály								
	X0	XC1	XC2, XC3	XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3	XF1–XF4 XA1–XA3 XV1(H)–XV3(H) XF2(H), XF3(H)	XK1(H)–XK5(H)
	Környezeti hatások miatt előírt legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$), mm								
S1	10	10	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	10	15	20	25	30	35	40	45
S3	10	10	20	25	30	35	40	45	50
S4	10	15	25	30	35	40	45	50	55
S5	15	20	30	35	40	45	50	55	60
S6	20	25	35	40	45	50	55	60	65

10–11. ábra: A betontakarás előírt értékei hazánkban [35]



12. ábra: XD környezeti osztályokra előírt víz/kötőanyag tényező (baloldalon) és betontakarás (jobboldalon) a különböző országok nemzeti szabványaiban [9]



13. ábra: XS környezeti osztályokra előírt víz/kötőanyag tényező (baloldalon) és betontakarás (jobboldalon) a különböző országok nemzeti dokumentumaiban [9]

akkor is a miénk, európaiaké; a jogrend elfogadása számunkra is kötelező. Bár Spanyolország nem vette át sem a tartószerkezetek tervezésének alapjaira vonatkozó EN 1990, sem pedig

a betonra vonatkozó EN 206 szabványt, de a többiekől sem várja el Európa, hogy homokba dugják a fejüket, nem tiltja meg, hogy gondolkozzanak, hogy adott esetekben szakem-

berek, szakintézetek tanácsát kérik ki már a tervezés előtt vagy annak során; szabad értelmes javaslatokkal - a különböző nemzeti szabványok betűjét és a szavak mögött rejlő tartalmakat értő módon szintetizálva- kiegészíteni a nemzeti alkalmazási dokumentumokat, lehet ideiglenes hatályú nemzeti előszabványokat kiadni, vagy szabad más megoldást választani, mint az egyébként önkéntes alkalmazású szabványok által kínált. Bartholomew (2015) mutatja be részletesen, hogy kiemelt jelentőségű szerkezeteknél az USA-ban, Kanadában már régóta alkalmazzák a nemzeti szabályozások helyett a *fib Model Code 2010* szerinti használati élettartamra történő tervezést [30].

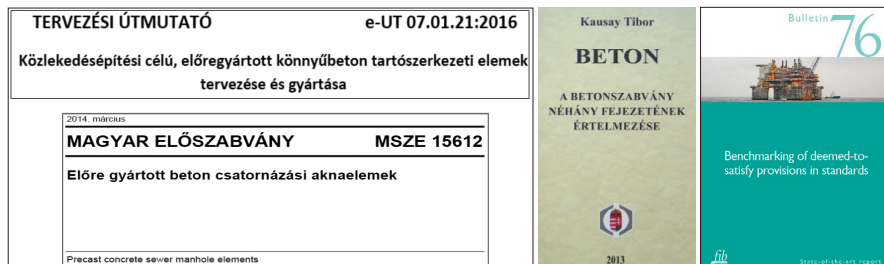
A jelenlegi európai szabványosítás leginkább az Őszövetségre emlékeztet; nincs büntető szankció, ha a tagállamok – akár a nemzetgazdasági érdekből fontos vasbetonszerkezetek nagyobb korrózióállósága érdekében esetleg átírják a „kőbe vésett” szabályokat, ha ezt a Brüsszelben székelő európai szabványosítási bizottság (CEN) hozzájárulásával teszik meg; a fő, hogy a CEN engedélye nélkül ne vezessenek be nemzeti szabványokat. Talán azért jutott eszembe az Őszövetség, a kőtáblák, valamint az ezekről legtöbbit tudó ember, Mózes diskurzusa a becsvágyó, őszövetségi istennel, mert „szóval nem az a baj, ha valaki megszegi a törvényeket, hanem ha félelem nélkül teszi azt” [31].

Nem könnyű felülemelkedni a jelenlegi helyzeten az egyes nemzeti betonos szabványbizottságoknak, hiszen a szakemberek tudják, hogy gond van a „kőtáblákkal”, a betonszabvány több mint 30 éve szinte változatlan összetételt és betontakarást előíró szemléletével; tudják, hogy a műszaki ismeretek szintje (pl. a beton szövetszerkezetére, az időben is változó mértékű áteresztőképességére, a környezeti hatások oldaláról jelentkező tönkremenetel kockázatának mérnöki számításokkal alátámasztható becslésére) régen meghaladta a szabvány előírásait; a jogrendhez mégis deklaráltan igazodni kell. Legalábbis a szavak szintjén; hiszen szinte minden egyes tagország nemzeti szabványbizottsága engedélyezett módon „szegheti meg a törvényt”, ha tud megfelelő érveket felhozni.

A 12–13. ábrák mutatják, hogy az EU tagállamaiban (kiegészítve az USA-val és Ausztráliával) milyen mértékben

4. táblázat: DIN 1045-2 előírásai kloridkorrózió veszély esetén

Környezeti osztályok DIN EN 206-1/DIN 1045-2	Kloriddiffúziós együttható ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	
	átlag	egyedi legnagyobb
XD1, XS1	$\leq 10,0$	$\leq 12,0$
XD2, XS2	$\leq 5,0$	$\leq 7,0$
XD3, XS3	$\leq 5,0$	$\leq 7,0$



14. ábra: Nemcsak a klorid- és a savkorrózióról, hanem a betonszabvány értelmezéséről is tágabb képet kaphatunk a hazánkban elérhető MSZT, MAUT, MMK, és fib dokumentumokban

Therefore, it can be concluded that the major consequences of the current prescriptive approach are:

- a lack of safety for specific design situations,
- a lack of economic serviceability of prescriptive designed structures.

This results mainly from the lack of reliable information on the durability properties of the concrete (type of cement), which makes it difficult to evaluate concrete quality and performance in the respective environmental action.

15. ábra: Az európai betonszabvány eddig legsúlyosabb kritikája [9]

különböző nemzeti előírásokkal találkozzunk a környezeti hatások miatti legkisebb betontakarásra (c_{min}), a vízkötőanyag tényezőre (v/k), az egyébként pontosan azonos környezeti osztályú (XD1-3 és XS1-3), azonos szerkezeti osztályú (S4), egyazon élettartamra tervezett (50 év) vasbetonszerkezetek esetében. De ezeken túl is szinte minden fontosabb paraméter eltérő, pl. az alkalmazható cementtípus, a legkisebb cementtartalom, a betontakarás Δc_{dev} értéke, a frissbetonban megengedett kloridtartalom (C_0), a szilárd beton kritikus kloridkoncentrációja (C_{crit}), stb.

Kloridkorrózió veszélye esetén, tehát az XD és XS környezeti osztályokban a DIN 1045-2 szabvány (4. táblázat) már közel 10 éve nemzeti kiegészítésként írja elő a kloriddiffúziós együtthatónak ($D_{RCM,28}$) a betontakarástól független, átlag- és egyedi legnagyobb értékét (pl. XD3-ra és XD1-re az átlag rendre ≤ 5 , ill. $\leq 10 \times 10^{-12}$

m²/s, az egyedi maximumok rendre ≤ 7 , ill. $\leq 12 \times 10^{-12}$ m²/s).

A németek azért maximálták szabványban az áteresztőképességet, mert ezt a struktúrajellemzőt találták alkalmazni a kloriddiffúziós transzportfolyamatok sebességének mérséklésére. Tehát a probléma fizikai okát ismerve; a nagyobb átmérőjű, könnyen átjárható pórusrendszer helyett a kedvezőbb pórusméret-eloszlású, ezért kisebb áteresztőképességű betonokat preferálták. A CEN jóváhagyta a német szabványbizottság óhaját. Ők azonban nem elégedtek meg ezzel. A kémiai korrózió veszélyének kitétt szerkezetekre is gondolva, előrelátó módon már a nemzeti betonszabványban kizárták annak lehetőségét (lásd DIN 1045-2:2008 szabvány 5.2.3 pontját), hogy a cementkémiai, pórusstruktúrát, áteresztőképességet, cementkő-savállóság problematikáját nem tanult tervezők, szakértők döntsék el, mikor megfelelő egy agresszív vegyi ha-

tásnak kitétt beton összetétele. A problémás esetekben (XA3 vagy szigorúbb igénybevételeknél) Németországban csak elismert szakemberek, szakintézetek írhatnak elő megoldási javaslatot. A CEN ezt a „törvényszegést” is jóváhagyta.

Az új nemzeti betonszabványunk (MSZ 4798) is bizonyára tartalmaz a tartósság érdekében megcélzott eltéréseket az EN 206-tól; a cikk megjelenése idején már várható a CEN engedélye a kiadáshoz.

A kloridkorrózió vonatkozásában a betonok áteresztőképességének figyelembevételét már egy magyar műszaki szabályozás is előírja 2016-02-17-től (14. ábra bal felső része). A Magyar Útügyi Társaság Szakbizottsága (vezetője: Dr. Balázs L. György) által elkészített és a MAUT gondozásában megjelent hazai műszaki szabályozó dokumentum megelőzi az EN 206 betonszabvány szellemiségét.

A betonok savkorróziója vonatkozásában is léteznek hazai előírások. Az MSZT által 2014-ben kiadott MSZE 15612 előszabvány (14. ábra bal alsó része) tartalmazza elsőként Európában az oldódásos korrózióra vonatkozó környezeti osztályokat [XA4(H), XA5(H) és XA6(H)], melyek kidolgozását és bevezetését Dr. Kausay Tibor végezte. Nemzeti előszabvány, műszaki előírás, tervezési útmutató kiadásához ugyanis nem kell a CEN jóváhagyása. Megjegyzendő, hogy korát messze megelőzve, a betonagresszív folyadékok jelenlétében szükséges osztályozást már az ÉSZ 88/1-75 is előírta, mely szabályozást az akkori ÉMI közreműködésével szerkesztették.

Legutóbb már nem a tagországok valamelyike, hanem a világ legnagyobb betonos szakmai tudományos szervezete vonta kétségbe a „kőbe vésett törvények” helyességét. Igaz, hogy egyelőre csak a kloridkorrózió vonatkozásában, igaz, hogy csak „state of the art” státuszban, de azért a tekintély elvesztése nélkül már nem hagyható figyelmen kívül az a tapasztalati és elméleti alapokon tett kijelentés (fib Bulletin 76, 2015 kiadvány 55. oldal), hogy az EN 206 előírásai nélkülözik a biztonságot és a gazdaságos használatosságot (15. ábra).

Megjegyzendő, hogy azért az EN 206 betűje is várja az eljövendőt, hiszen már a Bevezetés írja: „A teljesítmény alapú elvek kidolgozása folyamatban van a határértékek elvének alternatívájaként.”

Környezeti osztályok az MSZE 15612 szerint	XA4(H)	XA5(H)	XA6(H)
	Csapadékvíz és kommunális szennyvíz	Ipari és mezőgazdasági szennyvíz	Nagyon agresszív ipari szennyvíz
4.12. Gyártási követelmények Az aknafenekélem fenékárka (künete) és oldalfala -beleértve a künet kialakítását és a csőcsatlakozásokat- egy betonozási ütemben készüljön. Az aknaelem csőcsatlakozásai gyárilag beépített gumitömítést (4.9. szakasz) tartalmazzanak.			

16. ábra: Az MSZE 15612 előszabvány felhasználja a DIN Vornorm 4034-1 tartalmát is

4. IPARI INNOVÁCIÓK, ÚJFAJTA GYÁRTÁS-TECHNOLÓGIÁK A SAVKORRÓZIÓNAK KITETT CSATORNA-HÁLÓZATOKNÁL

Az EU víz-keretirányelve (EU-WRRL, 2000/60/EK) középpontjában különösen fontos helyen állnak a tömítetlen csatornahálózatok. Ezért rögzítették minőségi célkitűzésként a talajvíz elszennyeződésének, valamint a talajvíz

csatornahálózatba jutásának megakadályozását; a jól tömített, biztonságos és hosszú élettartamú tisztítóaknák szükségességét. Ennek teljesíthetőségéhez egyelőre nemzeti keretekben fogalmaztak meg konkrét elvárásokat (pl. monolitikus kialakítás, nagy falvastagság és szilárdság, megnövelt savállóság a DIN V 4034-1 és az MSZE 15612 előszabványokban 16. ábra). Nemzeti szabályozásokra az adott területen azért van szükség, mert ahogyan a vonatkozó európai betonos termékszabvány fogalmaz: „az

EN 1917 szabvány készítésekor nem lehetett minden követelményre az érvényes nemzeti szabványokkal teljes összhangot találni, ezért a szabványban csak azon követelmények és hozzájuk tartozó vizsgálati módszerek szerepelnek, amelyek tekintetében a CEN-tagok egyetértésre jutottak. Szükség van az európai szabványban nem szabályozott tulajdonságokhoz tartozó kiegészítő követelmények és ezekkel összefüggő vizsgálatok nemzeti szabályozására.”

Az európai vízgazdálkodási politika, valamint a kapcsolódó európai szabványosításhoz képest a műszaki-tudományos ismeretek fejlődésére gyorsabban támaszkodó nemzeti szabályozások hatékonyan segítik a betonipari innovációkat, főként a robottechnológiák betonipari elterjedését.

Többféle technológiát (17., 18., 19. ábrák) fejlesztettek ki az akár bonyolult alakzatú aknaelemek monolitikus gyárthatóságához (mert az utólagos vézés, betonozás tilos). Főleg Németországban és Olaszországban fordul elő az öntömörödő beton használata, melyet a polisztirolhab tömbökből robottechnológiával kialakított és mágnesekkel fémsablonhoz rögzített negatív formára öntenek rá (17. ábra). A szennyvízának előregyártásához Európában leginkább a mindössze 2–3 órás korban még száraz betonmarásra lehetőséget adó „3D” robottechnológia terjedt el, ami már 5 éve Magyarországon is elérhető (19. ábra). Ezek a technológiák – a gondosan kikísérletezett és bevizsgált betonösszetételekkel párosulva – garantálják az EU víz-keretirányelve szempontjainak teljesülését.

Az EU környezetvédelmi előírásainak betartása mellett e technológiák szükségtelenné teszik a korábban szokásos építéshelyszíni vézést, befalazó idom-beépítést, künetbetonozást, mely jelentős helyszíni költség- és időmegtakarítást, minőségjavulást, az üzemeltetés amortizációs költségeinek csökkenését, a tartósság növekedését eredményezi.

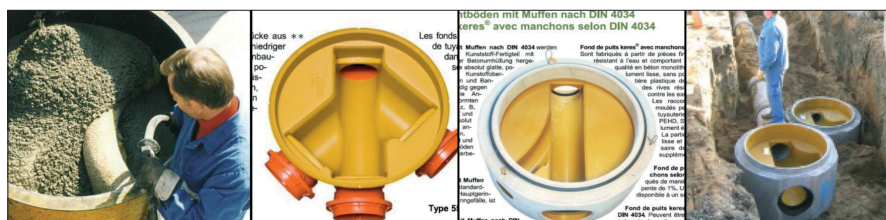
6. ÖSSZEGZÉS

Miért nem elég a terveken az aktuális EN vagy MSZ EN szabvány szerinti jelölés?

- Mert nemcsak az egyes környezeti hatásoknak való tartós megfelelés miatt kell alaposan átgon-



17. ábra: Negatív forma kialakítása EPS-ből robottechnológiával + öntömörödő beton [32]



18. ábra: A svájci műanyag-burkolatos gyakorlat; de használják Ausztriában, Német- és Franciaországban is [33]



19. ábra: Az előregyártásban leginkább elterjedt betonmarásos „3D” robottechnológia [34]
A FOTÓKAT SPRÁNTIZ FERENC, DOLOMIT KFT. KÉSZÍTETTE

dolni a szabványok adta lehetőségeket (pl. kell-e nagy korai szilárdság és tömítettség, ha igen, úgy mikor kell előírni alkalmas kiegészítőanyagot és mikor bevonatot vagy burkolatot, a bevonat milyen felújítási ciklust igényel, mikor és milyen agresszív hatások érik a betont, kell-e megnövelt sav- és/vagy szulfátállóság, a károsító közegnek milyen hőmérséklete várható, milyen áteresztőképességű és kor-tényezőjű betontól várható a kívánt tartósság, vasalt szerkezetnél kell-e számítani a betontakarást csökkentő konvekciós zónára, stb.), hanem még

- a nyomószilárdság minősítésében is van alternatíva az átvevő kisebb vagy nagyobb kockázatára (pl. C30:EN 206=C25:EC-2 a Tarwe ill. Student értékelés miatt), ezért

- várható a beton szabványok, különösen a korróziós környezeti osztályok korszerűsítése Európában (célszerű a hazai beton szakembereknek is felkészülni a méretezelmélet anyagtanai szempontú gyakorlati alkalmazására).

Mit tehet a tervező, felhasználó, ha tartósan megbízható beton- és vasbetonszerkezeteket akar pl. hidakhoz, csatornahálózatokhoz, vizes világbanokosságra, olimpiai létesítményekhez?

- Vagy értelmezze jól az aktuális betonszabványokban leírt alternatívákat, ezért
 - ne csak a szabványokat és az építéstechnológia folyamatát ismerje, hanem értse
 - a szabványokban hivatkozott szakirodalmi forrásokat,
 - a *BETON* könyvet [35]
- a *fib BULLETIN* kiadványokat és a Model Code 2010-et [8]
- Vagy INKÁBB – még a tervek kiadása előtt – forduljon hozzáértő szakintézethez, pl.:
 - BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

- ÉMI Nonprofit Kft és ÉMI-TÜV SÜD Kft.
- Cemkut Kft. és Szikktilabor Kft.
- Betonopus Bt.

HIVATKOZÁSOK

- [1] MSZ EN 197-1: 2011 Cement 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei.
- [2] MSZ EN 206:2014 Beton. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség.
- [3] EN 1917: 2002 Concrete manholes and inspection chambers.
- [4] DIN 1045-2:2008 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1.
- [5] ÖNORM B 4710:2007 Beton – Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton).
- [6] DIN V 4034-1:2004 Schachte aus Beton für Abwasserleitungen und kanäle.
- [7] MSZE 15612:2014 Előregyártott beton csatornázási aknaelemek.
- [8] fib Model Code for Concrete Structures (MC2010) International Federation for Structural Concrete (fib), Case Postale 88, CH-1015 Lausanne, Switzerland. 2010.
- [9] fib Bulletin 76: Benchmarking of deemed – to-satisfy provisions in standards, International Federation for Structural Concrete (fib), Case Postale 88, CH-1015 Lausanne, Switzerland, 2015.
- [10] Hewayde et al., „Using concrete admixtures for sulphuric acid resistance”, Construction Materials 160, 2007, pp 25–35.
- [11] Kovács, K., Füstös, A., „Düsseldorfi csatornavizsgálat eredményei és következményei” Vízmu Panoráma szakmai lap, 2007/2. Különszám.
- [12] Farnady, F., „Biológiai betonkorrózió”, BETON szakmai lap, 1995. december, pp. 9–11.
- [13] Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról.
- [14] Ujhelyi, J., Szakmérnöki jegyzetek, BME Betontechnológiai szakmérnök képzés, 1998–2000.
- [15] DuraCrete – General Guidelines for Durability Design and Redesign. Technical report, The European Union – Brite EuRam III BE95-1347/R17, May 2000.
- [16] G. van der Wegen, R. B. Polder, and K. van Breugel „Guideline for service life design of

structural concrete – A performance based approach with regard to chloride induced corrosion”. HERON, 57(3):1–16, August 2013.

- [17] fib.bme.hu/konyvek/vasbeton_cikkgyujtemeny.pdf, Erdélyi, A., Gál, A., Kovács, J. „Savállóak lehetnek-e a betonok?”, 2015.
- [18] <http://www.blickinsbuch.de/3802728459&account=4907031511>, Dieter Weismann (Hg.) „Sulfid-Praxishandbuch der Abwassertechnik”, megtekintve: 2015-11-25.
- [19] www.ruf-baustoffe.de, megtekintve: 2015-11-25
- [20] www.betonsuisse.ch/.../betonerosion_in_ara/ara/index.html...Stefan Bischof Holcim (Schweiz) AG, Zürich, Merkblatt Betonerosion in Biologiebecken von ARA, 2010, megtekintve 2015-11-25.
- [21] Ujhelyi, J., „Betonismeretek”, Egyetemi tankönyv, BME, 2005
- [22] Révay, M., „Reakciókinetikai törvényszerűségek alkalmazása a beton tartósságának becslésére”, Építőanyag 54. évf. 2002. 1. szám 19.
- [23] Stein–Brauer: Zementmerkleblätter T3, 2005,
- [24] Jariyathitpong: „The sulfuric acid resistance of concrete, Japan Sewage Works Agency, Technical Manual of Prevention and Protection to Corrosion for Sewage Concrete Structure”, 2007.
- [25] Hewayde et al., „Using concrete admixtures for sulphuric acid resistance”, Construction Materials 160, pp 25–35, 2007.
- [26] Khatib JM, S Wild, „Sulphate resistance of metakaolin mortar”, CCR 28 (1), pp. 83–92.
- [27] Kopecskó, K., Mlinárik, L., „Metakaolin a betonban”, BETON szakmai lap, 2014. március/április, pp.18–21.
- [28] Szegőné, K. É., „Savkorrózió fokozottan ellenálló betonok”, BETON szakmai lap. 2015. március/április, pp.18–20.
- [29] http://fib.bme.hu/folyoirat/vb/vb2009_3.pdf, Novák, D., Novák, E.: Slagstar 42,5N, „Speciális cementfajta az agresszív kémiai korrózió ellen, Vasbetonépítés 2009/3, pp. 92–96.
- [30] Bartholomew, M., „Durability design of bridges for specified service life”, Western Bridge Engineers Seminar, Reno, NV, 2015-09.
- [31] Ancsel, É., „Írás az éthoszról”, Kossuth Kiadó, 1981.
- [32] <http://www.sbt-na.biz/products/manhole-production/perfect/>
- [33] www.creabeton-baustoff.ch/.../normschachtboden/keress...
- [34] <http://www.primuss.eu/de/monolithische-schachtunterteile/primuss-system/monolithisch.html>
- [35] www.betonopus.hu/mmk-beton-konyv.pdf, Mérnöki Kamara Nonprofit Kft., 2013.

MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET (2016/3. szám)

A TARTALOMBÓL

Dr. Magyar Zoltán – Baráth Géza: Közel nulla energiafelhasználású épületek felújításának számítási módszerei

Prof. Nyers József – Nyers Árpád – Daniel Stuparic – Boros Dorottya: Hőszivattyú elpárolgási folyamatának korszerű és hagyományos szabályozása

Diana Kováčová – Otilia Lulkovičová PhD: Using of Hybrid Photovoltaic-Thermal Solar Collectors

Dr. Csoknyai Tamás: Az épületenergetikai rendeletek helyzete

Szabadska Sándor: Energia megtakarítás fűtés korszerűsítéssel a sátorlajúhelyi Távholdnál

• Construma 2016 – Program

Megjelent 2016. március végén

Szilágyi Zsombor: Változik az elszámolás a földgáz piacon

- Társasházak fűtés-korszerűsítése gyűjtőkémény átalakítással
- A társasházaknak építeniük kell egymás tudására (MACSOI Találkozó)
- LG Electronics légkondicionáló és energetikai megoldások – Therna V levegő-víz hőszivattyú

Gyurkovics Zoltán: Tájékoztató a kötelező szakmai továbbképzés módosított rendszeréről

Prof. em. Bánhídi László: Dr. Dr. h.c. Macskásy Árpád életútja

- Tanulmányos életút – Prof. emeritus Dr. Garbai László
- A 2015-ös év összesített tartalomjegyzéke
- További információ: www.epgeponline.hu