

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*

9 771419 644000 20173

Dr. Dulácska Endre

GONDOLATOK A MEMBRÁN- HÉJAKRÓL

42

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

BETONOK OLDÓDÁSOS KORRÓZIÓJA – SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

1. rész: A vizek és folyadékok kém-
hatása, keménysége, agresszív szén-
dioxid-tartalma

46

SZEMÉLYI HÍREK

DR. BÖLCSKEY ELEMÉR PÉTER
70. SZÜLETÉSNAJÁRA

FÖLDI ANDRÁS 75. SZÜLETÉSNAJÁRA

DR. TÓTH ZOLTÁN 75. SZÜLETÉSNAJÁRA

DR. TÓTH ERNŐ 80. SZÜLETÉSNAJÁRA

DR. WINDISCH ANDOR
75. SZÜLETÉSNAJÁRA

DR. TRÁGER HERBERT
90. SZÜLETÉSNAJÁRA

60

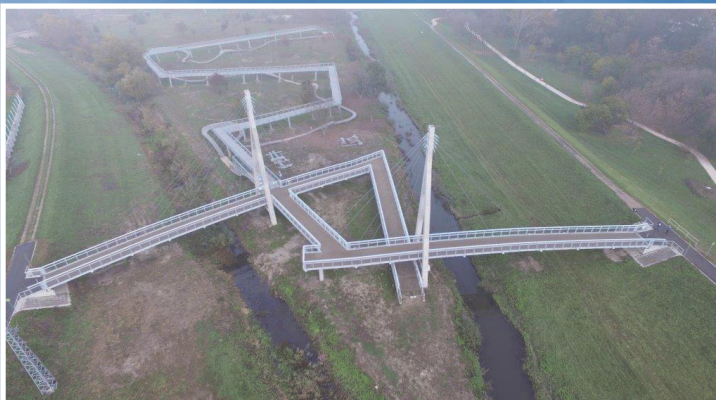


2017/3

XIX. évfolyam, 3. szám

Tevékenysége napjainkban:

- szigetelések (mélyépítés, magasépítés),
- korrózióvédelem (üzemi, helyszíni),
- sóvédelem,
- közlekedési, mélyépítési, magasépítési létesítmények építési munkái (autópálya-hidak, felüljárók, mélygarázs),
- hidak és egyéb mérnöki létesítmények rehabilitációs munkái,
- környezetvédelmi létesítmények készítése (hulladéklerakók, hulladékgyűjtő szigetek),
- injektálások, betonlövési munkák, zajvédő falak építése és felújítása, ipari padlóburkolatok kialakítása,
- földművek készítése,
- szennyvízkezelési, szennyvízelvezetési rendszerek építése,
- vízépítési kivitelezés.



HÍDTECHNIKA Hídépítő Karbantartó és Szigetelő Kft.

1138 Budapest, Karikás Frigyes u. 20. • Tel.: 06-1-465-2329 • Fax: 06-1-465-2335

E-mail: hidtecnica@hidtecnica.hu

www.hidtecnica.hu

AXISVM X4

Végeselem programrendszer statikusoknak



www.axisvm.eu

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Dr. Träger Herbert

Szerkesztőbizottság:

Dr. Bódi István

Dr. Csíki Béla

Dr. Erdélyi Attila

Dr. Farkas György

Kolozsi Gyula

Dr. Kopecskó Katalin

Dr. Kovács Károly

Lakatos Ervin

Dr. Lublói Éva

Madaras Botond

Mátyássy László

Polgár László

Dr. Sajtos István

Dr. Salem G. Nehme

Telekiné Királyföldi Antonia

Dr. Tóth László

Vörös József

Wellner Péter

Lektorai testület:

Dr. Dulácska Endre

Királyföldi Lajosné

Dr. Lenkei Péter

Dr. Loykó Miklós

Dr. Madaras Gábor

Dr. Orosz Árpád

Dr. Szalai Kálmán

Dr. Tassi Géza

Dr. Tóth Ernő

(Kéziratok lektorálására más
kollégák is felkérést kaphatnak.)

Alapító: a **fib** Magyar Tagozata

Kiadó: a **fib** Magyar Tagozata

(**fib** = Nemzetközi Betonszövetség)

Szerkesztőség: BME Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Tel: 463 4068 Fax: 463 3450

E-mail: fib@eik.bme.hu

WEB <http://www.fib.bme.hu>

Az internet verzió

technikai szerkesztője: Czoboly Olivér

Tervezőszerkesztő: Halmai Csaba

Nyomdai kivitelezés: Navigar Kft.

Egy példány ára: 1275 Ft

Előfizetési díj egy évre: 5100 Ft

Megjelenik negyedévenként

1000 példányban.

© a **fib** Magyar Tagozata

ISSN 1419-6441 online ISSN: 1586-0361

Hirdetések:

Külső borító: 220 000 Ft+áfa

belső borító: 180 000 Ft+áfa

A hirdetések felvétele:

Tel.: 463-4068, Fax: 463-3450

Címlapkép:

A Kínai Nagy Fal, Badaling

Fotó: Dr. Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

42 DR. DULÁCSKA ENDRE **GONDOLATOK A MEMBRÁNHÉJAKRÓL**

46 DR. BALÁZS L. GYÖRGY – DR. KAUSAY TIBOR – DR. KOPECSKÓ KATALIN – DR. NEMES RITA – DR. NEHME SALEM G. – DR. LUBLÓY ÉVA – DR. JÓZSA ZSUZSANNA – DR. ARANY PIROSKA **BETONOK OLDÓDÁSOS KORROZIÓJA – SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS**

1. rész: A vizek és folyadékok kémhatása, keménysége,
agresszív széndioxid-tartalma

60 **SZEMÉLYI HÍREK**

DR. BÖLCSKEY ELEMÉR PÉTER 70. SZÜLETÉSNAPJÁRA

FÖLDI ANDRÁS 75. SZÜLETÉSNAPJÁRA

DR. TÓTH ZOLTÁN 75. SZÜLETÉSNAPJÁRA

DR. TÓTH ERNŐ 80. SZÜLETÉSNAPJÁRA

DR. WINDISCH ANDOR 75. SZÜLETÉSNAPJÁRA

DR. TRÄGER HERBERT 90. SZÜLETÉSNAPJÁRA

A folyóirat támogatói:

Vasúti Hidak Alapítvány, Duna-Dráva Cement Kft., ÉMI Nonprofit Kft.,
A-Híd Zrt., MÁV Zrt., MSC Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft.,
Lábatlani Vasbetonipari Zrt., Pont-Terv Zrt., Swietelsky Építő Kft., Uvaterv Zrt.,
Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt., Hídtechnika Kft.,
Betonmix Mérnökiroda Kft., CAEC Kft., SW Umwelttechnik Magyarország Kft.,
Union Plan Kft., DCB Mérnöki Iroda Kft.,
BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
BME Hidak és Szerkezetek Tanszék



Dr. Dulácska Endre

A vasbeton membránhéjakat általában a statikai egyenletek alapján méretezik, a belső összeférhetőségi feltételek elhanyagolásával. Ez a hosszúkás héjak esetén jelentős hibát okozhat. Bemutatunk egy hosszúkás héjon kialakult repedésképet. Ennek alapján és az elméleti megfontolások szerint a nem centrális elrendezésű héjaknál az összeférhetőségi feltételeket figyelembe kell venni. Végül bemutatjuk a megoldás elvét.

Kulcsszavak: héjszerkezet, kompatibilitás, repedés

1. ELŐZMÉNYEK

A vasbeton héjszerkezetek, köznapi néven héjboltozatok az utóbbi száz évben terjedtek el. Az első héjboltozatnak a Zeiss műveknek 1922-ben, Jénában épült, 16,0 méter átmérőjű, 6,0 cm vastag vasbeton félgömbkupoláját tekinthetjük. Ezután rohamosan terjedt a nagyobb terek lefedésére a héjszerkezet. Ha a héj csak a hajlító nyomatékok figyelembevételével tartható egyensúlyban, akkor az ún. hajlításelméletet kell alkalmaznunk. Ez egy nyolcadrendű parciális differenciálegyenletet és annak megoldását jelenti, ami elég nagy matematikai nehézséget jelent, és rendszerint csak a közelítő megoldás lehetséges. E nehézségek elkerülésére a kutatók feltételezik, hogy a vékony héjlemez hajlítási merevsége a normálerők merevségéhez képest elhanyagolható: Ennek megfelelően a hajlítási merevséget zérusnak tekintve, az egyenletekből a hajlítással kapcsolatos tagok kiesnek. Így kialakították a membránelméletet. Ennek egyenletei szerint a felületi normálerők, az ún. membránerők (feltéve hogy a héj külső megtámasztásai képesek az egyensúlyt biztosítani) biztosítják a héjfelület egyensúlyát. A membránelmélet három elsőrendű egyensúlyi differenciálegyenletet tartalmaz. Ezek már lényegesen könnyebben megoldhatóak. Pucher (1934) felfedezte, hogy ha bevezeti az ún. F feszültségfüggvényt, melynek második deriváltjai az n_x , n_{xy} , n_y membrán metszeterők, (a továbbiakban n erők), akkor a három egyenletből az első kettő azonosan kielégül, a harmadik pedig átmeny a következő másodrendű differenciálegyenletbe.

$$z'''' - 2z''F'' + z''F'' = p. \quad (1)$$

A fenti egyenletben z a felületfüggvény, F a feszültségfüggvény, p a függőleges teher függvénye, és a pont az y szerinti, a vessző pedig az x szerinti deriválás jele. Az n_x és n_y metszeterők az F függvény x és y irányú második deriváltjai. Így csak egy egyenletet kell megoldani, igaz, hogy az másodrendű. Előnye a feszültségfüggvény alkalmazásának, hogy az oldalnyomásmentesség peremfeltételét az F függvény perem menti zérus értékével lehet leírni. Az F függvényt grafikusán egy felülettel lehet jellemezni.

Szmodits (1966) szerint: „A membránelmélet közelítése tehát abban áll, hogy elhanyagolja az alakváltozási kerületi és összeférhetőségi feltételeket. Ha a membránmegoldás

teljesíti az egyensúlyi és alakváltozási kerületi feltételeket, és csupán az összeférhetőségi feltételeket hanyagolja el, egzakt membránmegoldásról beszélünk. Ha a megtámasztás statikai kerületi feltételeivel a membránegyenletek a metszeti erőkre egyértelműen megoldhatók, a héjat „külsőleg statikailag határozott héjnak mondjuk. A héjak a kompatibilitási (összeférhetőségi) feltételek miatt minden esetben belsőleg statikailag határozatlanok.

Ha a megtámasztás statikai és alakváltozási feltételeket is tartalmaz, a vizsgálatot a hajlítási egyenletek figyelembevételével az alakváltozási egyenletek megoldásával kell elvégezni. Ha a megoldás egyértelmű, a héjat „külsőleg statikailag határozatlan” héjnak mondjuk. Ha a felsorolt két esetben az adott kerületi feltételekkel a feladat egyértelműen nem oldható meg, a membránelmélet nem alkalmazható.”

A szakirodalom, pl. Menyhárd (1942), Bölcskei (1952), Flügge (1957), Szmodits (1966), Menyhárd (1966) Csonka (1981), Kollár-Dulácska (1994), és a gyakorlat, pl. Harasta, (1960), Reisch (1965) általában az „egzakt” megoldást alkalmazza, a kompatibilitási feltételt elhanyagolva. A fenti Szmodits-féle megfogalmazásból hiányzik az a teljes membránelméletnek nevezhető eset, amikor az egzakt membránelméletet kiegészítjük az összeférhetőségi egyenletekkel. Az összeférhetőségi egyenletek elhanyagolása a közel centrális esetekben valóban elhanyagolható kis hibát eredményez, de hosszúkás elrendezésű hájaknál számottevő hibát okozhat az egzakt membránelmélethez képest.

A következőkben egy ilyen esetet szándékozunk bemutatni.

2. A BUDAPEST, HAMZSABÉGI ÚTI AUTÓBUSZGARÁZS HÉJSZERKEZETE

A Hamzsabégi autóbuszgarázs építész tervezője Padányi Gulyás Jenő volt. Az épületet meghatározó vasbetonszerkezete, és benne a héjszerkezet is a tervezés idején 34 éves Menyhárd (1942) műve.

A Hamzsabégi úti autóbuszgarázs építész tervezője Padányi Gulyás Jenő volt. Az épületet meghatározó vasbetonszerkezet, és benne a héjszerkezet is a tervezés idején 34 éves Menyhárd (1942) műve. Az épület 1938-1941-ben épült, monolit vasbeton



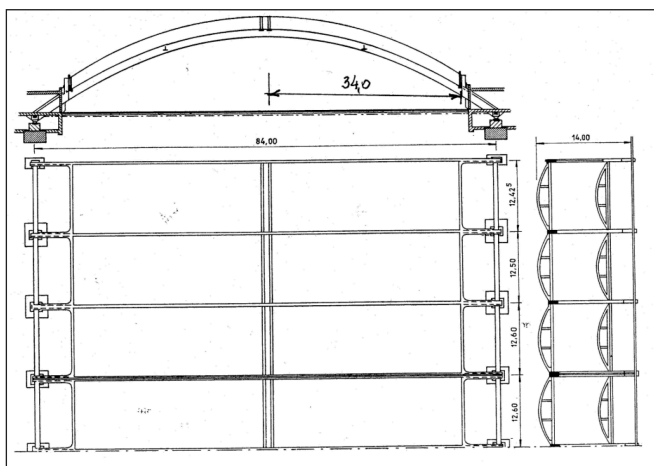
1. ábra: A garázs héjszerkezete építési állapotban (Foto: Menyhárd, 1942)

építési technológiával. A 84,0 méter támaszközű, 12,5 méter kiosztású, 50/150 cm keresztmetszetű háromcsuklósnak épített, majd a középső csuklók bebetonozásával kétsuklóssá alakított vasbetoníveket a Siemens által gyártott, 130 mm átmérőjű, darabokból készült, és csavarhüvelyekkel kapcsolt acél vonórúdak kötik össze. A vonórúdak lehorgonyzása acél bakokkal történt, melyeken a vonórúdat átvezették, és nagyméretű csavaranyával lehorgonyozták. A vasbetonívek között 6,0 cm vastag elliptikus paraboloid héj hidalja át. A hagyományos aláállványozott módon való építést az 1. ábra mutatja.

Az épület vázlatos ismertetése a 2. ábrán látható. A héj két darab 34,0 méteres elliptikus paraboloidból áll, 2,4 m nyílmagassággal, mindkét irányban. A vonórúd a padló alatti padlócsatornában fut végig. A csarnok ma már műemléki védelem alatt áll. (A tervezési díj Menyhárd szerint 4000 pengő volt.)

A kiállványozáskor történt egy kis hiba. Az állvány leeresztésekor hirtelen nagy ropogást-recsegést hallottak. Menyhárd kiharcolta mindent az épületből, és fölment a héj tetejére, megnézni, hogy mi történt. Azt látta, hogy az egyik ívnél elfelejtették kibetonozni a tetőpontra lévő csuklót, a vasak kihajlottak, és a két félív egymás mellé csúszott. Az építkezést leállították, és Csonka professzort kérték fel véleményezésre. Csonka azt javasolta, hogy az elcsúszott íveket jobbra-balra vasbeton keresztartókkal támasszák ki. Így is történt, és az építkezést befejezték. A héj a maga idejében a világ legnagyobb ilyen héjszerkezete volt.

2. ábra: A Hamzsabégyi úti autóbuszgarázs (Menyhárd, 1966)



A háborút befejező budapesti ostrom idején a gépi szellőztető berendezés tönkrement, és a csarnokot annak felújítása nélkül üzemeltették tovább. Közben bejött a kéntartalmú szovjet gázolaj, és a kipufogó gázokból az ívekre és a héjfelületre kicsapódó kénessav tartalmú páralecsapódás azokat súlyos mértékben korrodálta. Az 1970-es években több szakvélemény a csarnok lebontását javasolta, mert a szükséges állékonysági biztonság nem volt kimutatható.

Végül is a Buvátiban egy közbenső vonórudas megerősítést terveztünk, melyet ferde rudazattal kötöttünk fel az ívekhez, és ezzel egy rácsostartószerű erőjátékot hoztunk létre. Így a héjszerkezet térbeli merevítő hatását is a figyelembe véve, a statikai modellt úgy sikerült módosítanunk, hogy a merevebbé váló szerkezet a csökkent keresztmetszeti teherbírással kombinálódva a szerkezetet megfelelő állapotba tudta visszahozni. A belső felület homokfűvások letisztítás után vízzáró, de páraáteresztő műanyag védőréteget kapott, és a szellőző berendezést természetesen rendbe kellett hozni. A helyreállítás során észleltük, hogy a héjakon 2-3 méterenként a héj teljes keresztmetszetén áthaladó keresztirányú repedések vannak (3. ábra).

3. A HÉJSZERKEZET VIZSGÁLATA

A héjat Menyhárd az általa kidolgozott módszer szerint, a feszültségfüggvény sarokugrására épített elmélet alapján számította. Számítása szerint a héjban az x keresztirányban kisebb értékű, az y hosszirányban pedig jelentős értékű nyomó membránereő ébred.

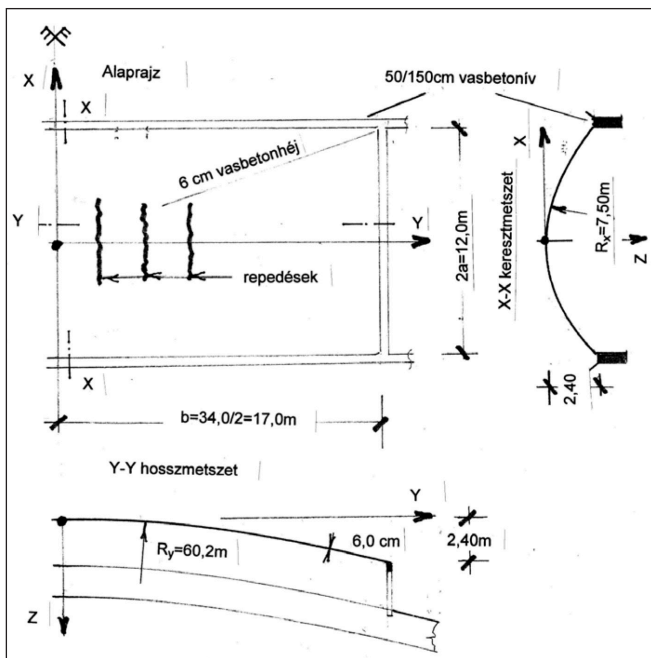
Ha a szokásos membránelmélet szerint számítunk egy négyzetalaprájú héjat, akkor azt kapjuk, hogy a teher fele az egyik, a másik fele a másik irányba boltozódik át. Ha megnyújtjuk a héjat a tényleges hosszirányban, a Csonka (1981) által ismertetett Dischinger-féle affin héj alkalmazásával a hosszirányú membránereő a hosszított, és az eredeti hossz hányadosa négyzetének megfelelő értékben megnövekszik. Ez az érték megegyezik a Menyhárd által számított értékkel.

Felmerül a kérdés, hogy ha a hosszirányban van a nagy nyomóerő, hogyan keletkeztek a héjon a keresztirányú repedések. Meggondolva a dolgot, kiderül, hogy a melegebb belső tér és a külső (téli) hidegebb légtér a hőszigetetlen héjon hosszirányban húzást okozhat. Ez a húzás a számítás szerint azonban mindenképp kisebb, mint a hosszirányú nyomás, és keresztirányú repedés csak akkor keletkezhet, ha a hosszirányú nyomás a középvonalban jóval kisebb, mint az egyszerű (egzakt) membránelmélet szerint számított. Valóban, ha a kompatibilitási feltételből a héj középpontjára felírjuk az erőket, kiderül, hogy a héj középvonalában a hosszirányú membránereő jelentősen lecsökken, a keresztirányú viszont megnövekedik, az összeférhetőségi feltétel teljesítése miatt. Így már lehetséges a keresztirányban futó repedések létrejötte. Ez egyben azt is jelenti, hogy a héj a fél tehernél nagyobb részt ad le keresztirányban, a hosszirányú peremívekre.

Statikai vizsgálat

A szemléltető, egyszerűsített számítást a vízszintesre vetített héjmodellel mutatjuk be. (Menyhárd is így számította.) Ennek csak a felét láthatjuk a 3. ábrán, melyen az alkalmazott jelöléseket is feltüntettük. A hosszanti vasbeton peremívek jobboldalt kifutnak a támaszokat képező alapokig.

Az egyszerűsített számítást 2,50 kN/m² felületi teherre mutatjuk be, Menyhárd (1942) is erre a teherre tervezte a szerkezetet.



3. ábra: A héj vízszintesre vetítve

A vizsgálat során az X-X keresztmetszetben ébredő n_y metszeti membránérőt határozzuk meg, először a szokásos, (egzakt) membránelmélet szerint. Ezután számításba véve az elhanyagolt kompatibilitási egyenletet, meghatározzuk az n_y metszeterőt a kompatibilitást is figyelembe véve (teljes membránelmélet), és összehasonlítjuk a kétféle számítási eredményét.

Számítás a szokásos (egzakt) membránelmélettel

$$y=0, x=a \text{ helyen: } n_y = p \cdot R_y = 2,5 \cdot 60,2 = 150,5 \text{ kN/m,}$$

$$y=0, x=0 \text{ helyen: } n_y = 0,5 \cdot p \cdot R_y = 0,5 \cdot 2,5 \cdot 60,2 = 75,25 \text{ kN/m,}$$

$$y=b, x=0 \text{ helyen: } n_x = p \cdot R_x = 2,5 \cdot 7,5 = 18,75 \text{ kN/m.}$$

$$y=0, x=0 \text{ helyen: } n_x = 0,5 \cdot p \cdot R_x = 0,5 \cdot 2,5 \cdot 7,5 = 9,38 \text{ kN/m.}$$

A teher egyik fele az x, másik fele az y irányban boltozódik át. Tehát így számítva a héj igénybevétele az y irányban lényegesen (nyolcszor) nagyobb, mint az x irányban. Az ívekre az n_{xy} nyírás közvetíti az n_x és n_y membrán metszeterőket. Az egy ívre átadódó eltoló T erő (az n erők összege):

$$T_y = 6,0(150,5 - 0,67 \cdot 75,2) = 602 \text{ kN, és } T_x = 17(18,75 - 0,67 \cdot 9,38) = 212 \text{ kN.}$$

Számítás a kompatibilis (teljes) membránelmélettel

Szmodits (1966) szerint a csak függőleges p teherrel terhelt membránhéj kompatibilitási (összeférhetőségi) egyenletei a következők:

$$D(u'' - w'/R_x) + 0,5 \cdot D(u'' + v'') = 0, \quad D(v'' - w'/R_y) + 0,5 \cdot D(u'' + v'') = 0, \quad (2) \quad (3)$$

$$(D/R_x)(u' - w/R_x) + (D/R_y)(v' - w/R_y) = p. \quad (4/a)$$

Itt u ill. v az x, ill. az y irányú felületsíkú eltolódás, w a felületre merőleges elmozdulás, R_x a (w,z) síkú, R_y pedig az (y,z) síkú felületi görbületi sugár, és D a nyúlási merevség.

A továbbiakban csak az $x=0, y=0$ héjközéppontot vizsgáljuk, és feltesszük, hogy a héj mindkét irányban szimmetrikus kialakítású.

Ekkor $w=w_0$, jó közelítéssel konstansnak tekinthető, és így

$$w' = w'' = 0, \quad u = v = 0,$$

valamint

$$u'' = v'' = u' = v' = 0.$$

Így a (2) és a (3) egyenlet azonosan kielégül, és a (4) egyenlet a következő lesz:

$$D \cdot w/R_x^2 + D \cdot w/R_y^2 = p. \quad (4/b)$$

Az x és y irányokat szétválasztva: $p = p_x + p_y$, és $w_x = p_x \cdot R_x^2/D$, és $w_y = p_y \cdot R_y^2/D$. Mivel w_x és w_y ugyanarra a pontra vonatkoznak, így $w_x = w_y = w_0$. Egyenlővé téve a két egyenletet, és figyelembe véve, hogy:

$$p = p_x + p_y$$

és hogy D és w kiesik, az egyenlet:

$$(p - p_y) = p_y (R_y/R_x)^2.$$

Innen

$$p = p_y (1 + R_x^2/R_y^2), \text{ és ebből}$$

$$p_y = p / [1 + (R_x^2/R_y^2)] \text{ és}$$

$$p_x = p / [1 + (R_x^2/R_y^2)]. \quad (5/a, 5/b)$$

A teljes (kompatibilis) membránszámítással:

$$n_y = p_y \cdot R_y \cdot E, \text{ és } n_x = p_x \cdot R_x.$$

Ezek után a héj metszeterői a az (5) egyenletek figyelembevételével a héj középpontjában:

$$y=0, x=a \text{ helyen: } n_y = p \cdot R_y = 2,5 \cdot 60,2 = 150,5 \text{ kN/m,}$$

$$y=0, x=0 \text{ helyen: } n_y = p \cdot R_y / [1 + (R_x^2/R_y^2)] = 2,5 \cdot 60,2 / [1 + (60,2^2/7,5^2)] = 2,30 \text{ kN/m,}$$

$$y=b, x=0 \text{ helyen: } n_x = p \cdot R_x = 2,5 \cdot 7,5 = 18,75 \text{ kN/m.}$$

$$y=0, x=0 \text{ helyen: } n_x = p \cdot R_x / [1 + (R_x^2/R_y^2)] = 2,5 \cdot 7,5 / [1 + (7,5^2/60,2^2)] = 18,46 \text{ kN/m.}$$

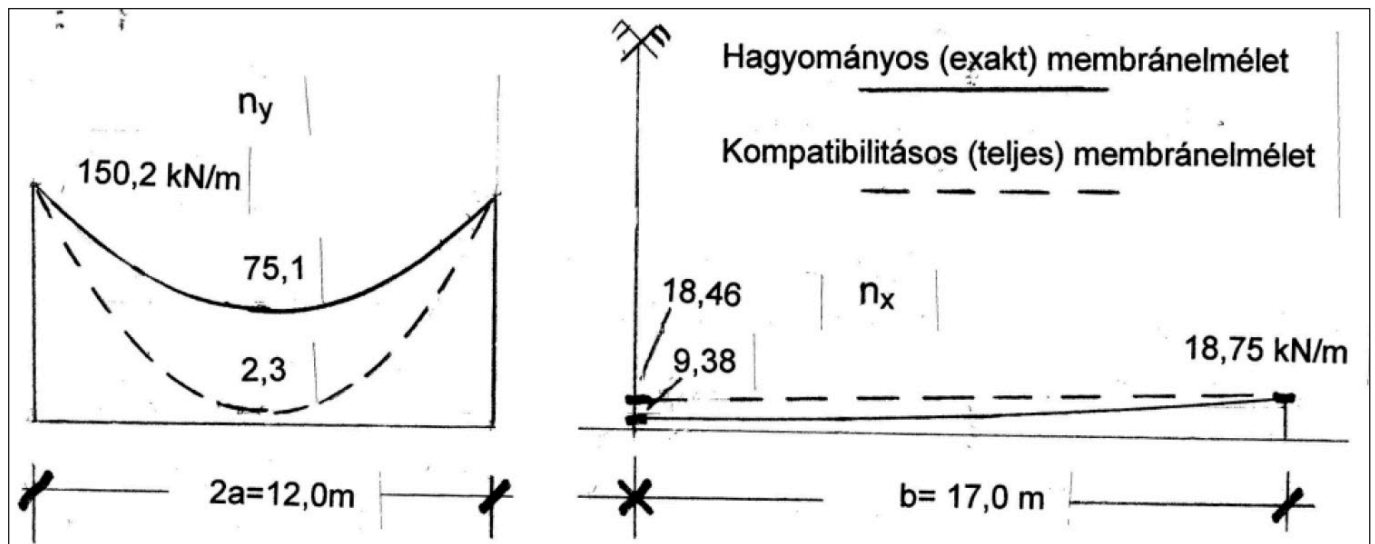
A teher nagyobb része az x, a kisebb része az y irányban boltozódik át. Tehát így számítva a héj igénybevétele az x irányban lényegesen (nyolcszor) nagyobb, mint az y irányban. Az ívekre az n_{xy} nyírás közvetíti az n erőket. Az egy ívre átadódó eltoló erő (az n erők összege):

$$T_y = 6,0(150,5 - 0,67 \cdot 148,2) = 307,2 \text{ kN, és } T_x = 17(18,75 - 0,67(18,75 - 18,46)) = 316,5 \text{ kN.}$$

4. ÉRTÉKELÉS

A két eredmény között elég jelentős az eltérés, ami különösen gondolatébresztő a héjat megtámasztó peremívek tekintetében. Az y irányú peremívekre ugyan csak fele akkora eltoló erő jut, de ugyanakkor kétszeres függőleges teher terheli.

Az eredmény megmagyarázza, hogy hogyan tudott kialakulni a héjon a keresztirányú repedésrendszer. A fűtetlen csarnok belső hőmérséklete +5~10 °C-ra tehető, ugyanis az autóbuszok motorjának melege temperálja a belső teret. Ugyanez lehet a hőmérséklete a lefelé álló peremíveknek is. A hőszigetetlen héjlemez hőmérséklete pedig téli viszonyok között mínusz 10~15 °C fokra becsülhető. Ez a hőmérséklet-



4. ábra: A metszeterők az x-x és az y-y tengelyekben

különbőség felül, a héjlemez közepén húzást okoz. Ha az y irányban a szokásos membránszámítás szerinti nagy nyomás alakult volna ki, a repedések nem jöhettek volna létre, mert a húzás nem repeszthette volna meg a héjat. Ha viszont a kompatibilitásos számítást nézzük, a teherből alig van nyomás y irányban a héj tengelyében, így a hőmérsékleti húzás megrepesztheti a héjat, mint ahogy az be is következett.

Meg kell jegyezni, hogy a tárgyalt anomália a centrális kupolahéjagnál nem, vagy kevéssé fordul elő, mert ez elsősorban a nyújtott elrendezésű kupolahéjak sajátja. De előfordulhat a centrális elrendezésű hiperbolikus héjagnál is.

5. A KOMPATIBILIS (TELJES) MEMBRÁNELMÉLET GONDO-LATI BEMUTATÁSA

Ha nem elégszünk meg a metszeterőknek a jellegzetes pontokon való meghatározásával, akkor meg kell keresni a feladatnak megfelelő F feszültségfüggvényt. Ennek szemléltetésére válasszunk egy függőleges p terhű, ellipszis alaprajzú héjkupolát, melynek x irányú féltengely hossza a, az y irányú pedig b. A tetőpont nyílmagassága legyen f. Az oldalnyomás mentességét egy húzott peremgyűrűvel lehet biztosítani, ha az F feszültségfüggvény a peremen zérus. A számítást Csonka (1981) szerint szemléltetjük.

Az F feszültségfüggvénynek a következőnek kell lennie: $F = A(x^2/a^2 + y^2/b^2 - 1) = A \cdot F_0 \cdot \varnothing(x, y)$. Az A együttható: $A = a^2 \cdot b^2 \cdot p/f$. A zárójel belüli tag az ellipszis pereme mentén zérus, és ezzel biztosítja az oldalnyomás-mentességet, a $\varnothing(x, y)$ függvényt pedig a tehernek megfelelően kell megválasztani. Csonka számos teherre megadta a $\varnothing(x, y)$ függvény értékét. Így pl. egyenletes teherre 0,25. Más terhekre különböző függvények, ill. függvény sorok írják le. Sajnos, nem írta fel a kompatibilitási feltételnek megfelelő $\varnothing(x, y)$ függvényt. Ezt még ezután kell meghatározni, nemcsak az ellipszis alaprajzú, hanem a téglalap alaprajzú héjak esetére is. Tájékoztatóul szolgálhat ehhez, hogy ennek a függvénynek hiperbolikusnak kell lennie, mert az egyik irányban csökkenteni, a másik irányban pedig növelni kell a teherhordást. Függvény sor esetén a sor együtthatóit kollokációs módszerrel lehet meghatározni,

annak figyelembevételével, hogy az egyensúlyozott teher a tényleges teherrel egyezzen meg az adott pontokban.

Téglalap alaprajz esetén az eljárás hasonló, de $F_0 = (1 - x^2/a^2)(1 - y^2/b^2)$, és az A együttható helyett egy, a peremívek esetleges különböző értékét figyelembevevő B együttható lesz érvényes.

6. HIVATKOZÁSOK

- Pucher, A. (1934), „Über den Spannungszustand in gekrümmte Flächen”, *Beton und Eisen*, 33/1934, 298 p.
- Menyhárd, I. (1942), „A B.Sz.K.R.T. kelenföldi autóbusz kocsiszíniének héjszerkezetei”, *Doktori értekezés*, Budapest
- Bölcskei, E. (1952), „Deformation des voiles minces”, *Acta Technica Acad. Sci. Hung.* V/4. 489 p.
- Flügge, W. (1957), „Statik und Dynamik der Schalen”, *Springer Verlag*, Berlin
- Harasta, M. (1960), „Héjszerkezetű térlefedések”, *ÉKME Tudományos Közlemények*, VI. k. 1-2.
- Reisch R. (1965), „Magasépítési héjszerkezetek 40 éve”, *Magyar Építőipar*, 722 p.
- Szmodits K. (1966), „Statik der modernen Schalenkonstruktionen”, *Werner Verlag*, Düsseldorf
- Menyhárd, I.: Héjszerkezetek. Műszaki Kiadó, Budapest, 1966.,
- Csonka P. (1981), „Héjszerkezetek”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Kollár L., Dulácska E. (1994), „Héjszerkezetek”, *BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék*

Dr. Dulácska Endre okl. építészmérnök, 1930-ban született. 1950-82 között a BUVÁTI, 1982-1992 között a Tervezésfejlesztési Intézet statikus mérnöke, szakági főmérnök. 1991-től egyetemi tanár a BME Építészmérnöki Kar Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszékén, jelenleg Prof. Emeritus. A SÁMSON Építés-Statikai Kft. ügyv. igazgatója. A Műszaki Tudomány Doktora (1983), az MTA Földregésmérnöki Nemzeti Bizottságának elnöke, és az Akusztikai Bizottság tagja. Számos korábbi szabvány kidolgozásában volt jelentős része. Szakmai munkásságát nyolc könyve, több mint 200 publikációja, és mintegy 200 épülete fémjelzi. Hivatkozottsága is 200 feletti. A Magyar Mérnöki Kamara választmányi tagja, a budapesti Mérnöki Kamara etikai és fegyelmi bizottság tagja, a Tartószerkezeti Tagozat elnökségi tagja. Munkássága elismeréseként Eötvös Díjat, Csonka emlékéremet, Akadémiai Díjat, Széchenyi Díjat, MTA Ötvös Koszorút, Palotás László Díjat, Köztársasági Érdemrendet, és az MMK-tól Zielinszky díjat, Kardos Andor díjat, és Aranygyűrű díjat kapott.

SOME REFLECTIONS ABOUT MEMBRANE SHELLS THEORY Endre Dulácska

Reinforced concrete membrane shells are usually designed based only on the statical equations, neglecting the internal compatibility criteria. This can cause significant errors in the longitudinal shells. The presented example illustrates the cracking pattern of a longitudinal shell. According to this, and based on theoretical considerations, in case of non-centralized shells the compatibility criteria has to be taken into account. Finally, we present the principle of the solution.

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).

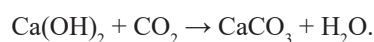
A térfogat-növekedéssel járó duzzadásos korróziót elsősorban a vízben oldott, a cementkő monoszulfát összetevőjével reakcióba lépő szulfátok okozzák: A hidratáció során a trikálcium-aluminát klinkerásvány ($3CaO \cdot Al_2O_3$) kalciumszulfát (kötés-szabályozási céllal adagolt gipszkő, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 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 (mészköv) 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).

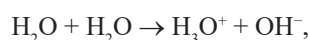
A karbonátosodás 30-70% közötti relatív páratartalom mellett a legerőteljesebb; 100% relatív páratartalom esetén leáll, mert a beton pórusai vízzel telítettek, 0% relatív páratartalom közelében pedig hiányzik a víz a karbonátosodáshoz.

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 diszociált 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 (H_3O^+) és hidroxilionra (OH^-) bomlik (Neumüller, 1983):



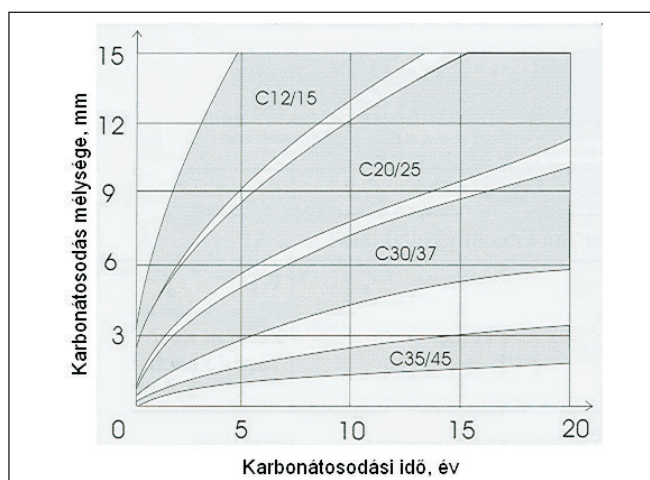
és ezek egyensúlyi koncentrációja:

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

amiből a víz egyensúlyi állandója:

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

Mivel a víz disszociációfoka (α) rendkívül kicsi (25°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 dm^3 vizes híg oldatban lévő hidrogénionok mol-ban kifejezett mennyisége; semleges kémhatású vízben 10^{-7} mol/dm^3 , (azaz $\text{pH} = 7$), savanyú oldatban ennél nagyobb (például 10^{-4} 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 általánosan, 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 (Zementmerklebblätter T3, 2009)

Csatornafalon lecsapódott vízcsappék 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 ²	gyenge	Finom részek eróziója	> 80	
3 - 6	10 ³ - 10 ⁵	közepes	< 0,5	> 40	Beton-technológiai intézkedések
0 - 3	10 ⁶ - 10 ⁸	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 (S²⁻) 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; Zementmerklebblätter 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⁻ iont tartalmazó vegyületei), karbonátjai (CO₃²⁻ iont tartalmazó vegyületei) és hidrogén-karbonátjai (HCO₃⁻ 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⁺) száma, amelyet egy sav leadni, illetve a hidroxilionok (OH⁻) száma, amelyet egy lúg leadni képes. 1,0 val = 1,0/(az ion vegyértéke) mol, például szén-sav (H₂CO₃) 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/dm³ = 0,001 val/dm³ keménységű víz 1,0 dm³-ében 1,0 mg egyenértékűsúlynyi keménységet okozó kalcium- és/vagy magnézium-só van feloldva. 1,0 mval/dm³ keménység megfelel 2,805 °nk német keménységi foknak (2,805 a kalcium-oxid molekulatömegének tizedrésze, tekintve, hogy a titráláshoz 0,1 mol/dm³ koncentrációjú sósavat használnak).

Megjegyzés: Anyagmennyiség-koncentráció (c_B) alatt az 1,0 dm³ oldatban (V_0) lévő, M_B moláris tömegű oldott anyag mólokban kifejezett kémiai anyagmennyiségét (n_B) értjük mol/dm³ vagy mmol/cm³ mértékegységben:

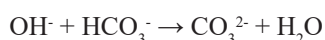
$$c_B = \frac{n_B}{V_0} = \frac{m_B/M_B}{V_0}$$

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/dm³, tehát a molaritás relatív anyagmennyiség-koncentráció.

Vizes oldatban egymás mellett csak hidroxilok és karbonátok, vagy hidrogén-karbonátok és karbonátok lehetnek jelen. Hidroxil (OH⁻) és hidrogén-karbonát (HCO₃⁻) 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_T-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_p-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/dm³ koncentrációjú sósav ml-einek száma a p és m lúgosság értékét mval/l-ben adja meg.

A lúgosság értékét szabványosan – egyértékű ionra számolva – H⁺ mmol/dm³, esetleg H⁺ mmol/liter mértékegységben adják meg. A lúgosság szabványos mértékegységét (H⁺ mmol/dm³) 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/dm³-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 cm³-ben, B a vízminta titrálásakor a metilnarancs színátcsapásáig, illetve a 4,4 pH-érték eléréseig fogyott sósav, illetve kénsav mérőoldat térfogata cm³-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 CaCO₃ mg/dm³ között ingadozik, és a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. vizsgálati eredményei alapján a konyhai hulladékok pH-értéke mintegy 5,0 és karbonát-lúgossága ~1570 CaCO₃ mg/dm³.

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⁺-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 (NH_3) vezetünk, akkor ammóniumionok (NH_4^+) és hidroxilionok (OH^-) képződnek, ahol az NH_3 és az OH^- „Protonakzeptor”, azaz lúg (Base), miközben az NH_4^+ és a H_2O „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, CaSO_4 ; magnézium-szulfát, MgSO_4), kloridok (például kalcium-klorid, 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 mg/dm^3 mértékegységben. Az állandó keménységet mmol/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 mol/dm^3 , vagy kis koncentráció esetén mmol/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: nk° , német nyelvterületen: $^\circ\text{dH}$. A víz $1,0 \text{ nk}^\circ$ keménységű, ha $10 \text{ mg}/\text{dm}^3$ kalcium-oxiddal (CaO) egyenértékű kalciumvegyületet vagy $7,19 \text{ mg}/\text{dm}^3$ magnézium-oxiddal (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 dm^3 vízben lévő 10 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 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 (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 dm^3 vízben lévő 10 mg kalcium-karbonát $10/100,1 = 0,100$

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 nk° felett nagyon kemény.

Az SI mértékegység-rendszerhez igazodva a víz keménységének a mértékét újabban mmol/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 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 CO_2 tartalom közül a nagyobb agresszív hatású tényezőt vesszük figyelembe.
- Nagyobb karbonát-keménység és szabad 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° 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 dm³ 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 ³	> 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/dm³.

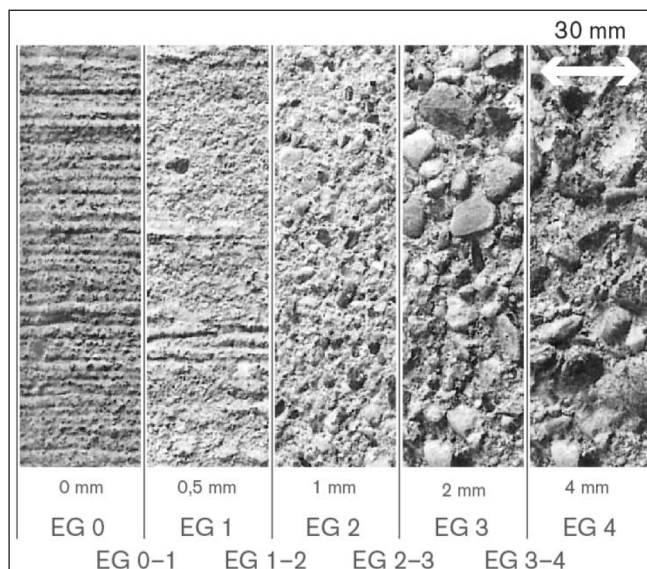
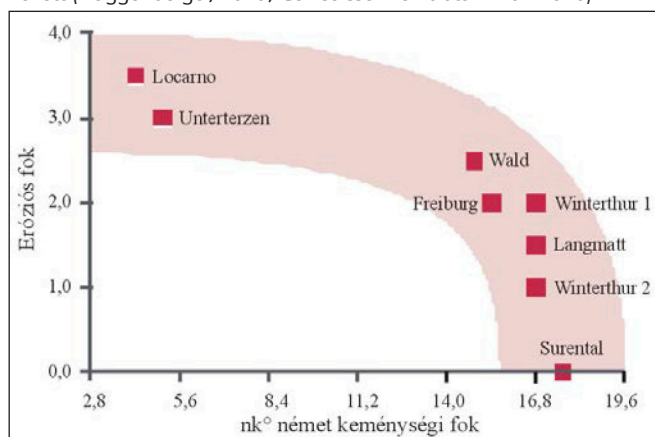
irányelv szerint a vízkeménység a mész-szegény területeken általában kicsi (≤ 1,5 mmol/dm³), és rövid ideig kicsi lehet kiadós eső után. Ha a vízkeménység kicsi, akkor a szennyvíznek a betonfelületi kalcium-karbonát védőréteg kialakításához szükséges hidrogén-karbonát-tartalma is kicsi.

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 karbonátiókhöz 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/dm³ mértékegységben a

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

képlettel kapjuk meg, ahol „f” az EDTE-mérőoldat kalcium- vagy magnézium-alapoldatra beállított faktora és „a” az EDTE-mérőoldat fogyása cm³ mértékegységben.

Az MSZ 448-21:1986 szabvány szerint az összes keménység (c_{OK}) a kalciumion-koncentráció ($c_{Ca^{2+}}$) és a magnéziumion-koncentráció ($c_{Mg^{2+}}$) ismeretében CaO mg/dm³ mértékegységben a következő képlettel is kiszámítható: $c_{OK} = 1,40 \cdot c_{Ca^{2+}} + 2,33 \cdot c_{Mg^{2+}}$ ahol 1,40 a CaO/Ca átszámítási faktor és 2,33 a CaO/Mg átszámítási faktor.

A karbonát-keménység CaO mg/dm³ 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/dm³ 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 cm³ térfogatú részének 0,1 mol/dm³ koncentrációjú sósav mérőoldattal, pH = 4,3 értékig való titrálásával határozható meg. A keménységet CaO mg/dm³ vagy mmol/dm³ mértékegységben kell megadni.

Mínthogy a CaO molekulatömege 56 g/mol, 10 mg/dm³ CaO-keménység 10/56 = 0,179 mmol/dm³ CaO-keménységnek (a német szabvány szerint alkáliföldfém-keménységnek) felel meg, és 10 mg/dm³ CaO-hidrogén-karbonát-keménység ennek kétszeresével, 0,357 mmol/dm³ hidrogén-karbonát-keménységgel egyenértékű.

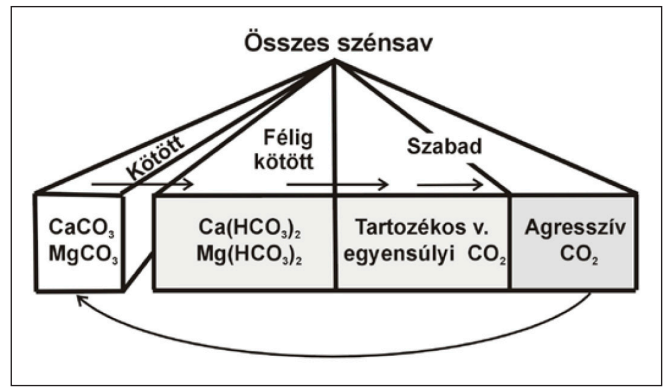
Az ASTM D 1126:2012 szabvány alapján a tiszta, vegyszerektől mentes, kalciumot vagy magnéziumot tartalmazó vizek keménységét lehet titrálással meghatározni. A vizsgálati eljárás alsó felismerési határa megközelítőleg 2-5 CaCO₃ mg/dm³; a felső határ a vízminta hígításával minden koncentráció esetén beállítható. 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(HCO₃)₂) és magnézium-hidrogén-karbonát (Mg(HCO₃)₂) oldatban tartásához szükséges egyensúlyi (tartozékos) széndioxid és az agresszív széndioxid mennyiségének összege (4. ábra). Ha összeadjuk a szabad széndioxid (H₂CO₃^{*}), a félig kötött hidrogénkarbonátion (HCO₃⁻) és a kötött karbonátion (CO₃²⁻) CO₂-tartalmának koncentrációját moláris alapon, akkor megkapjuk a vízben lévő összes CO₂-koncentrációját (Wisotzky, 2011).

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

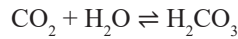
Zárt rendszerben, amelyben a légnemű anyagok cseréje nem jön létre, ahogy ez a mélyebben lévő talajvizek esetén feltételezhető, az összes széndioxid-tartalom lényegében állandó, és megoszlik a különböző CO₂-fajták között. A kapilláris vizek tartományának nyílt rendszerében vagy a talajvizek légkörrel



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 CO₂ résznyomástól függ (Wisotzky, 2011).

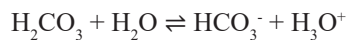
A szénsav (H₂CO₃) a széndioxid (CO₂) és a víz (H₂O) reakciójának terméke, aminek következtében a szénsav kifejezést sok esetben a széndioxid szinonimájaként használják. A széndioxid vízben viszonylag jól oldódik, és a vízzel a hőmérséklettől függő mértékben, szénsavat képez:



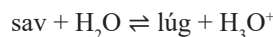
A következő reakció-egyenlet szerint a szénsavban a vízben oldott széndioxidnak csak 0,2%-a jelenik meg (Wisotzky, 2011):

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

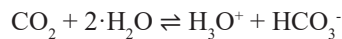
A szénsav (H₂CO₃) a vízben disszociál, azaz hidrogén-karbonátionra (HCO₃⁻) és hidroxóniumionra (más néven: hidróniumionra, oxóniumionra: H₃O⁺) bomlik:



általános alakban:



és ez a folyamat egy kémiai egyenletbe összevonva azt fejezi ki, hogy mind a CO₂, mind a H₂O kész egy protont (hidrogént) felvenni:



Ha a szénsavas egyenletben gondolatban elvonatkoztatunk a víztől és a hidroxóniumiontól (H₃O⁺), akkor megmarad a szénsav (H₂CO₃) és a hidrogén-karbonátion (HCO₃⁻), amelyek anyagmennyiségének koncentrációja (c) egyensúlyban van. Ha a szénsav (H₂CO₃) hajlama a proton (hidrogén) leadásra erős – pK_s-értéke kicsi – és a hidrogén-karbonátion (HCO₃⁻) hajlama gyenge – pK_B-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: mol^2/dm^6 , a savé (K_s) és a lúg (K_b): mol/dm^3 .

A pK_s -érték egyenlete a reakcióban résztvevő anyagok mennyiségének c [mol/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.

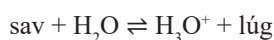
Az anyagmennyiség-koncentrációja (c) alatt az anyagmennyiség (n) és az össztérfogat ($V_{\text{összes}}$) hányadosát értik, amely gyakorlatilag a részecskék (atomok és molekulák) Avogadro-állandóval (N_{Avogadro}) osztott térfogategységre eső számával ($N/V_{\text{összes}}$) egyenlő (DIN 1310:1984, DIN 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 mol/m^3 , gyakorlati mértékegysége mol/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:

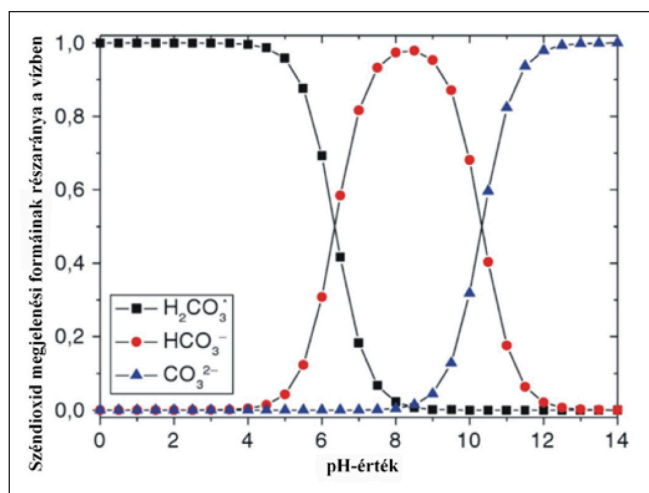


$pK_s = 6,52$, tehát a szénsav (H_2CO_3) közepesen erős sav, és $pK_b = 7,48$, tehát a hidrogén-karbonátion (HCO_3^-) közepesen erős lúg (<http://www.chemie.de/lexikon/Säurekonstante.html>).

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 H^+ ionok koncentrációját írja le, függvénye az oldat hígításának, és az anyag savságának mértékéről közvetlenül nem ad tájékoztatást.

A vizekben a szénsav kalcium-karbonát (CaCO_3) és magnézium-karbonát (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, CO_2) formájában lehet jelen.

A szénsav képződése és disszociációja a pH-értéktől függ



5. ábra: A széndioxid megjelenési formáinak, a szabad szénsavnak (H_2CO_3^*), a félig kötött hidrogén-karbonátionnak (HCO_3^-) és a kötött karbonátionnak (CO_3^{2-}) részaránya a vízben a pH-érték függvényében (Wisotzky, 2011)

(5. ábra); ha a pH-érték csökken, akkor több a hidrogénion (H^+) és a széndioxid (CO_2); ha a pH-érték növekszik, akkor kevesebb a hidrogénion (H^+) és több a karbonátion (CO_3^{2-}) és bizonyos határig a hidrogén-karbonátion (HCO_3^-). Ha a pH-érték 4,3 alatt van, akkor kizárólag szénsav (H_2CO_3^*) – mint egyetlen széndioxid fajta – van a vízben, a karbonátionok (CO_3^{2-}) gyakorlatilag csak $\text{pH} = 8,2$ felett jelennek meg. A talajvizek esetén gyakori 4,3 és 8,2 pH-érték között szénsav (H_2CO_3^*) és hidrogén-karbonát (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: H_2CO_3^* a vízben oldott széndioxid és tényleges szénsav együttesének jele.

A logaritmikus 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 (H_2CO_3), 6,3 és 10,2 közötti pH-érték esetén ($pK_1 < \text{pH} < pK_2$) a félig-kötött hidrogén-karbonátion (HCO_3^-), és 10,2 pH-érték felett ($\text{pH} > pK_2$) a kötött karbonátion (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:

$$K_s = y = \text{savállandó, a sav disszociációs állandója, mol/dm}^3$$

$$[\text{H}^+] = x = \text{hidrogénion-koncentráció, mol/dm}^3$$

$$[\text{A}^-] = \text{savmaradék-koncentráció, mol/dm}^3$$

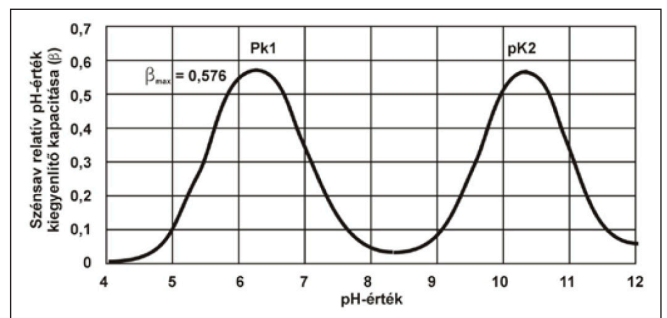
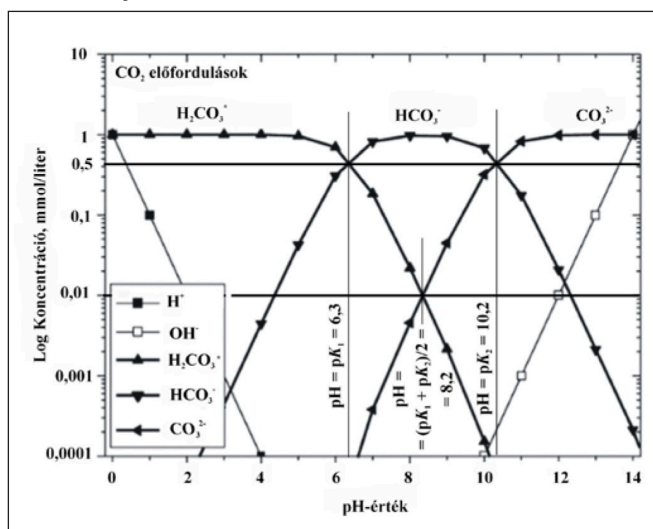
$$[\text{HA}] = \text{sav-koncentráció, mol/dm}^3$$

$$c = \text{az oldat koncentrációja, mol/dm}^3$$

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 (β), 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 (β) 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 (H_2CO_3^*), a félig kötött hidrogén-karbonátiónnak (HCO_3^-) és a kötött karbonátiónnak (CO_3^{2-}) a részaránya 1,0 mmol/dm³ 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 (β) 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 savállandó 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 CO₂-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/dm³ hidrogén-karbonát koncentrációjú, mintegy 6,3 pH-értékű talajvíz pH-érték kiegyenlítő-kapacitása 4 pH-értékig 7-8 mmol/dm³.

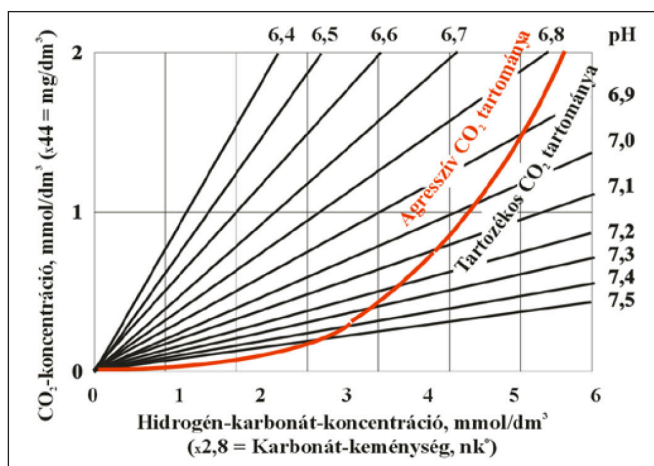
A nagy kalciumtartalmú talajvíz vezető réteg nagy pH-érték kiegyenlítő-kapacitása esetén nem tapasztalható a talajvíz savanyodása a savas esőkkel bevitt savak és az NH₄⁺-ionok nitrifikációja ellenére sem. Ennek ellenkezője áll fenn, illetve a talajvíz savanyodása mérsékelt a kalciumot nem tartalmazó 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/dm³, és 1,0 dm³ 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 CO₂-előfordulások Tillmanns-féle kalcium-szénsav egyensúly függvényét ábrázolja (Tillmanns et al., 1912). A görbe minden pontjához egy meghatározott pH-érték tartozik. Emelkedő HCO₃⁻-koncentráció esetén a szabad CO₂ egyensúlyi koncentrációja is növekszik, miközben a pH-érték csökken. Így a kalcium-szénsav egyensúlyban lévő kemény vizek a lágy vizekhez képest egyre nagyobb CO₂ 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/dm³, kalciumion-tartalma 370 mg/dm³, szabad széndioxid-tartalma 965 mg/dm³, kötött széndioxid-tartalma 585 mg/dm³ (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/dm³ mértékegységben kifejezett ionerősség (μ) 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/dm³ koncentrációjú szénsav-oldat (H₂CO₃) ionerőssége:

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

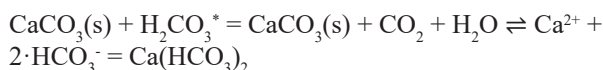
A világhálón számos – főleg akvaristák által készített – táblázatot lehet találni, amelyekben a pH-érték és a változó keménység (karbonát-keménység) függvényében megadják a 20 °nk német keménységi foknál lágyabb vizek szabad széndioxid-tartalmát általában mg/dm³ mértékegységben (7. táblázat).

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



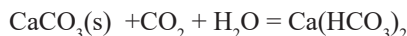
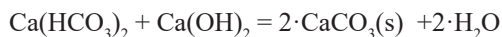
9. ábra: Zsóry-fürdőben eltávolított vízkő kiválás (A fényképet Szakáll Sándor, a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszékének vezetője bocsátotta rendelkezésünkre)

karbonát (Ca(HCO₃)₂)-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 (H₂CO₃) agresszivitása abban nyilvánul meg, hogy az agresszív széndioxid a beton kötőanyagának kationjait (Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺) 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:

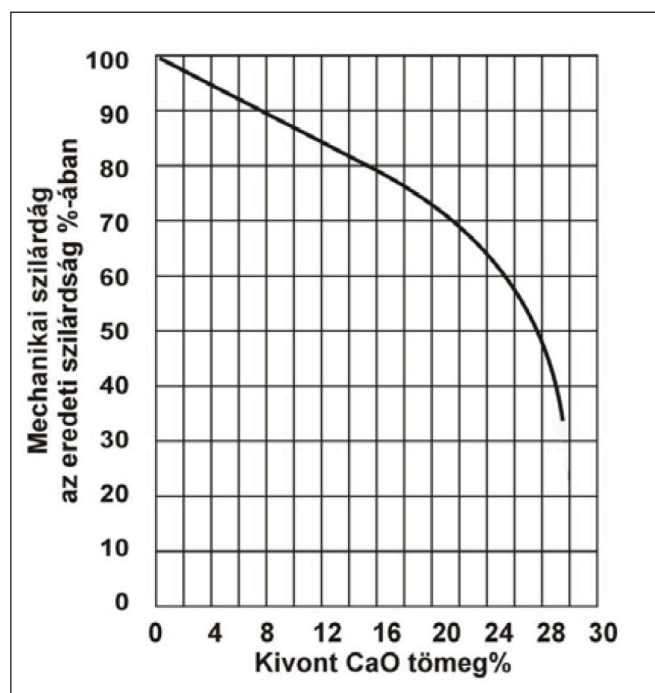


Bár a keletkezett kalcium-karbonát a beton pórusait időlegesen eltömi, az agresszív széndioxid a kalcium-karbonát újból bekövetkező feloldása folytán a beton nagymértékben kilúgozódik, és a cementkő, illetve a beton szilárdsága jelentősen csökken (10. ábra). A CaO fokozatos kivonásakor a szilárdságcsökkenés 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 CO₂-tartalom esetén is agresszív lehet, a kemény víz csak nagy CO₂-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 (CO₂) 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 mg/dm³ 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)

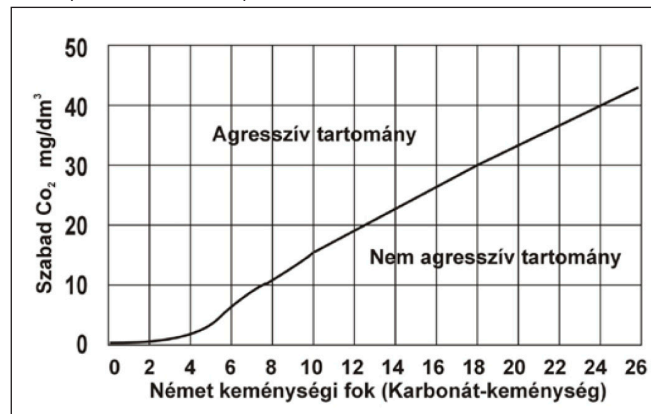
Krenkler (1980) szerint a cementkő főbb összetevői közül a széndioxid (CO₂) vizes oldatában a

- kalcium-hidroxid, szabad (Ca(OH)₂) erősen oldódik,
- trikálcium-szilikát-hidrát (3CaO·2SiO₂·xH₂O) közepesen oldódik,
- tetrakalcium-aluminát-hidrát (4CaO·Al₂O₃·xH₂O) kissé oldódik,
- tetrakalcium-aluminát-ferrit-hidrát (4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃·xH₂O) kissé oldódik.

A víz kalcium-kioldó képességét (LDC, lime dissolving capacity) és agresszív széndioxid-tartalmát, más szóval agresszív széndioxid-kapacitását (CO_{2,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/dm³ koncentrációjú sósavval 4,3 pH-értékig titrálni kell, és meg kell határozni a titráláshoz elhasznált sósav térfogatát ml-ben (H₂). A titrálást az eredeti vízmintán is el kell végezni, amelyhez az elhasznált sósav térfogata H₁ 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/dm³ 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_{2,agresszív,mol}]) szintén mol/dm³ mértékegységben az LDC-értéket 44/56-dal szorozva kapjuk meg, ahol 44 g/mol a széndioxid (CO₂) 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 cm³ térfogatú részét 0,1 mol/dm³ koncentrációjú sósav mérőoldattal titrálni kell, eredménye ml-ben kifejezve m₁. 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 m₂. A vizsgált vízminta mészre agresszív széndioxid-koncentrációját ([CO_{2,agresszív,mol}]) a kétféle minta sósav igénye különbségének 22-szerese adja mol/dm³ 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 (CO₂) molekulatömege, és *f* a 0,1 mol/dm³ 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/dm³ mértékegységben kiszámított kalcium-karbonát kioldóképessége (LDC_{CaCO₃,mol}) azt adja meg, hogy 1,0 dm³ agresszív széndioxid-tartalmú víz hány gramm kalcium-karbonátot képes feloldani, ahol 100,1 g/mol a kalcium-karbonát (CaCO₃) molekulatömege és 44 g/mol a széndioxid (CO₂) 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 cm³ 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 cm³ térfogatú részét 0,1 mol/dm³ 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/dm³ mértékegységben.

Ha a CaO mg/dm³ mértékegységben kapott referencia vizsgálati karbonát-kioldóképességét 17,8571-del megszorozzuk, akkor a karbonát-kioldóképességet CaO mmol/m³ mértékegységben kapjuk meg, ugyanis 1,0 mg/dm³ CaO = 1/56 mmol/dm³ CaO = 1000/56 mmol/m³ CaO = 17,857143 mmol/m³, ahol 56 mg/mmol a CaO molekulatömege. Ha a német szabvány szerint CaO mg/dm³ mértékegységben kapott referencia vizsgálati karbonát-kioldóképességét 1,5696-del szorozzuk meg, akkor a karbonát-kioldóképességet CO₂ mg/dm³ mértékegységben adódik.

A DIN 4030-2:2008 szabvány szerint a víz karbonát-kioldóképességét gyors vizsgálatnál 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/dm³ 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/dm³ 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/dm³ mértékegységben kapott karbonát-kioldóképesség gyors vizsgálati eredményt 1,5696-del szorozva az eredményt CO₂ mg/dm³ 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 jelleük folytán több vonatkozásban is eltérő betontechnológiai módszerekkel csökkenthető. Míg a duzzadásos betonkorrozó 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 betonkorrozó 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 betonkorrozó 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 betonkorrozóval, 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-kőzettani 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), „Betonkorrozó, 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 kohlensauren 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-karbonáttól, a karbonáttól 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 mérszre 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, minőségellenőrzés és megfelelőségértékelés. 9. rész: Termékek és rendszerek alkalmazásának általános elvei”

MSZ EN 12176:2000 „Izszajjellemzők. 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 „Izszaj, 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 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. 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. 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 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 acélszálalás 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 CO₂ 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 CO₂, 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.

PROF. DR. TECHN. HABIL. BAURAT H.C. BÖLCSKEY ELEMÉR PÉTER 70. SZÜLETÉSNAJÁRA



Bölcskey Elemér Péter 1947. június 5-én született Budapesten. A szerkezetépítés iránti érdeklődést a szülői házból hozta megával. Építőmérnöki tanulmányait az 1965- 1970 években végezte a BME-n. A bécsi Műszaki Egyetemen (TU Wien) 1978-ban szakmérnöki képzettségre tett szert. Dr. techn. fokozatot szintén a TU Wien-en nyert. A mai soproni Nyugat-

magyarországi Egyetemen 1988-ban szerzett további doktori címet. 1995-ben ugyanott habilitált. Ezt a TU Wien 1999-ben nosztrifikálta. Több más tudományos cím mellett a gyakorlati mérnöki tevékenységhez kapcsolódó szakmai elismerésben részesült, így 2007-ben az osztrák szövetségi kancellár által adományozott tiszteletbeli építési tanácsosi rangban.

Mérnöki tevékenysége igen gazdag. E helyen munkája főbb pontjait soroljuk fel. 1972-ig Budapesten dolgozott mélyépítési tervezésben. 1972-73-ban. a bécsi Ostrowski magasépítési cég mérnöke volt, 1973-79-ig a Lukele tervező irodában projektvezető. Ezalatt 1973-75-ig közreműködött a bécsi és alsó-ausztriai körzet nagylétesítményei szerkezeti ellenőrzésében. 1976-tól önálló projektvezető jelentős építményeknél. közöttük volt pl. a bécsi munkáskamara és az általános kórház épületeinek bővítése, ill. rekonstrukciója.

1979 évi tevékenysége volt a schönbrunni állatkert madárpavilonja újjáépítése, a mariazeili drótkötélpálya-oszlopok alapjai, több ipari és magasépítési szerkezet felújítási terve. További tervezések: Irodaházak és ipari csarnokok modernizálása, a TU Wien laboratóriumi épületei átépítése, a bécsújhelyi bírósági épület felújítása és bővítése.

Kutató és szakértői munka a tartószerkezeti tervezés terén: Fa-beton öszvérszerkezetek ékelési rendszerei. Faanyagú épületszerkezetek tervezési eljárásai (az osztrák épületkarbantartó szövetséggel együttműködve).

Épületfizikai és alkalmazott építőanyag-kutatásai közül a betonjavítási módszerek kidolgozását említjük meg.

Nagy élelmiszer-üzletlánc épületei, mélygarázsok Bécsben és környékén, felsőausztriai mezőgazdasági silók, St. Pölten-i harangtorony, a bécsi Collegium Hungaricum hegesztett acél kupolája rekonstrukciója, északausztriai támfalak, templomok felülvizsgálata, rekonstrukciója, varsói üzletközpont és irodaház felújítási terve sorakoznak munkái közé.

Oktatási munkája is sokrétű. a TU Wien-en. 1979-től tanársegéd, 1985-től adjunktus. Az Anyagismereti és Anyagvizsgáló Intézetben. 1984-től megbízást kapott előadásokra és gyakorlatokra Építőanyagokból. 1991-től docens az Építőanyagok, épületfizika és tűzvédelem intézetben. Előadásokat tartott több más egyetemen (Dortmund, Weimar, Budapest, Sopron, Pozsony, St. Pölten stb.) 1999-től. rendkívüli egyetemi tanár a TU Wien-en, a magasépítési és építéstechnológiai Intézetben, az építőanyag kutatási, anyagvizsgáló és tűzvédelmi laboratórium vezetője lett. Tanított más felsőoktatási intézetekben így Kremsben előadott az építéstechnika, újjáépítés és városfelújítási témakörben, 1991-től vezetett kollégiumot vendég professzorként.

A New Design University Műszaki Karán. 2008 nyaratól színpad- és zsinórpadlás- építés mechanikája studiumokat vezetett, továbbá oktatta a statika, valamint vasbeton-, acél-, faépítmények, valamint városrendezés, műemlék-szerkezetek és alkalmazott matematika és mechanika tárgyakat.

127 publikációja jelent meg. Ezek szakterületei: betonjavítás és, alkalmazás, tartószerkezeti tervezés, (vasbeton és fa tartószerkezetek,) épületfizika, tűzvédelem – mérnöki módszerek, anyagvizsgálat, műemlékvédelem.

A felsorolás teljességre, részletes magyarázatra nem törekedhetett. A leírtakból kitűnik azonban, hogy a most 70. évét betöltő kollégánk az építőanyagok, - főként a betonok - és a mérnöki létesítmények – legnagyobb részben vasbeton szerkezetek – terén igen széles körű gyakorlati munkát végzett. Tudományos munkája az építés és a fenntartás jó minőségét és gazdaságosságát szolgálta. Ugyanezt mondhatjuk el a bécsi műszaki egyetemen és más intézményekben végzett oktató munkájáról is.

Szívesen írtuk le, hogy Bölcskey Elemér Péter professzor milyen értékes szolgálatot tett nyugati szomszédainknak. Úgy érezzük, mindezek alapjainak a közvélemény elismeréssel adózik, azaz az iskoláknak, nem utolsó sorban a Budapesti Műszaki Egyetemnek, és az ünnepelt magyarországi gyökereinek, ahonnan tudása és munkaszeretete eredt. Külön öröm számunkra a hazai kollégákhoz, intézményekhez, köztük a **fb** Magyar Tagozatához fűződő – számunkra értékes – kapcsolata.

Az ünnepi alkalomból jó egészséget, kellemes, hasznos időtöltést, magánéletében sok örömet kívánunk.

T. G.

FÖLDI ANDRÁS 75. SZÜLETÉSNAJÁRA



Földi András Budapesten született 1942. július 8-án. Szakmáját a Budapesti Geodéziai és Térképészeti Vállalat technikusaként kezdte, 1960-65 között, majd 1965-től az Uvaterv dolgozója. Időközben elvégzi a Műegyetem építőmérnöki karát, és 1969-ben diplomát szerez. Végigjárja az Uvaterv ranglétráját, tervezőmérnök, majd irányítótervező, később osztályvezető, majd az 1996-os kiválásáig irodaigazgató helyettes. Az MSc Kft. alapító tagja, 2015-ig ügyvezető igazgatója.

1978-ban acélszerkezeti szakmérnöki diplomát szerez. Fő szakterületei az acél és vasbeton szerkezetű közúti hidak, vasúti hidak, ipari létesítmények, hírközlési tornyok és szerkezetek tervezése, statikai felülvizsgálata, korszerűsítése, átalakítása és tervezői művezetése.

Legjelentősebb saját tervezésű munkái a pécsi közúti felüljáró monolit vasbeton szakasza, szolnoki Rékasi- és Kolozsvári úti felüljárók állványai, a budapesti, szentesi, kabhegyi TV-tornnyok, Lakihegyi, marcali Petőfi KH antennatornyok, Budapesti Egységes Rádiótelefon Hálózat központi Száva utcai tornya, kelenföldi, újpesti, kispesti és dorogi kikötött acélszerkezetű erőmű kémények.

Az Uvaterv osztályvezetőjeként irányította többek között az Erzsébet-, Szabadság-, és Lánchíd felújítását, a Bajai Duna-híd szélesítését, a Déli összekötő vasúti Duna-híd III. szerkezet engedélyezési és tendertervének készítését.

Az MSc Kft. az ő ügyvezetősége alatt készítette el többek között a Szekszárdi Sió-, a Simontornyai Sió-, a Kunszentmártoni Körös-, a Zalaegerszegi Zala-, és az Újpesti Duna- vasúti hidak terveit, a Ferdinánd híd átépítési terveit, a szegedi-, és szolnoki Tisza-hidak, az Árpád híd, a Szabadság híd, a Margit híd a Lánchíd felújítási terveit, a Kispesti kémény-, a BM/ORFK Hármashatárhegyi, Galyatetői és Kabhegyi tornyainak rekonstrukciós terveit.

Tagja a Magyar Mérnöki Kamarának, a **fib** magyar tagozatának. 2007. és 2013. között elnökségi tagja a MAGÉSZ Magyar Acélszerkezeti Szövetségének. 2003. és 2011. között elnöke a KTE Mérnöki Szerkezetek Szakosztályának. A Jáky díj és a Széchenyi emléklapett tulajdonosa, a KTE örökös tagja. 2015-ben megkapta a MMK Tartószerkezeti Életműdíját.

Aktív résztvevője a szerkezetépítési közéletnek, számos szakmai ankét szervezője. Ezek közül is kiemelkedik az Erzsébet híd Centenáriumával kapcsolatos tudományos ülés-sorozat és kiállítás megszervezése.

Tisztelettel köszöntjük 75. születésnapja alkalmából. D. Gy.

DR. TÓTH ZOLTÁN 75. SZÜLETÉSNAJÁRA



Dr. Tóth Zoltán 1942 július 21-én született Lébényben. A győri Révai Miklós gimnáziumba (1956-58), majd a mosonmagyaróvári Kossuth Lajos gimnáziumba járt (1958-60), és ott is érettségizett 1960-ban.

Egyetemi tanulmányait az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetemen folytatta, ott szerzett mérnöki oklevelet a hídszakon, jeles eredménnyel.

1967-68-ban a BME Építőanyagok Tanszéke által szervezett Építőipari minőségvizsgálat c. szakmérnöki oktatásban vett részt, ahol 1970 január 14-én kapott építőipari minőségvizsgáló szakmérnöki oklevelet.

1974-ben megszerezte az egyetemi doktori címet, lemezvázas szerkezetek alakváltozási és feszültségi állapota c. doktori értekezésével. Az értekezés olyan számítási módszer kidolgozásával foglalkozott, amely alkalmas bármilyen igénybevetelű és elrendezésű lemezvázas épületek (főleg előregyártott paneles épületek) alakváltozási és feszültségi állapotának meghatározására.

1994-ben a műszaki tudományok kandidátusa fokozatot szerzett Közúti hidak korróziós fáradása c. kandidátusi értekezésével. A disszertáció foglalkozott a szerkezeti anyagok, főleg a betonacél, fáradási folyamatával, ezen belül a folytonosság hibák fáradásra gyakorolt hatásával. Ilyen a

közúti hidaknál a vasbetéteken a kloridok okozta lyukkorrózió. Az így keletkezett hibák továbbterjedését a törésmechanika tételeinek alkalmazásával szimulálja. Új módszert dolgozott ki a képlékeny tartományra is kiterjesztett kontúrintegrál meghatározására, a felületi kör alakú korróziós károsodás feltételezésével.

Első munkahelye a Beton és Vasbetonipari Művek Lábatlani Gyára volt, ahol minőségellenőrzési osztályvezetőként tevékenykedett (1965-68). Utána a Győr-Sopron megyei Állami Építőipari Vállalat Házgyarában dolgozott, először minőségellenőrzési osztályvezetőként (1968-69), majd technológiai és szerkezettervezői osztályvezetőként.

Ezen gyakorlati ismeretszerzés után került az Építőipari és Közlekedési Műszaki Főiskola Hídépítési Tanszékére, majd a főiskola jogutódjaként a Széchenyi István Egyetem Szerkezetépítési Tanszékére, ahol először főiskolai adjunktus (1971-77), főiskolai docens (1977-94), majd főiskolai tanár (1994-2012) volt. Innen vonult nyugdíjba 2012-ben.

Elsősorban oktató és kutató volt. Fő tantárgyai a vasbeton szerkezetek és hídépítés volt, de oktatta a tanszék szinte valamennyi tárgyát. Kilenc főiskolai, illetve egyetemi jegyzetet írt. Tudományos munkássága során elsősorban gyakorlati (alkalmazott) tudományos problémákkal foglalkozott. Eddig 48 tudományos publikációja jelent meg és két könyvrészletet írt. Előadásokat tartott hazai és nemzetközi konferenciákon. Gazdag volt szakértői tevékenysége is. Sok híd fővizsgálatát

végezte el, és több híd felújítási, megerősítési, szélesítési terveinek elkészítésében, vagy irányításában vett részt. Szakértői, illetve tervezési tevékenységét nyugdíjba vonulása után is folytatta.

Szabadalmi: (1)

Talajfelszín alatti műtárgy és eljárás, valamint ducolat annak kialakítására. Lajstrom-szám:179213 (Társszerzőkkel); (2)

Eljárás hídszegél, vagy járda szigetelésére, és mechanikai hatásokkal szembeni védelmére szolgáló szerkezet készítésére. Lajstrom-szám: 20578. (Társszerzőkkel).

Széleskörű volt közéleti szereplése is. A Főiskolán intézeti igazgató helyettes (1981-90), közben intézeti igazgató (1984), tanszékvezető (1983-91), menedzser főigazgató-helyettes (1989994) volt.

A Közlekedéstudományi Egyesület Mérnöki Szerkezetek Szakosztály vezetőségi tagja 2010-ig, az Építéstudományi Egyesület győri csoportjának vezetőségi tagja, a Győr-Moson-Sopron megyei Mérnöki Kamara alelnöke (1998-2002), és a **fib** Magyar tagozatának tagja.

Kitüntetései, elismerései: Közlekedési Minisztérium (1985), Építésügyi És Városfejlesztési minisztérium (1986), Oktatási Minisztérium (1988), Kiváló Munkáért kitüntetés, Közlekedéstudományi Egyesület aranyjelvény (1990), Építéstudományi Egyesület Alpár-érem (2002), Közlekedéstudományi Egyesület Jáky József-díj (2003).

Jó egészséget és sok sikert kívánunk további munkájához.

B. L. Gy.

DR. TÓTH ERNŐ 80. SZÜLETÉS NAPJÁRA



Dr. Tóth Ernő 1937. június 28-án született. A Székesfehérvári Közúti Igazgatóságon és a Közlekedési Minisztériumban és háttérintézményeinél töltött aktív évtizedek után, mint a Hídosztály vezetője ment nyugdíjba 1998-ban, de nem vonult nyugalomba, hanem azóta folyamatosan dolgozik tanácsadó szakértőként, az Országos Közúti Főigazgatóság, az UKIG, majd a Közlekedésfejlesztési

Koordinációs Központ Hídosztályán.

Az utóbbi öt évben a szokásos napi feladatok (egyeztetések, hídtervek zsűrizése stb.) mellett intenzíven foglalkozott könyvírással, ill. szerkesztéssel. 2007-ben kollégáival együtt írta „Hídjaink a római örökségtől a mai óriásokig” c. könyvet, mely később német és angol nyelven is elkészült. Folytatta a megyei hídkönyvek sorozatát, Nógrád és a számára különösen kedves Veszprém megyével. A Vas megyei hidakkal – pénzügyi

lehetőségek hiányában - sajnos csak a kézirat elkészítéséig jutott el.

2009-ben, az 50. hídmérnöki konferenciára elkészítette az 1962 óta tartott konferenciákról szóló könyvet, továbbá a „Duna-hídjaink” c. kötetet. Ebben nemcsak az egyes hidak története található, hanem különböző érdekességek, minden eddigienél bővebb életrajzi gyűjtemény és irodalomjegyzék is.

Részt vett a „Duna-hidak a Fekete-erdőtől a Fekete-tengerig” c. könyv készítésében, melyben – a többi könyvhöz hasonlóan - Gyukics Péter fotói mutatják be a hidakat.

Buzdítására dr. Balázs György monumentális könyvsorozatot állított össze az építőmérnökökről és munkásságukról, ebben a munkában részt is vett. 2011-ben dr. Seregi György Margit hídról írt könyvét lektorálta.

Igyekszik könyveit és írásait rendezni, tapasztalatait, javaslatait használható állapotban átadni. E tevékenységéhez jó egészséget kívánunk.

T. H.

DR. WINDISCH ANDOR 75. SZÜLETÉSNAPIJÁRA



A **fib** Magyar Tagozata tisztelettel köszönti Windisch Andort e jubileum alkalmából. Sok tagtársunknak volt kollégája, oktatója, túlzás nélkül mondhatjuk, segítő társa, ill. tanítómestere. Nevét a vasbetonszakma köreiből (**fib**=CEB+FIP, ACI) világszerte ismerik. Folyóiratunk hagyományai szerint az ünnepelt kollégánkhoz intézett köszöntésen kívül olvasóinkkal ismertetjük a jubiláns szakmai életútját.

Windisch Andor munkássága olyan sokrétű, hogy esetében ez a köszöntés az átlagosnál hosszabb. Köszönjük olvasóink szíves figyelmét.

1942. szeptember 10-én, Budapesten született sokgyermekes családban. Szülővárosa József Attila gimnáziumának kitűnő diákja volt – meghatározó módon igen jó iskolatársak között. 1960-65-ben végezte szerkezetépítő mérnöki tanulmányait. Az ÉKME kitűnő minősítésű oklevélben részesítette, és diplomáját is kapott.

1965-ben Bölcskei Elemér egyetemi tanár előterjesztésére tanársegéd lett az ÉKME, 1968-tól BME Vasbetonszerkezetek tanszékén, ahol 1974-ben adjunktussá nevezték ki. Közben, 1965-66-ban egy évig az Ipartervben dolgozott Gnädig Miklós és Kollár Lajos mellett. A BME 1975-ben avatta műszaki doktorrá. 1980-ban szerzett mérnöki matematikai szakmérnöki oklevelet. A műszaki tudomány kandidátusa (PhD) tudományos fokozatot 1993-ban nyerte el az MTA-n. Értekezéseinek témáit vasbeton hidak statikája, ill. a vasbetonelmélet tárgyköréből választotta.

1971-ben három hónapos ösztöndíjat kapott olasz egyetemeken, 1978-ban hathónapos franciaországi ösztöndíjban részesült. Tevékenysége szakmai szervezetekben sokrétű. 1975-től 1983-ig: az MSZH beton szabványosítási bizottságának titkára. 1980-tól a CEB „Tapadás” munkabizottságának tagja. 1982-83-ban az ÉVM hivatalos építésügyi szakértője. 1984 előtt - részben társszerzőként írt – publikációi, folyóiratcikkek, egyetemi jegyzetek, könyvrészlet, konferencia-kiadványok hazánkban, ill. külföldön jelentek meg.

A tanszék majdnem összes tárgyának oktatásában részt vett. Példamutató oktató volt. Igen sokat tett a tantárgyak fejlesztéséért. A hallgatók tisztelték és szerették. Tanújelét adta annak, hogy a jó hallgatók nem azt a tanárukat kedvelik, aki engedékeny, hanem akitől sokat lehet tanulni. Sokat tett a hallgatókért. Mindig nyújtott konzultációs lehetőséget, vezetett TDK-t, részt vett a hallgatók kulturális- és sport-rendezvényeinek szervezésében.

Felkészültsége, ötletessége, anyagismerete. kitaratása vitte sikerre kísérleti munkáit. Megbízhatósága, mérnöki érzéke biztosítotték volt a tanszék szerkezetvizsgálati, tervezési és tervellenőrzési munkái terén.

Windisch Andor az egyetemünkön töltött csaknem két évtized alatt a jó tanszéki csapat egyik legkiválóbb tagja volt. Fegyelmezett volt a munkában, baráti az emberi kapcsolatokban. A szó nemes értelmében igazi egyetemi ember volt. Emberi kiválóságát, az alma mater szellemét ismereteink szerint élete megváltozott szakaszába is magával vitte.

1984 elején magánéleti körülményeinek folytán Németországba költözött. Mind nyelvtudása, mind széles szakismerete

lehetővé tette, hogy a vasbeton területén szinte töretlenül folytassa tevékenységét. 1984-től 1987-ig a Stuttgarteri Műszaki Egyetem Institut für Werkstoffe im Bauwesen tudományos kutatója volt. 1987-től 1993-ig a München székhelyű DYWIDAG világcég kutatási és fejlesztési főosztályának főmunkatársaként dolgozott. Ennek kapcsán 1987-től 1990-ig az „elektrokémiai módszerek alkalmazása a betonacél korrózió elleni védelmére” kutatási program projektvezetői funkcióját töltötte be. 1992-től a cég vezető munkatársa.

1994-ben Gallus Rehm professzor mérnöki irodájában (München) lett irodavezető. Az iroda számos tervezési és szakértői munkát végzett. Ezek között volt pl. az olimpiai stadion kábellehorgonyzásai korrózió elleni védelme, barokk templomok állagvizsgálata, egyházi központ szerkezeti terve.

1994 végétől a DYWIDAG-Systems International „vasalási és feszítési rendszerek” produktmenedzsere, 1998-tól a műszaki fejlesztési osztály vezető helyettese, főmérnök, 2002-től a vasalási és feszítési rendszerekért felelős műszaki igazgató, 2004-től európai műszaki igazgató, a központi műszaki osztály vezetője. 2007 végén nyugállományba vonult. Külső szakértőként tovább dolgozott feszítési rendszerek továbbfejlesztésén. Koordinálta az európai műszaki alkalmassági bizonyítványok megszerzéséhez szükséges kísérleteket.

1994-től az elektrokémiai korrózióvédelmi módszerek nemzetközi szabványbizottsága német tagja. A **fib** IV. bizottság tagja, két riport társszerzője. A **fib** TG IV/1 „használati határlapok” munkabizottság tagja, a **fib** IX „vasalás, feszítőacélok és rendszerek” bizottság tagja. Publikációinak száma több mint 170. Cikkei magyar, német és nemzetközi folyóiratokban, konferencia és egyéb kiadványokban jelentek meg. Munkái a beton, a betonacélok, a technológia és a vasbetonelmélet széles körét fogják át.

2005-ben elnyerte a **fib** MT Palotás László-díját. 2012 óta a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék címzetes egyetemi tanára. A BME-n diplomatervek konzulense, ill. bírálója, szemináriumok előadója, a **fib** MT kiadványaiban megjelentek írásai.

Mindez mutatja, hogy Windisch Andor híven őrzi kapcsolatait a hazai szakmai szervezetekkel és intézményekkel. Ahol csak megfordul, segíti fiatal magyar kollégáinkat. Ápolja a szakmai, és nem utolsó sorban baráti kapcsolatait, hajdani magyar tanítványaival, hazai kortársaival, sőt, amit nem tudunk eléggé magasra értékelni, az őt megelőző mérnökemzedék tagjaival. Zeneszerető barátunkról szabad Vörösmarty Mihály szavaival mondanunk, hogy „bárhová juss, mindig hű rokon”. A sikeres életpálya bizonyítja, hogy a hazai gyökerek jók, értékesek, és tehetséggel, munkaszeretettel ezek híret eredményesen lehet elvinni a nagyvilágba. Számunkra pedig az a tanulság, hogy érdemes, sőt kötelességszerű fenntartani a szakmai és baráti kapcsolatokat azokkal a honfitársainkkal, akiket az élet világunk más területére sodort.

Kívánjuk, hogy kedves barátunk nyugdíjasként is gyümölcsöző aktivitásban éljen sokáig boldog magánéletében, kedve szerinti munkában. A **fib** MT vezetősége és tagsága bízik abban, hogy hű párjával sokáig, gyakran, jó egészséggel jön hazánkba, szülőföldjére, alma materéhez, ahol kollégái, barátai mindig tisztelettel és szeretettel fogadják.

T. G.

DR. TRÄGER HERBERT 90. SZÜLETÉSNAPJÁRA



A *fib* Magyar Tagozata tisztelettel és szeretettel köszönti folyóiratunk szerkesztőjét jubiláris születésnapja alkalmából.

Träger Herbert 1927, szeptember 16-án született. E nap kerek évfordulóit örömmel ünnepelte meg a kiváló szakember igen nagy számú tisztelője. A VASBETONÉPÍTÉS is szívesen adott helyt korábban az ünnepelt érdemeinek, munkája eredményei ismertetésének.

Träger Herbert iránti tiszteletből a Makadám Klubban összegyűltek barátai és volt kollégái 2017 szeptemberében. Ez jó lehetőséget nyújtott arra, hogy gazdag életútjára visszaemlékezessünk....

Tíz évvel ezelőtt akkori munkahelye, a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ Híd Önálló Osztálya gondozásában megjelent egy kötet dr. Tóth Ernő és Hajós Bence szerkesztésében. E kiadványban közzétett 71 cikk képet adott az akkor 80 éves Träger Herbert munkásságáról.

Az itt rendelkezésünkre álló szűk hasábokon ezért ezúttal elterünk az elsősorban életrajzi adatokat ismertető köszöntéstől, csupán megkíséreljük, hogy néhány jellemző mozzanat felvilágosításával bemutassuk – főleg fiatal olvasóinknak – a nagy ívű pályát megtett mérnök szakmaszeretétét, állandó aktivitását, a jobb, korszerűbb megoldásokra való törekvését, a szaktudás készséges átadását és mindennek az értékes eredményét.

Träger Herbert bizonyára nagyon sokat hozott magával középiskolájából, a budapesti, fasori Evangélikus Gimnáziumból. Ez az iskola – főként a természettudományok terén – nagyszerű alkotók, közöttük világnagyságok pályáját alapozta meg. E szilárd alapokra épültek Träger Herbert egyetemi tanulmányai. A budapesti Műegyetem II. világháború utáni „gyűjtő” mérnöki évfolyamának eminens tagja volt. Sok kiváló évfolyamtársa közül is kitűnt igen jó műszaki érzékével, a feladatok megoldásakor tanúsított páratlan gyorsaságával és megbízhatóságával, csodálatra méltó emlékező tehetségével, gondos rajzaival, a vizsgákon szabatos feleleteivel. Az akkor még nem szakosított mérnöki stúdiumok mindegyikében otthon volt, de már megnyilvánult a hídépítési szakterület iránti fokozott érdeklődése. Erre a hídépítéstani tárgyakat oktató Korányi Imre és Mihailich Győző professzorok is felfigyeltek. Träger Herbert 22 éves volt, amikor kezébe vehette jeles minősítésű mérnöki oklevelét.

Mintha már akkor predesztinált lett volna arra, hogy a Közlekedési Minisztérium Közúti Hídosztálya minden előző ranglétrát bejárt vezetőjeként olyan mérnöki nagyságok utódja legyen, mint – teljesség nélkül, abc-rendben felsorolva – Álgay Huber Pál, Beke József, Czekélius Aurél, Gállik István, Haviár Győző, Széchy Károly.

Träger Herbert 1950-től megszakítás nélkül dolgozott a Közúti Hídosztályon. 1963-tól volt az akkori kiváló osztályvezető, Apáthy Árpád helyettese és hű munkatársa, akitől 1973-ban vette át az osztályvezetői tisztséget, amit 1988-ig töltött be. Akkor vonult nyugalomba. Ez utóbbi azonban nem helyes kifejezés, mert a most 90. évét betöltő ünnepelt azóta is híven szolgálja hatalmas tapasztalatával, sokoldalúságával, fáradhatatlanságával, nyelvtudásával, a szakterület iránti odaadásával a magyar hídépítést, az általános építéstudományt, a nemzetközi kapcsolatokat.

E köszöntő valóban csak részleges felsorolást tesz lehetővé.

Träger Herbert hidakat tervezett, nagyon nagyszámú híd létesítésének, korszerűsítésének központi irányítója volt országosan. Jelentős részt vállalt a fővárosi hidak, közülük kiemelten az Erzsébet-híd sokrétű munkáiban. E tevékenységének kitűnő minőségét nehéz leírni, de a mennyiség is sokat mond. Amikor tisztelői egy térképet készítettek, és megjelölték azokat a pontokat, amelyeknél egy-egy híd áll, amely az ő munkáját is dicséri 95, 95 jelet számolhattunk meg. Kétségtelen, hogy e hidak léte, a lehetőségek adta minősége magán viseli Träger Herbert szaktudásának, gondosságának az ismérveit.

Meghatározó volt a hídszabályzatokban való közreműködése. Tevékenységének igen nagy szerepe volt a hegesztett acél hídszerkezetek, az előregyártott vasbeton híderedák, a szabadon szerelt és szabadon betonozott feszített vasbeton hidak, a korszerű alapozási rendszerek, a hídfenntartás és a közlekedés számára jelentős híd tartozékok fejlesztésében.

Példamutatásával, szabatos magyarázataival nevelte az őt követő mérnököket, a fiatal munkatársakat, s mindazokat, akikkel a tervező intézetekben, az építő vállalatoknál, hatóságoknál munkakapcsolata volt. A szakiskolai és felsőfokú oktatási intézmények – mind az oktatók, mind a tanítványok – sokat profitáltak munkájából. Könyvek, hazai és nemzetközi folyóiratokban közzétett cikkeinek sora, doktori értekezése gazdag tapasztalatait, tudományos értékű eredményeit öntötték írásos formába. Előadásaival, konzulensi munkájával, vizsgabizottságokban való részvételével emelte az oktatás színvonalát.

A hídmérnöki konferenciák szervezője és aktív résztvevője, nemzetközi szakmai fórumok előadója, számtalan tervezési pályázat, pályamunka, értekezés bírálója.

Minden tevékenységét az igényesség, a szabatosság, a célszerűség vezette. A produktum iránt volt szigorú, a közreműködők számára segítőkész. Nagy tudása, eredményei párosultak emberi jó tulajdonságaival. Számos hivatalos elismerésben részesült. A legfőbb elismerést azonban az a tisztelet és megbecsülés jelzi, amivel a szakterület művelői évtizedeken át övezték, mind a mostani évfordulójáig.

Sokat szólhatnánk nemzetközi szakmai szervezetekben végzett munkájáról. A IABSE-IVBH-AIPC (Nemzetközi Híd- és Szerkezetépítési Egyesület) hosszú időn át aktív tagja, 1998 és 2006 között a magyar csoport elnöke. Más szakmai szervezetekben is jelentős munkát végzett. Folyóiratunk olvasói számára el kell mondani, hogy az ünnepelt a *fib* elődjének, a FIP-nek értékes, aktív tagja volt, és ezt a *fib* MT köreiből folytatta.

Különös jelentőségű számunkra, hogy már tizenkét év óta szerkesztője a VASBETONÉPÍTÉS és a CONCRETE STRUCTURES folyóiratunknak. Szervező készsége, igényessége, éleslátása, kritikai érzéke, szabatossága nagyon nagy mértékben hozzájárul ahhoz, hogy folyóirataink jól szolgálják a hazai szakemberek tájékoztatását, és a magyar vasbetonépítés jó hírét keltsék a világban.

Hálásak vagyunk megbecsült tagtársunknak a *fib* MT javára végzett eddigi áldozatkész munkájáért, és reméljük, hogy sokáig örülhetünk segítségének, jó tanácsainak.

Mindezek jegyében kívánjuk, hogy az ünnepelt tartós jó egészségben őrizze lankadatlan munkakedvét, emellett élvezze a sokszorosan megérdemelt nyugalmat is, leljen sok örömet családjában körében.

B. L. Gy.