

## 2. RÉSZ: A CEMENT KÖTŐANYAGÚ BETONOK AGRESSZÍV, SZERVETLEN ANYAGOK OKOZTA OLDÓDÁSOS FIZIKAI, KÉMIAI KORRÓZIÓJA

Dr. Balázs L. György – Dr. Kausay Tibor – Dr. Kopecskó Katalin – Dr. Nemes Rita – Dr. Nehme Salem G. – Dr. Lublós Éva –  
Dr. Józsa Zsuzsanna – Dr. Arany Piroska

*A megszilárdult betonnal, betontermékkel, vasbeton és feszített vasbeton szerkezeti elemmel érintkező lágyvizek és agresszív vizek, folyadékok, gázok, gőzök, permetek, erjedő anyagok a cement kötőanyagú betonok oldódásos korrózióját okozhatják. Cikksorozatunknak a folyóirat 2017. évi 3. számában megjelent 1. részében (Balázs et al., 2017) a vizek és folyadékok kémhatásának, a víz keménységének és széndioxid- (szénsav-) tartalmának fogalmát, valamint a betonoknak a vizek savassága és agresszív széndioxid- (szénsav)-tartalma okozta – olykor a karbonát-keménységgel (változó keménységgel) is befolyásolt – korrózióját elemeztük a szakirodalom alapján. Cikksorozatunk 2. részében a lágyvizek, a szerves anyagok okozta oldódásos betonkorrózió szakirodalmát tekintjük át.*

**Kulcsszavak:** beton, oldódásos korrózió, fizikai korrózió, kémiai korrózió, lágy víz, kilúgozás, szerves savak, savkorrózió

### 1. BEVEZETÉS

A megfelelő adalékanyagú betonok korrózió veszélynek leginkább kitett része a cementkő, amelynek szövetszerkezete kedvezőtlen külső, környezeti vagy belső, anyagtani hatások következtében károsodhat. A mészkő-alapú ún. portlandcement kötőanyagú betonok tartósságát elsősorban a környezeti hatások veszélyeztetik, a bauxit-alapú aluminátcement kötőanyagú – a hazai „Citadur” bauxitcement gyártását 1949-ben és felhasználását 1950 körül megszüntették – bauxitbetonokat pedig döntő mértékben a cementkő szilárdságvésztesítő átalakulása teszi tönkre.

A portlandcementek és az aluminátcementek korróziós tulajdonságai eltérőek, amelynek oka lényegében az

$$SM = \frac{c(\text{SiO}_2)}{c(\text{Al}_2\text{O}_3) + c(\text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

szilikátmodulusuk különbözőségében rejlik. Az SM szilikátmodulus értéke portlandcementek esetén Riesz et al. (1989) szerint 1,8-2,8 közé, Splittergerber (2012) szerint 1,7-4,0 közé, az aluminátcementek esetén pedig 0,2-0,5 közé esik.

Cikksorozatunkban a mészkő-alapú ún. portlandcementek felhasználásával készült betonok oldódásos korróziójával foglalkozunk, amiből kifolyólag „cement” és „portlandcement” alatt mindig az MSZ EN 197-1:2011, MSZ 4737-1:2013 és MSZ 4737-2:2013 szabvány szerinti portlandcementeket értjük, beleértve a CEM III fajtájú kohósalak-, CEM IV fajtájú puccolán- és CEM V fajtájú kompozitcementeket is, amelyek megnevezésében a „portland” jelző nem szerepel; ezen túlmenően a „beton” kifejezést is az ilyen cementekkel készített betonokra alkalmazzuk.

A korrózió – mint az anyag felületéről kiinduló, kémiai (vagy elektrokémiai) reakció által okozott káros, tehát nem szándékosan előidézett elváltozás – fogalmát régebben csak fémek „szétrágódásának” (latin → *corrodere* = szétrágni) kifejezésére használták, ma azonban már szinte minden anyag kémiai károsodását, súlyosabb esetben tönkremenetelét korrózióknak nevezik (Neumüller et al., 1982), akkor is, ha nem

az anyag felületéről indul ki. Az építményeket, illetve szűkebb értelemben az építőanyagokat, az építőanyagok, így a beton szövetszerkezetét kedvezőtlen *külső környezeti* vagy *belső anyagtani* hatások bonthatják meg.

Az építmények, beleértve az építőanyagok, a betonok *külső*, környezeti hatásra bekövetkező károsodásait fizikai, kémiai vagy biológiai (biogén) okokra lehet visszavezetni, amelyek közül a kémiai és a biológiai hatások folyamatát és következményét korrózióknak tekintjük és nevezzük; az állandó vagy változó fizikai hatásokat – mint például a hidrotechnikai hatás, a hő-, a fagy-, a koptható hatás – pedig önálló károsító jelenségeként vagy a korróziós folyamatokat befolyásoló kísérő jelenségeként, olykor a korróziós anyagok – értve alatta a korróziót okozó korrodáló és a korróziót szenvedő korrodálódó anyagot – állapotának előidézőjeként kezeljük. Ilyen értelemben a korróziót meg kell különböztetni a hidrotechnikai állapotváltozás hatásától, a hőmérsékletváltozás, a fagyás, a kopás, az erózió, kavitáció stb. okozta tisztán mechanikai roncsolódástól (Neumüller et al., 1982).

Az építőanyagok korróziójának *belső* anyagtani forrásait az anyag összetevőinek, szennyeződéseinek a víztartalom, a hőmérséklet stb. függvényét képező tulajdonságaiban, állapotváltozásában, illetve az ilyen állapotú összetevők határfelületi összeférhetlenségében kell keresni.

Korrózió csak víz jelenlétében lép fel; függetlenül annak megjelenési formájától, ami lehet például felszíni folyó- vagy állóvíz, eső, harmat, köd, légnedvesség (páratartalom), talajvíz, talajnedvesség, felszínre jutó víz, anyagba felszívódó víz (falnedvesség), kondenzvíz stb., de akár az építőanyag természetes nedvességtartalma is.

A vizek – mint a korrózióban szerepet játszó ionok oldószerének – korróziót befolyásoló legfontosabb tulajdonságai, anyagjellemzői a kémhatás, a keménység és az agresszív széndioxid-tartalom, amely sajátosságokkal cikksorozatunk 1. részében foglalkoztunk.

Az építőanyagok, ezen belül a beton fizikai (azaz kémiai átalakulással nem járó), **kémiai és biológiai (azaz mikroorganizmusok életfunkciói hatására keletkező vegyületek okozta) korrózióját** két nagy csoportba szokás sorolni aszerint, hogy a korrózió a beton duzzadásával vagy oldódásával jár. Ezek

a fogalmak az Építéstudományi Intézetben kidolgozott és miniszteri utasítás mellékleteként 1952-ben kiadott, műszaki előírás szintű „Betonok és habarcsok” (Építésügyi Minisztérium Műszaki Főosztálya) kiadványban is szerepeltek: „A savak a betonban oldási folyamatot indítanak, de a kénsav esetében duzzadási jelenség is felléphet.”

Nem sokkal később Biczók Imre (1956, 1960) már a részleteket is tárgyalva szolt arról, hogy a *duzzadásos* és az *oldódásos* korrózió folyamatában, külső megjelenési formájában, és a beton szövetszerkezetének megváltozásában, e szövetszerkezeti változás betonszilárdságra gyakorolt hatásában is különbözik egymástól.

Az 1980-as évek második felében lépett érvényre az azóta visszavont, a beton- és vasbetonszerkezetekre nézve korrózió anyagokat és erősségüket rendszerező MI 17215-2:1986 műszaki irányelv és a ma is érvényes, a beton- és vasbetonszerkezetek korrózióvédelmi fogalom-meghatározásait tárgyaló MSZ 17213-1:1989 szabvány. Ez utóbbiban megkülönböztetik az instabil cementkő átkristályosodása, a cementkő és az adalékanyag vagy az adalékszer káros egymásra hatása kiváltotta, a külső környezeti hatásoktól független belső korróziót és a környezetben lévő agresszív anyagok, az elektromos áram (az acélbetétek elektrokémiai korrózióját okozó kóboráram) vagy a biológiai hatások következtében fellépő külső betonkorróziót.

Az MSZ 17213-1:1989 szabvány készítői a beton káros elváltozását okozó korrózió anyagot

- gyengén agresszívnek minősítették, ha a szerkezet betonjának korrózióvédelme primer módon elvégezhető;
- közepesen agresszívnek minősítették, ha a szerkezet betonjának korrózióvédelme az agresszív hatásnak ellenálló védőanyaggal biztosítható;
- erősen agresszívnek minősítették, ha a szerkezet betonjának korrózióvédelmére csak az agresszív hatásnak ellenálló védőanyagok némelyike alkalmas.

Megjegyzés: A szabványban a beton- és vasbetonszerkezetek betonját teljesen tönkre tevő, védőanyagokkal el nem hárítható betonkárosodást okozó nagyon erősen agresszív korrózió anyagokról nem szólnak.

Az MSZ 17213-1:1989 szabvány szerint:

- „A” típusú betonkorrózió a cementkő alkotóelemeinek oldódása vagy átalakulása lágy víz vagy semlegesen hidralizáló (vizes oldatban hidroxil-csoportot befogadó) sóoldatok hatására. E típusba tartozik a kilúgozási korrózió és a cserebomlási korrózió;
- „B” típusú betonkorrózió a savak, lúgok, savanyúan, vagy bázikusan hidralizáló sók okozta korrózió;
- „C” típusú betonkorrózió a beton alkotóelemeinek térfogatnövekedése, illetve a cementkő szerkezetének roncsolódása az agresszív anyagok okozta kémiai reakciók vagy az agresszív anyagok betonbeli kristályosodása következtében. Ilyen korrózió például a szulfátkorrózió;
- „D” típusú betonkorrózió olyan károsodás, amelyet agresszív szerves vegyületek okoznak.

Az MI 17215-2:1986 műszaki irányelvnek és MSZ 17213-1:1989 szabványnak előzménye is volt, az MI 17215-2:1986 műszaki irányelvet például az MSZ-04-88-1:1975 szabvány helyett adták ki, így érthető, hogy azok tartalmát Palotás László és Balázs György már 1980-ban ismertette. E korrózióvédelmi szabályozásról Balázs György és Tóth Ernő könyvében (1997) is olvasni lehet, a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 10. fejezetében pedig részletekbe menően megtalálható.

Mindezek alapján *duzzadásos* korrózióknak tekintjük a beton károsodását, amelynek folyamán vagy a korrodáló oldat kémiai hatására vagy a betonalkotók összeférhetetlenségének, a szennyvezők állapotváltozásának eredményeképpen az összetevők

eredeti térfogatához képest nagyobb térfogatú reakciótermékek keletkeznek, és ezért a beton szövetszerkezetét szétmorzsolódik, szilárdságát veszti. A duzzadásos korrózió mind külső, mind belső hatásra megindulhat. A *külső hatásra* meginduló duzzadásos korróziót elsősorban a természetes talajokban és talajvizekben, valamint a felszíni vagy felszínre jutó természetes vizekben oldott szulfátok vagy kationok okozzák. A *belső hatásra* meginduló duzzadásos korrózió általában a cementkő és az adalékanyag között lejátszódó kémiai reakció, esetleg az adalékanyag vagy a keverővíz szennyeződései korrózió hatásának következménye. Végkimenetelét tekintve e csoportban tárgyalhatóak azok a – sók kationjai okozta – kémiai korróziós folyamatok is, amelyekben a betonok szövetszerkezeti átalakulása oldódásos korrózióként indul, végül duzzadásos korrózióként teljesedik ki (Stark et al., 2013).

Megjegyezzük, hogy az acélbetétek tartósságára veszélyt jelentő karbonátosodással és az acélbetéteknek a környezeti vizekből, jégolvasztó sózásból vagy a betonösszetevők szennyezettségéből eredő kloridionok okozta korróziójával e helyen részletesebben nem foglalkozunk.

*Oldódásos* korrózióknak tekintjük a beton károsodását, ha a korrodáló oldat hatására a cementkő kalciumtartalmú fázisai, mint a szabad kalcium-hidroxid (portlandit,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) vagy a kalcium-szilikát-hidrát fázisok (C-S-H fázis,  $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) fizikailag feloldódnak, kilúgozódnak vagy jelentősebb kémiaiilag duzzadás nélkül átalakulnak. A beton oldódásos korróziója során a cementkő nehezen oldható fázisaiból könnyen oldódó reakciótermékek képződnek.

Az oldódásos korrózió a beton porozitásának növekedéséhez és – lényegében a szövetszerkezet szétmorzsolódása nélkül – szilárdságának csökkenéséhez, akár elvesztéséhez vezet.

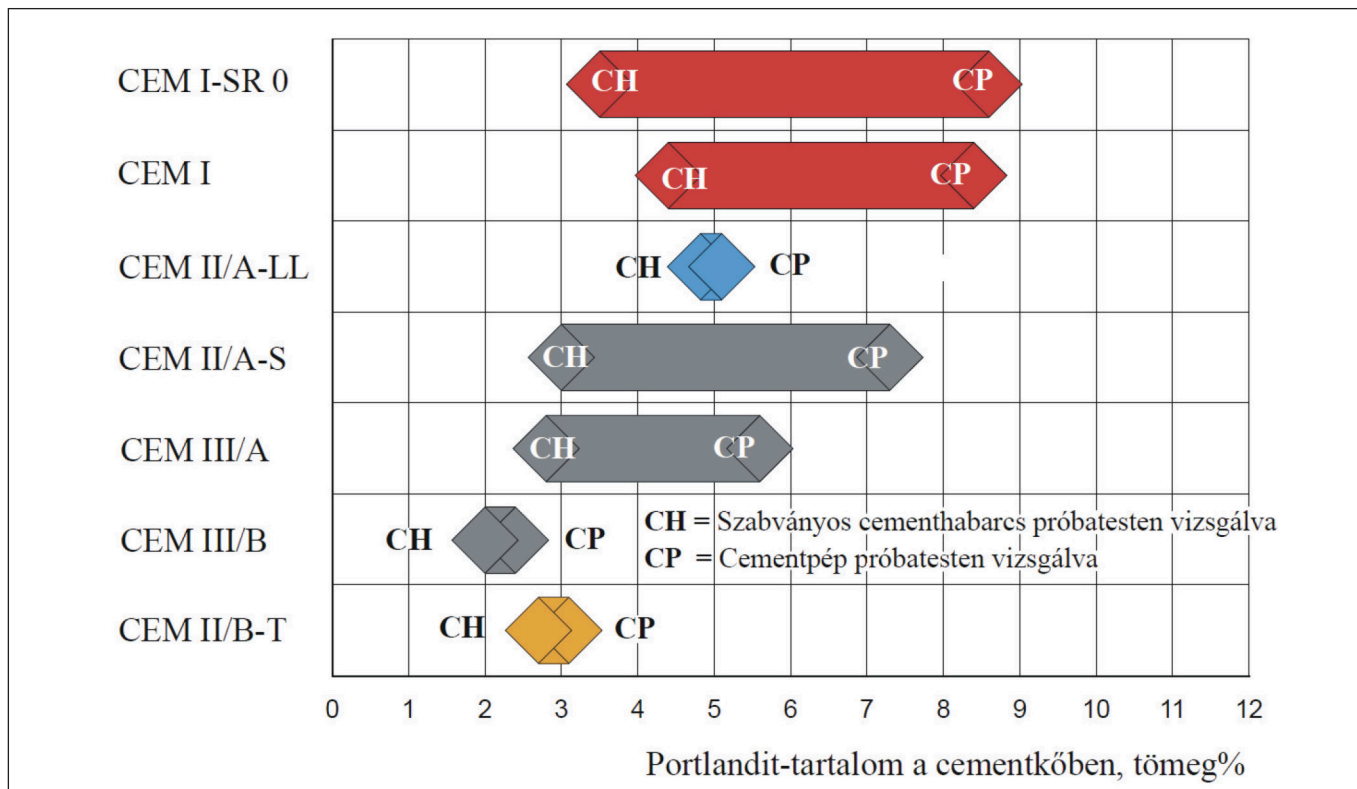
A beton oldódásos korróziójának jellemzője, hogy mindig külső hatásra, az anyag felületéről indul meg. Az oldódásos korrózió a cserebomlásra hajlamos sók, a savak, az egyes **állati zsírok, növényi zsírok és zsíros olajok** mészvegyület-átalakító, illetve -kioldó képességének következménye, amellyel az agresszív vizek – közöttük a szennyvizek – egyéb agresszív folyadékok, agresszív gázok, gőzök, permetek és erjedő anyagok rendelkeznek (Benedix, 2008).

E cikkben a „tömör” (nem sejtesített) cementkővel, folyamatos – beleértve lépcsős – szemmegoszlású (nem egy-szemcsés) adalékanyaggal készített, megszilárdult állapotban legalább  $800 \text{ kg/m}^3$  átlagos testsűrűségű és  $10 \text{ N/mm}^2$  átlagos nyomószilárdságú betonok szerves anyagok okozta oldódásos korróziójának főbb típusait tekintjük át.

## 2. A BETON LÁGY VÍZ ÉS KONDEZVÍZ OKOZTA KILÚGOZÓDÁSA

Lágy víznek általában a  $0-7 \text{ nk}^\circ$  német keménységi fokú,  $0-1,25 \text{ mmol/dm}^3$  alkáliföldfémion-tartalmú vizeket tekintjük (Balázs et al., 2017); kondenzvíznek pedig a gőzből a hidegebb felületre lecsapódott vizet nevezzük, amely keménységét tekintve szintén lágy víz.

A cementkőben lévő mintegy 5-10% – a cement eredeti tömegére vonatkoztatva 10-14% (Biczók, 1956, 1960) – szabad kalcium-hidroxid-tartalmából  $1,0 \text{ dm}^3$  lágy víz mintegy 1,2 **grammot képes kioldani. A kioldható mennyiség a cementkő szabad kalcium-hidroxid-tartalmának (1. ábra) és a cementkő pórustartalmának növekedésével növekszik, és fordítva. A cementkő szabad kalcium-hidroxid-tartalmának kioldása**



**1. ábra:** Különböző cementek 28 napos korú szabványos cementhabarcs (CH) és cementpép (CP) próbatesteneken vizsgált szabad kalcium-hidroxid-tartalma (szabad portlandit-tartalma) a cementkő tömegszázalékában kifejezve (Splittgerber, 2012)

után a lágy víz hatására a kalcium-szilikát-hidrát ásványok is felhasadnak. A cementkő kalcium-aluminát- és ferrit-fázisai a lágy vízben lényegében oldhatatlanok, ám ennek ellenére – már csak kis mennyiségük folytán is – számottevő szilárdsághordozó képességgel nem rendelkeznek. Mindezek következtében a lágy, sókat nem tartalmazó vizek bizonyos mértékben károsan hatnak a betonra; a sarkok és élek letöredeznek, a betontest kiüregelődik, összeroppan, végül szétesik.

Ha a beton nem elég tömör, repedezett, akkor a kapillárisokba hatoló lágy víz súlyos károkat okozhat, mint ez régebben a völgyzáró gátaknál előfordult (Krenkler, 1980; Benedix, 2008).

A vasbeton hűtőtornyok nemcsak méreteik, hanem technológiai szerepük folytán is jelentős korróziós veszélynek vannak kitéve. Magasságuk meghaladhatja, alsó átmérőjük megközelítheti a 100 mt. A természetes szellőzésű nedves üzemű hűtőtornyokban a mintegy 40 °C hőmérsékletre felmelegedett ipari hűtővizet 24-30 °C hőmérsékletre hűtik. A kürtő levegőjének relatív nedvességtartalma közel 100%. A torony felső részén elsősorban a gőzből kondenzálódott lágy víz megtámadja a betont: a szabad kalcium-hidroxid-tartalmat oldja és kilúgozza, ezzel lágy víz korróziót okoz, a beton pH-értékét lecsökkenti, az acélbetétek korrózióját elősegíti. Ha a hűtővíznek szulfát-tartalma is van, akkor az elragadott és lebegtetett vízcseppekből lecsapódott víz elsősorban a kürtőfal alján okoz szulfátkorróziót: a cementkő-alkotó kalcium-aluminát-hidrátok duzzadó kalcium-szulfoaluminát-hidrattá alakulnak (Kausay et al., 1986).

A talajjal érintkező, a talajban hosszú utat megtett, abból sókat kioldott forrásvizek, folyóvizek és a tavak vize jobbra kemény víz, amely a betonok szabad kalcium-hidroxid-tartalmát oldani kevésbé, illetve nem képes.

A beton kilúgozhatóságát az MSZ EN 12457-1.; -2.; -3.: és -4.:2003 szabványsorozat szerint, adott folyadékszilárdanyag arány mellett, különböző szemnagyságú mintákon lehet meghatározni. Ezek az eljárások – annak ellenére, hogy a por- vagy szemcsemintából kioldható teljes anyagmennyiség meghatározására alkalmasak – jellegükön fogva nem alkal-

masak a beépített betonból adott idő alatt kilúgozódó anyag mennyiségének pontos meghatározására (Benedix, 2008).

### 3. SAVAK ÉS SÓIK OKOZTA OLDÓDÁSOS KÉMIAI BETON-KORRÓZIÓ

#### 3.1. Általános áttekintés

A szerves és szervetlen savak agresszivitásuktól függően általában azokat a betonépítményeket támadják meg, amelyek savas gőzöket vagy gázokat hordozó levegővel, vagy savakat tartalmazó vizekkel érintkeznek.

A savak agresszivitása nemcsak a koncentrációtól, hanem az erősségüktől is függ. A savak erősségét az határozza meg, hogy az oldószerben (vízben) széthasadásuk (elektrolit disszociáció) során mennyi protont adnak át a vízmolekuláknak. Ha egy sav vizes oldatában a disszociáció kb. 20-100%, akkor a sav erős; ha a disszociáció kb. 1-20%, akkor a sav mérsékelten erős; ha pedig a disszociáció kb. 0,1-1,0%, akkor a sav gyenge (Neumüller et al., 1984)

A savak erősségét az oldat koncentrációjának ( $c$ ) függvényében a  $K_s$  disszociációs egyensúlyi savállandó (savdisszociációs állandó, savegyensúlyi állandó) fejezi ki (Benedix, 2008):

$$K_s = \frac{c[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot c[\text{A}^-]}{c[\text{HA}]}$$

ahol:

- $c[\text{H}_3\text{O}^+]$  = hidroxóniumion-koncentráció, mol/dm<sup>3</sup>
- $c[\text{A}^-]$  = savmaradék-koncentráció (az A<sup>-</sup> anion koncentrációja), mol/dm<sup>3</sup>
- $c[\text{HA}]$  = sav-koncentráció (az A<sup>-</sup> anion tartalmú sav koncentrációja), mol/dm<sup>3</sup>.

**1. táblázat:** Néhány összetartozó sav és savmaradék pK<sub>s</sub> sav-, illetve pK<sub>B</sub> bázisexponensének értéke (<https://www.chemie.de/lexikon/Säurekonstante.html>)

Erősség	pK <sub>s</sub>	Nagyon erős sav			Erős sav				
		Sav	-10	-6	-3	-1,74	-1,32	2,13	3,14
		HClO <sub>4</sub>	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	HF	
Erősség	pK <sub>B</sub>	Savmaradék	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>		H <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
			24	20	17	15,74	15,32	11,87	10,68
Nagyon gyengén bázikus					Gyengén bázikus				

Erősség	pK <sub>s</sub>	Közepesen erős sav			Gyenge sav		Nagyon gyenge sav		
		Sav	4,75	6,52	6,92	9,40	15,74	23	34
		CH <sub>3</sub> COOH	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	HCN	H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	
Erősség	pK <sub>B</sub>	Savmaradék	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HS <sup>-</sup>	CN <sup>-</sup>	OH <sup>-</sup>	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	CH <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			9,25	7,48	7,08	4,60	-1,74	-9	-20
Közepesen bázikus					Erősen bázikus		Nagyon erősen bázikus		

A K<sub>s</sub> savállandó egyenlő 10-nek a -pK<sub>s</sub>-edik hatványával (K<sub>s</sub> = 10<sup>-pK<sub>s</sub></sup>), és fordítva, a pK<sub>s</sub> savexponens (saválladó-hatványkitevő) egyenlő a K<sub>s</sub> savállandó tízes alapú logaritmusának negatív értékével (pK<sub>s</sub> = -log<sub>10</sub> K<sub>s</sub>). Elektrolitos disszociáció esetén a pK<sub>s</sub>-érték általában annál nagyobb, minél gyengébb az elektrolit. Ha egy gyenge sav oldatában a nem disszociálódó rész koncentrációja megegyezik a savion koncentrációjával, akkor a pK<sub>s</sub>-érték azonos a pH-értékkel (Neumüller et al., 1983).

Ehhez hasonlóan a bázisok erősségét kifejező K<sub>B</sub> disszociációs egyensúlyi bázisállandó alakja az oldat koncentrációjának (c) függvényében a következő:

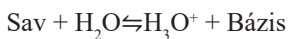
$$K_B = \frac{c[\text{OH}^-] \cdot c[\text{BH}^+]}{c[\text{B}]}$$

ahol:

- c[OH<sup>-</sup>] = hidroxidion-koncentráció, mol/dm<sup>3</sup>  
 c[BH<sup>+</sup>] = a protolizált (a hidroxidionokat leadott) bázis koncentrációja (a BH<sup>+</sup> kation, azaz a bázisgyök koncentrációja), mol/dm<sup>3</sup>  
 c[B] = bázis-koncentráció (a BH<sup>+</sup> kation tartalmú bázis koncentrációja), mol/dm<sup>3</sup>.

Megjegyzés: Az irodalomban előfordul, hogy a szögletes zárójelek helyett gömbölyű zárójeleket, a BH<sup>+</sup> helyett HB<sup>+</sup> jelölést alkalmaznak.

Néhány összetartozó sav és savmaradék pK<sub>s</sub> sav-, illetve pK<sub>B</sub> bázisexponensének értékét a Brønsted-féle sav-bázis elmélet



összefüggése és a

$$pK_s + pK_B = 14$$

törvényszerűség alapján (Neumüller et al., 1984) az 1. táblázatban tüntettük fel.

### 3.2. A beton szerves savak és sóik okozta korróziója

A szerves savak (ásványi savak) közül oldódásos betonkorróziót leggyakrabban a sósav (HCl), a salétromsav (HNO<sub>3</sub>), a kénsav (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), a foszforsav (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), a szénsav (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) és

a bórsav (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) okoz. A szerves savak oldják a cementkő összetevőit, és hatásukra a cementkő kalcium-hidroxid (Ca(OH)<sub>2</sub>) tartalma könnyen oldható kalciumsóvá alakul, a savmaradéknak megfelelően például kalcium-klorid (CaCl<sub>2</sub>), kalcium-nitrát (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), kalcium-szulfát (CaSO<sub>4</sub>) stb. keletkezik. Emellett különböző alumínium- és vassók, valamint nagyon gyenge savhatású kovasav (metakovasav H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) is képződik (Biczók, 1956, 1960).

A vízáramlás sebességének növekedése a savas korrózió hatását fokozza. A vízáramlás fokozatainak a (0,1-10,0) m/nap, (10,0 m/nap – 0,01 m/s), (0,01-0,2) m/s, (0,2-2,0) m/s és > 2,0 m/s határértékeket tekintették. A víz áramlási sebessége kötött (agyag és iszap) talajban kisebb, a nagyobb hézagterfogatú szemcsés talajban nagyobb (Biczók, 1956, 1960).

Az ipari szennyvizek a különböző töménységű nehézfémek mellett gyakran szerves savakat (például sósavat (HCl), kénsavat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), salétromsavat (HNO<sub>3</sub>)) és szerves savakat (például ecetsavat (CH<sub>3</sub>COOH), tejsavat (CH<sub>3</sub>CH(OH)COOH), gyümölcssavat) tartalmaznak. A nehézfémek és szerves savak kibocsátója a fémfeldolgozó-ipar, a szerves savaké az élelmiszeripar, valamint a szesz- és élesztőipar (Benedix, 2008).

A visszavont MI 17215-2:1986 műszaki irányelv szerint a savtartalmú korrozív víz, folyadék

- gyengén agresszív, ha a Ba<sub>1</sub>-Ba<sub>2</sub> alcsoportban 5,0 < pH ≤ 6,5, a Ba<sub>3</sub> alcsoportban 4,5 < pH ≤ 6,0;
- közepesen agresszív, ha a Ba<sub>1</sub>-Ba<sub>2</sub> alcsoportban a savtartalom nem oxidáló sav esetén ≤ 8 tömeg%, és oxidáló sav esetén ≤ 5 tömeg%; a Ba<sub>3</sub> alcsoportban pedig a savtartalom ≤ 15 tömeg%;
- erősen agresszív, ha a Ba<sub>1</sub>-Ba<sub>2</sub> alcsoportban a savtartalom nem oxidáló sav esetén > 8 tömeg%, és oxidáló sav esetén > 5 tömeg%; a Ba<sub>3</sub> alcsoportban pedig a savtartalom > 15 tömeg%;

ahol a képződő kalcium-vegyületek oldhatósága vízben a Ba<sub>1</sub> alcsoportban > 1,000 g/100 ml, a Ba<sub>2</sub> alcsoportban 0,002-1,000 g/100 ml, a Ba<sub>3</sub> alcsoportban < 0,002 g/100 ml.

A sók betonra gyakorolt hatását általában mindig a sók savmaradéka (a savnak a hidrogén atom nélküli része) alapján kell megítélni. A sók hatása lényegében ugyanaz, mint a savak hatása, csak sokkal gyengébb (Biczók, 1956, 1960).

Néhány szerves sav és különböző lúgokkal alkotott sója betonkorróziós hatásának jellege a 2. táblázatban látható. A savak betonkorróziós hatásának jellege nem feltétlenül esik egybe az 1. táblázatban szereplő pK<sub>s</sub> savexponensek erősségének mértékével.

A sók vizes oldatának pH-értéke a sók kationjai, illetve an-

**2. táblázat:** Néhány szervesen sav és különböző lúgokkal alkotott sója betonkorrozíós hatásának jellege (Krenkler, 1980)

Savak	Bázisok	NaOH Nátrium- hidroxid (Nátronlúg)	KOH Kálium- hidroxid (Kálilúg)	Mg(OH) <sub>2</sub> Magnézium- hidroxid	Ca(OH) <sub>2</sub> Kalcium- hidroxid	Al(OH) <sub>3</sub> Alumínium- hidroxid	NH <sub>4</sub> (OH) Ammónium- hidroxid	Fe(OH) <sub>2</sub> Ferrohidroxid Fe(OH) <sub>3</sub> Ferrihidroxid	Sók megnevezése a savmaradék alapján
① HCl, Hidrogén-klorid gáz, vizes oldata: Sósav		NaCl	KCl	① MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	③ AlCl <sub>3</sub>	① NH <sub>4</sub> Cl	③ FeCl <sub>3</sub>	Kloridok
① HNO <sub>3</sub> , Salétromsav		NaNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	② NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Nitrátok
② H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Kénsav	②	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	② K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	① MgSO <sub>4</sub>	② CaSO <sub>4</sub>	② Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	① (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	① Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Szulfátok
③ H <sub>2</sub> S, Hidrogén-szulfid gáz (Kén-hidrogén gáz), vizes oldata: Kénhidrogénvíz	③	Na <sub>2</sub> S	③ K <sub>2</sub> S	③ MgS	③ CaS	③ Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	–	③ FeS	Szulfidok
④ H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , Foszforsav		Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	③ CaHPO <sub>4</sub> Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	AlPO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	FePO <sub>4</sub> Fe <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	Foszfátok
③ H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Szénsav		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	–	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	Karbonátok
③ HF, Hidrogén-fluorid gáz, vizes oldata: Folyosav		NaF	KF	MgF <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	AlF <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> F	FeF <sub>2</sub> FeF <sub>3</sub>	Fluoridok

Megjegyzés:

- A betonra ① nagyon erősen korrozív ② erősen korrozív ③ közepesen korrozív ④ gyengén korrozív
- A kovasav (H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) és sói (szilikátok), valamint a hidrogén-oxo-aluminát (H<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) és sói (aluminátok) a betonra nem korrozívak.
- A portlandcement vagy kohósalakcement kötőanyagú, kellő tömörségű betonok a kiskonzentrációjú lúgoldatoknak (például legfeljebb 20% nátrium-hidroxid tartalmú oldatoknak) általában ellenállnak (Biczók, 1960).
- A sókat ipari alkalmazásra általában nem sav-bázis reakció létrehozásával gyártják (Náray-Szabó, 1958; Neumüller et al., 1981-1984).

ionjai protolízisének – proton (hidrogénion) átadás-átvétellel járó kémiai reakciónak – lehetőségétől függ. Három lehetőség van (Benedix, 2008):

A. A *sóoldat semleges* lesz, ha a sónak nem képes sem a kationja, sem az anionja a vízzel reakcióba lépni, és protont (hidrogéniont) leadni vagy felvenni. Semleges sóoldat például a nátrium-klorid (NaCl), a kálium-nitrát (KNO<sub>3</sub>), a magnézium-szulfát (MgSO<sub>4</sub>) vizes oldata.

- A periódusos rendszer 1. csoportjának (oszlopának, a régi jelölés szerinti I. főcsoportjának) fémkationjait – például a nátriumiont és a káliumiont – és 2. csoportjának (II. főcsoportjának) fémkationjait – például a magnéziumiont és a kalciumiont – semleges kationoknak tekintjük, mert protolízisre nem képesek.
- Az erős savak anionjai, mint például a kloridion (Cl<sup>-</sup>), a nitrátion (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), a monohidrogén-szulfátion (HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>) nagyon gyengén savas kémhatású ionok.
- Ha a só protolízisre képes kationból és protolízisre képes anionból áll, akkor a só pH-értéke a sóképző sav pK<sub>s</sub> sav-exponens és a sóképző bázis pK<sub>b</sub> bázis-exponens értékének viszonyától függ. Ha az exponens-értékek egyforma nagyságúak, akkor a só ebben a viszonylag ritka esetben is semleges kémhatású (pH = 7), mint például az ammónium-acetát (NH<sub>4</sub>·CH<sub>3</sub>·COO).

Magyarázat:

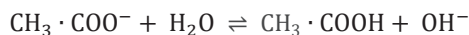
- ha c[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] > c[OH<sup>-</sup>], akkor az oldat savas kémhatású,
- ha c[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = c[OH<sup>-</sup>], akkor az oldat semleges kémhatású,
- ha c[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] < c[OH<sup>-</sup>], akkor az oldat lúgos kémhatású.

Ha egy oldatban a c[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] koncentráció nagy érték, akkor a c[OH<sup>-</sup>] koncentráció kis érték kell legyen és fordítva, ugyanis teljesülnie kell a K<sub>s</sub>·K<sub>b</sub> = K<sub>víz</sub>, illetve a pK<sub>s</sub> + pK<sub>b</sub> = 14 követelménynek.

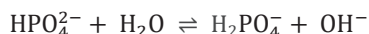
B. A *gyenge savakból* képződött sók anionjainak vizes oldata *bázikus* kémhatású.

- Az ilyen bázikus anionok – például, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (karbonátion), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (foszfátion), CN<sup>-</sup> (cianidion) és CH<sub>3</sub>·COO<sup>-</sup> (acetátion)

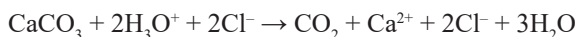
– a vízből a lúgképződéshez hidroxidiont (OH<sup>-</sup> protont) vonzanak magukhoz. Például a nátriumacetát só (Na·CH<sub>3</sub>·COO) vizes oldatában az acetátionból (CH<sub>3</sub>·COO<sup>-</sup>) gyenge ecetsav (CH<sub>3</sub>·COOH) képződik, miközben hidroxidionok maradnak vissza, amelyek hatására az oldat pH-értéke megnövekszik:



- A többértékű savakból – például foszforsavból (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) – származó bázikus anionok – például a hidrogénfoszfátion (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) – proton-felvétellel szintén lúgos oldatot adnak:

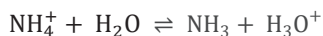


- A mészkő (CaCO<sub>3</sub>) bomlása savas oldatok – például sósavoldat (HCl + H<sub>2</sub>O) – hatására is egy olyan reakció, amely bázikus anionok (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) és a sav között játszódik le. A karbonátion (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) a sav két protonját erős bázisként köti magához. Ezáltal szénsav (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) keletkezik, amely széndioxidra (CO<sub>2</sub>) és vízre (H<sub>2</sub>O) esik szét.:

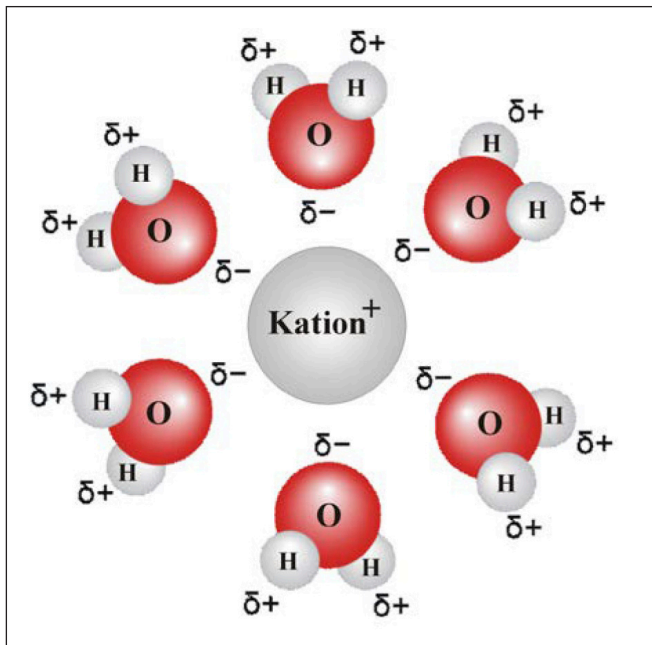


C. A *gyenge bázisokból* származó sók vizes oldata *savas* kémhatású.

- Így például az ammóniából (NH<sub>3</sub>) – amely gyenge bázis, és amelynek vizes oldata, a szalmiákszesz lúgos – származó sók, mint például az ammónium-klorid (NH<sub>4</sub>Cl), vizes oldata savas kémhatású. Az ammónium-klorid savas kémhatású kationja (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) hidroxónium-ion (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) képződését eredményezve átad a víznek egy protont:

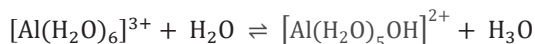


- Különleges eset, hogy a háromszoros pozitív töltésű fémkationok – mint az Al<sup>3+</sup> és az Fe<sup>3+</sup> ionok – sójának vizes oldata



**2. ábra:** Dipólusú vízmolekulákból álló hidrat-burok a kation körül ([https://en.wikipedia.org/wiki/Solvation\\_shell](https://en.wikipedia.org/wiki/Solvation_shell))

szintén savas kémhatású. Ennek az a magyarázata, hogy a fémionok háromszoros pozitív töltése olyan erősen polarizálja a hidrat-burok (2. ábra) oxigén-hidrogén kötéseit, hogy az a kationból proton-lehasadáshoz, hidroxónium-ion képződéshez és ezzel az oldat savas reakciójához vezet. Példa erre az  $[Al(H_2O)_6]^{3+}$  alumínium-hexaakva-komplex ion átalakulása  $[Al(H_2O)_5OH]^{2+}$  alumínium-pentaakva-hidroxiónná:



A visszavont MI 17215-2:1986 műszaki irányelv szerint a lúgok és a bázikus sókat tartalmazó, a Bc agresszivitási csoportba tartozó korrozív víz, folyadék

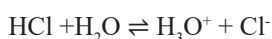
- gyengén agresszív, ha a pH-értéke  $> 9,0$  és  $\leq 10,5$ ;
- közepesen agresszív, ha a lúg- vagy sótartalma  $\leq 0$  tömeg%; és
- erősen agresszív, ha a lúg- vagy sótartalma  $> 10$  tömeg%.

## 4. A BETONNAK A SÓSAV ÉS A SÓSAV SÓI (KLORIDOK) OKOZTA KORRÓZIÓJA

### 4.1. Sósavkorrózió

A sósav (HCl) szúrós szagú, éghetetlen, mérgező gáz, amely vízben könnyen oldódik; például 1 dm<sup>3</sup> víz 0 °C hőmérsékleten 442 dm<sup>3</sup>, 20 °C hőmérsékleten 507 dm<sup>3</sup> sósavat old fel. A kereskedelemben kapható tömény, 1,19 g/cm<sup>3</sup> anyagsűrűségű sósavoldat 20 °C hőmérsékleten 38% sósavat tartalmaz, amely mintegy 12 mol/dm<sup>3</sup> anyagmennyiségnek felel meg. A laboratóriumi hígított sósavoldat koncentrációja általában 2 mol/dm<sup>3</sup>.

Vízben a sósav csaknem 100%-ban savas jellegű hidroxóniumionokra (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) és bázikus jellegű kloridionokra (Cl<sup>-</sup>) bomlik (disszociálódik):



azaz minden HCl-molekula átadja protonját (H<sup>+</sup>-ion) a víznek (H<sub>2</sub>O), és ezért a keletkező hidroxóniumionok anyag-



**3. ábra:** Sósavoldat hatása a bazalt zúzottkő adalékanyagú betonra (Kausay et al. 1986)

mennyiség-koncentrációja egyenlő lesz a vízben oldott – időközben abban már nem lévő – sósav anyagmennyiség-koncentrációjával:  $c(H_3O^+) = c(HCl)$ .

*Magyarázat:* Az anyagmennyiség-koncentráció egy térfogat-egységnyi (dm<sup>3</sup>) oldatban lévő, moláris tömegű oldott anyag mólokban kifejezett kémiai anyagmennyisége. Mértékegysége: mol/dm<sup>3</sup>.

Sósav hatására a cement szabad kalcium-hidroxidja (portlandit, Ca(OH)<sub>2</sub>) vízben nagyon gyorsan oldódó kalcium-kloriddá (CaCl<sub>2</sub>, más néven klórkalcium) alakul, amely kimosódik, illetve kikristályosodik, ezért már a híg sósavoldat is ártalmas a betonra (3. ábra) (Biczók, 1956, 1960; Krenkler, 1980; Benedix, 2008).

### 4.2. Kloridkorrózió

A sósav sói közül a kalcium-kloridon kívül az ammónium-klorid (NH<sub>4</sub>Cl), alumínium-klorid (AlCl<sub>3</sub>), magnézium-klorid (MgCl<sub>2</sub>) káros a szilárd betonra (Biczók, 1956, 1960).

A sósav sói a kloridok, amelyek az acélbetéteket kivétel nélkül károsítják. A vízben oldódó kloridok meggyorsítják a betonban lévő acélbetétek korrózióját.

A kloridok a betonra nézve különböző mértékben károsak: a magnézium-, ammónium- és alumínium-klorid kivételével a beton épségét általában nem veszélyeztetik. Kloridok kémiai hatására a beton nem duzzad, hanem csak lágyul, de végül szét is eshet (Biczók, 1956, 1960).

- A kalcium-klorid (CaCl<sub>2</sub>, nevezik klórkalciumnak is) a portlandcement kötőanyagú betonra nem veszélyes, ha a friss betonhoz keverik, gyorsítja a kötést és a szilárdulást. Kalcium-kloridot az aluminátcementekhez nem szabad adagolni. Érdekes, hogy például a cementtartalomra számított 2-3% sósav – amely a szilárd betont jelentékenyen megrongálná – a friss beton keverővizéhez adva a hidratáció után néhány százalék kalcium-kloridot képez, amely nagy valószínűséggel megkötődik az aluminátokban, és így a jelentéktelen mennyiségű cementvesztéstől – és tegyük hozzá, hogy vasbeton esetén a karbonátosodás során esetleg szabaddá váló kloridionok acélbetétekre gyakorolt korrozív hatástól – eltekintve, kötégysorsító hatásánál fogva még hasznos is. A beton keveréséhez használt, fertőtlenítés céljából klórozott „csapvíz” sem ártalmas a betonra

- A magnézium-klorid ( $MgCl_2$ ) jól oldódó só, amely a betonnal érintkezve kationcsere folytán a betomból könnyen kilúgozódó kalcium-kloriddá ( $CaCl_2$ ) alakul. A visszamaradó magnézium-hidroxid ( $Mg(OH)_2$ ) vízben gyakorlatilag oldhatatlan amorf anyag, amely a beton felületén és pórusaiban tömör védőhártyát képezhet. Kísérletek szerint a portlandcement mintegy 2% magnézium-klorid (~5000 mg/dm<sup>3</sup>  $Mg^{2+}$  iontartalom) hatására kezd korrodálni. Az amorf magnézium-hidroxid a kristályos kalcium-hidroxid szilárdsághordozó szerepét átvállalni nem tudja, és kedvezőtlen körülmények között a beton duzzadásos tönkremenetelét okozhatja.
- A beton keverővize káros, ha 3,0 tömeg%-nál (30000 mg/dm<sup>3</sup> NaCl) több nátrium-kloridot tartalmaz.
- Az ammónium-klorid ( $NH_4Cl$ ) megtámadja a betont, amelyre nézve már a gyenge oldatok is korrozívak.
- Az alumínium-klorid ( $AlCl_3$ ) a betonra veszélyes.

Az útpályák téli csúszásmentesítéséhez használt olvasztósók a beton felületén általában csészealakú lepattogzást okoznak.

Az MSZ 4798:2016 szabvány szerint a friss betonnak a cement-tartalom, illetve kötőanyag-tartalom tömegszázalékában kifejezett megengedett legnagyobb kloridion-tartalma (Cl):

- betonszerkezet betonja esetén 1,0 tömeg% (10000 mg/dm<sup>3</sup> NaCl);
- vasbetonszerkezet betonja esetén 0,2 tömeg%, ha CEM III típusú cementtel készül, akkor 0,4 tömeg%;
- feszített vasbetonszerkezet betonja esetén 0,1 tömeg%, ha CEM III típusú cementtel készül, akkor 0,2 tömeg%.

Az MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány F melléklete szerint akkor kell a vasbeton- és a feszített vasbetonszerkezet betonját az acélbetétek védelmében XD2 környezeti osztályba sorolni, ha a betonnal érintkező talajvíz, egyéb természetes víz, szennyvíz vagy egyéb folyadék kloridion-tartalma (Cl) több mint 500 mg/dm<sup>3</sup>.

Balázs György, Kovács Károly, Csizmadia Zoltánné és Kopecskó Katalin a BME Építőanyagok Tanszéken az 1990-2010 években végeztek kutatásokat a témában (Balázs et al., 1997; Csizmadia et al., 1993, 2001; Kopecskó et al., 2005). A kutatási eredmények azt bizonyítják, hogy a megszilárdult, 28 napos korú betonba a kapilláris pórusokon 10 nap alatt – öt ciklusos, 24 órás sóoldatban és 24 órás 100% relatív páratartalmú térben való tárolás alatt – behatoló 10%-os nátriumklorid-oldatnak a kloridionjait a portlandcement trikálcium-alumínát (felit,  $C_3A$ ) és tetrakalcium-alumínát-ferrit (celit,  $C_4AF$ ) klinkerásványainak hidrátjai Friedel-só ( $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$ ) vagy Friedel-só vasanalógjának és Kuzel-só formájában megkötik, mert a kísérleti beton még nem karbonátosodott. A gőzöléssel szilárdított mintákban több Friedel-sót találtak, mint a laboratóriumban 22±2 °C hőmérsékleten szilárdultakban. A kloridionok megkötésével párhuzamosan másodlagos ettringit képződését figyelték meg. **Megállapították, hogy az örölt granulált kohósalakot tartalmazó cementpépek kloridion-megkötő képessége nagyobb, mint a tiszta portlandcementpépeké.** (Balázs, 2004, 2010; Kopecskó et al., 2017).

A visszavont MI 17215-2:1986 műszaki irányelv szerint a magnéziumion ( $Mg^{2+}$ ) tartalmú korrozív víz, folyadék

- gyengén agresszív, ha cserebomlás esetén az agresszív kationok mennyisége az  $Ab_1$  alcsoportban > 500 és ≤ 3000 mg/liter, az  $Ab_2$  alcsoportban > 1000 és ≤ 5000 mg/liter, az  $Ab_3$  alcsoportban > 10000 mg/liter; és
- közepesen agresszív, ha az  $Ab_1$  alcsoportban > 3000 mg/liter és az  $Ab_2$  alcsoportban > 5000 mg/liter.

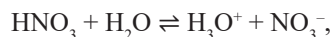
Az MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány szerint, ha a beton- vagy vasbetonszerkezet olyan oldódásos betonkorroziót okozó agresszív folyadékok környezetében van, amelyek

magnéziumion ( $Mg^{2+}$ ) tartalma ≥ 100 és ≤ 1000 mg/liter közé esik, akkor a betont az XA4(H) környezeti osztályba; ha > 1000 és ≤ 2500 mg/liter közé esik, akkor az XA5(H) környezeti osztályba; ha pedig 2500 mg/liternél több, akkor az XA6(H) környezeti osztályba kell sorolni.

## 5. A BETONNAK A SALÉTROMSAV ÉS A SALÉTROMSAV SÓI (NITRÁTOK) OKOZTA KORROZIÓJA

### 5.1. Salétromsav-korrózió

A salétromsav ( $HNO_3$ ) vízben savas jellegű hidroxóniumionokra ( $H_3O^+$ ) és bázikus jellegű nitrátionokra ( $NO_3^-$ ) bomlik (disz-szociálódik):



és ezzel a kénsavnál korrozívabb hatású oldószer áll elő. A salétromsav erős oxidáló hatásának hátterében áll, hogy a nitrogén – amely a levegő összetételének 78%-át képezi – oxidációs száma. mind a salétromsavban, mind a nitrátokban +V, ami az elemek periódusos-rendszere 15. csoportjában (nitrogén, foszfor, arzén, antimon, bizmut) a lehető legnagyobb. *Magyarázat:* Az oxidációs szám a csak ionokból álló képzeletbeli molekulában lévő atom elektromos töltésének általános értéke, azaz egy elem oxidációfokát jellemző előjeles egész szám. Az elemi állapotú anyagok oxidációs száma nulla; az oxidálószerké (elektronok leadására képes anyagok) annál nagyobb pozitív előjelű szám, minél könnyebben leadják az oxigénjüket, más anyagokat oxidálnak, ők maguk pedig redukálódnak; a redukálószerké (elektronok felvételére képes anyagok) annál nagyobb negatív előjelű szám, minél inkább felveszik az oxigént, más anyagokat redukálnak, ők maguk pedig oxidálódnak.

Minthogy a salétromsav vízben gyakorlatilag teljes mértékben disszociálódik, – a sósav-disszociálódáshoz hasonlóan – a  $c(X)$  [mol/dm<sup>3</sup>] anyagmennyiségkoncentrációra fel lehet írni, hogy  $c(H_3O^+) = c(HNO_3)$  azaz a hidroxóniumionok anyagmennyiség-koncentrációja megfelel a vízben oldott salétromsav anyagmennyiség-koncentrációjának.

### 5.2. Nitrátkorrózió

A protolízis (proton leadás-felvétel) következtében a salétromsav ammónium-sóinak vizes oldatai is savként viselkednek.

A salétromsav ammónium-sói vizes oldatainak egyike az ammóniumnitrát-oldat ( $NH_4NO_3 + H_2O$ ), amelynek hatása a betonra az egyik legkedvezőtlenebb.

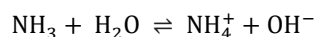
A salétromsav-, illetve nitrát-tartalmú vizek a tégla-, habarcs- és betonfelületeken salétromos, például káliumnitrát ( $KNO_3$ ), nátrium-nitrát ( $NaNO_3$ ) vagy kalcium-nitrát ( $Ca(NO_3)_2$ ) kivirágzást okoznak.

A korrozív hatású nitrátok hordozói a talajvizek és a felszíni vizek, forrásai többnyire salétrom bányák és tárolók, műtrágya üzemek, trágyalétárolók stb. (Biczók, 1956, 1960; Benedix, 2008).

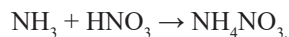
A salétromsav sóinak ionizált állapotában létrejövő ammóniumionok ( $NH_4^+$ ) a cementkő szabad kalcium-hidroxidjával (portlandit,  $Ca(OH)_2$ ) a betont korrodáló könnyen oldódó kalcium-vegyületeket és ammóniát ( $NH_3$ ) képeznek, ez utóbbi szúrós szagú, mérgező gáz.

Az ammónia vízben igen jól oldódik, 20 °C hőmérsékleten 1 dm<sup>3</sup> víz 702 dm<sup>3</sup> ammóniát képes feloldani, ami 35%-os

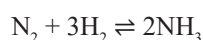
ammóniaoldatnak (ammónium-hidroxid,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) felel meg. Az ammónia-oldat gyengén lúgos kémhatású, mert a vízben oldott gáz hatására kis mennyiségben protolizált – 20 °C hőmérsékleten 0,1 mol/dm<sup>3</sup> vizes ammóniaoldatban kevesebb, mint 1%  $\text{NH}_3$ -molekula vesz részt a hidrogénion leadás-felvételben – ammónium- és hidroxidion képződik:



Az ammónia ( $\text{NH}_3$ ) savakkal sókat, például salétromsavval ( $\text{HNO}_3$ ) ammónium-nitrátot ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) képez:



Megjegyzés: Ipari méretekben az ammóniát különböző előzmények után az 1910-1914 években kifejlesztett német Haber-Bosch eljárással a levegő nitrogénjéből és hidrogénjéből állítják elő 450-550 °C hőmérsékleten, 150-250 bar nyomáson:



Benedix (2008) szerint a szennyvizek nitrát-tartalmának csak mintegy egyharmada ered a háztartásokból, a nagyobb rész forrása a mezőgazdaság (állattartás, ásványi trágya, szerves trágya).

Az ammónia az ammónium-nitrát előállításán kívül a karbamid, ammónium-szulfát és ammónium-foszfát alapú műtrágyagyártás, továbbá a robbanóanyag-gyártás és a nitrógentartalmú vegyi anyagok előállításának alapanyaga.

Balázs György és Csányi Erika a BME Építőanyagok Tanszéken 1900 és 2000 között kutatták a légszennyeződések vasbetonra gyakorolt hatását (Csányi et al., 1997). A kísérleti betonok CEM II/A-S 32,5 kohósalak-portlandcementtel készültek, MSZ 4719:1982 szabvány szerinti nyomószilárdsági osztályuk C12 és C20 volt. A próbatesteket 4 hónapon át tárolták 50-150 ppm (part per million, az egész egymilliomod része) koncentrációjú nitrogén-dioxid ( $\text{NO}_2$ ) gáztérben. A vizsgálat végén a próbatestek felső 5 mm vastag rétegében a C12 jelű beton esetén 2,5 tömeg%, a C20 jelű beton esetén 1,5 tömeg% nitránon-tartalmat mértek. A laboratóriumi próbatesteken kívül megépült szerkezetek betonját is vizsgálták, és azt tapasztalták, hogy a műtrágyagyárak területén a nitrogén-dioxid beépülése a beton 50-60 mm vastag kérgébe 56%, és a beton pH-értéke szélsőséges esetben 8-9-re csökkent. A kutatók véleménye szerint, ha a beton nyomószilárdsági osztálya legalább C20 (MSZ 4719:1982) és a betonfedés legalább 20 mm, akkor kis légnedvesség-tartalom esetén a levegő nitrogén-dioxid-tartalma nem okoz acélbetét-korróziót (Balázs, 2004, 2010).

A visszavont MI 17215-2:1986 műszaki irányelv szerint az ammóniumion ( $\text{NH}_4^+$ ) tartalmú korrózív folyadék, víz

- gyengén agresszív, ha cserebomlás esetén az agresszív kationok mennyisége az  $\text{Ab}_1$  alcsoportban > 100 és ≤ 500 mg/liter, az  $\text{Ab}_2$  alcsoportban > 200 és ≤ 1000 mg/liter, az  $\text{Ab}_3$  alcsoportban > 2000 mg/liter; és
- közepesen agresszív, ha az  $\text{Ab}_1$  alcsoportban > 500 mg/liter és az  $\text{Ab}_2$  alcsoportban > 1000 mg/liter.

Az MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány szerint, ha a beton- vagy vasbetonszerkezet olyan oldódásos betonkorróziót okozó vizekkel, folyadékokkal vagy szennyvizekkel érintkezik, amelyek ammóniumion ( $\text{NH}_4^+$ ) tartalma ≥ 15 és ≤ 30 mg/liter közé esik, akkor a betont az XA4(H) környezeti osztályba; ha a vizek, folyadékok ammóniumion-tartalma > 30 és ≤ 60 mg/liter közé, vagy szennyvizek esetén > 30 és ≤ 100 mg/liter közé esik, akkor az XA5(H) környezeti osztályba; ha pedig 60 mg/liternél több, vagy szennyvizek esetén 100 mg/liternél több, akkor az XA6(H) környezeti osztályba kell sorolni.

## 6. A BETONNAK A KÉNSAV ÉS SÓI (SZULFÁTOK), VALAMINT KÉN-HIDROGÉN ÉS SÓI (SZULFIDOK) OKOZTA KORRÓZIÓJA

Amíg kénsavtartalmú vizek és szennyvizek, gázok, gőzök, permetek a beton – a reakciótermékek duzzadásával kísért – *oldódásos* kénsavkorrózióját okozhatják, addig a sótartalmú talajok, talajvizek, felszíni vizek oldott szulfátonjai ( $\text{SH}_4^{2-}$ ) *duzzadásos* szulfátkorrózióra vezethetnek.

Említésre méltó, hogy 1990-2000 között a BME Építőanyagok Tanszéken a légszennyeződések vasbetonra gyakorolt hatása – fenn már említett – kutatásának alapkísérleti eredményeiből Balázs György és Csányi Erika megállapította, hogy a 200-500 ppm koncentrációjú kén-dioxid ( $\text{SO}_2$ ) légtérbeli kezelés hatására a beton 10 mm vastag kérgében pernyetartalmú cementek esetén háromszoros, CEM I portlandcementek esetén ötszörös, kohósalak-tartalmú cementek esetén mintegy hétszörös volt a szulfáton-betelepülés a cementbe bekevert gipszkő szulfáton-tartalmához képest. Kénsavgyár területén lévő vasbetonszerkezet külső 10 mm vastag kérgében két-háromszoros gipsztartalmat észleltek a beton eredeti gipsztartalmához képest, ami csökkentette a betonkéreg légátbocsátó-képességét és nem csökkentette annak pH-értékét. A vizsgálati eredményekből arra következtettek, hogy ha a beton nyomószilárdsági osztálya legalább C20 (MSZ 4719:1982) és a betonfedés legalább 20 mm, akkor kis légnedvesség-tartalom esetén a levegő kén-dioxid-tartalma nem okoz acélbetét korróziót (Balázs, 2004, 2010).

Az MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány szerint, ha a beton- vagy vasbetonszerkezet olyan oldódásos betonkorróziót okozó agresszív folyadékok környezetében van, amelyek szulfáton ( ) tartalma ≥ 200 és ≤ 600 mg/liter közé esik, akkor a betont az XA4(H) környezeti osztályba; ha a folyadékok szulfáton-tartalma > 600 és ≤ 1500 mg/liter közé esik, akkor az XA5(H) környezeti osztályba; ha pedig 1500 mg/liternél több, akkor az XA6(H) környezeti osztályba kell sorolni.

A kénsav és a kénsav sói (szulfátok), valamint a kénhidrogén és a kénhidrogén sói (szulfidok) okozta kémiai és biológiai betonkorrózióra vonatkozó ismereteket részletesen cikkorozatunk 3. részében tekintjük át.

## 7. FOSZFORSAV ÉS SÓI OKOZTA BETONKORRÓZIÓ

A foszforsav ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) kis mértékben oldja a betont, mert anionjai ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) a kalciummal oldhatatlan, nem kristályosodó, térfogatban nem növekvő trikálcium-foszfát ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) só védőréteget képeznek, amely a beton felületét a további korróziótól megvédi.

A foszforsav másik sója, a kalcium-dihidrogén-foszfát (szuperfoszfát, savanyú foszforsavas mész,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ) kevés foszforsavat is tartalmaz, és emiatt közepes mértékben agresszív a betonra (Biczók, 1956).

A foszforsav betonkorróziót okozó sói **főképp emberi ürülékből**, kisebb részben mosó- és tisztítószerből származnak. A mosó- és tisztítószeres agresszivitását elsősorban a benne lévő lúgok (például nátrium-hidroxid,  $\text{NaOH}$ ), illetve savak (például kénsav,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  vagy ecetsav,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) okozzák (Benedix, 2008).



## 8. A VÍZ SZABAD SZÉNDIOXID-TARTALMA OKOZTA BETON-KORRÓZIÓ (SZÉNSAVKORRÓZIÓ)

A víz szabad széndioxid-tartalma okozta oldódásos beton-korrózió folyamatát cikksorozatunk – e folyóirat 2017. évi 3. számában megjelent – 1. részének 5. fejezetében részletesen elemeztük. A vízben lévő széndioxid jelentős mértékben oldódhat a betonra agresszív szénsav alakjában. A szénsavtartalmú víz mintegy 165 g/dm<sup>3</sup> kalcium-karbonátot képes feloldani, ami 13 ezerszerese a tiszta víz kalcium-klorid feloldóképességének.

Szén-dioxid tartalma a víznek lehet, a levegőnek pedig van. A levegőben – bár csak mintegy 0,03%-ban – jelenlévő széndioxid-tartalom a cementkő mintegy 5-15%-ára tehető szabad kalcium-hidroxid-tartalmát (portlandit, Ca(OH)<sub>2</sub>) kalcium-karbonáttá (CaCO<sub>3</sub>) alakítja, ez a karbonátosodás.

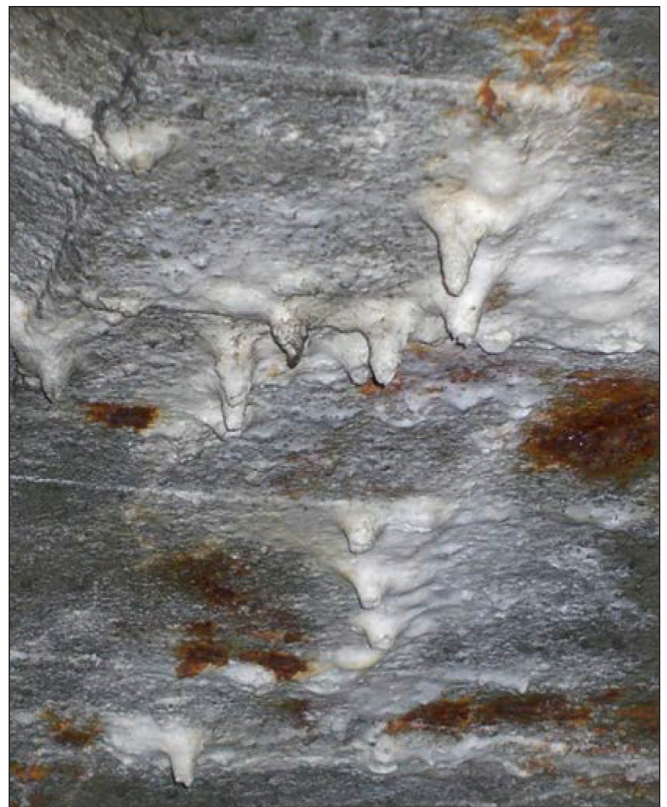
A karbonátosodás kedvező hatását Kleinlogel et al. (1950) azzal magyarázta, hogy a szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) a betonban lévő könnyen kioldódó szabad kalcium-hidroxidot (portlandit, Ca(OH)<sub>2</sub>) nehezen kioldódó kalcium-karbonáttá (CaCO<sub>3</sub>) alakítja, szemben az esetleges szénsavkorrózióval, ami a víz szabad kalcium-hidroxid-tartalma könnyen kioldható kalcium-hidrokarbonáttá (kalcium-bikarbonát, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) változásának a következménye.

Már nem sokkal később megállapították (például Biczók, 1956, 1960), hogy a víz szabad széndioxid-tartalma (CO<sub>2</sub>) a betonra nézve kémiaiilag akkor agresszív, ha mennyisége meghaladja az oldott hidrokarbonátok (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) koncentrációjának megfelelő egyensúlyi szénsav-mennyiséget. A szénsav (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O) gyengesége ellenére a víz agresszív szabad széndioxid-tartalma (CO<sub>2</sub>) a cementkő kationjait (például: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) oldatba viszi, és azokkal a rosszul oldódó karbonátokból (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>) könnyen oldódó és kilúgozódó hidrokarbonátokat (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) hoz létre (oldódásos korrózió). Ez öntápláló, ismétlődő, összetett kémiai folyamat, mert a cementkő szabad kalcium-hidroxidjával a keletkezett hidrokarbonátok is reakcióba lépnek, és ennek következtében a karbonátok kicsapódnak (kazánkö), majd azokból újra hidrokarbonátok képződnek, a felszabaduló lágy víz pedig a cementkő szabad kalcium-hidroxidját kioldja (5. ábra). A szénsavas víz a cementkő kalcium-szilikát-hidrát fázisait és aluminát-, valamint ferrit-kötéseit is megtámadja (Krenkler, 1980). Mindezek folytán a beton nagymértékben kilúgozódik, és a cementkő, illetve a beton szilárdsága jelentősen csökken.

A visszavont MI 17215-2:1986 műszaki irányelv szerint a Bb agresszivitási csoportba tartozó szabad szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) tartalmú korrozív víz, folyadék

- gyengén agresszív, ha szabad szén-dioxid mennyisége > 5 és ≤ 70 mg/liter, és
- közepesen agresszív, ha > 70 mg/liter.

Az MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány szerint, ha a beton- vagy vasbetonszerkezet olyan oldódásos betonkorróziót okozó folyadékok környezetében van, amelyek agresszív szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) tartalma ≥ 15 és ≤ 40 mg/liter közé esik, akkor a betont az XA4(H) környezeti osztályba; ha a vizek, folyadékok agresszív szén-dioxid-tartalma > 40 és ≤ 100 mg/liter közé esik, akkor az XA5(H) környezeti osztályba; ha pedig 100 mg/liternél több, akkor az XA6(H) környezeti osztályba kell sorolni.



5. ábra: Savas esővíz hatására a vasbetonlemezéből kioldódott, cseppkőszerű karbonátok (Fénykép: Kausay)

## 9. A BETON HIDROGÉN-FLUORID, FOLYSAV ÉS SÓI OKOZTA KORRÓZIÓJA

A hidrogén-fluorid (HF) szintelen, szúrós szagú, mérgező gáz. A többi hidrogén-halogeniddel ellentétben a hidrogén-fluorid nem képez ionokat, mert a hidrogén és a fluorid atomos kötéssel kapcsolódik egymáshoz (Neumüller et al., 1982).

Magyarázat: A kémiai kötéseknek három – tisztán ritkán előforduló, de valamelyikük meghatározó jellegű – típusát különböztetik meg: az atomos, az ionos és a fémes kötés.

Az atomos kötést (más néven: apoláris kötést, kovalens kötést) az atomok legkülső elektronhéjának közös elektronpárjai alakítják ki. Az atomos kötésű molekulák nem ionokból állnak, és így nem vezetnek az áramot sem alacsony, sem magas hőmérsékleten. Szigorúan véve az apoláris vegyületek azonos atomfajtákból épülnek fel (például a H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> stb.), tágabb értelemben pedig apoláris vegyületek azok is, amelyeknek a molekuláiban a dipólusmomentumok egymást nagymértékben kiegyenlítik. Ilyen molekula a legtöbb szerves vegyület (például CH<sub>4</sub> stb.). Az apoláris kötésű molekulákban a vegyérték-elektronok összege többnyire páros szám, például a H<sub>2</sub>-ben 2, a H<sub>2</sub>O-ban 2×1 + 1×6 = 8, a széndioxidban (CO<sub>2</sub>) 1×4 + 2×6 = 16 vegyértékelektron van. Ezeknek a molekuláknak a legkülső elektronhéjban lévő elektronjai elektron-párok alkotására törekkenek, hogy magányos elektron az elektronhéjon lehetőleg ne maradjon (Neumüller et al., 1981, 1982).

A nemfémek hidridjei (kovalens hibridek) – a hidrogén két elemből vagy összetevőből álló (biner) vegyületei – voltaképpen atomos kötésű molekulák alkotta nagyon különböző tulajdonságú gázok. Például:

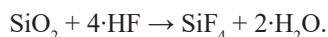
- a metánhidrát-oldat (a CH<sub>4</sub> metán gázból nagy nyomás alatt képződő, mintegy 2/3 rész metánt és 1/3 rész széndioxidot tartalmazó szilárd metán-hidrát vizes oldata) semleges,
- az ammóniaoldat (az NH<sub>3</sub> ammónia gáz vizes oldata) gyengén bázikus,

- a kénhidrogénvíz (a  $\text{H}_2\text{S}$  kén-hidrogén gáz vizes oldata) nagyon gyengén savas,
- a sósav (a  $\text{HCl}$  hidrogén-klorid gáz vizes oldata) és a folyosav (a  $\text{HF}$  hidrogén-fluorid gáz vizes oldata) erősen savas kémhatású (Klenkler, 1980).

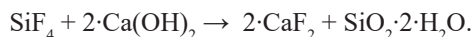
Az atomos kötésű molekulákkal ellentétben az *ionos kötésű* (más néven: poláris kötésű, elektrosztatikus kötésű) molekulák oldott vagy olvadt állapotban kémiai bomlás közben vezetnek az elektromosságot, és vízben ionképződéssel többnyire oldhatóak. Ilyen kötés van például a nátrium-kloridban, a kalcium-oxidban, a folyópáthban stb., azaz a szilárd, nehezen párologó, ion-rácsokat alkotó kristályos vegyületekben. Ezekben a szervesetlen, sószerű szilárd molekulákban szilárd, kristályos állapotban is ionok vannak. Az ionos kötésben ható erőknek nincs egyértelmű irányuk, hanem minden irányban egyforma mértékben hatnak. A kristályok oldásakor az oldószer molekulái az ionok közé nyomulnak, és ez annál könnyebb, minél kisebb a kristályrácsban az ionokat összetartó erő. Ez az oldhatóság jelensége (Neumüller et al., 1982).

A *fémes kötést* az jellemzi, hogy a fém kristályrácsában minden fématomot nagyszámú azonos atom veszi körül, és azokat nem elektronpárok tartják össze, hanem a külső elektronhéjon lévő, leadott elektronok felhője fogja közre (Neumüller et al., 1982).

A hidrogén-fluorid vízzel folyosavvá (fluor-hidrogénsav) elegyíthető. Az ún. folyosav a hidrogén-fluorid 40%-os vizes oldata. A folyosav a villamos áramot nem vezeti, a legtöbb fém feloldja, a szilikátokat, köztük a kvarcot ( $\text{SiO}_2$ ) is megtámadja, miközben szilícium-tetrafluorid gáz ( $\text{SiF}_4$ ) képződik (Krenkler, 1980; Neumüller et al., 1982):



A szilícium-tetrafluorid a kalcium-hidroxiddal (portlandit,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) kalcium-fluoridot ( $\text{CaF}_2$ ) képez:



Ezt a reakciót fel lehet használni a beton savállóságának fokozására. Az *okratálásnak* nevezett eljárás során a beton-elemeket zárt térben, régebben vákuumban, újabban nyomás alatt szilícium-tetrafluorid gázzal kezelve a cementkő savállóságát veszélyeztető szabad kalcium-hidroxid-tartalma vízben oldhatatlan kalcium-fluoriddá ( $\text{CaF}_2$ ) alakul, és a cementkő pórustartalmát csökkentő, tömörségét, vízzáróságát, szilárdságát növelő kovasav-hidrát ( $\text{SiO}_2\cdot 2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) képződik (Krenkler, 1980; Neumüller et al., 1983; MSZ 17213-1:1989).

Az eljárásról német folyóiratokban Wittekindt (1952, 1954) adott hírt. Az „Ocrat”-eljárásról idehaza 1956-ban Náray-Szabó István akadémikus Szervesetlen kémia című könyvének I. kötetében lehetett olvasni. Náray-Szabó István az okratálással és az okratbeton kutatásával az 1950-es évek első felében, munkatársaival (Kovács József, Nagy András) az Építéstudományi Intézetben foglalkozott. Az 1964-ben kiadott, az Építéstudományi Intézetben, Buday Tibor vezetésével kidolgozott, a beton és vasbeton készítését tárgyaló műszaki előírás (ME-19-63) szerint „az okratálás során a fluortartalmú gázt túlnyomással vagy anélkül juttatják a betonba. Okratálással a beton vízzárósága, korrózióállósága, valamint szilárdsága fokozható. Az ilyen beton gyenge savak hatásának is ellenáll. Az eljárást előregyártott elemek és monolit tartályok kezelésére alkalmazzák. Az előregyártott elemek gázkezelésére vonatkozó részletes előírásokat az IME-16-60 ideiglenes műszaki előírás tartalmazza”.

Az eljárást, amelynek során a betont nem szilícium-

tetrafluorid gázzal, hanem hidrogén-sziliko-fluorid sóinak oldatával kezelik – *fluatózásnak* nevezik (MSZ 17213-1:1989).

## 10. A KOVASAV ÉS A KOVASAV SÓINAK SZEREPE A BETONBAN

A szilícium-dioxid (kvarc,  $\text{SiO}_2$ ) – amely a növényi, állati és emberi szervezetekben kovasav ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) formájában van jelen – a kovasav ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) vízben nem oldódó anhidridje (anhidridnek az oxidos savak vízelvonás utáni részét nevezik). A kovasav-anhidrid vízdoldhatatlansága folytán a  $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3$  reakció nem jöhet létre – tehát:  $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \neq \text{H}_2\text{SiO}_3$  –, és ezért a kovasav betonkorróziót sem okoz (Krenkler, 1980). Igaz, hogy emiatt a kovasav építőanyag-tani szerepe elméletinek mondható, de a kovasav sói, a szilikátok mégis igen jelentős építőanyag-összetevők, amelyek egyebek mellett a portlandcement-klinker mintegy háromnegyedét alkotják.

Az eljárást, amelynek során a beton korrózióállóságát nátrium- vagy káliumszilikát-oldatos (vízüveges, például:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kezeléssel javítják az MSZ 17213-1:1989 szabványban szilikonozásnak, a vízüveg kötőanyag, ásványi adalékanyag és adalékszer keverékéből készített korrózióálló, „saválló” betont pedig vízüvegbetonnak, máshol lúgbetonnak nevezik. Ez utóbbi ilyenformán a mai geopolimer korábbi változatának tekinthető.

## 11. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A szervesetlen savak és a sók, ritkábban a lúgok is nedvesség jelenlétében a beton káros kémiai, esetleg fizikai elváltozásait okozhatják. E korrózió savak és sók hordozói elsősorban a talajvizek, szennyvizek, ipari és mezőgazdasági folyadékok, olykor a szennyezett levegő vagy például a közlekedési utak téli jégolvasztó sózása. A savas kémhatású oldatok általában a beton oldódásos korrózióját okozzák, de a kénsav, illetve a szulfátok duzzadásos korrózió előidézői is lehetnek. A sók közül a gyenge bázisokból származó sók hatása káros, mert azok vizes oldata savas kémhatású. A lúgok közül főképp az ammónia vizes oldata okozhat betonkorróziót.

A beton kénvegyületek, valamint szerves anyagok okozta kémiai és biológiai korróziójának szakirodalmát következő cikkünkben tekintjük át.

## 12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzői köszönetet mondanak az NVKP 16-1-2016-0019 „Fokozott ellenállóképességű (kémiai korrózió ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése” című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért.

## 13. ACKNOWLEDGEMENT

Authors acknowledge the support by the Hungarian Research Grant NVKP\_16-1-2016-0019 “Development of concrete products with improved resistance to chemical corrosion, fire or freeze-thaw”.

## 14. HIVATKOZÁSOK

- Balázs Gy. – Tóth E. (1997), „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok”, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- Balázs Gy. (2004), „Beton és vasbeton V. A kutatás története I.”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Balázs Gy. (2010), „Különleges betonok és betontechnológiák III.” *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Balázs L. Gy. – Kausay T. – Kopecskó K. – Nemes R. – Nehme S. G. – Lublőy É. – Józsa Zs. – Arany P. (2017), „Betonok oldódásos korróziója. Szakirodalmi áttekintés. 1. rész: A vizek és folyadékok kémhatása, keménysége, agresszív széndioxid-tartalma”, *Vasbetonépítés*, XIX. évf. 3. szám. pp. 46-59.
- Benedix, R. (2008), „Bauchemie. Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten”, 4. Auflage, Studium. Vieweg + Teubner, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden
- Biczók I. (1956), „Betonkorrózió, betonvédelem”, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Biczók, I. (1960), „Betonkorrosion, Betonschutz”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Csányi, E. and Balázs, Gy. (1997): Analysis of different cement based pastes in SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> atmospheres”, *Periodica Polytechnica Ser. Civil Eng.*, Vol. 41 (2), pp. 169-182.
- Csizmadia, J.; Kovács, K. and Balázs, Gy. (1993), „Thin-layer chromatography for demonstrating chloride ions and its cations in concrete samples”, *Periodica Polytechnica Ser. Civil Eng.*, Vol. 37 (4), pp. 321-327.
- Csizmadia, J.; Balázs, Gy. and Tamás, F.D. (2001), „Chloride ion binding capacity of aluminoferrites”, *Cement and Concrete Research* 31(4):577-588, DOI: 10.1016/S0008-8846(01)00458-6, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00458-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00458-6)
- Kausay T. – Szekeresné K. M. (1986), „Betonok korrózióvédelme felületkezeléssel”, *Szakiipari Technika*, 3. szám. pp. 63-65.
- Kleinlogel, A. – Walz, K. – Vierheller, H. (1950): „Einfüsse auf Beton und Stahlbeton”, Fünfte Auflage, *Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin*
- Kopecskó K. (2006), „A gőzölés hatása a cement klinkerek és cementek kloridion megkötő képességére”, PhD értekezés, p.100.
- Kopecskó, K. – Balázs, Gy. (2005), „Chloride ion binding of cement clinkers and cements influenced by steam curing”, *fib Symposium “Structural Concrete and Time”*, La Plata 2005, Vol. 1, pp. 147-154.
- Kopecskó, K. – Balázs, Gy. L. (2017), „Concrete with Improved Chloride Binding and Chloride Resistivity by Blended Cements”, *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2017*, Article ID 7940247, p. 13., <https://doi.org/10.1155/2017/7940247>
- Krenkler, K. (1980), „Chemie des Bauwesens. Band 1. Anorganische Chemie”, *Springer-Verlag*, Berlin/Heidelberg, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-81475-4>
- Náray-Szabó I. (1956), „Szervetlen kémia”, I. kötet, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Náray-Szabó I. (1958), „Szervetlen kémia”, III. kötet, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Neumüller, O-A. szerk. (1981), „Römp vegyészeti lexikon”, Első kötet, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Neumüller, O-A. szerk. (1982), „Römp vegyészeti lexikon”, Második kötet, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Neumüller, O-A. szerk. (1983), „Römp vegyészeti lexikon”, Harmadik kötet, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Neumüller, O-A. szerk. (1984), „Römp vegyészeti lexikon”, Negyedik kötet, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Palotás L. – Balázs Gy. (1980), „Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton – habarcs – kerámia – műanyag”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Riesz L. szerk. (1989), „Cement- és mészgyártási kézikönyv”, *Építésügyi Tájékoztatói Központ*, Budapest
- Spittgerber, F. (2012), „Identifizierung der Zementart in Zementsteinen und die Übertragbarkeit auf Mörtel und Betone”, Dissertation, *Bauhaus-Universität Weimar*
- Stark, J. – Wicht, B. (2013), „Dauerhaftigkeit von Beton”, *Springer Vieweg Verlag*, Berlin/Heidelberg, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35278-2>
- Wittekindt, W. (1952), „Der säurefeste Ocrat-Beton”, *Zement-Kalk-Gips*, Jg. 5. pp. 203-205.
- Wittekindt, W. (1954), „Der säurefeste Ocrat-Beton”, *Betonstein-Zeitung*, Jg. 20. pp. 469-474.

## 15. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK, ÉPÍTÉSÜGYI MINISZTERI UTASÍTÁS, MŰSZAKI ELŐÍRÁS ÉS IRÁNYELV

- DIN 38414-4:1984 „Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Schlamm und Sedimente (Gruppe S). Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4)”
- Építésügyi Minisztérium Műszaki Főosztálya: „Betonok és habarcsok”. A 89. sz. miniszteri utasítás melléklete. Készült az Építéstudományi

- Intézetben. *É. M. Építőipari Könyv- és Lapkiadó*, Budapest, 1952.
- MÉÁSZ ME-04.19:1995 „Beton és vasbeton készítése. 10. fejezet. Agresszív hatásnak ellenálló betonok”, műszaki előírás
- MI 17215-2:1986 „Beton- és vasbeton szerkezetek korrózióvédelme. Agresszív közegek osztályozása”, visszavont műszaki irányelv
- MSZ 4719:1982 „Betonok”, visszavont szabvány
- MSZ 4737-1:2013 „Különleges cementek. 1. rész: Mérsékelt szulfátálló cementek”
- MSZ 4737-2:2013 „Különleges cementek. 2. rész: Fehércementek”
- MSZ 4798:2016 „Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon”
- MSZ 4798:2016/2M:2018 „Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon” Az MSZ 4798:2016 módosítása
- MSZ 17213-1:1989 „Építőipari korrózióvédelem fogalom meghatározásai. Beton- és vasbeton szerkezetek”
- MSZ EN 197-1:2011 „Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelési feltételei”
- MSZ EN 12457-1:2003 „Hulladékok jellemzése. Kioldódás. Megfelelési kioldási eljárás szemcsés hulladékokra és iszapokra. 1. rész: Nagy szilárdanyag-tartalmú és 4 mm-nél kisebb szemcseméretű anyagok egy lépéses, szakaszos kioldása 2 l/kg folyadék - szilárd anyag arány alkalmazásával (szemcseméret-csökkentéssel vagy anélkül)”
- MSZ EN 12457-2:2003 „Hulladékok jellemzése. Kioldódás. Megfelelési kioldási eljárás szemcsés hulladékokra és iszapokra. 2. rész: 4 mm-nél kisebb szemcseméretű anyagok egy lépéses, szakaszos kioldása 10 l/kg folyadék - szilárd anyag arány alkalmazásával (szemcseméret-csökkentéssel vagy anélkül)”
- MSZ EN 12457-3:2003 „Hulladékok jellemzése. Kioldódás. Megfelelési kioldási eljárás szemcsés hulladékokra és iszapokra. 3. rész: Nagy szilárdanyag-tartalmú és 4 mm-nél kisebb szemcseméretű anyagok kétféle lépéses, szakaszos kioldása 2 l/kg és 8 l/kg folyadék - szilárd anyag arány alkalmazásával (szemcseméret-csökkentéssel vagy anélkül)”
- MSZ EN 12457-4:2003 „Hulladékok jellemzése. Kioldódás. Megfelelési kioldási eljárás szemcsés hulladékokra és iszapokra. 4. rész: 10 mm-nél kisebb szemcseméretű anyagok egy lépéses, szakaszos kioldása 10 l/kg folyadék - szilárd anyag arány alkalmazásával (szemcseméret-csökkentéssel vagy anélkül)”

**Dr. Balázs L. György** (1958) okl. építőmérnök, mérnöki matematikai szakmérnök PhD, Dr. habil., egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék vezetője. MTA műszaki tud. kandidátusa. Fő kutatási területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), roncsolásmentes vizsgálatok. Speciális betonok és betétek: szálerősítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FRP) betétek, megerősítések anyagai és módjai, HPC, UHPC, LWC. Tűzállóságra való tervezés, tűzállóság fokozása. Fagyállóság fokozása. Kémiai ellenállóképesség fokozása. Tartósság. Használati élettartam. Fenntartható építés. Erőátadás betonban, vasbeton tartók repedezettségi állapota. Fáradás. Lökésszerű terhelés. Nukleáris létesítmények. A *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) elnöke (2011-2012), jelenleg tiszteletbeli elnöke. A *fib* Magyar Tagozat elnöke. Az Int. PhD Symp. in Civil Engineering alapítója. A *fib* Com 9 „Dissemination of knowledge” elnöke.

**Dr. Kausay Tibor** (1934) okl. építőmérnök (1961), vasbetonépítési szakmérnök (1967), egyetemi doktor (1969), a műszaki tudomány kandidátusa (1978), Ph.D. (1997), címzetes egyetemi docens (1985), címzetes egyetemi tanár a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken (2003), a *fib* Magyar Tagozat tagja (2000), az MTA gróf Lónyay Menyhért emlékérmese (2003), a Palotás László-díj birtokosa (2015). Tevékenysége a betontechnológiai és a kő- és kavicsipari kutatásra, fejlesztésre, szakértésre, oktatásra, szabványosításra terjed ki. Publikációinak száma mintegy 220.

**Dr. Kopecskó Katalin** (1961) okl. vegyészmérnök (BME, Vegyészmérnöki Kar, 1990), okl. betontechnológus szakmérnök (2004), PhD (2006), az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék oktatója 1999 és 2014 között, egyetemi docens a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszéken. Fő érdeklődési területei: építőanyagok tartóssága, cementek és cement kiegészítő anyagok hidratációja, anyagvizsgálat röntgendiffrakcióval és termoanalitikával. A *fib* Magyar Tagozat, az SZTE, valamint az MSZT/MB 102 „Cement és mész” Nemzeti szabványosító műszaki bizottság tagja.

**Dr. Nemes Rita** (1978) okl. építőmérnök, betontechnológiai szakmérnök, PhD, egyetemi docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén. Fő érdeklődési területei: roncsolásmentes betonvizsgálatok, hulladék alapú adalékanyagok és kiegészítő anyagok alkalmazása betonban, betonacél tapadás speciális betonokban, könnyűbetonok, tartósság. A *fib* Magyar Tagozatának és a Szilikátipari Tudományos Egyesületnek tagja.

**Dr. Nehme Salem Georges** (1963) okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék oktatója. Fő érdeklődési területei: a beton porozitása, a betonok és öntömörödő betonok tartósságának összefüggése a porozitással, az öntömörödő betonok és acélszálak öntömörödő betonok alkalmazása a beton és vasbeton megerősítésében, az öntömörödő betonok tömegbetonként történő alkalmazási problémáinak megszüntetése. A Magyar Mérnöki Kamara (T1-01-9159), a *fib* Magyar Tagozat és a Szilikátipari Tudományos Egyesület tagja.

**Dr. Lublós Éva** (1976) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2001), okl. betontechnológus szakmérnök (2011), okl. tűzvédelmi szakmérnök (2011), egyetemi docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén (2008). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkárok mérnöki tanulságai. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

**Dr. Józsa Zsuzsanna** (1950) PhD, címzetes egyetemi tanár a BME-n, építésmérnök, épületrekonstrukciós szakmérnök. Főbb kutatási területei: könnyűbeton, építőanyagok tönkremenetele és védelme, szerkezetek hő- és nedvességtechnikai jellemzői, környezetkímélő építés anyagai.

**Dr. Arany Pirooska** (1946) okl. szerkezetépítő mérnök, címzetes egyetemi docens. A BME Építőanyagok, majd az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék oktatója 1970 és 2009 között. Oktatási tevékenységét a nappali, a levelező tagozaton, szakmérnöki és egyéb tanfolyamok keretében végzi jelenleg is. Kutatási, ipari megbízások és szakértői tevékenységet elsősorban betontechnológia, kötőanyagok, szakipari munkák anyagai, minőség-ellenőrzés témakörben végez. Az MMK szakértője, tagja több szakmai bizottságnak, a *fib* Magyar Tagozatának, az SZTE-nek.

#### **DISSOLUTION OF CONCRETE BY ACIDS – Literature review**

##### **Part 2: Chemical or physical corrosion of concretes by dissolution owing to aggressive inorganic agents**

**György L. Balázs – Tibor Kausay – Katalin Kopoecskó – Rita Nemes – Salem G. Nehme – Éva Lublós – Zsuzsanna Józsa – Pirooska Arany**

Soft water and aggressive waters, liquids, gases, vapours, sprays, fermenting materials in contact with hardened concrete, concrete products, reinforced concrete and prestressed reinforced concrete components can cause dissolution corrosion of cementitious concrete. In Part 1 of our series (Balázs et al., 2017), published in issue 3 of Volume 2017 of this journal, the concepts of the pH of water and liquids, the hardness and carbon dioxide content of water, the acidity and aggressive carbon (carbonic acid) content, influenced by carbonate hardness (variable hardness) were analysed according to the literature. In Part 2 herein, we review the literature on dissolution corrosion caused by soft water or inorganic materials.