

# BETONOK OLDÓDÁSOS KORRÓZIÓJA – SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

## 1. RÉSZ: A VIZEK ÉS FOLYADÉKOK KÉMHATÁSA, KEMÉNYSÉGE, AGRESZSÍV SZÍV SZÉNDIOXID-TARTALMA

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

*A megszilárdult betont, betonterméket, vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezeti elemet használata során a mechanikai és fizikai károsító hatásokon kívül kémiai korróziós hatások is érhetik. A kémiai korrózióra a beton ásványi összetevői (adalékanyag és inert kiegészítő anyag) és kötőanyaga (a továbbiakban cement-köve) egyaránt érzékenyek lehetnek. A cementkő kémiai korróziója vonatkozásában oldódásos korrózióról, duzzadásos korrózióról és sók okozta korrózióról beszélhetünk. Oldódásos korróziót lágy vizek, agresszív széndioxid ( $CO_2$ ) tartalmú vizek, szerves és szervetlen savak okozhatnak. A károsító hatások, így az oldódásos korrózió is csökkenti a beton, vasbeton és feszített vasbeton termékek használati értékét és használati biztonságát, ezért az oldódásos korrózió ellen az átlagosnál fokozottabban ellenálló betonok kifejlesztése és alkalmazása gazdasági és biztonságtechnikai érdek.*

**Kulcsszavak:** beton, oldódásos korrózió, pH-érték, keménység, agresszív széndioxid-tartalom

### 1. BEVEZETÉS

A vasbetonszerkezetek tartósságával és korrózióállóságával foglalkozó tudományág viszonylag fiatal. A II. világháborút követő években jelentkeztek az első jelentősebb meghibásodások az acélbetétek korróziója folytán, amelyet voltaképpen a beton meg nem felelő voltára, nevezetesen arra lehetett visszavezetni, hogy egyrészt a karbonátosodási mélység, másrészt a kloridbehatolás elérte az acélbetéteket. A vasbeton építmények korróziójának tanulmányozására 1987-ben az Európai Korróziós Szövetségen (EFC, European Federation of Corrosion) belül munkacsoportot hoztak létre. Hamarosan bebizonyosodott, hogy a vasbetonszerkezetek tönkremenetele a karbonátosodásnál és a kloridbehatolásnál szélesebb körű folyamat eredménye is lehet, amelyet jelentősen befolyásol a beton tartóssága és korrózióállósága.

A beton tartóssága és korrózióállósága attól függ, hogy anyagtani összetétele és szövetszerkezete milyen mértékben teszi alkalmassá az idők folyamán ráháruló hatások jelentős károsodás (például a betonanyag-változás előrehaladásának sebessége  $> 1,0$  mm/év) nélküli viselésére. Az MSZ EN 1504-9:2009 szabvány szerint a betont az erőtani (mechanikai) hatásokon kívül fizikai (fagy és olvasztósó hatás, hőterhelés, sóképződés, zsugorodás, erózió, koptatás) és kémiai (alkáli reakció, agresszív hatóanyagok, biológiai aktivitás) hatások károsíthatják. A beton tönkremenetelét fokozza, ha a szó szoros értelmében vett kémiai korrózióhoz koptatóhatás is társul, ezért a szakirodalomban az oldódásos kémiai korrózió és a mechanikai kopás együttesét sokszor erózióknak (erosion  $\rightarrow$  latinul: erodere = tönkretenni, lepusztítani) nevezik.

Az MSZ 4798:2016 betonszabvány a fizikai és kémiai hatásokat összefoglaló névvel környezeti hatásoknak nevezi, a természetes talaj és talajvíz, valamint felszíni vagy felszínre jutó természetes vizek okozta kémiai korrózió hatásait az XA1, XA2 és XA3, a szennyvizek, valamint egyéb agresszív vizek, folyadékok, gázok, gőzök, permetek és erjedő anyagok okozta kémiai korrózió hatásait az XA4(H), XA5(H) és XA6(H) környezeti osztályba sorolja. A kémiailag agresszív hatóanyagok a beton duzzadásos vagy oldódásos korrózióját, esetleg egyidejűleg mind a kettőt okozhatják (MSZ 4798:2016).

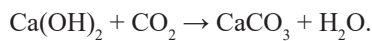
A térfogat-növekedéssel járó duzzadásos korróziót elsősorban a vízben oldott, a cementkő monoszulfát összetevőjével reakcióba lépő szulfátok okozzák: A hidratáció során a trikálcium-aluminát klinkerásvány ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ ) kalciumszulfát (kötés-szabályozási céllal adagolt gipszkő,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) jelenlétében – melléktermék nélkül – főtermékként kalcium-aluminát-szulfátokká, a természetben is előforduló ettringit, másnéven triszulfáttá ( $6CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SO_3 \cdot 32H_2O$ ) és a természetben elő nem forduló ún. monoszulfáttá ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SO_3 \cdot 12H_2O$ ) alakul. Sok szulfácion jelenlétében ettringit (ezt elsődleges ettringit képződésnek nevezik), kevés szulfácion jelenlétében monoszulfát képződik, és ezek a trikálcium-aluminát és szulfácionok arányának függvényében kölcsönösen átalakulhatnak egymásba (Riesz, 1989; Kopecskó, 2006). A ferritfázis ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ) hidratációja során is főtermékként ettringit és monoszulfát keletkezik, csak az alumínium egy részét vas helyettesíti, és a melléktermék alumínium-hidroxid. Későbbi, külső szulfátforrás hatására a monoszulfát a betonban ettringit alakulhat (ez a másodlagos ettringit képződés), ez az átalakulás térfogat-növekedéssel jár, és káros duzzadást okoz (ezt szulfátkorrózióknak hívják) (Riesz, 1989).

Oldódásos korrózió esetén elsősorban a cementkő könnyen oldódó mészvegyületeit a savak, a cserebomlásra hajlamos sók, a növényi, valamint állati zsírok és olajok kioldják, miközben a beton felülete általában lassan elmállik. Oldódásos korróziót például a vízben oldott agresszív széndioxid, a magnéziumionok, ammóniumionok, savak, továbbá a lágyvizek okozhatnak; ezen kívül a biológiai aktivitás is okozhat oldódásos korróziót.

### 2. A BETON KÉMHATÁSA

A beton kémhatását pórusvizének, más szóval az elgőzölhető víz (szabad víz, kapilláris víz, gélvíz) pH-értékével fejezhetjük ki. A beton oldódásos korróziója és az acélbetét korrózióvédelme szempontjából lényeges körülmény, hogy a megszilárdult beton a cementkő szabad  $Ca(OH)_2$  (kálcium-hidroxid, mészhidrát, portlandit) tartalmának köszönhetően alapjában véve lúgos kémhatású anyag, pH-értéke általában mintegy 12,5. Ez az érték valójában a környezeti feltételeknek, a beton ösz-

szetételének (cement mennyisége és fajtája, kiegészítő anyag adagolás), tömörségének, a szerkezeti elem felületétől mért távolságának függvénye, és az idő függvényében is változik. A levegővel érintkező beton felületi rétegében a le nem kötött kalcium-hidroxid a levegő széndioxid-tartalmával reakcióba lép, és eleinte kalcium-hidrogén-karbonáttá ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), majd vízvesztés révén idővel semleges kémhatású kalcium-karbonáttá (mészkövé) alakul:



Ez a jelenség a karbonátosodás, amely a betonszerkezet felületi rétegében a kapillárisok elzáródása és a szilárdság növekedése szempontjából kedvező, vasbeton vagy feszített vasbeton esetén viszont a lúgos kémhatás megszűnése folytán az acélbetét korrózióvédelme szempontjából kedvezőtlen, mert a folyamat előrehaladtával a karbonátosodott felületi betonréteg lassan eléri az acélbetétet, és  $\text{pH} = 9,0-9,5$  érték alatt az acélbetét korróziója elkezdődhet. Ez adja a vasbetonok és feszített vasbetonok betonfedésének a jelentőségét.

A karbonátosodás előrehaladásának sebessége eleinte nagyobb, később csökken, mert a betonfedés mélyebb rétege és a beton már karbonátosodott, tömörebb külső kérge a széndioxid behatolásának mértékét csökkenti (1. ábra).

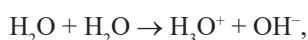
A karbonátosodás 30-70% közötti relatív páratartalom mellett a legerőteljesebb; 100% relatív páratartalom esetén leáll, mert a beton pórusai vízzel telítettek, 0% relatív páratartalom közelében pedig hiányzik a víz a karbonátosodáshoz.

A beton pillanatnyi kémhatását fenolftalein vagy timolftalein indikátor oldatos ecseteléssel vizsgálhatjuk meg. Az alkoholos fenolftalein-oldat színe a 8,3-10,0 pH-értékű felületre permepezve lila, püspöklila, az átcsapási tartomány alsó határa alatt pedig színtelen. A timolftalein-oldat színe 9,3-10,5 pH-érték között változik kékre. A karbonátosodás kezdetéhez mintegy  $\text{pH} = 9,2$  érték tartozik, ezért annak kimutatására a timolftalein alkalmasabb, mint a fenolftalein.

A megszilárdult beton karbonátosodási mélységét – 70 ml etil-alkoholban oldott 1,0 g fenolftalein és desztillált vagy ionmentes vízzel 100 ml-re hígított – fenolftalein-oldatos ecseteléssel az MSZ EN 14630:2007 szabvány szerint lehet meghatározni.

### 3. A pH-ÉRTÉK, LÚGOSSÁG, SAVASÁG

A tiszta vízben a vízmolekulák igen kis része ionokra diszszociált formában található meg, ez a víz öndisszociációja. Ennek során az azonos vízmolekulák között hidrogénion átadás történik, tehát az öndisszociáció következtében vizes oldatokban a víz oxóniumionra ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) és hidroxilionra ( $\text{OH}^-$ ) bomlik (Neumüller, 1983):



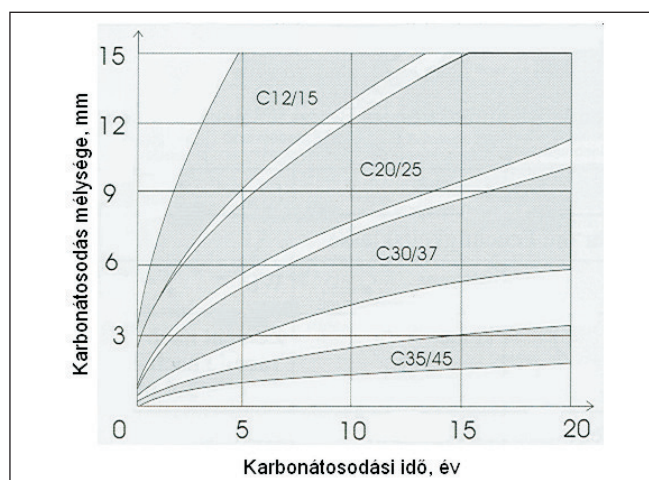
és ezek egyensúlyi koncentrációja:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/dm}^3,$$

amiből a víz egyensúlyi állandója:

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2}$$

Mivel a víz disszociációfoka ( $\alpha$ ) rendkívül kicsi ( $25^\circ\text{C}$ -on  $\alpha = 1,8 \cdot 10^{-9}$ ), a disszociáció folytán a nem disszociált vízmolekulák koncentrációja nem változik meg számottevően.



1. ábra: Karbonátosodás mélysége az idő és a beton nyomószilárdsági osztálya függvényében (Klopper, 1978)

Ezáltal a víz koncentrációja,  $[\text{H}_2\text{O}]$  állandónak tekinthető, vagyis felírhatjuk, hogy

$$K \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2 = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-]$$

amiből a víz ionszorzata:

$$K_{\text{viz}} = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{dm}^6.$$

A pH-érték (potentia hydrogeni) valamely híg vizes oldat oxóniumion-koncentrációjának negatív logaritmus (a 10-es alap negatív hatványkitevője):

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+]$$

vagy egyszerűbben, a hidrogénion-koncentrációjának negatív logaritmusával kifejezve:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] = -\lg[\text{H}^+].$$

A pH-érték tehát lényegében egy  $\text{dm}^3$  vizes híg oldatban lévő hidrogénionok mol-ban kifejezett mennyisége; semleges kémhatású vízben  $10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ , (azaz  $\text{pH} = 7$ ), savanyú oldatban ennél nagyobb (például  $10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ , azaz  $\text{pH} < 7$ ), lúgos oldatban kisebb (például  $10^{-12} \text{ mol/dm}^3$ , azaz  $\text{pH} > 7$ ).

A vizek és folyadékok indikátor papírral (lakmuspapírral) és összehasonlító pH-skálával való tájékoztató pH-érték mérési módszerének leírása az MSZ 260-4:1971 szabvány 2. fejezetében található; az általános, így szennyvizek esetén is alkalmazható pontosabb eredményt adó elektrokémiai (elektropotenciometriás vagy egyszerűbben kifejezve potenciometriás) mérést a szabvány 3. fejezete, a kolorimetriás meghatározást a szabvány 4. fejezete tárgyalja.

A pH-érték potenciometriás meghatározásával számos további szabvány is foglalkozik:

- a vizes oldatok, talajvizek pH-értékét az ISO 4316:1977 szabvány szerint,
- az ivóvizek, felszíni és felszín alatti vizek, szennyvizek pH-értékét az MSZ 1484-22:2009 szabvány szerint,
- az eső-, ivó-, ásvány-, fürdővizek, felszíni és felszín alatti vizek, kommunális és ipari szennyvizek, folyékony iszapok (eleven iszapok) pH-értékét az MSZ EN ISO 10523:2012 szabvány szerint,
- a szennyvíziszapok (üledékek, eleveniszapok) pH-értékét az MSZ EN 12176:2000 szabvány szerint,

**1. táblázat:** Szennyvizek okozta szulfidos betonkorrozó a pH-érték függvényében (Zementmerklätter T3, 2009)

Csatornafalon lecsapódott vízcepppek pH-értéke	Mikro-organizmusok cellaszáma	Beton-korrozó várható mértéke	Beton felületi korrozójának sebessége, mm/év	Felújítás szükségessége az építés után, év	Korrozó-védelem
7 - 13		nem várható			Tömör beton esetén nem szükséges
6 - 7	0 - 10 <sup>2</sup>	gyenge	Finom részek eróziója	> 80	
3 - 6	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	közepes	< 0,5	> 40	Beton-technológiai intézkedések
0 - 3	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>	erős	> 0,5	> 5	Felületi bevonat

- a szennyvíziszapok, kezelt biohulladékok, friss és légszáraz állapotú termőföldek és erdei talajok pH-értékét az MSZ EN 15933:2013 szabvány szerint lehet meghatározni.

A pH-érték meghatározási szabványokban szereplő potenciometriás módszer általában olyan elektrokémiai cella potenciálkülönbségének mérésén alapul, amelynek egyik félcellája a mérőelektrod, másik félcellája a referenciaelektrod. A mérőelektrod potenciálja a mérőoldat hidrogénion-koncentrációjának függvénye. A módszer általában 2 és 12 közötti pH-érték esetén alkalmazható.

A vizek, így a kommunális szennyvizek korrozív voltát általában a pH-érték alapján lehet megítélni, amelyen kívül jelentősége van a szennyvíz hőmérsékletének, töménységének, hatásidejének, valamint a mechanikai igénybevételeknek is (1. táblázat). A szennyvizekben előforduló szulfidok (S<sup>2-</sup>) értékelése során arra kell tekintettel lenni, hogy csak az oldott állapotban lévő szulfidoknak a pH-értéktől függő része okoz gáz alakban elillanó kénhidrogénként korrozíót. Az oldott kénhidrogéneket a DIN 38405-26:1989 szabvány szerint lehet meghatározni (Stein et al., 2005; Zementmerklätter T3, 2009).

Bosseler et al. (2005) a szennyvizek és savak agresszivitását a cementhabarcsra a pH-érték függvényében a 2. táblázat szerint, a DIN 4030-1:2008 szabvány a talajvizekre és a Materialprüfungsanstalt (2007) a szennyvizekre a 3. táblázat szerint adta meg. Az utóbbiakban ugyanúgy sorolják be a vizeket a pH-értékek alapján az XA1 – XA3 környezeti osztályba, mint az MSZ EN 206:2013+A1:2017, illetve az MSZ 4798:2016 szabványban.

**2. táblázat:** A szennyvizek és a savak agresszivitása a cementhabarcsra a pH-érték függvényében (Bosseler et al., 2005)

Ható közeg	pH-érték	Agresszivitás
Ipari szennyvíz	1,0 – 14,0	Agresszivitása a közepestől a nagyon erősig terjed
Kommunális szennyvíz	6,6 – 10,0	Gyengén agresszív
Esővíz	4,5 -7,0	Agresszivitása a gyengétől a közepesen savasig terjed
Szervetlen és szerves savak	3,0 – 4,5	Erős savas agresszivitás
Biogén kénsav	< 3,0	Nagyon erős savas agresszivitás

A 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet 4. számú melléklete szerint közcsatornába 6,5 – 10,0 pH-értékű szennyvizet szabad bocsátani. A beton felületén megjelenő biofilm hidrogénion-koncentrációja helyenként például pH = (4 – 5) értékre is süllyedhet, amely körülmény a beton oldódásos korrozóját okozza, annak ellenére, hogy a szennyvíz hidrogénion-koncentrációja mintegy pH = 7.

A gyakorlatban a pH-érték színinimájaként sokszor a lúgosság, illetve a savasság kifejezést használják, míg a tudományos értekezésekben megkülönböztetik a pH-érték és a lúgosság, illetve a savasság fogalmát.

A víz lúgosságát az oldott alkálifémek (nátrium, kálium stb.) és alkáliföldfémek (kalcium, magnézium stb.) hidroxidjai (OH<sup>-</sup> iont tartalmazó vegyületei), karbonátjai (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> iont tartalmazó vegyületei) és hidrogén-karbonátjai (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> iont tartalmazó vegyületei) okozzák. A lúgosság más szóval a vízben lévő, savval reakcióba lépő anyagok összege, amely a titrálás végpontjának pH-értékétől függ.

Kétféle lúgosság különböztethető meg, úgymint: a fenolftalein lúgosság (jelölése p-lúgosság) és a metilnarancs lúgosság (jelölése m-lúgosság). A víz összes lúgosságán mindig az m-lúgosságot kell érteni. A metilnarancs indikátor a víz lúgosságát okozó összes vegyületet, tehát a hidroxidokat és karbonátokat vagy a karbonátokat és hidrogénkarbonátokat, míg a fenolftalein indikátor csak a hidroxidokat és a karbonátok mennyiségének a felét jelzi. Képletekkel kifejezve:

$$m = \text{OH}^- \text{ mval/dm}^3 + \text{CO}_3^{2-} \text{ mval/dm}^3$$

vagy

$$m = \text{CO}_3^{2-} \text{ mval/dm}^3 + \text{HCO}_3^- \text{ mval/dm}^3$$

$$p = \text{OH}^- \text{ mval/dm}^3 + \text{ mval/dm}^3.$$

A „val” az anyagmennyiség régi mértékegysége, amelyet 1978. január 1-jén a mol SI-mértékegység váltott fel. A val és a mol számszerű átszámítása a z egyenértékűségi tényezővel (számmal) történhet:  $n_{\text{val}} = n_{\text{mol}} \cdot z$ , ahol z a protonok (H<sup>+</sup>) száma, amelyet egy sav leadni, illetve a hidroxilionok (OH<sup>-</sup>) száma, amelyet egy lúg leadni képes. 1,0 val = 1,0/(az ion vegyértéke) mol, például szén-sav (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) esetén z = 2,0 és 1,0 val = 0,5 mol ( $n_{\text{val}} = 1,0$  és  $n_{\text{mol}} = 0,5$ ).

Az 1,0 mval/dm<sup>3</sup> = 0,001 val/dm<sup>3</sup> keménységű víz 1,0 dm<sup>3</sup>-ében 1,0 mg egyenértékűsúlynyi keménységet okozó kalcium- és/vagy magnézium-só van feloldva. 1,0 mval/dm<sup>3</sup> keménység megfelel 2,805 °nk német keménységi foknak (2,805 a kalcium-oxid molekulatömegének tizedrésze, tekintve, hogy a titráláshoz 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú sósavat használnak).

Megjegyzés: Anyagmennyiség-koncentráció ( $c_B$ ) alatt az 1,0 dm<sup>3</sup> oldatban ( $V_0$ ) lévő,  $M_B$  moláris tömegű oldott anyag mólokban kifejezett kémiai anyagmennyiségét ( $n_B$ ) értjük mol/dm<sup>3</sup> vagy mmol/cm<sup>3</sup> mértékegységben:

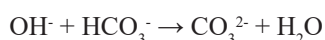
$$c_B = \frac{n_B}{V_0} = \frac{m_B/M_B}{V_0}$$

**3. táblázat:** Talajvizek és szennyvizek pH-érték szerinti besorolása Németországban (DIN 4030-1:2008; Materialprüfungsanstalt, 2007)

DIN 4030-1:2008	Környezeti osztály			–
	XA1	XA2	XA3	
pH-érték	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	4,5 – 4,0	
Materialprüfungsanstalt, 2007	Korrózió veszélye			Határérték saválló beton esetén
	Gyenge	Közepes	Erős	
pH-érték	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	4,5 – 4,0	≥ 3,5

A molaritás számszerűen azonos az anyagmennyiség-koncentrációval, de nincs mértékegysége, azaz nevezetlen szám, és annak kifejezője, hogy hányszor nagyobb, vagy hány-szor kisebb az oldat anyagmennyiség-koncentrációja, mint 1,0 mol/dm<sup>3</sup>, tehát a molaritás relatív anyagmennyiség-koncentráció.

Vizes oldatban egymás mellett csak hidroxilok és karbonátok, vagy hidrogén-karbonátok és karbonátok lehetnek jelen. Hidroxil (OH<sup>-</sup>) és hidrogén-karbonát (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) egymás mellett nem lehet jelen, mert a következő reakció-egyenlet szerint a hidroxil és hidrogén-karbonát azonnal karbonáttá alakul:



Az MSZ EN ISO 9963-1:1998 szabvány szerint a víz lúgossága alapvetően a hidrogén-karbonát-, a karbonát-, a hidroxil-koncentráció valamint az egyéb pufferanyagok (X), mint például az ammóniák, borátok, foszfátok, szilikátok és szerves anionok függvénye.

- Az „összes” vagy metilvörös-, illetve metilnarancs-lúgosság (A<sub>T</sub>-lúgosság, m-lúgosság) metilvörös- vagy metilnarancs- vagy keverék-indikátor alkalmazásával, vagy potenciometriás végpontjelzéssel – 4,5 pH-értékig – végzett titrálással megállapított lúgosság, amely a vízben lévő hidrogén-karbonát-, karbonát- és hidroxil-koncentráció egyenértékével fejezhető ki. Meghatározását az MSZ EN ISO 9963-1:1998 szabvány szerint kell végezni. Az összes lúgosság vagy m-lúgosság kémiai képlete:

$$A_T \approx 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) + c(\text{X})$$

ahol  $c$  a tömegkoncentráció;

X a pufferanyagok, mint például az ammónia, a borát, a foszfát, a szilikát és a szerves anionok jele.

- Az „összetett” vagy fenolftalein-lúgosság (A<sub>p</sub>-lúgosság, p-lúgosság) fenolftalein-indikátor alkalmazásával, vagy potenciometriás végpontjelzéssel – 8,3 pH-értékig – végzett titrálással megállapított lúgosság, amelyet megállapodás szerint a vízminta összes hidroxil-koncentrációjának és a karbonát-koncentráció felének tekintenek. A meghatározásból következik, hogy a víz fenolftalein-lúgossága pH ≤ 8,3 esetén nulla. Meghatározása természetes és kezelt vizek, valamint szennyvizek esetén potenciometriás eljárással vagy vizuális titrálással az MSZ EN ISO 9963-1:1998 szabvány szerint történhet. A fenolftalein-lúgosság vagy p-lúgosság kémiai képlete:

$$A_p \approx c(\text{CO}_3^{2-}) - c(\text{CO}_2, \text{aq}) + c(\text{COH}^-) - c(\text{H}^+) + c(\text{X})$$

Az MSZ EN ISO 9963-2:1998 szabvány szerint a karbonát-lúgosság (A-lúgosság) alatt a víznek azt a képességét értik, hogy mennyi hidrogénionnal tud reagálni. A karbonát-lúgosságot gyakran „összes lúgosság”-nak is nevezik, és számszerű értéke megegyezik a metilvörös-, illetve metilnarancs-lúgosságéval. Meghatározását sósavas titrálással kell végezni. Az összes lúgosság vagy karbonát-lúgosság kémiai képlete:

$$A \approx 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) + c(\text{X}).$$

A titrálásakor a közömbösítésre elfogyott 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú sósav ml-einek száma a p és m lúgosság értékét mval/l-ben adja meg.

A lúgosság értékét szabványosan – egyértékű ionra számolva – H<sup>+</sup> mmol/dm<sup>3</sup>, esetleg H<sup>+</sup> mmol/liter mértékegységben adják meg. A lúgosság szabványos mértékegységét (H<sup>+</sup> mmol/dm<sup>3</sup>) más mértékegységekre a következőképpen kell átszámítani:

$$1,0 \text{ H}^+ \text{ mmol/dm}^3 = \text{CaCO}_3 \text{ } 0,5 \text{ mmol/dm}^3 = \text{CaCO}_3 \text{ } 50 \text{ mg/dm}^3 \text{ (karbonát-lúgosság)}$$

$$1,0 \text{ H}^+ \text{ mmol/dm}^3 = 2,8 \text{ nk}^\circ \text{ német keménységi fok}$$

$$1,0 \text{ CaCO}_3 \text{ mg/dm}^3 = 0,0561 \text{ nk}^\circ \text{ német keménységi fok.}$$

A víz lúgosságát titrálással az MSZ 448-11:1986 szabvány szerint is meg lehet határozni. A fogalom-meghatározás szerint a lúgosság a vízben lévő, sávval reakcióba lépő anyagok összege, amely a titrálás végpontjának pH-értékétől függ. Értékét egyértékű ionra számolva mmol/dm<sup>3</sup>-ben adjuk meg. A fenolftaleinlúgosság (p-lúgosság) a fenolftalein-indikátor alkalmazásával, vagy potenciometriás végpontjelzéssel pH = 8,3 értékig megállapított lúgosság; az összes vagy metilnarancs-lúgosság (m-lúgosság) a metilnarancs- vagy keverék-indikátor alkalmazásával, vagy potenciometriás végpontjelzéssel pH = 4,4 értékig megállapított lúgosság. A lúgosságot a következő képletekkel lehet kiszámítani:

$$p\text{-lúgosság} = A \cdot f \quad \text{és} \quad m\text{-lúgosság} = B \cdot f$$

ahol A a vízminta titrálásakor a fenolftalein elszíntelenedéséig, illetve a 8,3 pH-érték eléréseig fogyott sósav, illetve kénsav mérőoldat térfogata cm<sup>3</sup>-ben, B a vízminta titrálásakor a metilnarancs színátcsapásáig, illetve a 4,4 pH-érték eléréseig fogyott sósav, illetve kénsav mérőoldat térfogata cm<sup>3</sup>-ben, az f pedig a sósav, illetve kénsav mérőoldat faktora.

A MSZ 448-11:1986 szabványban megjegyzik, hogy a p- és az m-lúgosság értékének ismeretében a víz hidrogén-karbonátion-, karbonátion- és hidroxilion-tartalma kiszámítható, ha az ivóvíz minőségű vízben más, lúgosságot okozó ion nincs. A szabvány a számításra táblázatot is tartalmaz.

Öllös et al. (2010) szerint a szennyvizek karbonát-lúgossága (A-lúgossága, összes lúgossága) 2000-4000 CaCO<sub>3</sub> mg/dm<sup>3</sup> között ingadozik, és a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. vizsgálati eredményei alapján a konyhai hulladékok pH-értéke mintegy 5,0 és karbonát-lúgossága ~1570 CaCO<sub>3</sub> mg/dm<sup>3</sup>.

Érdekes a német „Lauge” és „Base”szavak értelmezése. A „Lauge” kifejezés a régebbi, és gyakran megtalálható a régi kémia könyvekben, mai értelmezés szerint lúgos kémhatású oldatot, folyadékot (pH > 7) jelent. „Base” alatt olyan anyagot (Protonenakzeptor) értenek, amely a reakció partnertől (Protonendonator) protont (H<sup>+</sup>-iont) képes átvenni. Ha a „Base” oldat alakjában van jelen, akkor a neve „Lauge”. Valamennyi „Lauge” egyben „Base” is, de nem minden

„Base” folyékony halmazállapotú, azaz „Lauge”. Például, ha vízbe ammóniát ( $\text{NH}_3$ ) vezetünk, akkor ammóniumionok ( $\text{NH}_4^+$ ) és hidroxilionok ( $\text{OH}^-$ ) képződnek, ahol az  $\text{NH}_3$  és az  $\text{OH}^-$  „Protonakzeptor”, azaz lúg (Base), miközben az  $\text{NH}_4^+$  és a  $\text{H}_2\text{O}$  „Protonendonator”, azaz sav (Säure):  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ . Az ilyen reakciót németül „Protolytische Reaktion”-nak nevezik. Ezt a különbséget írja le Arrhenius, illetve Bronsted-Lowry sav-bázis elmélete.

## 4. A VÍZ KEMÉNYSÉGE

Biczók (1956, 1960) szerint a betonkorrózió veszélyességét nem lehet csupán a pH-érték stb. meghatározásával megállapítani, jelentősége van a karbonát-keménységnek is.

A víz keménységét fokban fejezik ki, és azt a vízben oldott alkáliföldfémionok (például kalcium, magnézium, bárium, stroncium) mennyisége határozza meg. A víz összes keménysége a változó és az állandó keménység összege. A változó keménységet karbonát-keménységnek is nevezik, és azt a vízben oldott kalcium-hidrogén-karbonát ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) és magnézium-hidrogén-karbonát ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ) mennyisége határozza meg, amelyet ezért gyakran hidrogén-karbonát-keménységnek is neveznek (például a DIN 4030-2:2008 szabványban), és amely hatással van a víz pH-értékére. A karbonát-keménység forralással csökkenthető, mert forraláskor a hidrogén-karbonátok vízben oldhatatlan karbonátok formájában kiválnak.

Az állandó keménységet a vízben oldott szulfátok (például kalcium-szulfát,  $\text{CaSO}_4$ ; magnézium-szulfát,  $\text{MgSO}_4$ ), kloridok (például kalcium-klorid,  $\text{CaCl}_2$ ) és nitrátok (például kalcium-nitrát,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ), egy szóval sók okozzák, amelyek a víz pH-értékére nincsenek hatással, mert a vizes oldatban lévő hidrogénionok mennyiségét nem befolyásolják, és amelyek a vízből forralás hatására sem válnak ki. Az állandó keménység az összes keménység és a változó keménység (karbonát keménység) különbsége  $\text{mg}/\text{dm}^3$  mértékegységben. Az állandó keménységet  $\text{mmol}/\text{dm}^3$  mértékegységben nem lehet megadni.

A víz keménységét ma a korábbi német, angol, francia, amerikai vízkeménységi fok helyett általában az SI mértékegység rendszerben a víz alkáliföldfémion-tartalmával  $\text{CaO mg}/\text{dm}^3$  vagy  $\text{mol}/\text{dm}^3$ , vagy kis koncentráció esetén  $\text{mmol}/\text{dm}^3$  mértékegységben fejezik ki.  $1,0 \text{ CaO mg}/\text{dm}^3 = 0,0179 \text{ Ca}^{2+} \text{ mmol}/\text{dm}^3$ -nek felel meg.

Magyarországon a vízkeménység jellemzésére többnyire a német keménységi fokot használták. Jele Magyarországon:  $\text{nk}^\circ$ , német nyelvterületen:  $^\circ\text{dH}$ . A víz  $1,0 \text{ nk}^\circ$  keménységű, ha  $10 \text{ mg}/\text{dm}^3$  kalcium-oxiddal ( $\text{CaO}$ ) egyenértékű kalciumvegyületet vagy  $7,19 \text{ mg}/\text{dm}^3$  magnézium-oxiddal ( $\text{MgO}$ ) egyenértékű magnéziumvegyületet tartalmaz. A kalcium-oxid relatív molekulatömege  $40,08 + 16,00 = 56,1/\text{mol}$ , amiből a moláris tömeg  $56,1 \text{ g}/\text{mol} = 56,1 \text{ mg}/\text{mmol}$ . Az egy  $\text{dm}^3$  vízben lévő  $10 \text{ mg}$  kalcium-oxid  $10/56,1 = 0,178 \text{ mmol}$ -nak felel meg, tehát  $1 \text{ nk}^\circ = 0,178 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  és  $1,0 \text{ mmol}/\text{dm}^3 = 5,61 \text{ nk}^\circ$ . Magnézium-oxid esetén ugyanerre az eredményre jutunk, ugyanis a magnézium-oxid relatív molekulatömege  $24,30 + 16,00 = 40,3 \text{ g}/\text{mol}$  és moláris tömege  $40,3 \text{ mg}/\text{mmol}$ . Az egy  $\text{dm}^3$  vízben lévő  $7,19 \text{ mg}$  magnézium-oxid  $7,19/40,3 = 0,178 \text{ mmol}$ -nak felel meg, azaz  $1,0 \text{ nk}^\circ = 0,178 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ .

Az  $1,0 \text{ }^\circ\text{fH}$  francia keménységi fokú víz  $10 \text{ mg}/\text{l}$  kalcium-karbonátnak ( $\text{CaCO}_3$ ) megfelelő mennyiségű kalcium- és magnéziumvegyületet tartalmaz. A kalcium-karbonát relatív molukulatömege:  $40,08 + 12,01 + 3 \cdot 16,0 = 100,1/\text{mol}$ , amiből a moláris tömeg  $100,1 \text{ g}/\text{mol} = 100,1 \text{ mg}/\text{mmol}$ . Az egy  $\text{dm}^3$  vízben lévő  $10 \text{ mg}$  kalcium-karbonát  $10/100,1 = 0,100$

$\text{mmol}$ -nak felel meg, tehát  $1,0 \text{ }^\circ\text{fH} = 0,100 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  és  $1,0 \text{ mmol}/\text{dm}^3 = 10,00 \text{ }^\circ\text{fk}$ , továbbá  $1,0 \text{ }^\circ\text{fH} = 0,561 \text{ }^\circ\text{dH}$ .

A víz  $0-4 \text{ nk}^\circ$  között nagyon lágy,  $4-8 \text{ nk}^\circ$  között lágy,  $8-18 \text{ nk}^\circ$  között közepesen kemény,  $18-30 \text{ nk}^\circ$  között kemény,  $30 \text{ nk}^\circ$  felett nagyon kemény.

Az SI mértékegység-rendszerhez igazodva a víz keménységének a mértékét újabban  $\text{mmol}/\text{dm}^3$  függvényében is ki szokták fejezni:

- a víz lágy, ha az alkáliföldfémion-tartalom  $0-1,25 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  ( $0-7 \text{ nk}^\circ$ );
- kissé kemény, ha az alkáliföldfémion-tartalom  $1,25-2,50 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  ( $7-14 \text{ nk}^\circ$ );
- kemény, ha az alkáliföldfémion-tartalom  $2,50-3,75 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  ( $14-21 \text{ nk}^\circ$ ) és
- nagyon kemény, ha az alkáliföldfémion-tartalom  $3,75-5,00 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  ( $21-28 \text{ nk}^\circ$ ).

Svájcban például kicsinek általában a  $\leq 1,5 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ , azaz a  $\leq 8,41 \text{ }^\circ\text{dH}$  vízkeménységet, nagynak általában a  $>1,5 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ , azaz a  $> 8,41 \text{ }^\circ\text{dH}$  vízkeménységet tekintik.

Az esővíz keménysége általában  $(2-3) \text{ nk}^\circ$ , tehát az esővíz nagyon lágy víz. A vízellátásban a nagyon kemény vizet központilag szokták lágyítani.

Biczók (1956, 1960) szerint, ha a vízben egyidejűleg többféle agresszív ion van jelen, akkor azok hatását súlyozottan kell figyelembe venni:

- Kis karbonát-keménység és savhatás esetén elég a pH-érték alapján értékelni, mert a savasság rendszerint igen kis karbonát-keménységgel párosul. Ez fordítva nem áll fenn, mert a víz kis karbonát-keménységével nem jár együtt a savasság. A kis karbonát-keménység a beton kilúgozódását okozza.
- Kis karbonát-keménység, sav- és szénsavhatás jelenlétekor a pH-értéket a szabad  $\text{CO}_2$  tartalom szabja meg, ha a víz más savat nem tartalmaz. Helyes, ha egyidejű kilúgozó és savhatás esetén a pH-érték és a szabad  $\text{CO}_2$  tartalom közül a nagyobb agresszív hatású tényezőt vesszük figyelembe.
- Nagyobb karbonát-keménység és szabad  $\text{CO}_2$  tartalom esetén a pH-érték szintén alacsony lehet. Az agresszivitás fokát ilyenkor ezért helyesebb a szénsavhatás alapján kiértékelni.
- Kis karbonát-keménység, sav, szénsav és szulfátonok jelenlétében az agresszivitási fok megállapítása igen nehéz. A beton szulfátos korróziója lehetséges. A kis karbonát-keménységű és szabad savat tartalmazó víz nagyobb agresszivitású, ha szulfátot is tartalmaz, ugyanígy a szulfátos víz agresszivitása is nagyobb, ha egyidejűleg savakat is tartalmaz, vagyis a négy hatás egyidejű fellépése esetén az oldatot a betonra agresszívebbnek kell minősítenünk, mint az egyes hatások esetében külön-külön.
- Kis karbonát-keménység, sav, szénsav, magnéziumion. A magnéziumkorrózió a savas kilúgozó korrózióhoz hasonlít. A magnéziumkorrózió az első három tényező hatását fokozza, ezért a hatások összegezendők. Ha például a karbonát-keménység és a szénsav hatására a korrózió „közepes”, a magnézium hatására pedig „gyenge”, az agresszivitás végeredményben „jelentős” (Biczók 1956, 1960).

Biczók a vizet keménység szerint a 4. táblázat szerint, a Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 az 5. táblázat szerint jellemezte.

Kemény, kalcium dús vízben a mész sók kevésbé oldódnak, ezért olyan vízben, amelynek összes keménysége  $24^\circ$  felett van, ritkán fordul elő komolyabb betonkorrózió (Biczók 1956, 1960).

A Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 svájci műszaki

**4. táblázat:** A víz jellemzése keménység szerint (Biczók, 1956, 1960)

A víz jellemzése keménység szerint	Karbonát-keménység	Összes keménység
	német keménységi fokban (nk°)	
Igen lágy		0-4
Lágy	< 6	4-8
Közepesen kemény	6-15	8-12
Elég kemény		12-18
Kemény	15-24	18-25
Igen kemény	24-30	25-50
Rendkívül kemény	> 30	> 50

Megjegyzések:

- 1,0 német keménységi foknak 1,0 dm<sup>3</sup> vízben oldott 10 mg kalcium-oxid (CaO) vagy ezzel egyenértékű kalcium vagy magnézium vegyület felel meg.
- Az esővíz összes keménysége általában (2 – 3) nk°, tehát az esővíz nagyon lágy víz, és betonkorrozíót okozhat.

**5. táblázat:** A betonkorrozó kockázata a Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv szerint

Kockázati osztály	A (kisebb)	B (közepes)	C (nagyobb)
Vízkeménység, mmol/dm <sup>3</sup>	> 1,5 (8,4 nk°)	> 1,5 (8,4 nk°) vagy ≤ 1,5 (8,4 nk°)	≤ 1,5 (8,4 nk°)

Megjegyzés: A német keménységi fokot (nk°) SI mértékegységre a következők szerint kell átszámítani: 1,0 nk° = **0,1783** mmol/dm<sup>3</sup>.

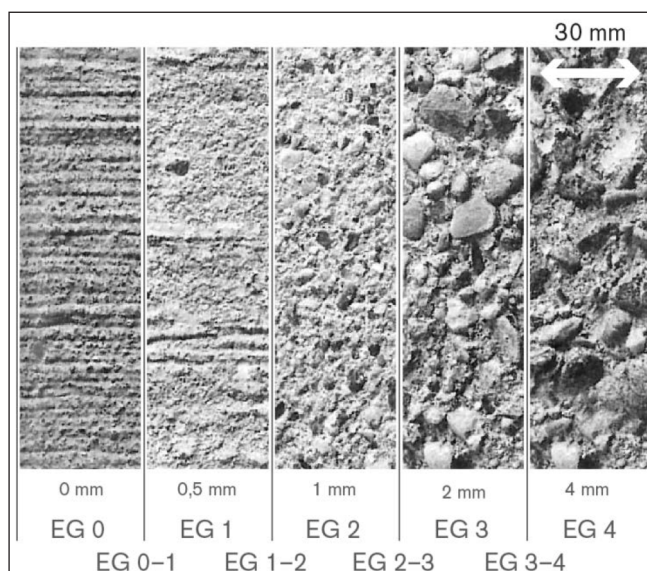
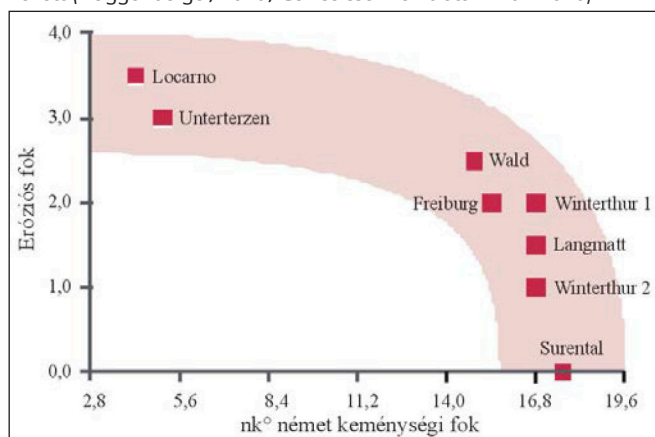
irányelv szerint a vízkeménység a mész-szegény területeken általában kicsi (≤ 1,5 mmol/dm<sup>3</sup>), és rövid ideig kicsi lehet kiadós eső után. Ha a vízkeménység kicsi, akkor a szennyvíznek a betonfelületi kalcium-karbonát védőréteg kialakításához szükséges hidrogén-karbonát-tartalma is kicsi.

A svájci műszaki irányelvben a kopást is magába foglaló oldódásos korrózió mértékének jellemzésére ún. „eróziós fokozatokat” (EG = Erosionsgrad) vezettek be. Svájci mérések azt mutatják, hogy a szennyvíz keménységének növekedésével a betonerózió csökken, a 14-18 nk° német keménységi fok tartományában lineáris összefüggés mutatkozik a vízkeménység és az eróziós fok között (2. ábra). Az eróziós fokot Svájcban a felületi kopás (oldódási mélység) függvényében a 3. ábra szerint értelmezik (Huggenberger, 2010; Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010).

A víz keménységét például az MSZ 448-21:1986, a DIN 4030-2:2008 vagy az ASTM D 1126:2012 szabvány szerint lehet meghatározni.

Az MSZ 448-21:1986 szabvány megkülönbözteti az összes, a karbonát- és a nemkarbonát-keménységet; összes keménység alatt a víz kalcium-oxid egyenértékben kifejezett kalcium- és magnézium-koncentrációját érti; a vízben oldott kalcium- és magnéziumionoknak a hidrogén-karbonát- és karbonátionokhoz rendelhető részét karbonát-keménységnek (változó keménységnek), az egyéb anionokhoz (például klorid,

**2. ábra:** Összefüggés a szennyvíz keménysége és beton eróziós foka között (Huggenberger, 2010; Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010)



**3. ábra:** Az eróziós fok (EG = Erosionsgrad, azaz az oldódásos korrózió mértéke a mechanikai kopást is beleértve) a felületi kopás függvényében (Huggenberger, 2010; Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010)

szulfát, nitrát stb.) rendelhető részét nemkarbonát-keménységnek (állandó keménységnek) tekinti.

Az összes keménységet eriochrom-fekete T-indikátor jelenlétében, 9,5-10,0 pH-tartományban való titrálással, etilén-diamin-tetraecetsav (EDTE) mérőoldat alkalmazásával határozzuk meg. Az összes keménységet CaO mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben a

$$c_{\text{ÖK}} = f \cdot a \cdot (1000/\text{vízminta térfogata cm}^3\text{-ben})$$

képlettel kapjuk meg, ahol „f” az EDTE-mérőoldat kalcium- vagy magnézium-alapoldatra beállított faktora és „a” az EDTE-mérőoldat fogyása cm<sup>3</sup> mértékegységben.

Az MSZ 448-21:1986 szabvány szerint az összes keménység ( $c_{\text{ÖK}}$ ) a kalciumion-koncentráció ( $c_{\text{Ca}^{2+}}$ ) és a magnéziumion-koncentráció ( $c_{\text{Mg}^{2+}}$ ) ismeretében CaO mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben a következő képlettel is kiszámítható:  $c_{\text{ÖK}} = 1,40 \cdot c_{\text{Ca}^{2+}} + 2,33 \cdot c_{\text{Mg}^{2+}}$  ahol 1,40 a CaO/Ca átszámítási faktor és 2,33 a CaO/Mg átszámítási faktor.

A karbonát-keménység CaO mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben a

$$c_{KK} = 28 \cdot a$$

összefüggésből adódik, ahol 28 = 56/2 mg/mmol a kalcium-oxidra való átszámítási tényező és „a” a víz MSZ 448-11:1986 szabvány szerinti lúgossága mmol/dm<sup>3</sup> mértékegységben.

A nemkarbonát-keménységet az összes keménység és a karbonát-keménység különbségeként kapjuk meg.

A DIN 4030-2:2008 szabvány szerint az alkáliföldfém-keménységet – amely annyiban tér el a karbonát-keménységtől, hogy abba az alkáliföldfémek közül a stroncium és a bárium adta keménységet is beszámítják – pH = 10 értékre beállított vízmintán, etilén-diamin-tetraecetsav (EDTE) mérőoldat segítségével titrálással, az EDTE-oldat felhasználásból kell meghatározni. A német szabványban hidrogén-karbonát-keménységnek nevezett karbonát-keménység a tiszta vízszüredék 100 cm<sup>3</sup> térfogatú részének 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú sósav mérőoldattal, pH = 4,3 értékig való titrálásával határozható meg. A keménységet CaO mg/dm<sup>3</sup> vagy mmol/dm<sup>3</sup> mértékegységben kell megadni.

Mínthogy a CaO molekulatömege 56 g/mol, 10 mg/dm<sup>3</sup> CaO-keménység 10/56 = 0,179 mmol/dm<sup>3</sup> CaO-keménységnek (a német szabvány szerint alkáliföldfém-keménységnek) felel meg, és 10 mg/dm<sup>3</sup> CaO-hidrogén-karbonát-keménység ennek kétszeresével, 0,357 mmol/dm<sup>3</sup> hidrogén-karbonát-keménységgel egyenértékű.

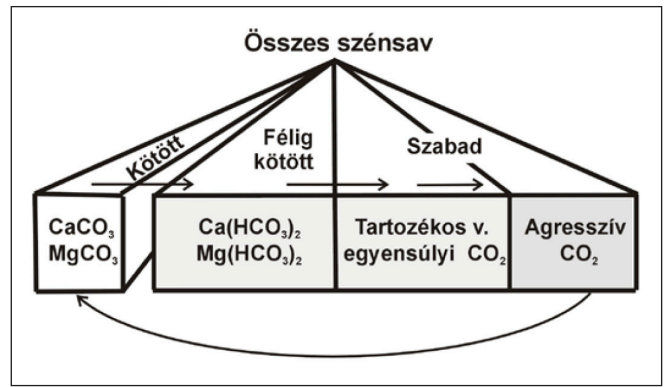
Az ASTM D 1126:2012 szabvány alapján a tiszta, vegyszerektől mentes, kalciumot vagy magnéziumot tartalmazó vizek keménységét lehet titrálással meghatározni. A vizsgálati eljárás alsó felismerési határa megközelítőleg 2-5 CaCO<sub>3</sub> mg/dm<sup>3</sup>; a felső határ a vízminta hígításával minden koncentráció esetén beállítható. A módszerrel meg lehet különböztetni a kalciumionok okozta és a magnéziumionok okozta keménységet. A szabvány bevezetőjében említik, hogy a sók gyakran okoznak a vízvezetékben vízkövesedést, amely azok meghibásodásához vezet. A keménységet sokféle kation okozhatja, de a kalcium- és magnéziumionok kivételével általában csak nyomokban találhatóak a vízben. A keménység fogalmát eredetileg azokra a vizekre alkalmazták, amelyekkel nehéz volt ruhát mosni, tehát azokra, amelyeknek nagy a kalcium- és magnéziumion tartalma.

## 5. A SZABAD SZÉNDIOXID, SZABAD SZÉNSAV

A vízben a szénsav kötött, félig kötött és szabad formában van jelen (Biczók, 1956, 1960). A víz szabad szénsav-tartalma (szabad széndioxid-tartalma) a kalcium-hidrogén-karbonát (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) és magnézium-hidrogén-karbonát (Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) oldatban tartásához szükséges egyensúlyi (tartozékos) széndioxid és az agresszív széndioxid mennyiségének összege (4. ábra). Ha összeadjuk a szabad széndioxid (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><sup>\*</sup>), a félig kötött hidrogénkarbonátion (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) és a kötött karbonátion (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) CO<sub>2</sub>-tartalmának koncentrációját moláris alapon, akkor megkapjuk a vízben lévő összes CO<sub>2</sub>-koncentrációját (Wisotzky, 2011).

Korróziós hatása az agresszív szénsavnak (széndioxidnak) van (Hunkár, 1940; Biczók, 1956, 1960).

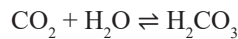
Zárt rendszerben, amelyben a légnemű anyagok cseréje nem jön létre, ahogy ez a mélyebben lévő talajvizek esetén feltételezhető, az összes széndioxid-tartalom lényegében állandó, és megoszlik a különböző CO<sub>2</sub>-fajták között. A kapilláris vizek tartományának nyílt rendszerében vagy a talajvizek légkörrel



4. ábra: A szénsav megjelenési formái (Biczók 1956, 1960)

kapcsolatban álló felülete közelében az összes széndioxid-tartalom változik, általában növekszik, és a változás a pH-értéktől, valamint a mindenkori uralkodó CO<sub>2</sub> résznyomástól függ (Wisotzky, 2011).

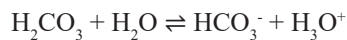
A szénsav (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) a széndioxid (CO<sub>2</sub>) és a víz (H<sub>2</sub>O) reakciójának terméke, aminek következtében a szénsav kifejezést sok esetben a széndioxid szinonimájaként használják. A széndioxid vízben viszonylag jól oldódik, és a vízzel a hőmérséklettől függő mértékben, szénsavat képez:



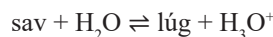
A következő reakció-egyenlet szerint a szénsavban a vízben oldott széndioxidnak csak 0,2%-a jelenik meg (Wisotzky, 2011):

$$K_K = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{CO}_2]} = 2 \cdot 10^{-3}$$

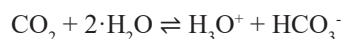
A szénsav (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) a vízben disszociál, azaz hidrogén-karbonátionra (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) és hidroxóniumionra (más néven: hidróniumionra, oxóniumionra: H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) bomlik:



általános alakban:



és ez a folyamat egy kémiai egyenletbe összevonva azt fejezi ki, hogy mind a CO<sub>2</sub>, mind a H<sub>2</sub>O kész egy protont (hidrogént) felvenni:



Ha a szénsavas egyenletben gondolatban elvonatkoztatunk a víztől és a hidroxóniumiontól (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>), akkor megmarad a szénsav (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) és a hidrogén-karbonátion (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amelyek anyagmennyiségének koncentrációja (c) egyensúlyban van. Ha a szénsav (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) hajlama a proton (hidrogén) leadásra erős – pK<sub>s</sub>-értéke kicsi – és a hidrogén-karbonátion (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) hajlama gyenge – pK<sub>b</sub>-értéke nagy – a proton felvételére, akkor a szénsav erős sav.

Víz esetén az egyensúlyi egyenlet:

$$pK_w = pK_s + pK_b = -\lg K_s - \lg K_b = 14, \text{ mert: } pK_s = -\lg K_s \text{ és } pK_b = -\lg K_b,$$

továbbá:

$$K_w = K_s \times K_b = 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{dm}^6,$$

ahol  $K$  a kémiai egyensúlyi állandó, amely a kémiai reakcióban résztvevő anyagok mennyiségének azt a viszonyát fejezi ki, amely mellett az egyensúly folytán kémiai reakció létrejötté energetikailag lehetetlen. A víz kémiai egyensúlyi állandójának ( $K_w$ ) mértékegysége:  $\text{mol}^2/\text{dm}^6$ , a savé ( $K_s$ ) és a lúg ( $K_b$ ):  $\text{mol}/\text{dm}^3$ .

A  $pK_s$ -érték egyenlete a reakcióban résztvevő anyagok mennyiségének  $c$  [ $\text{mol}/\text{dm}^3$ ] koncentrációjával kifejezve:

$$pK_s = -\lg K_s = -\lg \left( \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} \cdot \left(1,0 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}}\right) \right)$$

A víz  $c(\text{H}_2\text{O})$  anyagmennyiség-koncentrációja azért nem szerepel szorozóként a nevezőben, mert az gyakorlatilag konstans ( $c(\text{H}_2\text{O}) = 55,56 \text{ mol}/\text{dm}^3$ ), és ezért számértékét a  $K$  kémiai egyensúlyi állandóba bevonják, de emiatt a  $pK_s$ -érték nevezetelen szám volta nem változhat.

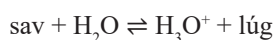
Az anyagmennyiség-koncentrációja ( $c$ ) alatt az anyagmennyiség ( $n$ ) és az össztérfogat ( $V_{\text{összes}}$ ) hányadosát értik, amely gyakorlatilag a részecskék (atomok és molekulák) Avogadro-állandóval ( $N_{\text{Avogadro}}$ ) osztott térfogategységre eső számával ( $N/V_{\text{összes}}$ ) egyenlő (DIN 1310:1984, DIN EN ISO 80000-9:2017):

$$c = \frac{n}{V_{\text{összes}}} = \frac{N}{V_{\text{összes}} \cdot N_{\text{Avogadro}}}$$

Az anyagmennyiség koncentrációjának ( $c$ ) SI mértékegysége  $\text{mol}/\text{m}^3$ , gyakorlati mértékegysége  $\text{mol}/\text{dm}^3$ .

A sav erősségét a savállandó, azaz a  $pK_s$ -érték fejezi ki, értéke minél kisebb, az anyag annál erősebb sav. Az anyag lúgossága mértékének kifejezője a  $pK_b$ -érték mint lúgállandó, értéke minél kisebb, az anyag annál erősebb lúg (6. táblázat).

A szénsav vízben való disszociálását tekintve:

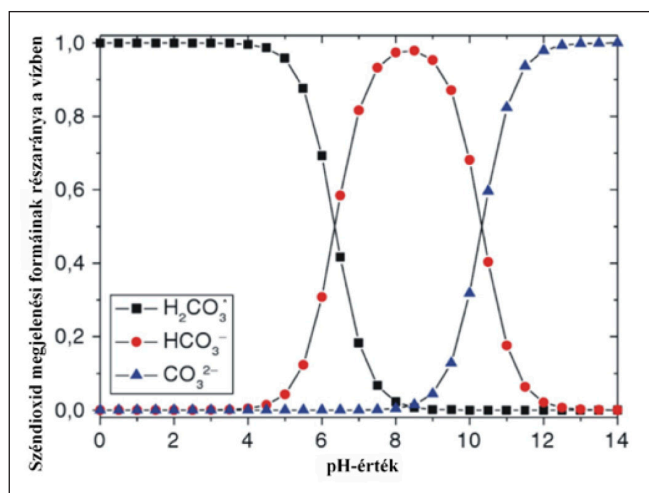


$pK_s = 6,52$ , tehát a szénsav ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) közepesen erős sav, és  $pK_b = 7,48$ , tehát a hidrogén-karbonátion ( $\text{HCO}_3^-$ ) közepesen erős lúg (<http://www.chemie.de/lexikon/Säurekonstante.html>).

A  $pK_s$ -érték, illetve  $pK_b$ -érték és pH-érték között az a különbség, hogy míg a  $pK_s$ -érték és a  $pK_b$ -érték anyagjellemző, addig a pH-érték csak az oldatban lévő  $\text{H}^+$  ionok koncentrációját írja le, függvénye az oldat hígításának, és az anyag savságának mértékéről közvetlenül nem ad tájékoztatást.

A vizekben a szénsav kalcium-karbonát ( $\text{CaCO}_3$ ) és magnézium-karbonát ( $\text{MgCO}_3$ ) alakjában kötött formában, kalcium-hidrogén-karbonát ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) és magnézium-hidrogén-karbonát ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ) félig kötött formában és szabad szénsav (széndioxid,  $\text{CO}_2$ ) formájában lehet jelen.

A szénsav képződése és disszociációja a pH-értéktől függ



5. ábra: A széndioxid megjelenési formáinak, a szabad szénsavnak ( $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ), a félig kötött hidrogén-karbonátionnak ( $\text{HCO}_3^-$ ) és a kötött karbonátionnak ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) részaránya a vízben a pH-érték függvényében (Wisotzky, 2011)

(5. ábra); ha a pH-érték csökken, akkor több a hidrogénion ( $\text{H}^+$ ) és a széndioxid ( $\text{CO}_2$ ); ha a pH-érték növekszik, akkor kevesebb a hidrogénion ( $\text{H}^+$ ) és több a karbonátion ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) és bizonyos határig a hidrogén-karbonátion ( $\text{HCO}_3^-$ ). Ha a pH-érték 4,3 alatt van, akkor kizárólag szénsav ( $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ) – mint egyetlen széndioxid fajta – van a vízben, a karbonátionok ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) gyakorlatilag csak pH = 8,2 felett jelennek meg. A talajvizek esetén gyakori 4,3 és 8,2 pH-érték között szénsav ( $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ) és hidrogén-karbonát ( $\text{HCO}_3^-$ ) is van megfelelő részarányban a vízben. Megfigyelhető, hogy a szabad szénsav (széndioxid) anyagmennyiség koncentrációjának csökkenése növekvő hidrogén-karbonát koncentrációval felgyorsul (Wisotzky 2011).

Megjegyzés:  $\text{H}_2\text{CO}_3^*$  a vízben oldott széndioxid és tényleges szénsav együttesének jele.

A logaritmusos ordinátájú 6. ábrán  $1,0 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  összes széndioxid-koncentrációja látható. Más összes széndioxid-koncentrációnál a széndioxid-fajták görbéinek abszcissza-menti elhelyezkedése (méretaránya) megmarad, de a mindenkori összes széndioxid-koncentrációnak megfelelően a görbék magassága (méretaránya) az ordináta-mentén megváltozik. A 6. ábrán kitűnik, hogy a vízben  $\text{pH} < 6,3$  ( $\text{pH} < pK_1$ ) esetén a szabad szénsav ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ),  $6,3$  és  $10,2$  közötti pH-érték esetén ( $pK_1 < \text{pH} < pK_2$ ) a félig-kötött hidrogén-karbonátion ( $\text{HCO}_3^-$ ), és  $10,2$  pH-érték felett ( $\text{pH} > pK_2$ ) a kötött karbonátion ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) van döntő többségben (Zühlke, 2016).

Az 5. és 6. ábra elkészítését az tette lehetővé, hogy valamely vizes oldat koncentrációja és pH-értéke között összefüggés áll fenn, az összefüggés gyenge savak – mint amilyen a szénsav – esetén a következő:

$$K_s = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]},$$

amely matematikai formában:

6. táblázat: A savasság és lúgosság mértéke (<http://www.chemie.de/lexikon/Säurekonstante.html>)

Savasság mértéke	$pK_s$	$pK_b$	Lúgosság mértéke
Nagyon erős sav	(-10) – (-2)	16 - 24	Nagyon gyenge lúg
Erős sav	(-2) – 4	10 - 16	Gyenge lúg
Közepesen erős sav	4 – 9	5 – 10	Közepesen erős lúg
Gyenge sav	9 – 15	(-1) – 5	Erős lúg
Nagyon gyenge sav	15 – 34	(-20) – (-1)	Nagyon erős lúg



$$y = \frac{x^2}{c - x}$$

és

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+],$$

amely matematikai formában:

$$\text{pH} = -\lg x, \text{ illetve } x = 10^{-\text{pH}}$$

és ezekből:

$$K_s = \frac{10^{-2 \cdot \text{pH}}}{c - 10^{-\text{pH}}}$$

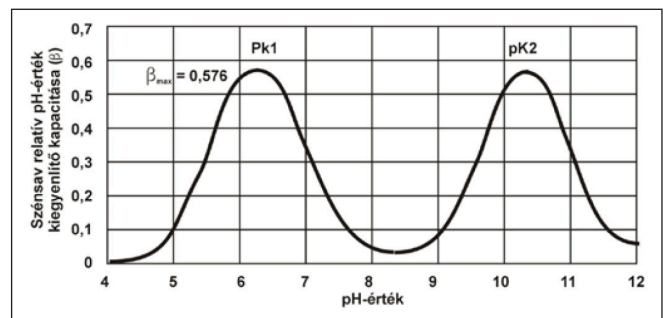
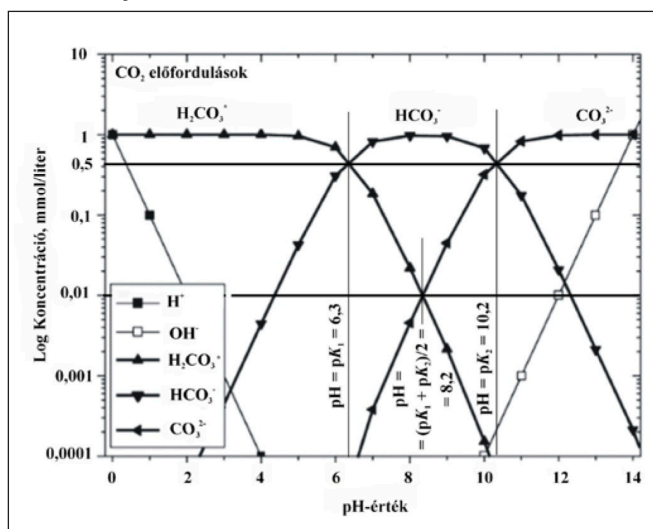
ahol:

- $K_s$  =  $y$  = saválló, a sav disszociációs állandója, mol/dm<sup>3</sup>  
 $[\text{H}^+]$  =  $x$  = hidrogénion-koncentráció, mol/dm<sup>3</sup>  
 $[\text{A}^-]$  = savmaradék-koncentráció, mol/dm<sup>3</sup>  
 $[\text{HA}]$  = sav-koncentráció, mol/dm<sup>3</sup>  
 $c$  = az oldat koncentrációja, mol/dm<sup>3</sup>

A tartozékos vagy egyensúlyi szén-dioxidot tartalmazó víz tulajdonképpen kiegyenlítő- vagy pufferoldat. Kiegyenlítő- vagy pufferoldatnak az olyan oldatokat nevezik, amelyek gyenge savat – amely kismértékben disszociál –, és annak erős bázissal alkotott sóját – amely gyakorlatilag teljesen disszociál – (vagy gyenge bázist, és annak erős savval alkotott sóját) együtt tartalmazzák, és kiegyenlítik a pH-érték változására irányuló külső hatásokat, és ezekkel szemben a pH-t megközelítőleg állandó értéken tartják. A kiegyenlítő-képesség mértéke a kiegyenlítő- vagy pufferkapacitás ( $\beta$ ), amely erős savaknak, illetve bázisoknak azon mennyisége, amely a pufferoldat pH-ját 1,0 egységgel változtatja meg.

A vízben oldott szénsav fajták képesek savak vagy lúgok hozzáadása esetén a pH-értéket kiegyenlíteni (pufferelni). A pH-érték kiegyenlítő-kapacitás ( $\beta$ ) az összes széndioxid mennyisége mellett elsősorban a víz pH-értékétől függ. Az összes szabad szénsav relatív pH-érték kiegyenlítő kapacitása a pH-érték függvényében 7. ábrán látható. Két-protonos

**6. ábra:** A széndioxid megjelenési formáinak, a szabad szénsavnak ( $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ), a félig kötött hidrogén-karbonátióknak ( $\text{HCO}_3^-$ ) és a kötött karbonátióknak ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) a részaránya 1,0 mmol/dm<sup>3</sup> összes széndioxid-koncentrációjú vízben, logaritmusos léptékben, a pH-érték függvényében (Wisotzky, 2011; Zühke, 2016).



**7. ábra:** Az összes szabad szénsav relatív pH-érték kiegyenlítő kapacitása ( $\beta$ ) a pH-érték függvényében (Wisotzky, 2011)

savként a szénsavnak két pH-érték kiegyenlítő képességi határértéke van (Wisotzky 2011). A pH-érték kiegyenlítő képesség fennáll mind a két, a pK1 és pK2 saválló tartományában, ami azt jelenti, hogy pH = 6,3 és pH = 10,3 értéknél éri el maximumát, amelynek értéke  $\beta_{\text{max}} \cdot (\text{összes szabad CO}_2) = 0,576 \cdot (\text{összes CO}_2) \text{ mmol/dm}^3$  (6. és 7. ábra).

Ha a talajvíz vezető rétegnek kalcium- és/vagy magnézium-karbonát tartalma van, akkor ezeknek az ásványoknak a kötött CO<sub>2</sub>-előfordulások mellett savkiegyenlítő képességük is van. Ebben az esetben az összes pH-érték kiegyenlítő kapacitás egyenlő a talajvíz pH-érték kiegyenlítő kapacitásának és a talajvíz vezető réteg pH-érték kiegyenlítő kapacitásának összegével. Így a 7 mmol/dm<sup>3</sup> hidrogén-karbonát koncentrációjú, mintegy 6,3 pH-értékű talajvíz pH-érték kiegyenlítő-kapacitása 4 pH-értékig 7-8 mmol/dm<sup>3</sup>.

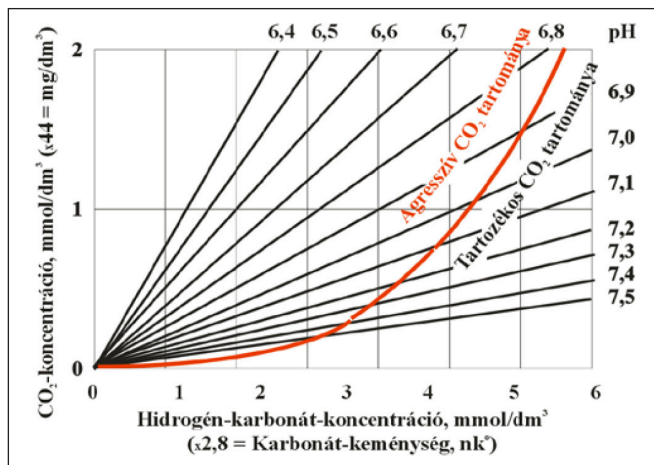
A nagy kalciumtartalmú talajvíz vezető réteg nagy pH-érték kiegyenlítő-kapacitása esetén nem tapasztalható a talajvíz savanyodása a savas esőkkel bevitt savak és az NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-ionok nitrifikációja ellenére sem. Ennek ellenkezője áll fenn, illetve a talajvíz savanyodása mérsékelt a kalciumot nem tartalmazó és csak szilikátos pH-érték kiegyenlítő kapacitással rendelkező, illetve a kis kalcium-tartalmú talajvíz vezető rétegek esetén. Például a 0,4 porozitású, 10% kalcium-karbonát tartalmú talajvíz vezető réteg pH-kiegyenlítő kapacitása 7940 mmol/dm<sup>3</sup>, és 1,0 dm<sup>3</sup> talajvíz mintegy 3975 g talajvíz vezető réteggel áll egyensúlyi cserereakcióban.

Biczók (1956, 1960) írja, hogy a hőmérséklet emelkedésével a kémiai reakciók sebessége, így az agresszív víz káros vegyi hatása is rohamosan növekszik. Ezt meleg vizű források, ipari meleg vizek vezetőkei stb. környékén figyelembe kell venni. Határértékként a különböző irodalmi források és előírások a 40-50 °C hőmérsékletet szokták megjelölni. Megemlítendő, hogy a meleg víz – némileg kisebb viszkozitási folytán – könnyebben mozog a talaj és a beton kapillárisaiban. Ezen kívül a kötött talajok hidegebbek, mint a szemcsés talajok, ezért a kötött talajok ebből a szempontból is kevésbé korrózióveszélyesek.

A 8. ábra a szabad CO<sub>2</sub>-előfordulások Tillmanns-féle kalcium-szénsav egyensúly függvényét ábrázolja (Tillmanns et al., 1912). A görbe minden pontjához egy meghatározott pH-érték tartozik. Emelkedő HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-koncentráció esetén a szabad CO<sub>2</sub> egyensúlyi koncentrációja is növekszik, miközben a pH-érték csökken. Így a kalcium-szénsav egyensúlyban lévő kemény vizek a lágy vizekhez képest egyre nagyobb CO<sub>2</sub> összes koncentrációt és nagyobb pH-érték kiegyenlítő kapacitást mellett kisebb pH-értéket mutatnak.

Ha a vízminta vizsgálati eredménye a kalcium-szénsav egyensúlyi görbe felett fekszik, akkor nem csak tartozékos (egyensúlyi) széndioxid-tartalma, hanem agresszív széndioxid-tartalma is van. Ha a vízminta vizsgálati eredménye a kalcium-szénsav egyensúlyi görbe alatt fekszik, akkor az oldatnak kalcium-többlete van, amelyből a kalcium-karbonát kiválik.

A kalcium-karbonát kiválására szemléletes példa a foko-



8. ábra: A szabad széndioxid koncentrációja a hidrogén-karbonát-koncentráció függvényében Tillmanns szerint (Wisotzky, 2011)

zott vízkőképződés a hévízkutak, így például a mezőkövesdi Zsóry-fürdő kútjainak termelőcsöve falán és a csövek mögötti rétegekben (9. ábra). A Zsóry-fürdő gyógyvizének összes oldott ásványi anyag tartalma 3500-3900 mg/dm<sup>3</sup>, kalciumion-tartalma 370 mg/dm<sup>3</sup>, szabad széndioxid-tartalma 965 mg/dm<sup>3</sup>, kötött széndioxid-tartalma 585 mg/dm<sup>3</sup> (Miskolci Egyetem, 2009), kútjaiban képződő halványszürke színű vízkő kalcium-karbonát tartalma mintegy 96 tömeg% (Bán, 1995).

A 34-40 °C hőmérsékletű karbonátos hévíz a felszínhez közeledve széndioxid-tartalmának egy részét elveszti, így a hévíz kalcium-karbonátra túltelítetté válik, és a maradék tartozékos széndioxiddal egyensúlyra törekedve, a többlet kalcium-karbonátot leadja (Bán, 1986).

A Tillmanns-féle kalcium-szénsav egyensúlyi görbét a következő egyenlet írja le (Höltling et al, 2013.):

$$c_{\text{egyensúlyi}}(\text{CO}_2) = \frac{KS_2 \cdot c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{HCO}_3^-)^2}{KS_1 \cdot c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})^2}$$

ahol  $KS_1$  és  $KS_2$  a kalcium-szénsav reakció egyensúlyi állandói, amelyek értéke egyébként a hőmérséklettől és az ionerősségtől függ:

$$KS_1 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = 10^{-6,37} \quad \text{mol/dm}^3$$

$$KS_2 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{HCO}_3^-)} = 10^{-10,33} \quad \text{mol/dm}^3$$

A mol/dm<sup>3</sup> mértékegységben kifejezett ionerősség ( $\mu$ ) az egyes  $c(i)$  ionkoncentrációk és a mértékegység nélküli  $z(i)$  elektromos töltésszámok négyzete szorzata összegének a fele:

$$\mu = 0,5 \cdot \sum c(i) \cdot z(i)^2 \quad \text{mol/dm}^3$$

Például a 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú szénsav-oldat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ionerőssége:

$$\mu = 0,5 \cdot (2 \cdot c(\text{H}^+) \cdot z(\text{H}^+)^2 + c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot z(\text{CO}_3^{2-})^2) = 0,5 \cdot (2 \cdot 0,1 \cdot (+1)^2 + 0,1 \cdot (-2)^2) = 0,3 \quad \text{mol/dm}^3$$

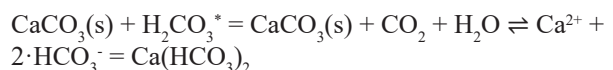
A világhálón számos – főleg akvaristák által készített – táblázatot lehet találni, amelyekben a pH-érték és a változó keménység (karbonát-keménység) függvényében megadják a 20 °nk német keménységi foknál lágyabb vizek szabad széndioxid-tartalmát általában mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben (7. táblázat).

A víz szabad széndioxid-tartalma a betonra kémiaiilag akkor agresszív, ha mennyisége meghaladja az oldott kalcium-hidro-



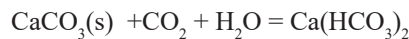
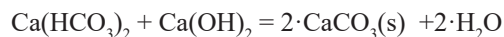
9. ábra: Zsóry-fürdőben eltávolított vízkőkiválás (A fényképet Szakáll Sándor, a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszékének vezetője bocsátotta rendelkezésünkre)

karbonát (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)-koncentrációjának megfelelő egyensúlyi szénsav mennyiséget. Ellenkező esetben a vízből mész válik ki mindaddig, amíg a kalcium-hidrokarbonát-koncentráció az egyensúlyi szénsavnak megfelelő mértékre le nem csökken (Biczók, 1956, 1960). A víz, talajvíz, talaj (talajnedvesség) szabad szénsav-tartalmának (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) agresszivitása abban nyilvánul meg, hogy az agresszív széndioxid a beton kötőanyagának kationjait (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>) oldatba viszi; hideg víz esetén is könnyen oldódó hidrokarbonátot hoz létre, amely igen könnyen kilúgozódik, például:



Megjegyzés: Az (s) → (solid) a kémiában a szilárd halmazállapot jele.

A folyamat még bonyolultabbá válik, amikor a keletkezett kalcium-hidrokarbonát a beton kötőanyagának kalcium-hidroxidjával lép reakcióba, mert ekkor a kalcium-karbonát kicsapódik, a felszabaduló lágy víz pedig újra kalcium-hidrokarbonátot oldhat fel, és az egész folyamat kezdődik előlről:

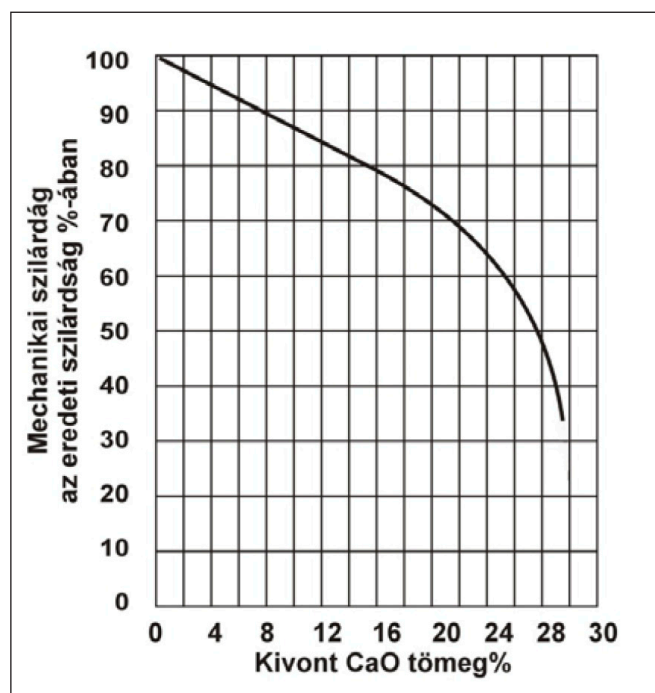


Bár a keletkezett kalcium-karbonát a beton pórusait időlegesen eltömi, az agresszív széndioxid a kalcium-karbonát újból bekövetkező feloldása folytán a beton nagymértékben kilúgozódik, és a cementkő, illetve a beton szilárdsága jelentősen csökken (10. ábra). A CaO fokozatos kivonásakor a szilárdságcsökkenés kezdetben lassú, de később a pusztulás erősen felgyorsul, például 5% CaO kilúgozása után a szilárdság mindössze 7%-kal csökken, míg 24% vagy ennél nagyobb mennyiségű CaO kilúgozása már ennek a szilárdságcsökkenésnek többszörösét okozza. Portlandcement esetén a szilárdságcsökkenés 25% CaO-vesztés után már igen gyors. A beton a CaO-mennyiség 1/3-ának elvesztése után gyakorlatilag tönkrementnek tekinthető (Biczók 1956, 1960).

Biczóknál (1956, 1960) olvasható, hogy Tillmanns szerint a víz karbonát-keménysége és szabad szénsav-tartalma között összefüggés áll fenn. A lágy víz kis CO<sub>2</sub>-tartalom esetén is agresszív lehet, a kemény víz csak nagy CO<sub>2</sub>-tartalom mellett agresszív. A Tillmanns-féle görbén a 17 °C hőmérsékletű víz szabad szénsav-tartalmából és karbonát-keménységéből a beton korrózió-veszélyének mértéke az építési gyakorlat számára elegendő pontossággal leolvasható (11. ábra). A Tillmanns-féle görbét már az MSZ 15300 R:1953 szabványajánlásban is szerepeltették, amelyben azt írták, hogy a talajvíz agresszív szénsav (CO<sub>2</sub>) tartalmának meghatározása is ajánlatos, ha a helyszíni körülmények olyanok, hogy agresszív szénsav jelenlétére is számítani lehet.

**7. táblázat:** Példa a vizek szabad széndioxid-tartalmára a pH-érték és a változó keménység (karbonát-keménység) függvényében  $\text{mg/dm}^3$  mértékegységben (<https://www.greenaqua.hu/hu/co2-beoldas>)

°nk	pH-érték																				
	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0
1	30	24	19	16	12	10	8	6	5	4	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
2	60	48	38	31	24	19	16	12	10	8	6	5	4	4	3	2	2	2	1	1	1
3	90	72	57	46	36	29	23	18	15	12	9	8	6	5	4	3	3	2	2	2	1
4	120	96	76	61	48	38	31	24	20	16	12	10	8	7	5	4	4	3	2	2	2
5	150	120	95	76	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4	3	3	2	2
6	180	143	114	91	72	57	46	36	29	23	18	15	12	10	8	6	5	4	3	3	2
7	210	167	133	106	84	67	53	42	34	27	21	17	14	11	9	7	6	5	4	3	3
8	240	191	152	121	96	76	61	48	39	31	24	20	16	13	10	8	7	5	4	4	3
9	270	215	171	136	108	86	68	54	43	34	27	22	18	14	11	9	7	6	5	4	3
10	300	239	190	151	120	95	76	60	48	38	30	24	19	16	12	10	8	6	5	4	4
11	330	263	209	166	132	105	83	66	53	42	33	27	21	17	14	11	9	7	6	5	4
12	360	286	228	181	144	114	91	72	58	46	36	29	23	19	15	12	10	8	6	5	4
13	390	310	247	196	156	124	98	78	62	50	39	31	25	20	16	13	10	8	7	5	4
14	420	334	266	211	168	133	106	84	67	53	42	34	27	22	17	14	11	9	7	6	5
15	450	358	284	226	180	143	114	90	72	57	45	36	29	23	18	15	12	9	8	6	5
16	480	382	303	241	192	152	121	96	77	61	48	39	31	25	20	16	13	10	8	7	5
17	510	406	322	256	204	162	129	102	81	65	51	41	33	26	21	17	13	11	9	7	6
18	540	429	341	271	215	171	136	108	86	68	54	43	35	28	22	18	14	11	9	7	6
19	570	453	360	286	227	181	144	114	91	72	57	46	36	29	23	19	15	12	10	8	6
20	600	477	379	301	239	190	151	120	96	76	60	48	38	31	24	19	16	12	10	8	7



**10. ábra:** A beton szilárdságsökkenése portlandcement különbözősége esetén (Biczók 1956, 1960)

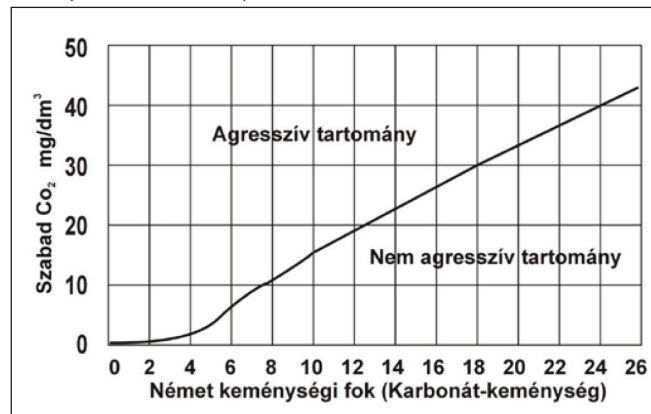
Krenkler (1980) szerint a cementkő főbb összetevői közül a széndioxid ( $\text{CO}_2$ ) vizes oldatában a

- kalcium-hidroxid, szabad ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) erősen oldódik,
- trikálcium-szilikát-hidrát ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) közepesen oldódik,
- tetrakalcium-aluminát-hidrát ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) kissé oldódik,
- tetrakalcium-aluminát-ferrit-hidrát ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) kissé oldódik.

A víz kalcium-kioldó képességét (LDC, lime dissolving capacity) és agresszív széndioxid-tartalmát, más szóval agresszív széndioxid-kapacitását ( $\text{CO}_{2,\text{agresszív}}$ ) az MSZ EN 13577:2007, MSZ 448-23:1983 és például a DIN 4030-2:2008 szabvány szerint lehet meghatározni. Mind a három szabványban leírt referencia módszer, azaz pontos titrálós kalcium-kioldó képesség (mész-kioldó képesség) vizsgálati módszer a DIN 4030-2:2008 szabvány szerinti Heyer-féle „márvány-kísérlet”-en alapszik (Heyer, 1888). A következő bekezdésekben ezt a három vizsgálati módszert ismertetjük részletesen.

A vízminta agresszív széndioxid-tartalma az MSZ EN 13577:2007 szabvány szerint két titrálási eredmény különbségével arányos. A mintavétel során ügyelni kell arra, hogy a széndioxid a vízmintából ne illanjon el. A vizsgálatot 0,5 literes lezárható üvegben kell végezni, amelybe 10 g kalcium-karbonát port kell bemérni, majd a vízmintával színültig fel kell tölteni, és gondosan le kell zárni. Az így előkészített vizsgálati minta hőmérséklete a mintavétel után a laboratóriumba szállításig

**11. ábra:** Tillmanns-féle görbe a beton szénsvkorróziójának számításához (Biczók 1956, 1960)



ne változzon többel, mint 5 °C. A vizsgálatot a mintavételtől számított 48 órán belül el kell végezni. A vizsgálat előtt 0,2 °C pontossággal le kell mérni a vízminta hőmérsékletét, és ügyelni kell arra, hogy a vizsgálat alatt a víz hőmérséklete ettől az értéktől 2 °C-nál nagyobb mértékben ne térjen el. A kalcium-karbonát port és a vízmintát tartalmazó üveget a hőmérséklet-változástól védve mágneses berendezéssel legalább két órán át erőteljesen rázni kell. A kalcium-karbonát por leülepedése után 100 ml letisztult oldatot 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú sósavval 4,3 pH-értékig titrálni kell, és meg kell határozni a titráláshoz elhasznált sósav térfogatát ml-ben (H<sub>2</sub>). A titrálást az eredeti vízmintán is el kell végezni, amelyhez az elhasznált sósav térfogata H<sub>1</sub> ml.

Az MSZ EN 13577:2007 szabvány szerint a víz kalcium-kioldó képességét az

$$\text{LDC}_{\text{CaO,mol}} = \frac{1}{2} \times 56 \times (H_2 - H_1) = 28 \times (H_2 - H_1)$$

egyenlet adja CaO mol/dm<sup>3</sup> mértékegységben, annak feltételezésével, hogy a titráláskor a sósav mérőoldat által felhasznált széndioxid-tartalomnak a fele a kalcium-karbonát porból származik, és csak a másik fele képezi a vízminta kalcium-kioldó képességgel rendelkező agresszív széndioxid-tartalmát.

Az összefüggésben 56 g/mol a kalcium-oxid (CaO) molekulatömege. A víz agresszív széndioxid-tartalmát ([CO<sub>2,agresszív,mol</sub>]) szintén mol/dm<sup>3</sup> mértékegységben az LDC-értéket 44/56-dal szorozva kapjuk meg, ahol 44 g/mol a széndioxid (CO<sub>2</sub>) és 56 g/mol a kalcium-oxid (CaO) molekulatömege:

$$[\text{CO}_{2,\text{agresszív,mol}}] = \frac{44}{56} \times \text{LDC} = \frac{44}{56} \times \frac{1}{2} \times 56 \times (H_2 - H_1) = 22 \times (H_2 - H_1)$$

Az MSZ 448-23:1983 szabvánnyal a víz szabad széndioxid-, kötött széndioxid-, egyensúlyi (tartozékos) széndioxid- és agresszív széndioxid-tartalmát egyaránt meg lehet határozni. Az agresszív széndioxid mennyisége meghatározásának elve – az MSZ 448-23:1983 vizsgálati szabvány szerint –, hogy a mészre agresszív széndioxidot (szénsavat) tartalmazó vízben a feleslegben hozzáadott kalcium-karbonát egy része meghatározott körülmények között kalcium-hidrogén-karbonát formájában feloldódik, és ezáltal a vizsgálandó víz kötött széndioxid-koncentrációja az eredetihez képest megnő. Ez a koncentráció-növekedés adja a vizsgált víz mészre agresszív széndioxid-koncentrációjának számszerű értékét.

Az agresszív széndioxid-tartalom MSZ 448-23:1983 szabvány szerinti meghatározása során a zárható palackban előkészített vízmintához néhány gramm kalcium-karbonát port kell adni, ezután két órán át mágneses-keverővel keverni kell, majd le kell szűrni. A szüredék tiszta, átlátszó, 100 cm<sup>3</sup> térfogatú részét 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú sósav mérőoldattal titrálni kell, eredménye ml-ben kifejezve m<sub>1</sub>. A titrálás végpontját a pH = 4,3 érték elérése jelzi. A mérést ugyan ilyen módon kalcium-karbonát hozzáadása nélkül is el kell végezni, eredménye ml-ben kifejezve m<sub>2</sub>. A vizsgált vízminta mészre agresszív széndioxid-koncentrációját ([CO<sub>2,agresszív,mol</sub>]) a kétféle minta sósav igénye különbségének 22-szerese adja mol/dm<sup>3</sup> mértékegységben, annak feltételezésével, hogy a titráláskor a sósav mérőoldat által felhasznált széndioxid-tartalomnak a fele a kalcium-karbonát porból származik, és csak a másik fele képezi a vízminta agresszív széndioxid-tartalmát:

$$[\text{CO}_{2,\text{agresszív,mol}}] = \frac{1}{2} \times 44 \times f \times (m_1 - m_2) = 22 \times f \times (m_1 - m_2)$$

Az összefüggésben a 44 g/mol a széndioxid (CO<sub>2</sub>) molekulatömege, és *f* a 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú sósav mérőoldat faktora. Ha a sósav-oldat pontos koncentrációjú, akkor faktora *f* = 1,0.

Közbevetőleg megjegyzendő, hogy pontos koncentrációjának akkor nevezik a mérőoldatot, ha annak koncentrációját a titrálás elvégzése előtt határozzák meg. Ezt faktorozásnak hívják. A faktorozásra azért van szükség, mert a reagensek bemérésével elkészített mérőoldatok koncentrációja általában nem pontos, és időben is változik (Neumüller, 1982).

Ugyanakkor a kalciumra agresszív széndioxid-tartalomnak mol/dm<sup>3</sup> mértékegységben kiszámított kalcium-karbonát kioldóképessége (LDC<sub>CaCO<sub>3</sub>,mol</sub>) azt adja meg, hogy 1,0 dm<sup>3</sup> agresszív széndioxid-tartalmú víz hány gramm kalcium-karbonátot képes feloldani, ahol 100,1 g/mol a kalcium-karbonát (CaCO<sub>3</sub>) molekulatömege és 44 g/mol a széndioxid (CO<sub>2</sub>) molekulatömege:

$$\text{LDC}_{\text{CaCO}_3,\text{mol}} = \frac{100,1}{44} \times [\text{CO}_{2,\text{agresszív}}] = \frac{100,1}{44} \times 22 \times f \times (m_1 - m_2) = 50,05 \times f \times (m_1 - m_2)$$

Az MSZ 448-23:1983 szabványban leírt titrálós mész-kioldóképesség vizsgálati módszer azonos a DIN 4030-2:2008 szabvány szerinti Heyer-féle „márvány-kísérlettel” (Heyer 1888).

A DIN 4030-1:2008 szabvány szerint a literenként 30 mg-nál kevesebb kalcium-oxidot tartalmazó, azaz kalcium- és/vagy magnézium-sókat nem vagy alig tartalmazó lágy vizek a cementkő kalcium-hidroxidját kioldani képesek, de a legfeljebb 0,6 víz-cement tényezőjű vízzáró betont gyakorlatilag nem támadják meg, ha mentesek az ártalmas mennyiségű agresszív szénsavtól vagy más betont károsító anyagtól.

A DIN 4030-1:2008 szabványban felhívják a figyelmet arra, hogy az agresszív széndioxid hasonlóképpen oldja a kalcium-hidroxidot mint a többi gyenge sav. Minthogy az agresszív széndioxid az összes szabad széndioxid-tartalomnak csak egy bizonyos hányada, meghatározását a DIN 4030-2:2008 szabvány alapján, gondosan kell végezni.

A DIN 4030-2:2008 szabvány szerinti, pontos eredményt adó referencia-módszerrel a víz karbonát-kioldó képességét szintén a Heyer-féle „márvány-kísérlettel” kell meghatározni (Heyer, 1888). Ehhez a zárható palackban előkészített 500 cm<sup>3</sup> térfogatú vízmintához néhány gramm kalcium-karbonát port kell adni, ezután hőmérsékletváltozás nélkül két órán át rázni vagy keverni kell, majd le kell szűrni. A szüredék tiszta, átlátszó, 100 cm<sup>3</sup> térfogatú részét 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú sósav mérőoldattal pH = 4,3 érték eléréseig elektrometrikusan titrálni kell. A vizsgált vízminta karbonát-kioldóképességét a kalcium-karbonát poros titrálás és a hidrogén-karbonát keménység vizsgálat sósav igénye különbségének 14-szerese adja CaO mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben.

Ha a CaO mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben kapott referencia vizsgálati karbonát-kioldóképességét 17,8571-del megszorozzuk, akkor a karbonát-kioldóképességet CaO mmol/m<sup>3</sup> mértékegységben kapjuk meg, ugyanis 1,0 mg/dm<sup>3</sup> CaO = 1/56 mmol/dm<sup>3</sup> CaO = 1000/56 mmol/m<sup>3</sup> CaO = 17,857143 mmol/m<sup>3</sup>, ahol 56 mg/mmol a CaO molekulatömege. Ha a német szabvány szerint CaO mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben kapott referencia vizsgálati karbonát-kioldóképességét 1,5696-del szorozzuk meg, akkor a karbonát-kioldóképességet CO<sub>2</sub> mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben adódik.

A DIN 4030-2:2008 szabvány szerint a víz karbonát-kioldóképességét gyors vizsgálatl két lépésben lehet meghatározni. Először 5 ml térfogatú eredeti vízmintához

3 csepp „kalcium-indikátor-oldatot” kell adni, majd ehhez annyi sósavat kell csepegtetni, hogy az oldat színe a kékről a szürkén át pirosba csapjon. Az eredeti vízminta karbonát-keménysége (hidrogén-karbonát-keménysége) a színátcsapáshoz szükséges sósav-cseppek számából (A) adódik CaO mol/dm<sup>3</sup> mértékegységben. Ezután az eredeti vízmintához kalcium-karbonát port adva szűrletet kell készíteni, és a szűrlet 5 ml térfogatú mennyiségéhez 3 csepp „kalcium-indikátor-oldatot” kell adni, és ehhez a keverékhez annyi sósavat kell csepegtetni (B), hogy a keverék színe a kékről a szürkén át pirosba csapjon. A karbonát-kioldóképesség CaO mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben a következő összefüggéssel határozható meg:

$$LDC_{(CaO,mg)} = f_1 \cdot (A - f_2 \cdot B)$$

ahol  $f_1$  és  $f_2$  az alkalmazott sósav-oldatok faktora. Ha a sósav-oldat pontos koncentrációjú, akkor faktora  $f = 1,0$ . A CaO mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben kapott karbonát-kioldóképesség gyors vizsgálati eredményt 1,5696-del szorozva az eredményt CO<sub>2</sub> mg/dm<sup>3</sup> mértékegységben kapjuk meg.

## 6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A kémiailag agresszív hatóanyagok a beton duzzadásos vagy oldódásos korrózióját, esetleg egyidejűleg mind a kettőt okozhatják. A beton duzzadásos és oldódásos korróziójának megkülönböztetése azért fontos, mert mértékük eltérő jellegük folytán több vonatkozásban is eltérő betontechnológiai módszerekkel csökkenthető. Míg a duzzadásos betonkorrózió első jelei a természetes vizekkel érintkező műtárgyakon az 1890-es években mutatkoztak, és az ellene való védekezésnek a szulfátálló cementek alkalmazásával mintegy nyolcvan éves hagyománya van, addig az oldódásos betonkorrózió megjelenése az ipari és kommunális technológiák lassúbb elterjedése következtében későbbre tehető, és az ellene való védekezés is újabb keletű, nehezebb és módszerei kevésbé kiforrottak. Az oldódásos betonkorrózió igen sokrétű jelenség.

Cikksorozatunk jelen részében a vizek és folyadékok kémhatásával, keménységével, agresszív széndioxid-tartalmával foglalkozó szakirodalmat tekintettük át, a következőkben a szervetlen és szerves savak, egyes sóoldatok, zsírok és olajok okozta betonkorrózióval, valamint az oldódásos korrózió elleni védekezés betontechnológiai módszereivel foglalkozó szakirodalmi olvasmányainkról szándékozunk beszámolni.

## 7. 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.

## 8. ACKNOWLEDGMENT

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”.

## 9. HIVATKOZÁSOK

Bán M. (1986), „Hévízeinkből származó vízkövek ásvány-közetani sajátosságai”, NME Miskolc Közleményei. I. Sorozat. *Bányászat*. 33. kötet. 1986. 1-4. füzet, pp. 25-32.

- Bán M. (1995), „Hévízek karbonátos vízkökválásainak termikus vizsgálata”, Miskolci Egyetem Közleményei. A Sorozat. *Bányászat*. 50. kötet. 1995. pp. 213-219.
- Biczók I. (1956), „Betonkorrózió, betonvédelem”, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Biczók I. (1960), „Betonkorrosion, Betonschutz”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Bosseler, B. – Puhl, R. (2005), „Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten”, *IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur*, Gelsenkirchen
- Heyer, C. (1888), „Ursache und Beseitigung des Bleiangriffs durch Leitungswasser, chemische Untersuchungen aus Anlass der Dessauer Bleivergiftungen im Jahre 1886”, *Verlagsbuchhandlung Paul Baumann*, Dessau
- Höltling, B. - Coldewey, W. G. (2013), „Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie”, 8. Auflage. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg
- Hunkár B. (1940), „A természetes vizek, felhasználásuk és tisztításuk”. Fejezet: A természet világa. V. A kémia és vívmányai” című könyv első részében. (Szerkesztette: Dr. Erdey-Grúz Tibor és dr. Gróh Gyula) pp. 222-247. *Királyi Magyar Természettudományi Társulat*, Budapest
- Huggenberger, U. (2010), „Ausmass der Betonerosion in Schweizer ARA”, *Betonsuisse Marketing AG. Bern*
- Klopfer, H. (1978), „Die Carbonatisation von Sichtbeton und ihre Bekämpfung”, *Bautenschutz und Bausanierung*. 1978., Heft 3., pp. 86-97.
- Krenkler, K. (1980), „Chemie des Bauwesens”, Band 1. Anorganische Chemie. *Springer-Verlag Berlin/Heidelberg GmbH*
- Kopeckó, K. (2006), „A gőzölés hatása a cementklinkerek és cementek klórion megkötő képességére”, PhD disszertáció, pp. 23-25.
- Materialprüfungsanstalt (MPA) (2007), „Anforderungen an Hochleistungsbetone für Abwasserrohre bei starkem chemischen Angriff”, Berlin-Brandenburg
- Miskolci Egyetem (2009), „Néhány információ a mezőkövesdi Zsóry-fürdő vizéről”, Miskolci Egyetem Közleményei. A Sorozat. *Bányászat*. 77. kötet. 2009. pp. 229-230.
- Neumüller, O.-A. (1982), „Römpp vegyészeti lexikon”, Második kötet. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Neumüller, O.-A. (1983), „Römpp vegyészeti lexikon”, Harmadik kötet. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Öllős G. – Oláh J. – Palkó Gy. (2010), „Rothasztás”, *Magyar Víziközmű Szövetség*, Budapest
- Riesz L. (1989), „Cement- és mészgártási kézikönyv”, Építésügyi Tájékoztatói Központ, Budapest
- Stein, D. – Brauer, A. (2005), „Widerstand von Beton- und Stahlbetonrohren für kommunale Entwässerungssysteme gegen chemische Angriffe”, Bochum
- Tillmanns, J. – Heublein, O. (1912): „Über die kohlen-sauren Kalk angreifende Kohlensäure der natürlichen Wässern”, *Ges. Ing.*, Jg. 34., 1912., pp. 669-677.
- Wisotzky, F. (2011), „Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrogeochemische Modellierung. Grundlagen, Anwendungen und Problemlösungen”, *Springer-Verlag*, Berlin/Heidelberg
- Zühlke, K.: „Vorlesung Trinkwasseraufbereitung”, <http://www.trinkwasserspezi.de/klsggwhm,2016>
- <http://www.chemie.de/lexikon/Säurekonstante.html>, évszám nélkül. Letöltés: 2017. június 15.
- <https://www.greenaqua.hu/hu/co2-beoldas>, évszám nélkül. Letöltés: 2017. május 20.

## 10. HIVATKOZOTT RENDELETEK, SZABVÁNYOK, IRÁNYELVEK

- 28/2004. (XII. 25.) „KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól”
- ASTM D 1126:2012 „Standard Test Method for Hardness in Water”
- DIN 1310:1984 „Zusammensetzung von Mischphasen (Gasmische, Lösungen, Mischkristalle); Begriffe, Formelzeichen”
- DIN 4030-1:2008 „Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte”
- DIN 4030-2:2008 „Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben”
- DIN 38405-26:1989 „Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Anionen (Gruppe D); Photometrische Bestimmung des gelösten Sulfids (D 26)”
- DIN EN ISO 80000-9:2017 „Größen und Einheiten. Teil 9: Physikalische Chemie und Molekularphysik (ISO/DIS 80000-9:2017); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 80000-9:2017”
- ISO 4316:1977 „Surface active agents. Determination of pH of aqueous solutions. Potentiometric method”
- MSZ 260-4:1971 „Szennyvizek vizsgálata. Hidrogén-ion koncentráció (pH-érték) meghatározása”
- MSZ 448-11:1986 „Ivóvízvizsgálat. Lúgosság meghatározása titrálással, a hidrogén-karbonáton, a karbonáton- és a hidroxilion-tartalom kiszámítása”
- MSZ 448-21:1986 „Ivóvízvizsgálat. Az összes, a karbonát- és a nemkarbonát-keménység meghatározása”
- MSZ 448-23:1983 „Ivóvízvizsgálat. A szabad, a kötött, az egyensúlyi és a mézre agresszív szén-dioxid meghatározása”

MSZ 1484-22:2009 „Vízminőség. 22. rész: A pH és az egyensúlyi pH meghatározása”

MSZ 4798:2016 „Beton. 1. rész: Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon”

MSZ 15300 R:1953 „Csatornatervezés és méretezés. Közcsatornák”

MSZ EN 1504-9:2009 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalom meghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelésértékelés. 9. rész: Termékek és rendszerek alkalmazásának általános elvei”

MSZ EN 12176:2000 „Izsjajelmezők. A pH-érték meghatározása”

MSZ EN 13577:2007 „Vegyí hatásnak kitett beton. A víz agresszív szén-dioxid-tartalmának meghatározása”

MSZ EN 14630:2007 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálási módszerek. A megszilárdult beton karbonátosodási mélységének meghatározása fenolftaleines módszerrel”

MSZ EN 15933:2013 „Izsjaj, kezelt biohulladék és talaj. A pH meghatározása”

MSZ EN ISO 9963-1:1998 „Vízminőség. A lúgosság meghatározása. 1. rész: Az összes és az összetett lúgosság meghatározása (ISO 9963-1:1994)”

MSZ EN ISO 9963-2:1998 „Vízminőség. A lúgosság meghatározása. 2. rész: A karbonátlúgosság meghatározása (ISO 9963-2:1994)”

MSZ EN ISO 10523:2012 „Vízminőség. A pH meghatározása (ISO 10523:2008)”

Cemuisse-Merkblatt MB 01:2010 „Betonerosion in Biologiebecken von Abwasserreinigungsanlagen”, Verband der Schweizerischen Cementindustrie. Bern

Zementmerkbücher T3 „Sulfide in Abwasseranlagen. Ursachen, Auswirkungen, Gegenmaßnahmen” Zement-Merkblatt, Tiefbau, Beratung Zement. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln, 2009.

**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: szálerepítésű betonok (FRC), nem acélszálú (FRP) betétek, megerősítések anyagai és módjai, HPC, UHPC, LWC. Tűzállóságra való tervezés, tűzállóság fokozása. Fagyállóság fokozása. Kémiai ellenállóképesség fokozása. Tartósság. Használati élettartam. Fenntartható építés. Erőátadódás 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 Magasépítés 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. Kopeckó Katalin** (1961) okl. vegyész-mérnök (BME, Vegyész-mérnöki 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 Tanszékén. 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 acélszálú 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. Lublőy 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 nedvességetechnikai jellemzői, környezetkímélő építés anyagai.

**Dr. Arany Piroška** (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 1: Chemical effects of water and liquides, hardness of water, aggressive CO<sub>2</sub> content**  
**György L. Balázs – Tibor Kausay – Katalin Kopeckó – Rita Nemes – Salem G. Nehme – Éva Lublőy – Zsuzsanna Józsa – Piroška Arany**  
 Concrete, reinforced concrete or prestressed concrete elements can be subjected to chemical corrosion in addition to physical and mechanical effects. All of the constituents of concrete: mineral components (aggregates or inert supplementary materials) as well as the binder (cement and supplementary cementitious materials) can be sensitive. Whenever the hardened cement stone is considered, we can distinguish leaching corrosion, volumetric increase or corrosion by salts. Dissolution of concrete can be induced by soft water, water or solutions containing aggressive CO<sub>2</sub>, organic and mineral acids. All these may reduce the serviceability and the ultimate capacity of concrete, reinforced concrete and prestressed concrete elements, therefore, development of concretes with improved resistance against acids is required.