

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF **fib**



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 KORRÓZIÓJA – SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2. rész: A cement kötőanyagú betonok
agresszív, szerves anyagok okozta oldó-
dásos fizikai, kémiai korróziója

58

DR. ALMÁSI JÓZSEF – JESZENSZKI ISTVÁN KÉT STATIKAILAG EGYENÉR- TÉKŰ VASBETON FÖDÉM- SZERKEZET-KIALAKÍTÁS ÖSSZEHASONLÍTÁSA

70

ROSZEVÁK ZSOLT – DR. HARIS ISTVÁN MONOLIT VASBETON KERETSAROK NUMERIKUS VIZSGÁLATA

1. rész: Egyirányú monoton növekvő ter-
helés

78

SZEMÉLYI HÍREK MÁTYÁSSY LÁSZLÓ KÖSZÖNTÉSE 70. SZÜLETÉSNAAPJÁN DR. KAUSAY TIBOR KÖSZÖNTÉSE 85. SZÜLETÉSNAAPJÁN

87

fib BULLETIN 83, 84

88

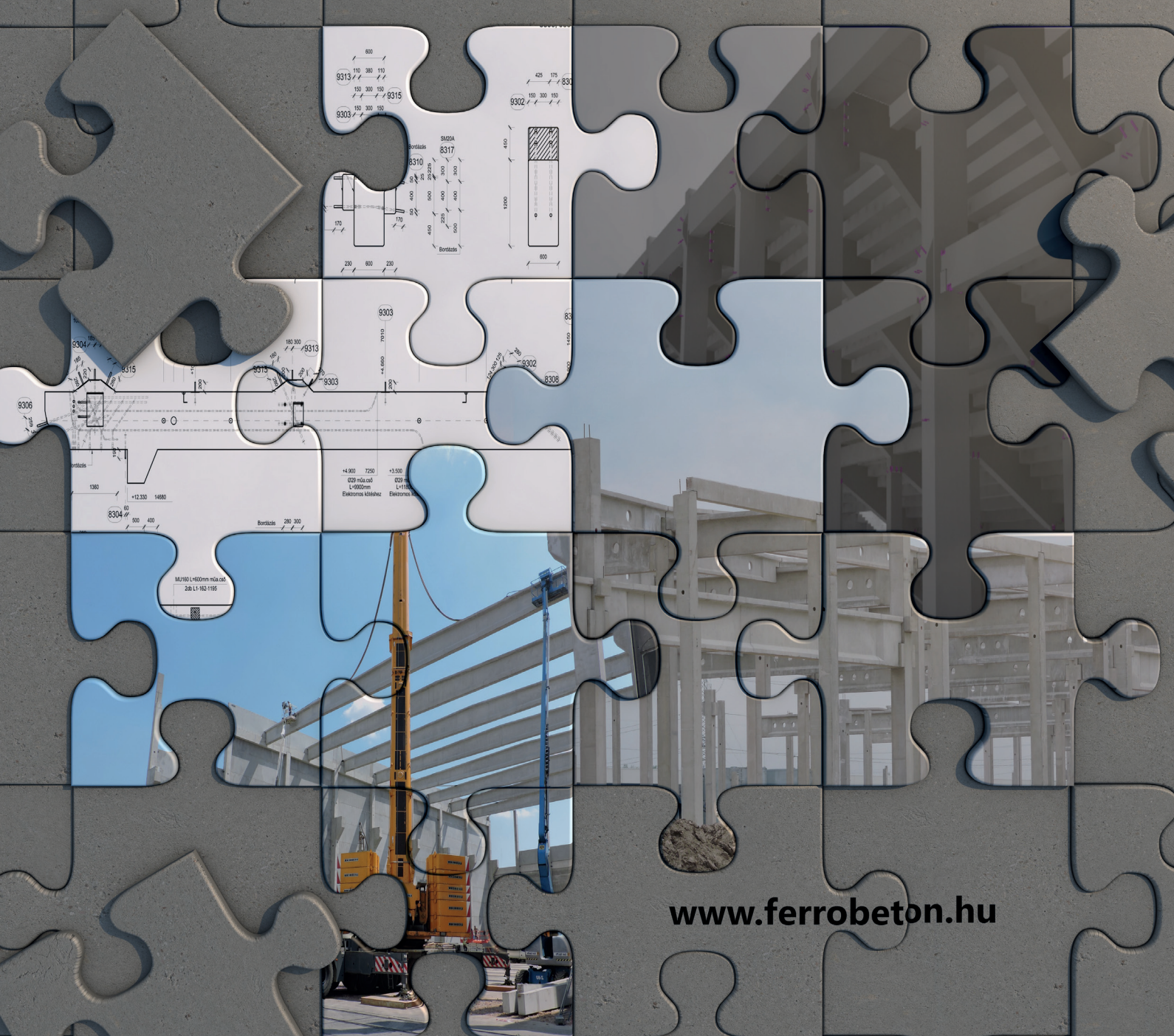
2019/3

XXI. évfolyam, 3. szám



FERROBETON

beton biztos alapokon



www.ferrobeton.hu

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Dr. Träger Herbert

Szerkesztőbizottság:

Barta János
Dr. Csíki Béla
Dr. Czoboly Olivér
Dr. Erdélyi Attila
Dr. Farkas György
Kolozi Gyula
Dr. Koris Kálmán
Dr. Kopecskó Katalin
Dr. Kovács Károly
Dr. Kovács Imre
Dr. Kovács Tamás
Lakatos Ervin
Dr. Lublóy Éva
Mátyássy László
Dr. Móczár Balázs
Dr. Nehme G. Salem
Dr. Orbán Zoltán
Pisch Zsuzsanna
Polgár László
Dr. Sajtos István
Telekiné Királyföldi Antónia
Dr. Tóth László
Várdai Attila
Dr. Völgyi István
Vörös József

Lektori testület:

Dr. Dulácska Endre
Királyföldi Lajosné
Dr. Loykó Miklós
Madaras Botond
Dr. Madarasz Gábor
Dr. Orosz Árpád
Dr. Ratay Robert
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: Braun Gergő

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

Címlapfotó:

Átkötő rúd helyének esztétikus lezárása

Fotó: Dr. Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

- 58** 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**

2. rész: A cement kötőanyagú betonok agresszív, szerves anyagok
okozta oldódásos fizikai, kémiai korróziója

- 70** DR. ALMÁSI JÓZSEF – JESZENSZKI ISTVÁN
**KÉT STATIKAILAG EGYENÉRTÉKŰ VASBETON
FÖDÉMSZERKEZET-KIALAKÍTÁS ÖSSZEHA-
LÍTÁSA**

- 78** ROSZEVÁK ZSOLT – DR. HARIS ISTVÁN
**MONOLIT VASBETON KERETSAROK
NUMERIKUS VIZSGÁLATA**

1. rész: Egyirányú monoton növekvő terhelés

- 87** **SZEMÉLYI HÍREK**
MÁTYÁSSY LÁSZLÓ KÖSZÖNTÉSE 70. SZÜLETESNAPJÁN
DR. KAUSAY TIBOR KÖSZÖNTÉSE 85. SZÜLETÉSNA-
PJÁN

- 88** **fib BULLETIN 83, 84**

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., Uvater 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

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

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

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

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

1. BEVEZETÉS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Az MSZ 17213-1:1989 szabvány szerint:

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

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

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

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

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

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

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

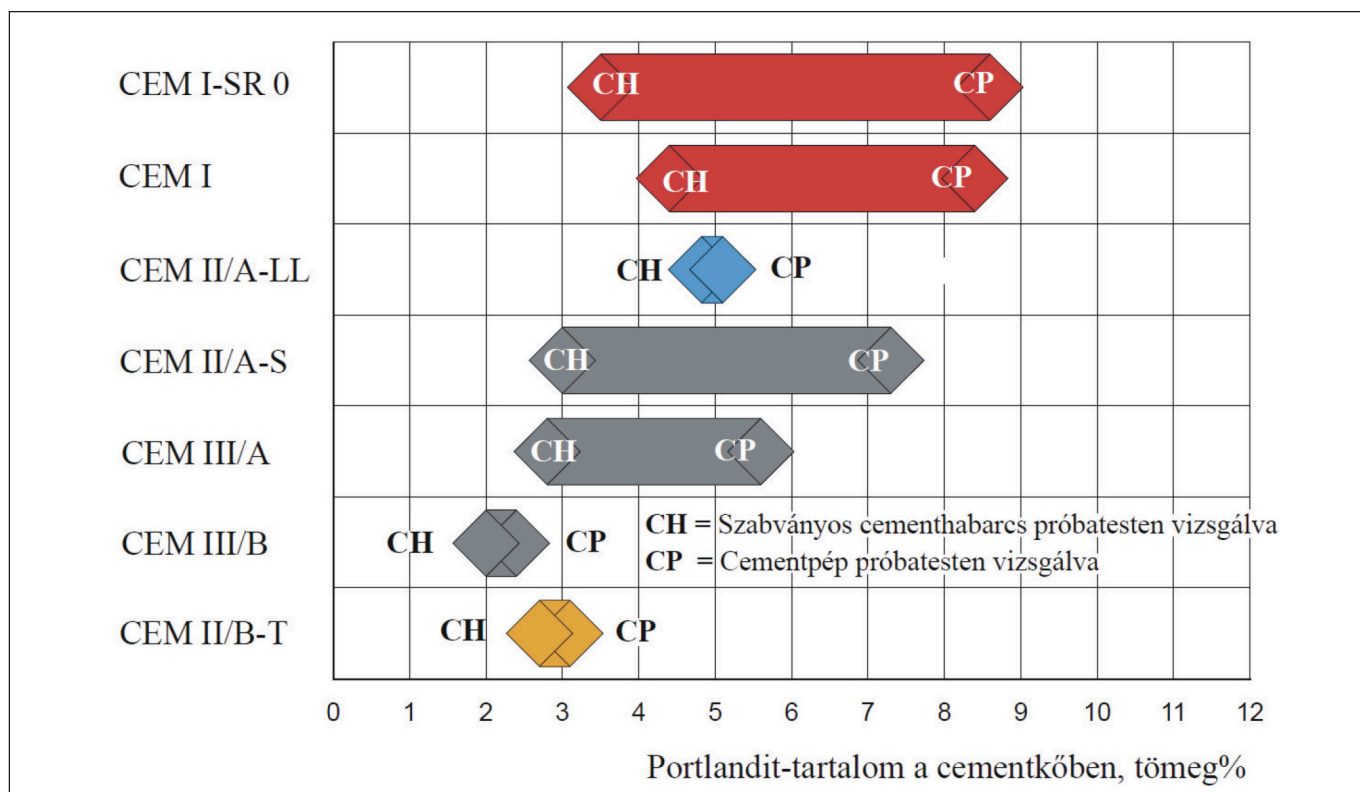
A beton oldódásos korróziójának jellemzője, hogy mindig külső hatásra, az anyag felületéről indul meg. Az oldódásos korrózió a cserebomlásra hajlamos sók, a savak, az egyes **állati zsírok, növényi zsírok és zsíros olajok** mészvegyület-átalakító, illetve -kioldó képességének következménye, amellyel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

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

2. A BETON LÁGY VÍZ ÉS KONDENZVÍZ OKOZTA KILÚGOZÓDÁSA

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

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



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

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

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

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

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

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

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

3. SAVAK ÉS SÓIK OKOZTA OLDÓDÁSOS KÉMIAI BETON-KORRÓZIÓ

3.1. Általános áttekintés

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

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

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

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

ahol:

- $c[\text{H}_3\text{O}^+]$ = hidroxóniumion-koncentráció, mol/dm³
- $c[\text{A}^-]$ = savmaradék-koncentráció (az A^- anion koncentrációja), mol/dm³
- $c[\text{HA}]$ = sav-koncentráció (az A^- anion tartalmú sav koncentrációja), mol/dm³.

1. táblázat: Néhány összetartozó sav és savmaradék pK_s sav-, illetve pK_B bázisexponensének értéke (<https://www.chemie.de/lexikon/Säurekonstante.html>)

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

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

A K_s savállandó egyenlő 10-nek a $-pK_s$ -edik hatványával ($K_s = 10^{-pK_s}$), és fordítva, a pK_s savexponens (savállandó-hatványkitevő) egyenlő a K_s savállandó tízes alapú logaritmusának negatív értékével ($pK_s = -\log_{10} K_s$). Elektrolitos disszociáció esetén a pK_s -érték általában annál nagyobb, minél gyengébb az elektrolit. Ha egy gyenge sav oldatában a nem disszociálódó rész koncentrációja megegyezik a savion koncentrációjával, akkor a pK_s -érték azonos a pH-értékkel (Neumüller et al., 1983).

Ehhez hasonlóan a bázisok erősségét kifejező K_B disszociációs egyensúlyi bázisállandó alakja az oldat koncentrációjának (c) függvényében a következő:

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

ahol:

- $c[\text{OH}^-]$ = hidroxidion-koncentráció, mol/dm³
 $c[\text{BH}^+]$ = a protolizált (a hidroxidionokat leadott) bázis koncentrációja (a BH⁺ kation, azaz a bázisgyök koncentrációja), mol/dm³
 $c[\text{B}]$ = bázis-koncentráció (a BH⁺ kation tartalmú bázis koncentrációja), mol/dm³.

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

Néhány összetartozó sav és savmaradék pK_s sav-, illetve pK_B bázisexponensének értékét a Brønsted-féle sav-bázis elmélet



összefüggése és a

$$pK_s + pK_B = 14$$

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

3.2. A beton szervesen savak és sóik okozta korróziója

A szervesen savak (ásványi savak) közül oldódásos betonkorróziót leggyakrabban a sósav (HCl), a salétromsav (HNO₃), a kénsav (H₂SO₄), a foszforsav (H₃PO₄), a szénsav (H₂CO₃) és

a bórsav (H₃BO₃) okoz. A szervesen savak oldják a cementkő összetevőit, és hatásukra a cementkő kalcium-hidroxid (Ca(OH)₂) tartalma könnyen oldható kalciumsóvá alakul, a savmaradéknak megfelelően például kalcium-klorid (CaCl₂), kalcium-nitrát (Ca(NO₃)₂), kalcium-szulfát (CaSO₄) stb. keletkezik. Emellett különböző alumínium- és vassók, valamint nagyon gyenge savhatású kovasav (metakovasav H₂SiO₃) is képződik (Biczók, 1956, 1960).

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

Az ipari szennyvizek a különböző töménységű nehézfémek mellett gyakran szervesen savakat (például sósavat (HCl), kénsavat (H₂SO₄), salétromsavat (HNO₃)) és szerves savakat (például ecetsavat (CH₃COOH), tejsavat (CH₃CH(OH)COOH), gyümölcsavat) tartalmaznak. A nehézfémek és szervesen savak kibocsátója a fémfeldolgozó-ipar, a szerves savaké az élelmiszeripar, valamint a szesz- és élesztőipar (Benedix, 2008).

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

- gyengén agresszív, ha a Ba₁-Ba₂ alcsoportban 5,0 < pH ≤ 6,5, a Ba₃ alcsoportban 4,5 < pH ≤ 6,0;
- közepesen agresszív, ha a Ba₁-Ba₂ alcsoportban a savtartalom nem oxidáló sav esetén ≤ 8 tömeg%, és oxidáló sav esetén ≤ 5 tömeg%; a Ba₃ alcsoportban pedig a savtartalom ≤ 15 tömeg%;
- erősen agresszív, ha a Ba₁-Ba₂ alcsoportban a savtartalom nem oxidáló sav esetén > 8 tömeg%, és oxidáló sav esetén > 5 tömeg%; a Ba₃ alcsoportban pedig a savtartalom > 15 tömeg%;

ahol a képződő kalcium-vegyületek oldhatósága vízben a Ba₁ alcsoportban > 1,000 g/100 ml, a Ba₂ alcsoportban 0,002-1,000 g/100 ml, a Ba₃ alcsoportban < 0,002 g/100 ml.

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

Néhány szervesen sav és különböző lúgokkal alkotott sója betonkorróziós hatásának jellege a 2. táblázatban látható. A savak betonkorróziós hatásának jellege nem feltétlenül esik egybe az 1. táblázatban szereplő pK_s savexponensek erősségének mértékével.

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

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

Savak / Bázisok	NaOH Nátrium- hidroxid (Nátronlúg)	KOH Kálium- hidroxid (Kálilúg)	Mg(OH) ₂ Magnézium- hidroxid	Ca(OH) ₂ Kalcium- hidroxid	Al(OH) ₃ Alumínium- hidroxid	NH ₄ (OH) Ammónium- hidroxid	Fe(OH) ₂ Ferrohidroxid Fe(OH) ₃ Ferrihidroxid	Sók megnevezése a savmaradék alapján
① HCl, Hidrogén-klorid gáz, vizes oldata: Sósav	NaCl	KCl	① MgCl ₂	CaCl ₂	③ AlCl ₃	① NH ₄ Cl	③ FeCl ₃	Kloridok
① HNO ₃ , Salétromsav	NaNO ₃	KNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Ca(NO ₃) ₂	Al(NO ₃) ₃	② NH ₄ NO ₃	Fe(NO ₃) ₃	Nitrátok
② H ₂ SO ₄ , Kénsav	② Na ₂ SO ₄	② K ₂ SO ₄	① MgSO ₄	② CaSO ₄	② Al ₂ (SO ₄) ₃	① (NH ₄) ₂ SO ₄	① Fe ₂ (SO ₄) ₃	Szulfátok
③ H ₂ S, Hidrogén-szulfid gáz (Kén-hidrogén gáz), vizes oldata: Kénhidrogénvíz	③ Na ₂ S	③ K ₂ S	③ MgS	③ CaS	③ Al ₂ S ₃	–	③ FeS	Szulfidok
④ H ₃ PO ₄ , Foszforsav	Na ₃ PO ₄	K ₃ PO ₄	Mg ₃ (PO ₄) ₂	③ CaHPO ₄ Ca(H ₂ PO ₄) ₂ Ca ₃ (PO ₄) ₂	AlPO ₄	(NH ₄) ₃ PO ₄	FePO ₄ Fe ₃ (PO ₄) ₄	Foszfátok
③ H ₂ CO ₃ , Szénsav	Na ₂ CO ₃	K ₂ CO ₃	MgCO ₃	CaCO ₃	–	(NH ₄) ₂ CO ₃	FeCO ₃	Karbonátok
③ HF, Hidrogén-fluorid gáz, vizes oldata: Folyosav	NaF	KF	MgF ₂	CaF ₂	AlF ₃	NH ₄ F	FeF ₂ FeF ₃	Fluoridok
Megjegyzés: - A betonra ① nagyon erősen korrozív ② erősen korrozív ③ közepesen korrozív ④ gyengén korrozív - A kovássav (H ₂ SiO ₃) és sói (szilikátok), valamint a hidrogén-oxo-aluminát (H ₂ Al ₂ O ₄) és sói (aluminátok) a betonra nem korrozívak. - A portlandcement vagy kohósalakcement kötőanyagú, kellő tömörségű betonok a kiskonzentrációjú lúgoldatoknak (például legfeljebb 20% nátrium-hidroxid tartalmú oldatoknak) általában ellenállnak (Biczók, 1960). - A sókat ipari alkalmazásra általában nem sav-bázis reakció létrehozásával gyártják (Náray-Szabó, 1958; Neumüller et al., 1981-1984).								

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

A. A *sóoldat semleges* lesz, ha a sónak nem képes sem a kationja, sem az anionja a vízzel reakcióba lépni, és protont (hidrogéniont) leadni vagy felvenni. Semleges sóoldat például a nátrium-klorid (NaCl), a kálium-nitrát (KNO₃), a magnézium-szulfát (MgSO₄) vizes oldata.

- A periódusos rendszer 1. csoportjának (oszlopának, a régi jelölés szerinti I. főcsoportjának) fémkationjait – például a nátriumiont és a káliumiont – és 2. csoportjának (II. főcsoportjának) fémkationjait – például a magnéziumiont és a kalciumiont – semleges kationoknak tekintjük, mert protolízisre nem képesek.
- Az erős savak anionjai, mint például a kloridion (Cl⁻), a nitrátion (NO₃⁻), a monohidrogén-szulfátion (HSO₄⁻) nagyon gyengén savas kémhatású ionok.
- Ha a só protolízisre képes kationból és protolízisre képes anionból áll, akkor a só pH-értéke a sóképző sav pK_s sav-exponens és a sóképző bázis pK_b bázis-exponens értékének viszonyától függ. Ha az exponens-értékek egyforma nagyságúak, akkor a só ebben a viszonylag ritka esetben is semleges kémhatású (pH = 7), mint például az ammónium-acetát (NH₄·CH₃·COO).

Magyarázat:

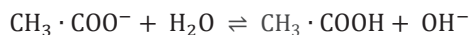
- ha c[H₃O⁺] > c[OH⁻], akkor az oldat savas kémhatású,
- ha c[H₃O⁺] = c[OH⁻], akkor az oldat semleges kémhatású,
- ha c[H₃O⁺] < c[OH⁻], akkor az oldat lúgos kémhatású.

Ha egy oldatban a c[H₃O⁺] koncentráció nagy érték, akkor a c[OH⁻] koncentráció kis érték kell legyen és fordítva, ugyanis teljesülnie kell a K_s·K_b = K_{víz}, illetve a pK_s + pK_b = 14 követelménynek.

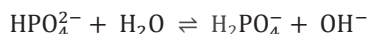
B. A *gyenge savakból* képződött sók anionjainak vizes oldata *bázikus* kémhatású.

- Az ilyen bázikus anionok – például , CO₃²⁻ (karbonátion), PO₄³⁻ (foszfátion), CN⁻ (cianidion) és CH₃·COO⁻ (acetátion)

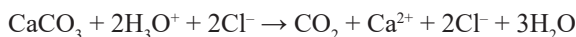
– a vízből a lúgképződéshez hidroxidiont (OH⁻ protont) vonzanak magukhoz. Például a nátriumacetát só (Na·CH₃·COO) vizes oldatában az acetátionból (CH₃·COO⁻) gyenge ecetsav (CH₃·COOH) képződik, miközben hidroxidionok maradnak vissza, amelyek hatására az oldat pH-értéke megnövekszik:



- A többértékű savakból – például foszforsavból (H₃PO₄) – származó bázikus anionok – például a hidrogénfoszfátion (HPO₄²⁻) – proton-felvétellel szintén lúgos oldatot adnak:

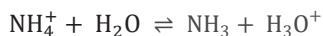


- A mészkő (CaCO₃) bomlása savas oldatok – például sósavoldat (HCl + H₂O) – hatására is egy olyan reakció, amely bázikus anionok (CO₃²⁻) és a sav között játszódik le. A karbonátion (CO₃²⁻) a sav két protonját erős bázisként köti magához. Ezáltal szénsav (H₂CO₃) keletkezik, amely széndioxidra (CO₂) és vízre (H₂O) esik szét.:

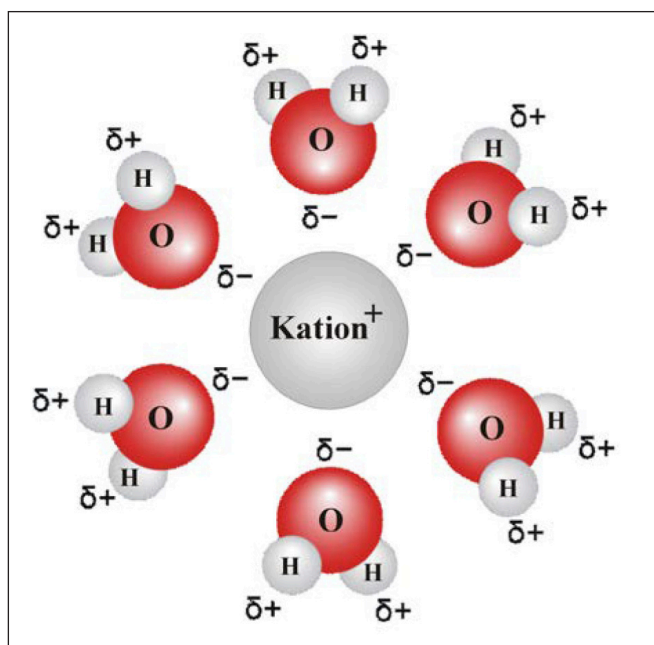


C. A *gyenge bázisokból* származó sók vizes oldata *savas* kémhatású.

- Így például az ammóniából (NH₃) – amely gyenge bázis, és amelynek vizes oldata, a szalmiákszesz lúgos – származó sók, mint például az ammónium-klorid (NH₄Cl), vizes oldata savas kémhatású. Az ammónium-klorid savas kémhatású kationja (NH₄⁺) hidroxónium-ion (H₃O⁺) képződését eredményezve átad a víznek egy protont:

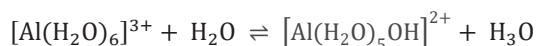


- Különleges eset, hogy a háromszoros pozitív töltésű fémionok – mint az Al³⁺ és az Fe³⁺ ionok – sójának vizes oldata



2. ábra: Dipólusú vízmolekulákból álló hidrat-burok a kation körül (https://en.wikipedia.org/wiki/Solvation_shell)

szintén savas kémhatású. Ennek az a magyarázata, hogy a fémionok háromszoros pozitív töltése olyan erősen polarizálja a hidrat-burok (2. ábra) oxigén-hidrogén kötésait, hogy az a kationból proton-lehasadáshoz, hidroxónium-ion képződéshez és ezzel az oldat savas reakciójához vezet. Példa erre az $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ alumínium-hexaakva-komplex ion átalakulása $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$ alumínium-pentaakva-hidroxidionná:



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

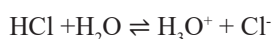
- gyengén agresszív, ha a pH-értéke $> 9,0$ és $\leq 10,5$;
- közepesen agresszív, ha a lúg- vagy sótartalma ≤ 0 tömeg%; és
- erősen agresszív, ha a lúg- vagy sótartalma > 10 tömeg%.

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

4.1. Sósavkorrozó

A sósav (HCl) szúrós szagú, éghetetlen, mérgező gáz, amely vízben könnyen oldódik; például 1 dm³ víz 0 °C hőmérsékleten 442 dm³, 20 °C hőmérsékleten 507 dm³ sósavat old fel. A kereskedelembe kapható tömény, 1,19 g/cm³ anyagsűrűségű sósavoldat 20 °C hőmérsékleten 38% sósavat tartalmaz, amely mintegy 12 mol/dm³ anyagmennyiségnek felel meg. A laboratóriumi hígított sósavoldat koncentrációja általában 2 mol/dm³.

Vízben a sósav csaknem 100%-ban savas jellegű hidroxóniumionokra (H₃O⁺) és bázikus jellegű kloridionokra (Cl⁻) bomlik (disszociálódik):



azaz minden HCl-molekula átadja protonját (H⁺-ion) a víznek (H₂O), és ezért a keletkező hidroxóniumionok anyag-



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

mennyiség-koncentrációja egyenlő lesz a vízben oldott – időközben abban már nem lévő – sósav anyagmennyiség-koncentrációjával: $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{HCl})$.

Magyarázat: Az anyagmennyiség-koncentráció egy térfogat-egységnyi (dm³) oldatban lévő, moláris tömegű oldott anyag mólokban kifejezett kémiai anyagmennyisége. Mértékegysége: mol/dm³.

Sósav hatására a cement szabad kalcium-hidroxidja (portlandit, Ca(OH)₂) vízben nagyon gyorsan oldódó kalcium-kloriddá (CaCl₂, más néven klórkalcium) alakul, amely kimosódik, illetve kikristályosodik, ezért már a híg sósavoldat is ártalmas a betonra (3. ábra) (Biczók, 1956, 1960; Krenkler, 1980; Benedix, 2008).

4.2. Kloridkorrozó

A sósav sói közül a kalcium-kloridon kívül az ammónium-klorid (NH₄Cl), alumínium-klorid (AlCl₃), magnézium-klorid (MgCl₂) káros a szilárd betonra (Biczók, 1956, 1960).

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

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

- A kalcium-klorid (CaCl₂, nevezik klórkalciumnak is) a portlandcement kötőanyagú betonra nem veszélyes, ha a friss betonhoz keverik, gyorsítja a kötést és a szilárdulást. Kalcium-kloridot az aluminátcementekhez nem szabad adagolni. Érdekes, hogy például a cementtartalomra számított 2-3% sósav – amely a szilárd betont jelentékenyen megrongálná – a friss beton keverővizéhez adva a hidratáció után néhány százalék kalcium-kloridot képez, amely nagy valószínűséggel megkötődik az aluminátokban, és így a jelentéktelen mennyiségű cementvesztéstől – és tegyük hozzá, hogy vasbeton esetén a karbonátosodás során esetleg szabaddá váló kloridionok acélbetétekre gyakorolt korrozív hatástól – eltekintve, kötőgyorsító hatásánál fogva még hasznos is. A beton keveréséhez használt, fertőtlenítés céljából klórozott „csapvíz” sem ártalmas a betonra

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

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

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

- betonszerkezet betonja esetén 1,0 tömeg% ($10000 \text{ mg/dm}^3 \text{ NaCl}$);
- vasbetonszerkezet betonja esetén 0,2 tömeg%, ha CEM III típusú cementtel készül, akkor 0,4 tömeg%;
- feszített vasbetonszerkezet betonja esetén 0,1 tömeg%, ha CEM III típusú cementtel készül, akkor 0,2 tömeg%.

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

Balázs György, Kovács Károly, Csizmadia Zoltánné és Kopecskó Katalin a BME Építőanyagok Tanszéken az 1990-2010 években végeztek kutatásokat a témában (Balázs et al., 1997; Csizmadia et al., 1993, 2001; Kopecskó et al., 2005). A kutatási eredmények azt bizonyítják, hogy a megszilárdult, 28 napos korú betonba a kapilláris pórusokon 10 nap alatt – öt ciklusos, 24 órás sóoldatban és 24 órás 100% relatív páratartalmú térben való tárolás alatt – behatoló 10%-os nátriumklorid-oldatnak a kloridionjait a portlandcement trikálcium-aluminát (felit, C_3A) és tetrakalcium-aluminát-ferrit (celit, C_4AF) klinkerásványainak hidrátjai Friedel-só ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_{10}$) vagy Friedel-só vasanalógjának és Kuzel-só formájában megkötik, mert a kísérleti beton még nem karbonátosodott. A gőzöléssel szilárdított mintákban több Friedel-sót találtak, mint a laboratóriumban $22 \pm 2^\circ \text{C}$ hőmérsékleten szilárdultakban. A kloridionok megkötésével párhuzamosan másodlagos ettringit képződését figyelték meg. **Megállapították, hogy az örölt granulált kohósalakot tartalmazó cementpépek kloridion-megkötő képessége nagyobb, mint a tiszta portlandcementpépeké.** (Balázs, 2004, 2010; Kopecskó et al., 2017).

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

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

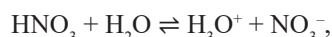
Az MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány szerint, ha a beton- vagy vasbetonszerkezet olyan oldódásos betonkorroziót okozó agresszív folyadékok környezetében van, amelyek

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

5. A BETONNAK A SALÉTROMSAV ÉS A SALÉTROMSAV SÓI (NITRÁ-TOK) OKOZTA KORRÓZIÓJA

5.1. Salétromsav-korrózió

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



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

Minthogy a salétromsav vízben gyakorlatilag teljes mértékben disszociálódik, – a sósav-disszociálódáshoz hasonlóan – a $c(\text{X}) [\text{mol/dm}^3]$ anyagmennyiségkoncentrációra fel lehet írni, hogy $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{HNO}_3)$ azaz a hidroxóniumionok anyagmennyiség-koncentrációja megfelel a vízben oldott salétromsav anyagmennyiség-koncentrációjának.

5.2. Nitrátkorrózió

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

A salétromsav ammónium-sói vizes oldatainak egyike az ammóniumnitrát-oldat ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$), amelynek hatása a betonra az egyik legkedvezőtlenebb.

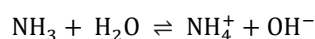
A salétromsav-, illetve nitrát-tartalmú vizek a tégla-, habarcs- és betonfelületeken salétromos, például kálium-nitrát (KNO_3), nátrium-nitrát (NaNO_3) vagy kalcium-nitrát ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) kivirágzást okoznak.

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

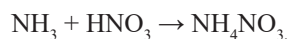
A salétromsav sóinak ionizált állapotában létrejövő ammóniumionok (NH_4^+) a cementkő szabad kalcium-hidroxidjával (portlandit, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) a betont korrodáló könnyen oldódó kalcium-vegyületeket és ammóniát (NH_3) képeznek, ez utóbbi szúrós szagú, mérgező gáz.

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

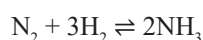
ammóniaoldatnak (ammónium-hidroxid, NH_4OH) felel meg. Az ammónia-oldat gyengén lúgos kémhatású, mert a vízben oldott gáz hatására kis mennyiségben protolizált – 20 °C hőmérsékleten 0,1 mol/dm³ vizes ammóniaoldatban kevesebb, mint 1% NH_3 -molekula vesz részt a hidrogénion leadás-felvételben – ammónium- és hidroxidion képződik:



Az ammónia (NH_3) savakkal sókat, például salétromsavval (HNO_3) ammónium-nitrátot (NH_4NO_3) képez:



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



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

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

Balázs György és Csányi Erika a BME Építőanyagok Tanszéken 1900 és 2000 között kutatták a légszennyeződések vasbetonra gyakorolt hatását (Csányi et al., 1997). A kísérleti betonok CEM II/A-S 32,5 kohósalak-portlandcementtel készültek, MSZ 4719:1982 szabvány szerinti nyomószilárdsági osztályuk C12 és C20 volt. A próbatesteket 4 hónapon át tárolták 50-150 ppm (part per million, az egész egymilliomod része) koncentrációjú nitrogén-dioxid (NO_2) gáztérben. A vizsgálat végén a próbatestek felső 5 mm vastag rétegében a C12 jelű beton esetén 2,5 tömeg%, a C20 jelű beton esetén 1,5 tömeg% nitrá-ion-tartalmat mértek. A laboratóriumi próbatesteken kívül megépült szerkezetek betonját is vizsgálták, és azt tapasztalták, hogy a műtrágyagyárak területén a nitrogén-dioxid beépülése a beton 50-60 mm vastag kérgébe 56%, és a beton pH-értéke szélsőséges esetben 8-9-re csökkent. A kutatók véleménye szerint, ha a beton nyomószilárdsági osztálya legalább C20 (MSZ 4719:1982) és a betonfedés legalább 20 mm, akkor kis légnedvesség-tartalom esetén a levegő nitrogén-dioxid-tartalma nem okoz acélbetét-korróziót (Balázs, 2004, 2010).

A visszavont MI 17215-2:1986 műszaki irányelv szerint az ammóniumion (NH_4^+) tartalmú korrozív folyadék, víz

- gyengén agresszív, ha cserebomlás esetén az agresszív kationok mennyisége az Ab_1 alcsoportban > 100 és ≤ 500 mg/liter, az Ab_2 alcsoportban > 200 és ≤ 1000 mg/liter, az Ab_3 alcsoportban > 2000 mg/liter; és
- közepesen agresszív, ha az Ab_1 alcsoportban > 500 mg/liter és az Ab_2 alcsoportban > 1000 mg/liter.

Az MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány szerint, ha a beton- vagy vasbetonszerkezet olyan oldódásos betonkorróziót okozó vizekkel, folyadékokkal vagy szennyvizekkel érintkezik, amelyek ammóniumion (NH_4^+) tartalma ≥ 15 és ≤ 30 mg/liter közé esik, akkor a betont az XA4(H) környezeti osztályba; ha a vizek, folyadékok ammóniumion-tartalma > 30 és ≤ 60 mg/liter közé, vagy szennyvizek esetén > 30 és ≤ 100 mg/liter közé esik, akkor az XA5(H) környezeti osztályba; ha pedig 60 mg/liternél több, vagy szennyvizek esetén 100 mg/liternél több, akkor az XA6(H) környezeti osztályba kell sorolni.

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

Amíg kénsavtartalmú vizek és szennyvizek, gázok, gőzök, permetek a beton – a reakciótermékek duzzadásával kísért – *oldódásos* kénsavkorrózióját okozhatják, addig a sótartalmú talajok, talajvizek, felszíni vizek oldott szulfá-ionjai (SH_4^{2-}) *duzzadásos* szulfátkorrózióra vezethetnek.

Említésre méltó, hogy 1990-2000 között a BME Építőanyagok Tanszéken a légszennyeződések vasbetonra gyakorolt hatása – fenn már említett – kutatásának alapkísérleti eredményeiből Balázs György és Csányi Erika megállapította, hogy a 200-500 ppm koncentrációjú kén-dioxid (SO_2) légtérbeli kezelés hatására a beton 10 mm vastag kérgében pernyetartalmú cementek esetén háromszoros, CEM I portlandcementek esetén ötszörös, kohósalak-tartalmú cementek esetén mintegy hétszeres volt a szulfá-ion-betelepülés a cementbe bekevert gipszkő szulfá-ion-tartalmához képest. Kénsavgyár területén lévő vasbetonszerkezet külső 10 mm vastag kérgében két-háromszoros gipsztartalmat észleltek a beton eredeti gipsztartalmához képest, ami csökkentette a betonkéreg lég-átbocsátó-képességét és nem csökkentette annak pH-értékét. A vizsgálati eredményekből arra következtettek, hogy ha a beton nyomószilárdsági osztálya legalább C20 (MSZ 4719:1982) és a betonfedés legalább 20 mm, akkor kis légnedvesség-tartalom esetén a levegő kén-dioxid-tartalma nem okoz acélbetét korróziót (Balázs, 2004, 2010).

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

A kénsav és a kénsav sói (szulfátok), valamint a kén-hidrogén és a kén-hidrogén sói (szulfidok) okozta kémiai és biológiai betonkorrózióra vonatkozó ismereteket részletesen cikksorozatunk 3. részében tekintjük át.

7. FOSZFORSAV ÉS SÓI OKOZTA BETONKORRÓZIÓ

A foszforsav (H_3PO_4) kis mértékben oldja a betont, mert anionjai (PO_4^{3-}) a kalciummal oldhatatlan, nem kristályosodó, térfogatban nem növekvő trikálcium-foszfát ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) só védőréteget képeznek, amely a beton felületét a további korróziótól megvédi.

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

A foszforsav betonkorróziót okozó sói **főképp emberi ürülékből**, kisebb részben mosó- és tisztítószerkekből származnak. A mosó- és tisztítószerke agresszivitását elsősorban a benne lévő lúgok (például nátrium-hidroxid, NaOH), illetve savak (például kénsav, H_2SO_4 vagy ecetsav, CH_3COOH) okozzák (Benedix, 2008).

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

A víz szabad széndioxid-tartalma okozta oldódásos beton-korrózió folyamatát cikksorozatunk – e folyóirat 2017. évi 3. számában megjelent – 1. részének 5. fejezetében részletesen elemeztük. A vízben lévő széndioxid jelentős mértékben oldódhat a betonra agresszív szénsav alakjában. A szénsavtartalmú víz mintegy 165 g/dm³ kalcium-karbonátot képes feloldani, ami 13 ezerszerese a tiszta víz kalcium-klorid feloldóképességének.

Szén-dioxid tartalma a víznek lehet, a levegőnek pedig van. A levegőben – bár csak mintegy 0,03%-ban – jelenlévő széndioxid-tartalom a cementkő mintegy 5-15%-ára tehető szabad kalcium-hidroxid-tartalmát (portlandit, Ca(OH)₂) kalcium-karbonáttá (CaCO₃) alakítja, ez a karbonátosodás.

A karbonátosodás kedvező hatását Kleinlogel et al. (1950) azzal magyarázta, hogy a szén-dioxid (CO₂) a betonban lévő könnyen kioldódó szabad kalcium-hidroxidot (portlandit, Ca(OH)₂) nehezen kioldódó kalcium-karbonáttá (CaCO₃) alakítja, szemben az esetleges szénsavkorrózióval, ami a víz szabad kalcium-hidroxid-tartalma könnyen kioldható kalcium-hidrokarbonáttá (kalcium-bikarbonát, Ca(HCO₃)₂) változásának a következménye.

Már nem sokkal később megállapították (például Biczők, 1956, 1960), hogy a víz szabad széndioxid-tartalma (CO₂) a betonra nézve kémiaiilag akkor agresszív, ha mennyisége meghaladja az oldott hidrokarbonátok (Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂) koncentrációjának megfelelő egyensúlyi szénsav-mennyiséget. A szénsav (H₂CO₃ = CO₂ + H₂O) gyengesége ellenére a víz agresszív szabad széndioxid-tartalma (CO₂) a cementkő kationjait (például: Ca²⁺, Mg²⁺) oldatba viszi, és azokkal a rosszul oldódó karbonátokból (CaCO₃, MgCO₃) könnyen oldódó és kilúgozódó hidrokarbonátokat (Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂) hoz létre (oldódásos korrózió). Ez öntápláló, ismétlődő, összetett kémiai folyamat, mert a cementkő szabad kalcium-hidroxid-jával a keletkezett hidrokarbonátok is reakcióba lépnek, és ennek következtében a karbonátok kicsapódnak (kazánkö), majd azokból újra hidrokarbonátok képződnek, a felszabaduló lágy víz pedig a cementkő szabad kalcium-hidroxidját kioldja (5. ábra). A szénsavas víz a cementkő kalcium-szilikát-hidrát fázisait és aluminát-, valamint ferrit-kötéseit is megtámadja (Krenkler, 1980). Mindezek folytán a beton nagymértékben kilúgozódik, és a cementkő, illetve a beton szilárdsága jelentősen csökken.

A visszavont MI 17215-2:1986 műszaki irányelv szerint a Bb agresszivitási csoportba tartozó szabad szén-dioxid (CO₂) tartalmú korrozív víz, folyadék

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

Az MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány szerint, ha a beton- vagy vasbetonszerkezet olyan oldódásos betonkorróziót okozó folyadékok környezetében van, amelyek agresszív szén-dioxid (CO₂) tartalma ≥ 15 és ≤ 40 mg/liter közé esik, akkor a betont az XA4(H) környezeti osztályba; ha a vizek, folyadékok agresszív szén-dioxid-tartalma > 40 és ≤ 100 mg/liter közé esik, akkor az XA5(H) környezeti osztályba; ha pedig 100 mg/liternél több, akkor az XA6(H) környezeti osztályba kell sorolni.



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

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

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

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

Az atomos kötést (más néven: apoláris kötést, kovalens kötést) az atomok legkülső elektronhéjának közös elektronpárjai alakítják ki. Az atomos kötésű molekulák nem ionokból állnak, és így nem vezetnek az áramot sem alacsony, sem magas hőmérsékleten. Szigorúan véve az apoláris vegyületek azonos atomfajtákból épülnek fel (például a H₂, Cl₂, O₂ stb.), tágabb értelemben pedig apoláris vegyületek azok is, amelyeknek a molekuláiban a dipólusmomentumok egymást nagymértékben kiegyenlítik. Ilyen molekula a legtöbb szerves vegyület (például CH₄ stb.). Az apoláris kötésű molekulákban a vegyértékelektronok összege többnyire páros szám, például a H₂-ben 2, a H₂O-ban 2×1 + 1×6 = 8, a széndioxidban (CO₂) 1×4 + 2×6 = 16 vegyértékelektron van. Ezeknek a molekuláknak a legkülső elektronhéjban lévő elektronjai elektron-párok alkotására törekkenek, hogy magányos elektron az elektronhéjon lehetőleg ne maradjon (Neumüller et al., 1981, 1982).

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

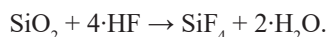
- a metánhidrát-oldat (a CH₄ metán gázból nagy nyomás alatt képződő, mintegy 2/3 rész metánt és 1/3 rész széndioxidot tartalmazó szilárd metán-hidrát vizes oldata) semleges,
- az ammóniaoldat (az NH₃ ammónia gáz vizes oldata) gyengén bázikus,

- a kénhidrogénvíz (a H_2S kén-hidrogén gáz vizes oldata) nagyon gyengén savas,
- a sósav (a HCl hidrogén-klorid gáz vizes oldata) és a foly sav (a HF hidrogén-fluorid gáz vizes oldata) erősen savas kémhatású (Klenkler, 1980).

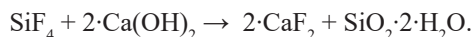
Az atomos kötésű molekulákkal ellentétben az *ionos kötésű* (más néven: poláris kötésű, elektrosztatikus kötésű) molekulák oldott vagy olvadt állapotban kémiai bomlás közben vezetnek az elektromosságot, és vízben ionképződéssel többnyire oldhatóak. Ilyen kötés van például a nátrium-kloridban, a kalcium-oxidban,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

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

A hidrogén-fluorid vízzel folyssavvá (fluor-hidrogénsav) elegyíthető. Az ún. foly sav a hidrogén-fluorid 40%-os vizes oldata. A foly sav a villamos áramot nem vezeti, a legtöbb fém feloldja, a szilikátokat, köztük a kvarcot (SiO_2) is megtámadja, miközben szilícium-tetrafluorid gáz (SiF_4) képződik (Krenkler, 1980; Neumüller et al., 1982):



A szilícium-tetrafluorid a kalcium-hidroxiddal (portlandit, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) kalcium-fluoridot (CaF_2) képez:



Ezt a reakciót fel lehet használni a beton savállóságának fokozására. Az *okratálásnak* nevezett eljárás során a beton-elemeket zárt térben, régebben vákuumban, újabban nyomás alatt szilícium-tetrafluorid gázzal kezelve a cementkő savállóságát veszélyeztető szabad kalcium-hidroxid-tartalma vízben oldhatatlan kalcium-fluoriddá (CaF_2) alakul, és a cementkő pórustartalmát csökkentő, tömörségét, vízzáróságát, szilárdságát növelő kovasav-hidrát ($\text{SiO}_2\cdot 2\cdot\text{H}_2\text{O}$) képződik (Krenkler, 1980; Neumüller et al., 1983; MSZ 17213-1:1989).

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

Az eljárást, amelynek során a betont nem szilícium-

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

10. A KOVASAV ÉS A KOVASAV SÓINAK SZEREPE A BETONBAN

A szilícium-dioxid (kvarc, SiO_2) – amely a növényi, állati és emberi szervezetekben kovasav (H_2SiO_3) formájában van jelen – a kovasav (H_2SiO_3) vízben nem oldódó anhidridje (anhidridnek az oxidos savak vízelvonás utáni részét nevezik). A kovasav-anhidrid vízdoldhatatlansága folytán a $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3$ reakció nem jöhet létre – tehát: $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \neq \text{H}_2\text{SiO}_3$ –, és ezért a kovasav betonkorróziót sem okoz (Krenkler, 1980). Igaz, hogy emiatt a kovasav építőanyag-tani szerepe elméletinek mondható, de a kovasav sói, a szilikátok mégis igen jelentős építőanyag-összetevők, amelyek egyebek mellett a portlandcement-klinker mintegy háromnegyedét alkotják.

Az eljárást, amelynek során a beton korrózióállóságát nátrium- vagy káliumszilikát-oldatos (vízüveges, például: Na_2SiO_3) kezeléssel javítják az MSZ 17213-1:1989 szabványban szilikonozásnak, a vízüveg kötőanyag, ásványi adalékanyag és adalékszer keverékéből készített korrózióálló, „saválló” betont pedig vízüvegbetonnak, máshol lúgbetonnak nevezik. Ez utóbbi ilyenformán a mai geopolimer korábbi változatának tekinthető.

11. MEGÁLLAPÍTÁSOK

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

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

12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

13. ACKNOWLEDGEMENT

Authors acknowledge the support by the Hungarian Research Grant NVKP_16-1-2016-0019 “Development of concrete products with improved resistance to chemical corrosion, fire or freeze-thaw”.

14. HIVATKOZÁSOK

- Balázs Gy. – Tóth E. (1997), „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok”, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- Balázs Gy. (2004), „Beton és vasbeton V. A kutatás története I.”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Balázs Gy. (2010), „Különleges betonok és betontechnológiák III.” *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Balázs L. Gy. – Kausay T. – Kopecskó K. – Nemes R. – Nehme S. G. – Lublós É. – Józsa Zs. – Arany P. (2017), „Betonok oldódásos korróziója. Szakirodalmi áttekintés. 1. rész: A vizek és folyadékok kémhatása, keménysége, agresszív széndioxid-tartalma”, *Vasbetonépítés*, XIX. évf. 3. szám. pp. 46-59.
- Benedix, R. (2008), „Bauchemie. Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten”, 4. Auflage, Studium. Vieweg + Teubner, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden
- Biczók I. (1956), „Betonkorrózió, betonvédelem”, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Biczók, I. (1960), „Betonkorrosion, Betonschutz”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Csányi, E. and Balázs, Gy. (1997): Analysis of different cement based pastes in SO₂ and NO₂ atmospheres”, *Periodica Polytechnica Ser. Civil Eng.*, Vol. 41 (2), pp. 169-182.
- Csizmadia, J.; Kovács, K. and Balázs, Gy. (1993), „Thin-layer chromatography for demonstrating chloride ions and its kations in concrete samples”, *Periodica Polytechnica Ser. Civil Eng.*, Vol. 37 (4), pp. 321-327.
- Csizmadia, J.; Balázs, Gy. and Tamás, F.D. (2001), „Chloride ion binding capacity of aluminoferrites”, *Cement and Concrete Research* 31(4):577-588, DOI: 10.1016/S0008-8846(01)00458-6, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00458-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00458-6)
- Kausay T. – Szekeresné K. M. (1986), „Betonok korrózióvédelme felületkezeléssel”, *Szakiipari Technika*, 3. szám. pp. 63-65.
- Kleinlogel, A. – Walz, K. – Vierheller, H. (1950): „Einflüsse auf Beton und Stahlbeton”, Fünfte Auflage, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- Kopecskó K. (2006), „A gőzölés hatása a cement klinkerek és cementek kloridion megkötő képességére”, PhD értekezés, p.100.
- Kopecskó, K. – Balázs, Gy. (2005), „Chloride ion binding of cement clinkers and cements influenced by steam curing”, *fib Symposium “Structural Concrete and Time”*, La Plata 2005, Vol. 1, pp. 147-154.
- Kopecskó, K. – Balázs, Gy. L. (2017), „Concrete with Improved Chloride Binding and Chloride Resistivity by Blended Cements”, *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2017*, Article ID 7940247, p. 13., <https://doi.org/10.1155/2017/7940247>
- Krenkler, K. (1980), „Chemie des Bauwesens. Band 1. Anorganische Chemie”, *Springer-Verlag*, Berlin/Heidelberg, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-81475-4>
- Náray-Szabó I. (1956), „Szervetlen kémia”, I. kötet, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Náray-Szabó I. (1958), „Szervetlen kémia”, III. kötet, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Neumüller, O-A. szerk. (1981), „Römp vegyészeti lexikon”, Első kötet, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Neumüller, O-A. szerk. (1982), „Römp vegyészeti lexikon”, Második kötet, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Neumüller, O-A. szerk. (1983), „Römp vegyészeti lexikon”, Harmadik kötet, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Neumüller, O-A. szerk. (1984), „Römp vegyészeti lexikon”, Negyedik kötet, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest
- Palotás L. – Balázs Gy. (1980), „Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton – habarcs – kerámia – műanyag”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
- Riesz L. szerk. (1989), „Cement- és mészgyártási kézikönyv”, *Építésügyi Tájékoztatói Központ*, Budapest
- Splitterger, F. (2012), „Identifizierung der Zementart in Zementsteinen und die Übertragbarkeit auf Mörtel und Betone”, Dissertation, *Bauhaus-Universität Weimar*
- Stark, J. – Wicht, B. (2013), „Dauerhaftigkeit von Beton”, *Springer Vieweg Verlag*, Berlin/Heidelberg, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35278-2>
- Wittekindt, W. (1952), „Der säurefeste Ocrat-Beton”, *Zement-Kalk-Gips*, Jg. 5. pp. 203-205.
- Wittekindt, W. (1954), „Der säurefeste Ocrat-Beton”, *Betonstein-Zeitung*, Jg. 20. pp. 469-474.

15. HIVATKOZOTT SZABVÁ- NYOK, ÉPÍTÉSÜGYI MINISZTERI UTASÍTÁS, MŰSZAKI ELŐÍRÁS ÉS IRÁNYELV

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

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

Dr. Balázs L. György (1958) okl. építőmérnök, mérnöki matematikai szakmérnök PhD, Dr. habil., egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék vezetője. MTA műszaki tud. kandidátusa. Fő kutatási területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), roncsolásmentes vizsgálatok. Speciális betonok és betétek: szálerősítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FRP) betétek, megerősítések: anyagai és módjai, HPC, UHPC, LWC. Tűzállóságra való tervezés, tűzállóság fokozása. Fagyállóság fokozása. Kémiai ellenállóképesség fokozása. Tartósság. Használati élettartam. Fenntartható építés. 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 Mérnökgeológia Tanszéken (2003), a **fib** Magyar Tagozat tagja (2000), az MTA gróf Lónyay Menyhért emlékérmese (2003), a Palotás László-díj birtokosa (2015). Tevékenysége a betontechnológiai és a kő- és kavicsipari kutatásra, fejlesztésre, szakértésre, oktatásra, szabványosításra terjed ki. Publikációinak száma mintegy 220.

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

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

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

Dr. 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, építészmérnök, épületrekonstrukció szakmérnök. Főbb kutatási területei: könnyűbeton, építőanyagok tönkremenetele és védelme, szerkezetek hő- és nedvességttechnikai jellemzői, környezetkímélő építés anyagai.

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

DISSOLUTION OF CONCRETE BY ACIDS – Literature review

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

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

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

KÉT STATIKAILAG EGYENÉRTÉKŰ VASBETON FÖDÉMSZERKEZET-KIALAKÍTÁS ÖSSZEHASONLÍTÁSA



Dr. Almási József - Jeszenszki István

DOI: 10.32969/VB.2019.3.2

Monolit vasbeton vázas épületek tervezése és kivitelezése kapcsán állandó jelleggel felmerülő kérdés, hogy a födém szerkezet síklemezes vagy gombafejes formával alakítható ki gazdaságosabban. Ezen kérdéskör tisztázása és megvitatása az érintett szereplők, azaz a beruházó, a tervező és a kivitelező közös feladata, lehetőleg már a tervezés korai fázisában, majd ideális esetben közös döntéshozatal, hogy minden fél számára a legelőnyösebb szerkezeti kialakítást alkalmazzák.

Cikkünkben ezen problémakörrel foglalkozunk, megvizsgáltuk mindkét födém típus statikailag egyenértékű változatát és elsősorban arról számolunk be, hogy az egyes szerkezeti változatok mekkora fajlagos anyag-, illetve költségárfordítással valósíthatók meg, mérlegelve az egyéb költségeket befolyásoló tényezőket, mint például az építési idő. Reméljük, hogy a cikk segíti a jövőbeni döntéseket ezen a területen

Kulcsszavak: síklemez födém, gombafejes födém, födém típusok összehasonlítása, fajlagos költségek, fajlagos mennyiségek

1. BEVEZETÉS

A mai tartószerkezeti rendszerek egyik gyakori megoldása a funkciókhoz jól igazodó 8,0 x 8,0 m-es raszter tengelyekre szerkesztett oszlop- és az azt alátámasztó födémrendszer.

Cikkünk tárgya a *monolit síkfödém* és a *monolit pamlaglemezes (gombafejes)* födém egyenértékű statikai kialakításának összehasonlítása. További szerkezeti változatokat – mint egy irányban futó bordás monolit lemez, vagy előregyártott fejjel és födémvastagságú gerendára helyezett kéregzsalu és helyszíni felbetonos megoldást, és egyéb megoldásokat (pl. öszvér födém szerkezetet) a jelen vizsgálatból kizártunk.

A témaválasztást az indokolta, hogy az említett két monolit födém kialakítás a leggyakrabban alkalmazott, és bizonyosra vehető a tervező, hogy az építő (vagy az építtető) mindig a másik változatot szeretné megvalósítani abban a hitben, hogy az a másik megoldás biztosan gazdaságosabb. A szerzők azért is vállalkoztak ezen témakör feldolgozására, hogy jövőben az ilyen irányú döntések megalapozottabban születhessenek meg, csökkentve a döntésben rejlő bizonytalanságokat, melyek egy-egy gyors ajánlatadásnál nem mindig kerülnek a felszínre.

A két födém kialakítás egyik egyszerűsített összehasonlítása a felhasznált anyagmennyiségek oldalát jelenti. Mélyebben elemezve a két kialakítást – azt mondhatjuk –, hogy sok más szempont is (pl. gépészet, homlokzat, belmagasság, stb.) befolyásolhatja födém kialakítási választásunkat. Ma a „hatékonyság érdekében” nem csak az építési módszerek, hanem a szerkezet kialakítások is versenyben állnak egymással és céltudatos tervezésnél a szerkezet kialakítás és az építészeti gondolat (forma) egy adott funkció teljesítésekor egymásra hatnak és ezek együttes figyelembevételével kell a döntést meghozni. Elemzésünk azt mutatta, hogy nem lehet egyértelműen letenni a voksot egyik, vagy másik födém kialakítás mellett. A részleteket az alábbiak ismertetik.

2. A KÉT, STATIKAILAG EGYENÉRTÉKŰ KIALAKÍTÁS

Az alábbiakban ismertetjük a két kialakítás geometriáját, melyet statikailag egyenértékűnek tarthatunk. *Statikai egyenértékűségen azt értjük, hogy a választott (vagy/illetve) meghatározott geometriájú födém a szabványi követelményeket, mint a teherbírást (benne az átszűrődést), alakváltozás- és repedéstágasság-korlátozást azonos színvonalon teljesíti.*

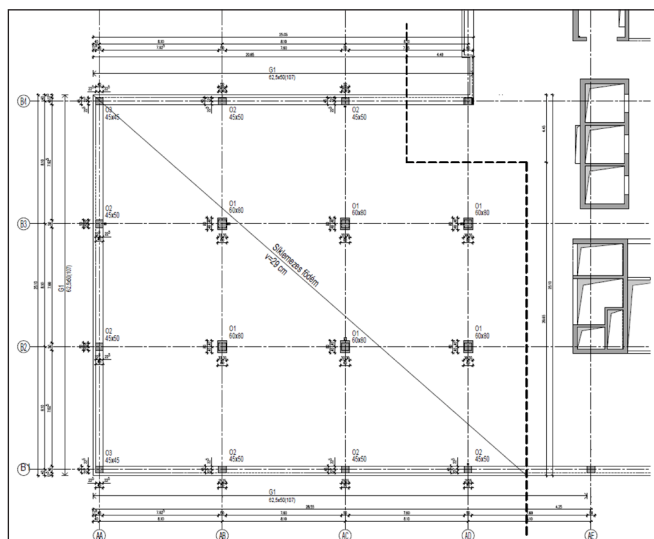
Az összehasonlításhoz szolgáló alaprajzi geometriákat az 1. és 2. ábrán mutatjuk be. Már a példaként választott esetek „sem tudnak teljes egészében azonos kialakítást” mutatni, így a gyakorlatban is minden összevetés eredménye mindig egy bizonyos távolságtartással értékelendő.

Az 1. ábra egy-egy olyan födém kialakítás jellemző alaprajzi részletét mutatja, ahol alapvetően a 8 x 8 m-es tengelytávolság érvényesül és a hasznos terhelés $p=5,0 \text{ kN/m}^2$.

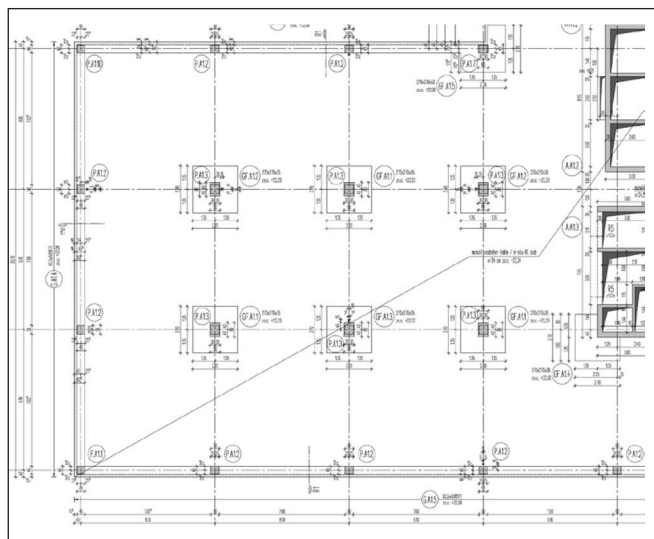
2.1. A födémvastagság megválasztása

A síklemezes megoldásnál a gyakorlatban jól bevált 1/28,5 értékből számítottuk a lemezvastagságot. A födémvastagság megválasztásakor vonalmenti terheléseknél (pl. lakásválasztó vastag falak mező közepén való elhelyezkedésénél) ettől szigorúbb kritériumot szükséges alkalmazni a lehajlás okozta fal-nyírási repedések és padlózat károsodás elkerülése érdekében.

A gombafejes kialakítás geometriájának megválasztásánál többféle megfontolást tehetünk a fej alaprajzi méretére és a köztes terület lemezvastagságára. A szabályos kialakítású rendszereknél az oszlopfej körüli nyomatóki zéruspontok sugara elméletileg 0,22 l távolságra adódik ($l=8,0 \text{ m}$ esetén 1,75 m), tehát az átszűrődásmentes vonal a $D=3,5 \text{ m}$ sugarú



1. ábra: Síklemezes kialakítás



2. ábra: Gombafejes kialakítás

körön fekszik, amelybe írt négyszög oldala $a=2,46$ m és ez a várható lemezzavastagsággal növelve kerekén 2,70 m-t jelent. Ez a méret általános esetben a fejen kívüli átszűrődés elleni vasalás alkalmazásának a szükségességét is kizárja.

A fejek közötti köztes lemezzavastagság megválasztásánál a lemez peremek rugalmas megtámasztásának (a fejek alakváltozásának) figyelembevételével szigorúbb kritériumot célszerű alkalmazni ($v > \frac{l_0}{24}$), ahol l_0 a fejek szélei közötti távolság.

A gyakorlat számára a fenti megfontolások kellően biztonságos kiindulást jelentenek, amit különböző kialakításoknál szükség szerint módosítani lehet (illetve kell), és a földem vastagsági méretét egy algoritmus segítségével optimalizálni lehet, ennek részleteit jelen elemzésünk nem tartalmazza.

2.2. A gombafejes kialakítás állványozása és zsaluzása

Mivel a gombafejes földem állványozása és zsaluzása a síklemezes földem esetétől számottevően különbözik, ezért az egyik lehetséges megoldást az alábbi fényképek segítségével a 3. ábra szemlélteti.

A gombafej kialakítása egy az általános állvány- és zsalurendszerrel elkülönülő „asztal” segítségével történhet, így az asztalt megtámasztó oszlopok külön merevítése szükséges (4. és 5. ábrák).

A 6. ábra a kialakuló vasalási képre mutat példát.

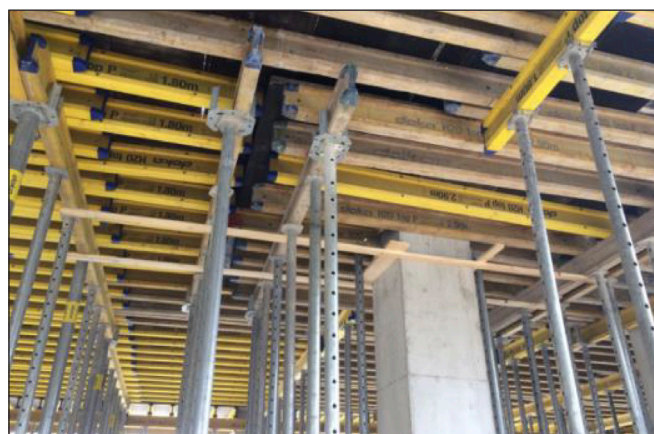
2.3. A földémszerkezet költségeit befolyásoló anyagmennyiségek

A földémszerkezet költségeit jelentősen befolyásoló anyagmennyiségek: a felhasznált beton, az acél- és szerelvények mennyisége. Ezek a mennyiségek a geometria és statikai számítás eredményeinek ismeretében viszonylag pontosan meghatározhatóak.

A fejmagasításhoz szükséges állvány és zsaluzás befolyással van a költségekre. A célszerű kialakítása (mérete) is vizsgálható a zsaluzáshoz szükséges segédgerendázat piacon kapható magasságától függően, ami gondos tervezés esetén mélyebb ismereteket feltételez az állványozási és zsaluzási rendszerekről, illetve konzultációt ezen eszközök forgalmazóival.

Az átszűrődés ellen szükséges szerelvények:

3. ábra: A fej külön álló állványa és zsaluja



4. ábra: A fejszalu kapcsolódása a földem további részeihez



5. ábra: A fej kialakítás alulról



6. ábra: A fej vasalása



Tervezői szemmel nézve ezen a területen igen kedvező a műszaki fejlődés és annak kivitelezési alkalmazása. Manapság már ritka fehér holló az, aki nem üzemben gyártott, megfelelő minőségi bizonylattal rendelkező szerelvényt tervez be és a kivitelezők is belátták, hogy az építés kockázatai csökkentésének egyik jelentős eleme az ilyen típusú födémeknél az átszűrődés biztonságos elhárítása.

2.4. A födém igénybevételek és a meghatározott anyagmennyiségek összehasonlítása

Az előbbi pontban említett anyagmennyiségek meghatározásához statikai számítások szükségesek.

A számítások a födém nyomatók, reakció erők, vasalások, átszűrődési vasalások, födém alakváltozások, repedéstágasságok meghatározására terjedtek ki.

Az alábbiakban összefoglaljuk az igénybevételi számítások és ellenőrzések eredményeit, ezek részleteit terjedelmi okok miatt nem közöljük.

2.4.1. Síklemezes és gombafejes födém statikai összehasonlítása

Az alábbiakban a részletes számítások alapján nyert geometriai és statikai jellemzőket hasonlítjuk össze (1. táblázat).

2.4.2. A két födém típusnál felhasznált anyagmennyiségek

2.4.3.1. Betonacél mennyiségek (B 500B)

Az egyes födém szerkezetek alkalmazott vasmennyiségeit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Födém szerkezetek vasmennyiségei

Födém szerkezetek vasmennyiségei		
	Gombafejes	Síklemez
	[kg]	[kg]
Alsó vasalás	9415,7	11557,3
Felső vasalás	9033,5	9664,1
Gombafej	530,4	-
Gerenda	4394,3	4394,3
Összes vasmennyiség	23373,9	25615,7

2.4.3.2. Betonmennyiségek (C30/37)

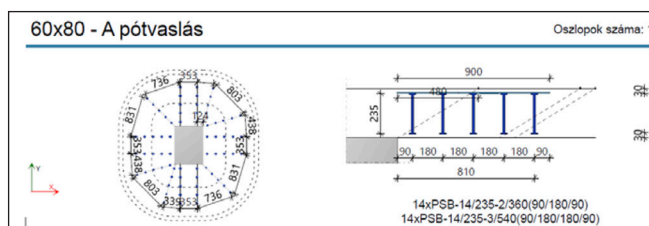
Az egyes födém szerkezetek alkalmazott betonmennyiségeit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Födém szerkezetek betonmennyiségei

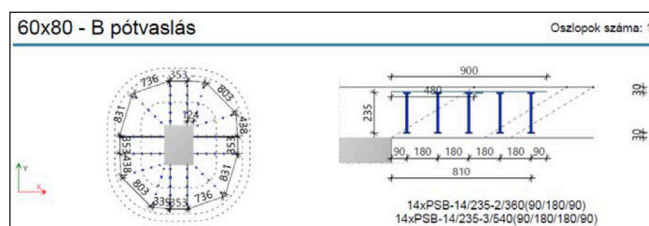
Födém szerkezetek betonmennyiségei		
	Gombafejes	Síklemez
	[m ³]	[m ³]
Lemez	152,5	196,9
Gombafej	15,3	-
Gerenda	18,8	18,8
Összes betonmennyiség	186,6	215,8

2.4.3.3. Átszűrődési vasalások mennyiségei

Síklemez födém esete:

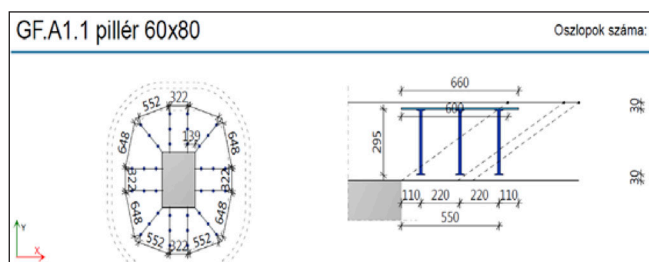


Csapok mérete: Ø14/235, oszloponként 14 x 5 = 70 db, készül 2 helyen, az összes átszűrődési csap 2 x 70 = 140 db



Az átszűrődési csapok mérete: Ø14/235, oszloponként 14 x 5 = 70 db, készül 4 helyen, az összes átszűrődési csap 4 x 70 = 280 db.

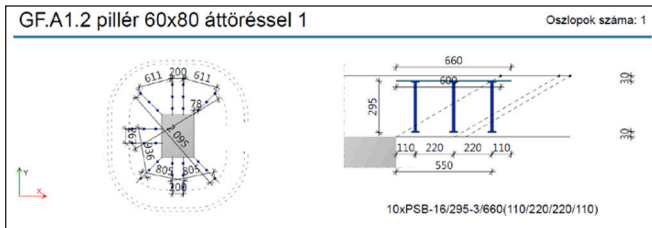
Gombafejes födém esete:



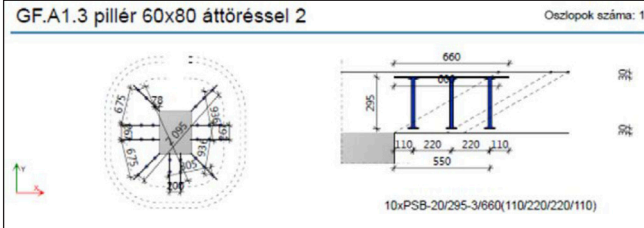
Átszűrődési csap mérete: Ø16/295, oszloponként 12 x 3 = 36 db van, készül 3 oszlopnál, az összes átszűrődési csap 3 x 36 = 108 db.

1. táblázat: Geometriai és statikai jellemzők összehasonlítása

Megnevezés	Síklemmez	Gombafejes
„Geometria” Raszter Lemezvastagság Fejméret Fejvastagság Perem	8,1 x 8,1 m v=29 cm - - gerendával merevített 50/50	8,1 x 8,1 m v=24 cm 2,70 m/2,70 m v _h =24+11=35 cm gerendával merevített 50/50
„Igénybevételek” ULS Belső mezőnyomaték Szélső mezőnyomaték Belső támasznyomaték Átszúródási reakcióerő	$m_x^+/m_y^+ = 60/60$ kNm/m $m_x^+/m_y^+ = 80/80$ kNm/m $m_x^-/m_y^- = 150(200) / 150(200)$ kNm/m max V _{Bd} /min V _{Bd} = Mező: 1270/1089 kN Perem: 786/655 kN	$m_x^+/m_y^+ = 40(50) / 40(50)$ kNm/m $m_x^+/m_y^+ = 70/70(60)$ kNm/m $m_x^-/m_y^- = 150(200) / 200(250)$ kNm/m max V _{Bd} /min V _{Bd} = =1240(570) / 1202(561) kN Perem 731/383 kN
„Vasalások” Számított hajlítási vas belső mezőben/ Számított hajlítási vas szélső mezőben Alkalmazott vas belső mezőben Alkalmazott vas szélső mezőben Számított támasz feletti vas Alkalmazott támasz feletti vas	$\min A_{as} / \max A_{as}$ 452/767 mm ² /m $\varnothing 14/250(612) + \varnothing 8/250(200)$ mm ² /m $\varnothing 14/250(612) + \varnothing 10/250(312)$ mm ² /m max A _{fs} /min A _{fs} 2061/1710 mm ² /m $\varnothing 12/250(453) + 2 \times \varnothing 20/25(2512)$ mm ² /m	$\min A_{as} / \max A_{as}$ 452/767 452/906 mm ² /m $\varnothing 12/225(502) + 10/225(347)$ mm ² /m $\varnothing 12/225(502) + 12/225(503)$ mm ² /m max A _{fs} /min A _{fs} 2061/1710 mm ² /m $\varnothing 10/225(347) + \varnothing 20/225(1396)$ $+ \varnothing 16/225(888)$ mm ² /m fej kontúrvas: $\varnothing 12/225(502)$ mm ² /m
„Használati követelmény” (SLS) lehajlás repedéstágasság	f = 24 mm < l/250 = 32,4 mm alsó oldali húzott vasalásnál w = 0,23 mm < 0,3 mm felső oldali húzott vasalásnál w = 0,18 mm < 0,3 mm	f = 30 mm < l/250 = 32,4 mm alsó oldali húzott vasalásnál w = 0,25 mm < 0,3 mm felső oldali húzott vasalásnál w = 0,25 mm < 0,3 mm
„Jellemző mennyiségek” Vizsgált terület Peremgerenda kerülete Alsó vasmennyiség Felső vasmennyiség Gombafej vasalások Átszúródási csap menny. Gerenda vasmennyiség Beton mennyiség: lemez + gerenda	679 m ² 74,3 fm 11557 kg 9664 kg 0,0 kg 70 db csap (Ø14/235) oszlop (60/80) 4394 kg 215,8 m ³	635,3 m ² 74,3 fm 9415,7 kg 9033,5 kg 530,4 kg 36 db csap. (Ø16/295) oszlop (60/80) + fej (v=35cm) 4394 kg 186,6 m ³



Átszűrődási csap mérete: Ø16/295, oszloponként $10 \times 3 = 30$ db van, készül 2 oszlopnál, az összes átszűrődási csap $2 \times 30 = 60$ db.



Az átszűrődési csapok mérete: Ø20/295, oszloponként $10 \times 3 = 30$ db, készül 1 db oszlopnál, az összes átszűrődési csap $1 \times 30 = 30$ db.

A számítások eredményeit összegezve a vizsgált földem területekre az alábbiakat kapjuk:

Síklemes földmennél: Ø14/235 csap 420 db.

Gombafejes földmennél: Ø16/295 csap 168 db, és Ø20/295 csap 30 db

2.4.3.4. A beton és acél anyagmennyiségek összehasonlítása

Az előbbiekben megadott anyagmennyiségekből az alábbi összehasonlítást tehetjük a két földem típusnál:

A $v=29$ cm vastag és 679 m^2 területű peremgerendával merevített síklemes földem beton mennyisége: $V_{\text{sík}} = 216 \text{ m}^3$ és ennek fajlagos értéke: $v_{\text{sík}} = 216 \text{ m}^3 / 679 \text{ m}^2 = 0,318 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

A 635 m^2 területű peremgerendával merevített gombafejes kialakításnál ($24 + 11$) a beton mennyisége: $V_{\text{fej}} = 187 \text{ m}^3$, ahol a fajlagos érték: $v_{\text{fej}} = 187 \text{ m}^3 / 635 \text{ m}^2 = 0,295 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

A többlet betonmennyiség fajlagos értéke:

$$\Delta v = v_{\text{sík}} - v_{\text{fej}} = 0,318 - 0,295 = 0,023 \text{ m}^3/\text{m}^2.$$

Egy szintről a többlet betonmennyiség térfogata, belső oszlopnál ($8,1 \text{ m} \times 8,1 \text{ m}$ raszter esetén) számítva:

$$\Delta V = 8,1 \text{ m} \times 8,1 \text{ m} \times 0,023 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 1,51 \text{ m}^3/\text{szint}.$$

A 679 m^2 területű síklemes földmennél a teljes vasmennyiség 25616 kg , ami $37,73 \text{ kg}/\text{m}^2$ fajlagos értéket mutat. A 635 m^2 területű gombafejes földmennél a teljes vasmennyiség 23374 kg , ami $36,81 \text{ kg}/\text{m}^2$ fajlagos értéket mutat. A vasmennyiség csökkenése $0,92 \text{ kg}/\text{m}^2$.

A fenti értékek alapján megállapítható, hogy abszolút értékben a gombafejes kialakításnál a felhasznált anyag mennyiségek kisebbek,

- a beton esetében a vizsgált 679 m^2 területen a csökkenés $215,8 - 186,6 = 29,2 \text{ m}^3$, ez fajlagosan $0,0430 \text{ m}^3/\text{m}^2$ értéket jelent és
- az acél esetében a csökkenés $25615,7 - 23373,9 = 2241,8 \text{ kg}$, ami fajlagosan $3,30 \text{ kg}/\text{m}^2$ értéket jelent.

Amennyiben a fajlagos acél felhasználást a beton mennyiségekre vetítjük, akkor az alábbi értékeket kapjuk:

Síklemes földmennél a fajlagos érték: $25615,7 \text{ kg} / 215,8 \text{ m}^3 = 118,70 \text{ kg}/\text{m}^3$

Gombafejes földmennél a fajlagos érték: $23373,9 \text{ kg} / 186,6 \text{ m}^3 = 125,26 \text{ kg}/\text{m}^3$

A fajlagos m^3 -es és a fajlagos m^2 -es értékekből a fajlagos vasmennyiség ellentétes tendenciákat mutat, a helyes megítéléshez (összehasonlításhoz) a földem 1 m^2 -re vetített érték ad reális képet.

2.5. Építési segédszerkezetek: állványozás, zsaluzás

Az építéshez szükséges segédszerkezetek (állványozás – zsaluzás) és mindezek építéséhez szükséges idő és szakmunka igény.

A választott 13 cm -es fejevastagítás esetén a felhasznált anyag többlet mintegy 20% -ra tehető és a munkadíj $30\text{-}50\%$ -os növekedést is mutathat a nagyobb szakmai tudás, a külön álló fej állvány és zsaluzat beillesztése a teljes rendszerbe, az egység kiszervezése és tárolási, organizációs költségei miatt.

Kedvezőbb lehetne az anyag felhasználási többlet, ha a fejevastagítás éppen egy járatos tartó magasságnak (20 cm) megfelelő lenne.

2.6. Az alapozásra jutó többlet terhelés és költség kihatása

A síklemes kialakításnál az alapozásra többletterhelés hárul.

A $v=29 \text{ cm}$ vastag és 679 m^2 területű földem beton mennyisége $V_{\text{sík}} = 216 \text{ m}^3$ és ennek fajlagos értéke $0,318 \text{ m}^3/\text{m}^2$. A 635 m^2 területű gombafejes kialakításnál ($24 + 11$) a beton mennyisége $V_{\text{fej}} = 187 \text{ m}^3$, ahol a fajlagos érték $0,295 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

A többlet beton mennyiség fajlagos értéke:

$$\Delta v = v_{\text{sík}} - v_{\text{fej}} = 0,318 - 0,295 = 0,023 \text{ m}^3/\text{m}^2.$$

Egy szintről a többlet betonmennyiség egy belső oszlopnál:

$$\Delta V = 8,1 \text{ m} \times 8,1 \text{ m} \times 0,023 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 1,51 \text{ m}^3/\text{szint}$$

Oszlopra jutó többlet terhelés szintenként:

$$\Delta G = 1,51 \text{ m}^3/\text{szint} \times 25 \text{ kN}/\text{m}^3 = \sim 40 \text{ kN}/\text{szint}/\text{oszlop}$$

Egy szokásos irodaépületnél 10 szint esetében ez 400 kN teljes többlet terhelés jelent az alapozásra, ami a szokásos budapesti talajviszonyok esetében 1 db 6 m hosszú és 60 cm átmérőjű cölöp többlet alkalmazását teszi szükségessé. Amennyiben ezt a növekedést 1 m^2 földemre vetítjük $80\,000 \text{ Ft}/\text{m}$ cölöppár esetén, akkor $750 \text{ Ft}/\text{m}^2$ értékű növekedést kapunk.

3. A KIVITELEZÉSI KÖLTSÉGEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

3.1. Az anyagköltségek összehasonlításnál figyelembe vett árak

Külső szakemberekkel folytatott megbeszélések alapján 2018 -as árszinten az alábbi két árváltozat valószínűsíthető, amelyek az anyag- és szerelés díját foglalják magukba. Az egyes földem típusoknál felmerülő, az összehasonlítás alapjául szolgáló költségeket a *4. táblázat* tartalmazza.

4. táblázat: Anyagárak összehasonlítása

Anyagárak összehasonlítása		
	1. változat K + R	2. változat Web
Betonacél B500 B	360 Ft/kg	420 Ft/kg
Átszűrődási vas:	370 Ft/db	430 Ft/db
Beton C30/37:	35 500 Ft/m ³	46 750 Ft/m ³
Zsaluzás és állványozás árai		
Síkföldem	7 000 Ft/m ²	9 400 Ft/m ²
Gombafejes földem	8 500 Ft/m ²	13 150 Ft/m ²
Cölöpözés ára		
Ø60 cm és h = 10 fm esetén	80 000 Ft/m	

3.2. Költségeket összehasonlító táblázat és értékelése

A földémszerkezetet alkotó fő anyagok költségeit az *5. táblázatban* hasonlítjuk össze az előző pontokban meghatározott mennyiségek és egységárak segítségével.

Az alábbiakban felsorolt paramétereknél egyenként is elemezzük a két földem típus költségeit egy m^2 földemterületre vetítve. Az árnál az anyag- (A) és munkadíjak (D) együttes értéke szerepel.

Az adott geometriai kialakítású és terhelésű, azonos anyagminőségek esetén az összehasonlítást egyrészt a számszerűsíthető (számítható) mennyiségek és másrészt a minőségi (nehezen számszerűsíthető) paraméterek segítségével végezhetjük. A következő táblázatban a földem építési költségeinek számszerűsíthető paraméterei szerepelnek.

5. táblázat: Anyagköltségek összehasonlítása

Jellemző	Síklemeszd fődém	Gombafödém
Terület	679 m ²	635 m ²
V _{beton}	216 m ³	187 m ³
Fajlagos beton	0,318 m ³ /m ²	0,295 m ³ /m ²
Beton ára	35500-46750 Ft/m ³	
Fajlagos betonár	min. 11 289 Ft/m ² max. 14 867 Ft/m ²	min. 10 473 Ft/m ² max. 13 791 Ft/m ²
G _{vas}	25 616 kg	23 374 kg
Vas ára	360 – 420 Ft/kg	
Fajlagos vasmennyiség ára	min. 13 581 Ft/m ² max. 15 845 Ft/m ²	min. 13251 Ft/m ² max. 15 460 Ft/m ²
Átszűrődási csap teljes ára	312 749 Ft	187 712 Ft
Átszűrődási csap fajlagos ára	461 Ft/m ²	296 Ft/m ²
Zsaluzás, állvány	min. 7 000 Ft/m ² max. 9 400 Ft/m ²	min. 8 500 Ft/m ² max. 13 150 Ft/m ²
Alapozásra jutó többlet	750 Ft/m ²	0,00
Betonszivattyúzási többlet	70 Ft/m ²	0,00
Daruzási többlet zsalu miatt	0,00	900 Ft/m ²
Munkahézagképzés többlet	40 Ft/m ²	0,00
Építési organizációs többlet	0,00	400 Ft/m ²
Szerkezet összegzett fajlagos ára	min. 33 511 Ft/m ² max. 41 753 Ft/m ²	min. 33 820 Ft/m ² max. 43 997 Ft/m ²

A táblázatban szereplő árak a 2018-as árszínvonalon értendők.

3.3. Számszerűsíthető mennyiségi paraméterek összevetése

A 3.2 pontban szereplő 5 táblázat adatait az alábbiakban értékeljük:

3.3.1. A beton költsége

A síklemeszd fődémnél ez a költség max. 14 867 Ft/m², s a gombafejes fődémnél max. 13 791 Ft/m², ami azt jelenti, hogy a síklemeszd fődém betonjának ára 29,8 %-kal magasabb.

3.3.2. A betonacél költségei

A teherbírási (ULS) és alakváltozási (SLS) követelményeket teljesítő kialakításnál síkfödémnél max. 15 845 Ft/m² és gombafejesnél max. 15 460 Ft/m² a költség, ami azt jelenti, hogy a két fődém típusnál azonos költséget jelent a betonacél.

3.3.3. Átszűrődási csap (szerelvény) költségei

Sík fődém kialakításnál az átszűrődási csapok költsége 461 Ft/m² és gombafejes fődémnél 296 Ft/m², ami azt jelenti, hogy a síklemeszd fődém átszűrődási vasalása 36 %-kal drágább.

3.3.4. A zsaluzás és állványozás költségei

Ha síkfödémnél a zsaluzás mennyisége 100 %, akkor gombafejes kialakításnál ez 8-12 %-kal több (108-112 %).

Abszolút értékben max. 9 400 Ft/m² a zsaluzás és állványozás költsége a síkfödémnél. A gombafejes fődémnél ez max. 13 150 Ft/m², ami azt jelenti, hogy a síklemeszd fődémhez képest 40 %-kal drágább.

3.3.5. Az alapozásra jutó többlet terhelés költsége

A nagyobb terhelés az alapozásra a síklemeszd fődémnél adódik és az alapozás költségét a gombafejes fődémhez képest 750 Ft/m² értékkel növeli.

3.3.6. A betonszivattyúzás költsége

A síkfödémnél 2,8 m³ többlet beton beszállítása szükséges, ami 70 Ft/m²-rel növeli annak költségét.

3.3.7. A daruzás

Az építési anyagok (beton és acél) mozgatásához szükséges daruzás költségei feltételezhetően a két fődém típusnál azonos értéket mutatnak, azonban a gombafejes kialakításnál a segéd szerkezet kialakításához többlet daruzási költségek párosulnak, és kedvezőtlen a szükséges daruzási idő növekedése, ami a telepítendő daruk számára is kihatással lehet.

A gombafejes fődémnél merül fel daruzási többlet, ennek költsége 900 Ft/m²-ben adható meg.

3.3.8. A munkahézag képzés költsége

Az építéshez szükséges munkahézagok képzése azonos időtartamúnak vehető, de az ahhoz felhasznált anyagmennyiség - az eltérő lemezvastagság miatt - más.

Ez a költség a fődémvastagság arányában (29/24 = 1,20) növekszik és a síklemeszd fődémnél ez 40 Ft/m² értékű növekedést jelent.

3.3.9. Az építési organizáció költségei

Az építés organizációja (állvány-zsaluzat tárolása és építése, vasalás tárolása és szerelési sorrendje, a kizsaluzás módja, a munkahézagok lehetséges helyei stb.) a gombafejes kialakításnál körültekintőbb eljárást kíván és bonyolultabb, ezért valamivel költségesebb is. A költség egy munkahelyi mérnök béréből számítható, ami 400 Ft/m² értéket ad.

3.3.10. Az anyagok beépítésének költségei

Ezeket (beton bedolgozás, betonacél beszerelés, zsaluzás) nem kell külön számba vennünk, mert ezek díjai az anyagáron kívül a munkadíjat is tartalmazza, amint azt korábban jeleztük. Azonban az tény, hogy a gombafejes kialakításnál az anyagok beépítése, ahogy ezt az alábbiakban leírjuk, „drágítja” kivitelezést.

Az anyagok beépítésénél használt technológiai lépések, mint a betonacél beépítése és a beton beldolgozása a két födémnél csak a vasszerelésben mutat eltérést. A gombafej kialakítás megköti a vasalás sorrendjét és az általános (ortogonális) vasalás kialakíthatóságát. Azaz gombfejes kialakításnál csak szálvasakból szerelt vasalás alkalmazása a célszerű, míg síklemezes kialakításnál az előszerelt vasalások (hegesztett háló, BAMTEC szőnyeg, táblás vasalás) alkalmazása is szóba jöhet, ami a vasszerelési időben jelentősen eltérhet.

A betonozási idő a két megoldásnál jelentősebben eltérhet egymástól az eltérő mennyiségek folytán. Így a betonozó csapat ideje, díja is más, továbbá a szükséges betonszállítás és annak szervezése, de a betonozáshoz használt daruzási idő, mely ezen túlmenően az egyéb irányú munkálatokhoz szükséges daruzási időt befolyásolja.

A gombafej megépítéséhez többlet zsaluzási anyagra van szükség, ami fej méretének az általános állvány és zsaluzási rendszer „zavarásából”, a fej alatti állvány külön merevítéséből és az oldalzsaluzatból és annak megtámasztásából adódik.

Az összehasonlítás végeredményeként kapott m^2 -es födém szerkezeti árak igen közel esnek egymáshoz, így csak felhasznált anyagmennyiségek alapján nem lehet egyértelmű döntést hozni. Ezért célszerű a kivitelezési költségeket befolyásoló egyéb tényezőket is vizsgálni. A döntésnél tekintettel kell lenni a világpiac árakra gyakorolt hatásaira is, melyek a kereslettől és kínálattól függően erős változásokat mutathatnak.

3.4. A kivitelezési költségeket befolyásoló egyéb tényezők

A költségek ingadozását az előbbi számszerűsíthető értékeken túlmenően a minőségi paraméterek is befolyásolják a gombafejes kialakítást. Ide sorolhatjuk

- az építési időt,
- a gépészeti rendszerek kialakításának kötöttebb formáját,
- az épülettípus befolyását,
- az épület megvalósításához szükséges szakmai tudást (beruházó, tervező, kivitelező, műszaki ellenőr),
- a tervezett építészeti formát, különösen a homlokzati rendszer hatását,
- a statikus tervező tapasztalatát az ilyen típusú épületeknél,
- a beruházói gárda tudását, tapasztalatát.

Úgy véljük, hogy a felsoroltak mind néhány százalékkal és elsősorban a gombafejes kialakításnál növelik a megvalósítás költségét, amit a végső ár kialakításánál célszerű figyelembe venni.

3.4.1. Az építési idő

A két födémtípus kialakítása szempontjából a síklemezes födém kedvezőbb, átlagos képzettségű kivitelezői gárda esetén bizonyára gyorsabban tudja az építéshez szükséges munkálatokat (zsaluzás, vasszerelés stb.) elvégezni, tehát a gombafejes kialakítású födém tartalmazó szerkezet építési ideje hosszabb lesz. Ez a ma rendelkezésre álló építési időre jelentős befolyással lehet és így szerkezetválasztási döntésünkre is.

3.4.2. Gépészeti rendszerek hatása a költségekre

Az épület működéséhez szükségesek gépészeti rendszerek (hűtés, fűtés, villamos rendszerek stb.). Mindkét típusnál az elmaradt oszlop közeli nyílások utólagos készítése jelentősen rontcsolja és gyengíti a födém szerkezetét.

Nagyobb fej magasságnál korlátozza a gépészeti rendszerek szabad kialakítását, kötöttséget jelenthet, ami többlet anyagfelhasználáshoz vezethet.

3.4.3. Az épülettípus hatása a költségekre

Az épület típusa is hatással van a szerkezet árára.

Iroda - ahol a bevezetőben említett geometriájú elrendezés funkcionálisan használható. Viszonylag szabályos rendszer, könnyű válaszfallal, mozgásra nem kényes padlókkal. Leginkább ezen épület típusnál merül fel a szerkezeti rendszer (sík- és gombafejes) kialakítása.

Lakóépület Esztétikailag zavaró megoldás a gombafej. (szabálytalan alaprajz és födém megtámasztás, nehéz válaszfalakkal, mozgásra kényes padlókkal, hőszigetelt erkélyekkel). Kiegészítő álmennyezet alkalmazása válhat szükségessé.

Iskolák jellemzője az egyenlőtlen nyílás kialakítás és a födémekre működő dinamikus terhelés.

Középületek jellemzői megegyeznek az irodáknál írtakkal.

Általánosságban megállapítható, hogy az esztétikailag egyenértékű megoldáshoz a fejes kialakításnál álmennyezet alkalmazása szükséges.

3.4.4. Az építés megvalósításához szükséges szakmai tudás

A gombafejes kialakítás bonyolultabbnak tekinthető, mint a síklemezes kialakítás. Ennek következtében nagyobb tervezői és kivitelezői felkészültséget, szakmai tudást kíván. Gondolunk itt elsősorban a kivitelezésre, ahol a szakképzett munkaerő állománya ma szűkös, az ellenőrzéshez szükséges kapacitás nem, vagy csak részben biztosított, így a hibázás lehetősége nagyobb. Hasonlóan a tervezésnél, a gombafejes megoldás ritkábban alkalmazott és ezáltal kevésbé ismert, összetettebb terveket kíván meg.

3.4.5. Az építészeti formálás mai trendjei

A ferde oszlopok megjelenése, a homlokzatok változatosságának elérése, a homlokzati oszlopok kiosztási rendje és egymás feletti rendszerének eltérése és alaprajzi elhelyezkedése stb. jellemzi a mai építészeti elképzelést. Szerencsés esetben a raszter tengelytávolságok szabályosságot mutatnak.

A beépítési magasságok korlátja és a gombafej magasítás esetleges kihatásai a szint magasságra, az álmennyezeti magasságra, mind befolyásoló paraméter a síklemezes és gombafejes födém kialakításánál.

A szerkezeti megoldás kiválasztásánál még figyelembe veendő a födém perem kialakítása, annak merevítése és tűzgátló szerepe, valamint a parapettek által előálló oszlop „rövidülések” elkerülése (lásd rövid oszlop kedvezőtlen nyírási viselkedését földrengésnél).

3.4.6. A tervezők tapasztalata a szerkezettervezés területén

A statikus tervezői tapasztalat arra int, hogy mind a tervező partnerekkel az „együttműködés”, mind a kivitelezővel az együttműködés fontos a szerkezet kialakításánál.

Amennyiben lehetőségünk van (pl. a tervezés a koncepciótervezéssel kezdődik, szorgalmazzuk ezt, úgy a tapasztalt statikus tervező együttműködésre törekszik a többi tervezőpartnerrel és befolyással, véleményével él az építészeti gondolat (megoldás) fejlesztésénél, nem szem elől tévesztve az építhetőség kérdését is. Sajnálatos, hogy a Közbeszerzési Törvény nem enged teret a kivitelezői

vélemény, együttműködés bekapcsolásának, de nem kell ezt mellőzni privát beruházó esetén, ahol erőltetés nélkül, rövid átfutási idővel és objektív módon végezhető a tervezés a Build and Design szellemiségében. A teljes életciklus: előkészítés, tervezés, építés és működtetés, pl. hosszútávon belső átalakítások az épületben komplex figyelembevétele célszerű.

Ennek fényében a ma divatosan hangoztatott B and D eljárás csak részben nyújt segítséget, mert ehhez a beruházó és a nemzeti érdekeket előíró szabványok betartását biztosító minőségellenőrzés, tervellenőrzés szükséges, ami a legtöbb esetben hiányzik.

3.4.7. A beruházó szerepe a szerkezet választásnál

A beruházó szerepét egyrészt aszerint ítéldhetjük meg a szerkezet kialakítás során, hogy céljai: rövid távúak (építés + eladás), vagy hosszú távúak (fenntarthatóság + alacsony üzemeltetési költség).

Másrészt, hogy a beruházó „tudása” az építésről milyen: *ha van* (akkor kellemes az együttműködés), *ha „nincs”*, vagy csak kevés, akkor hagyja magát „félrevezetni” (pl. nem kellően gondos project manager által elhiszi, hogy az alacsony költség nagy hasznot hoz és ugyan olyan minőségű épületet kap).

Továbbá fontos, hogy mennyi a Beruházó tapasztalata az építésről: *ha van* akkor ismeri az elvárt minőség és ár kapcsolatát és a szükséges építési időt, *vagy ha nincs tapasztalata*, akkor irreális építési időt képzel el és a cél, hogy „olcsó” legyen.

Fontos számba venni a projekt menedzser ismereteit is: kedvező, *ha tapasztalt* (pozitív, problémamegoldó tudással és képességgel, felelősségvállalással), és kedvezőtlen *ha tapasztalatlan* (csak vezetői ambíciókkal, hiányos szakmai ismeretekkel, felelősséget elhárító szemlélettel) és úgy gondolja, minden kockázat a tervezőé, vagy kivitelezőé.

4. AZ ÖSSZEHASONLÍTÁS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett elemzések alapján az alábbi következtetések vonhatók le.

- 4.1. A költségeket összehasonlító, a 3.2 pont alatt közölt táblázat alapján (a két födém típus építéséhez felhasznált anyag mennyiségek alapján) nem állapítható meg egyértelműen a gombafejes kialakítás előnye a síklemezes kialakításhoz képest. A szerkezetválasztási döntésnél nem hagyhatjuk figyelmen kívül a 3.4 pont alatt felsorolt egyéb tényezőket sem.
- 4.2. A két födém típus közötti választáshoz igen összetett és sok szempontot figyelembe vevő elemzés szükséges, hogy viszonylag objektív döntés születessen, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy az egyik vagy másik födém típus kerül-e alkalmazásra, az nagyban függ a tervezői és kivitelezői tapasztalatoktól. A síklemezes födém „egyszerűsége” folytán többlet anyagot használ,

míg a gombafejes födém anyagtakarékosabb, melynek előnyét a tervezés és kivitelezés bonyolultabb volta könnyen elemésztheti.

- 4.3. Az elemzés arra is rámutat, hogy egy tenderezés során az odavezető tervezési folyamat ismerete nélkül a korábban megtervezett födém típus megváltoztatása nem biztos, hogy előnnyel jár, ha figyelembe vesszük az áttekintéshez szükséges költségeket és időtartamot, valamint az építési időt.
- 4.4. Az elemzés segítséget adhat a tervezés kezdeti szakaszában (előtervezés, koncepciótervezés) a födém típus megválasztásához, a cikkben tárgyalt szempontok együttes figyelembevétele. Az elemzés rámutat arra is, hogy a döntéshez a beruházói, a kivitelezői véleményeket figyelembe kell venni.
- 4.5. Az elemzésünk ugyan külön nem tér ki „a környezet védelmi” szempontokra és a „munkaerő költségeinek” napjainkban végbe menő jelentős változására, amit a födém típus kiválasztásnál figyelembe kell venni

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk indításakor kivitelező kollégákat kerestünk meg és előzetes véleményüket kértük a statikailag egyenértékű két födém típus kialakítás költségeinek meghatározására. Ezúton mondunk köszönetet Weber Lászlónak, Lachmann Botondnak, Kalkopulosz Attilának és Richter Ádámnak, akik számos gondolattal és tényszerű adattal segítettek, hogy minél realitás legyen összehasonlító elemzésünk. A cikk írása során egy korábbi projekt számítási adatait is felhasználtuk, ennek engedélyezését köszönjük az EXON2000 Kft-nek (Szántó László és Nagy Ábel).

Dr. Almási József (1940) okl. építőmérnök (1964), műszaki doktor (1972), 29 évi kutatás a BME Vasbetonszerkezetek Tanszékén, több mint 200 szakvélemény készítője, 1995 óta a CAEC Kft, 2002 óta az APSE Kft. ügyvezetője. 2002-ben Palotás-díjat kapott. A BME címzetes egyetemi docense. A *fiB* Magyar Tagozat tagja.

Jeszenszki István (1990) okl. építőmérnök (2016), 2016 óta statikus tervező a CAEC Kft-nél.

COMPARISON OF TWO STATICALLY EQUIVALENT REINFORCED CONCRETE SLAB TYPES

József Almási - István Jeszenszki

Design and construction of a building with in-situ reinforced concrete structure always comes with a hard question, whether the flat slab or the mushroom slab is more economical? To answer this question is the best if the investor, the designer and the contractor make the decision together, because this is the only way to choose the best agreed solution for everyone.

In our article we examine of both slab types which are the same from static point of view. We compare the slab types from different aspects, but especially from the specific costs and quantities. In the end, this article summarize the results of the examinations and comparison of the slab types, to help the reader to make the decision easier in the future.

MONOLIT VASBETON KERETSAROK NUMERIKUS VIZSGÁLATA

1. RÉSZ: EGYIRÁNYÚ MONOTON NÖVEKVŐ TERHELÉS



Roszevák Zsolt - Dr. Haris István

DOI: 10.32969/VB.2019.3.3

*A monolit vasbeton szerkezetek numerikus modellezésére napjainkban számos számítógépes szoftver áll rendelkezésünkre, azonban a programokkal megalkotott numerikus modellek pontossága csak megfelelően kidolgozott és verifikált modellezési eljárással lehet elfogadható. Jelen, két részből álló cikksorozatunk keretein belül egy általunk felépített modellezési eljárással készített numerikus modellen keresztül mutatjuk be monolit vasbeton keretsarkok viselkedését először kvázi-statisztikus, majd ciklikusan változó irányú és nagyságú terhelésre. A csomópontok tönkremenetelének és ezen egyedi erőjátékkal rendelkező kapcsolatok viselkedésének vizsgálatára már korábban számos laborkísérlet készült. Jelen cikkben a tényleges laborkísérletekhez igazodva, eltérő vasvezetéssel készített, **háromdimenziós nemlineáris végelelemes testmodelleken** mutatjuk be a csomópontok viselkedését egyirányú monoton növekvő kvázi-statisztikus terhek hatására. A szakirodalomban fellelhető laboratóriumi vizsgálatokat és az általunk elvégzett végelelemes számításokkal kapott eredményeket hasonlítjuk össze és az azokból levonható következtetéseket összegezzük jelen cikk keretein belül. A ciklikusan változó terhek vizsgálatát a második cikkben elemezzük részletesen.*

Kulcsszavak: vasbeton keretsarok, oszlop-gerenda csomópont, nemlineáris végelelemes analízis, ATENA 3D szoftver, kvázi-statisztikus teher

1. BEVEZETÉS

A kutató mérnökök napjainkban számos témában készítenek numerikus vizsgálatokat, melyekkel az egyes szerkezeti elemek viselkedését számítógépes úton is képesek modellezni. Erre egyúttal a praktizáló mérnökök részéről is egyre nagyobb igény mutatkozik. A numerikus modellek és azok eredményeinek verifikálásához azonban elengedhetetlen olyan laboratóriumi kísérletek elvégzése, melyekkel a számítógépes vizsgálataink helyességét és pontosságát alá tudjuk támasztani. Gyakorlati szempontból fontos, hogy a megalkotott numerikus modell a lehető legjobban kövesse a szerkezet valós viselkedését, ezért a modelljeink egyre részletesebbek és ezáltal bonyolultabbak is lesznek. Egy monolit vasbeton szerkezet modellezése szempontjából korántsem elhanyagolhatóak a megválasztott végelelemes szoftverben alkalmazható anyagok és **anyagmodellek** tulajdonságai, így mindenképpen olyan szoftvert kell használnunk/alkalmaznunk, mellyel az általunk elemzett problémát megfelelően tudjuk vizsgálni. Jelen kézirat elsődleges célja, hogy az általunk kifejlesztett modellezési eljárás használatával felépített különböző monolit vasbeton keretsarok (egy csomópontba befutó, egymásra merőleges helyzetű két rúd) és eltérő vasalású oszlop-gerenda (egy rúd közbülső csomópontjába becsatlakozó merőleges rúd) kapcsolatok numerikus modelljeinek viselkedése és a kapott numerikus eredmények a már meglévő és a szakirodalomban rendelkezésre álló laboratóriumi kísérletekkel megfeleltethetőek legyenek. Bemutatjuk és elemezzük az eltérő vasvezetéssel kialakított modellek előnyeit és hátrányait.

2. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS ÉS SZAKIRODALMI KÖRNYEZET

A hazai és nemzetközi mérnöki gyakorlatban számos esetben készülnek monolit vasbeton keretszerkezetek. A XX. század közepétől kezdve sok kutatást végeztek és publikáltak a monolit vasbeton keretekkel, illetve a keretvázak egyes csomópontjainak kialakításával kapcsolatban. A témában számos laboratóriumi kísérlet készült az 1910-es évektől kezdve (Kazinczy, 1917), továbbá az informatikai fejlődésnek köszönhetően, ugyan csak kisebb számban, de numerikus vizsgálatok is fellelhetők már a szakirodalomban. Jelen fejezetben a szakirodalomban fellelhető, a monolit vasbeton keretsarkokra és oszlop-gerenda kapcsolatokra vonatkozó kutatási irányzatokat és eredményeket összegezzük.

Hazai vonatkozásban a monolit vasbeton keretsarkokkal, azon belül is a monolit vasbeton medencék sarokcsomópontjainak kialakításával kapcsolatban az 1910-es években készültek az első laboratóriumi kísérletek (Kazinczy, 1917). A kísérletsorozat során a kapcsolat teherbírása szempontjából a sarokkapcsolatban alkalmazott betonacélok és azok eltérő vasvezetései hatását vizsgálták. A vasbeton vázas épületek közbenső „+”-alakú és szélső „T”-alakú oszlop-gerenda kapcsolatának különféle vasalási kialakításainak és annak teherbírására gyakorolt hatásának vizsgálatai számos későbbi kutatási program alapját képezték (pl. Kordina és Kohler, 1971). Sok laborkísérlet készült többek közt szélső, „T”-alakú oszlop-gerenda kapcsolat vizsgálatára, melyben szintén a különféle vaskialakítás és vasvezetés (hurkos vasalás, átlós vasalás, hurkos és átlós vasalás együttesen) függvényében határozták

meg az egyes próbatetek tényleges teherbírását, valamint a keresztmetszet nyomaték-elfordulás görbét (Kordina, 1978), melyek alapján az egyes alkalmazott vasalási kialakításoknál számos gyakorlati ajánlást tettek, így például már a csomópontban elhelyezett betonacélok szükséges lehorgonyzási hosszára vonatkozóan is javaslatot adtak. A korábbi laborkísérleti eredményekre alapozva Kordina, Teutsch és Wegener (1995) több javaslatot fogalmazott meg az egyes monolit vasbeton szerkezeti elemek csomópontjainak (keretsarok, közbenső és szélső oszlop-gerenda csomópontja) vasalási kialakítására, melyeket a gyakorló mérnökök jelenleg is alkalmaznak. A záródó és nyíló keretsarok különféle vasalási kialakításának a teherbírásra gyakorolt hatását számos analitikus modellel is vizsgálták, melyeket laboratóriumban végzett kísérletekkel verifikáltak. Kétdimenziós, rúd modellen végzett végeselemes vizsgálatok és laboratóriumi kvázi-statisztikus (egyirányú monoton növekvő) terhelésű kísérletek eredményeként fogalmazódott meg többek közt, hogy a beton és betonacél közötti kapcsolat alapvetően meghatározza a végeselemes modell alkalmazhatóságát, illetve, hogy a beton és betonacél közötti kapcsolat a valótól eltérően definiált tapadás-relatív elmozdulás összefüggése előnyös hatással van a kapcsolat alakváltozási képességére. Megmutatták továbbá, hogy a numerikus modellekben a tényleges (valós) pozícióhoz képest kis eltéréssel elhelyezett betonacéloknak nincs kedvezőtlen hatása a kapcsolat teherbírására (Morgan, 2000). A nyíló keretsarokra vonatkozóan számos laboratóriumi kísérlettel alátámasztott analitikus modell készült, melyek alapján megállapítható, hogy a kapcsolat teherbírását nagyban befolyásolja a vasvezetés módja, a sarokcsomópont szöge, az alkalmazott húzott vashányad és a ferde betonacélok vashányada összességében ugyanakkora teljes „betonacél-felhasználás” esetén (Campana, Ruiz és Muttoni, 2013). Továbbá a ferde betonacélok alkalmazásával jelentősen növelhető a kapcsolat teherbírása és az alakváltozó képessége is. Számos lineáris és nemlineáris végeselemes (Abaqus, ATENA 2D) és analitikus számítás készült a nyíló keretsarok vizsgálatára (Szczecina és Winnicki, 2015; Himanshu és Roshan, 2018; Windisch, 2018). Szczecina és Winnicki (2015) 2D végeselemes modellekkel és analitikus rácsostartó (Strut-and-Tie) modellekkel vizsgálta a monolit vasbeton keretsarok modellezési lehetőségeit (Szczecina és Winnicki, 2015; Almási, 1992). Eredményeik alapján a megfelelő erő-elmozdulás karakterisztika jelentősen egyszerűbben elérhető abban az esetben, ha a vizsgálatok során síkbeli alakváltozási állapotot feltételezünk.

Meg kell ugyanakkor jegyezzük, hogy a fellelhető forrásokban többnyire laboratóriumi kísérletek vannak publikálva, melyeket csak néhány esetben alkalmaztak numerikus modellek verifikálására, fejlesztésére. A numerikus modellek szinte kizárólag 2D-s lineáris és még ritkábban nemlineáris vizsgálatok, csak elvétve találhatók háromdimenziós nemlineáris végeselemes számítások. Mindezeket figyelembe véve a témában egyre nagyobb igény fogalmazódik meg a háromdimenziós nemlineáris végeselemes modellek fejlesztése és alkalmazása iránt. A monolit vasbeton szerkezetek, így a jelen cikkben tárgyalt csomópontok magas szintű numerikus vizsgálatai korántsem tekinthetők teljesen kiaknázott kutatási területnek. A monolit vasbeton szerkezetek viselkedésének megismerése és az eltérő csomóponti kialakítások, valamint az azokban alkalmazott különféle vasvezetések numerikus vizsgálatai segítenek az adott kapcsolat működésének megértésében és leírásában. Így a valós laborkísérletek alapján igazolt 3D-s nemlineáris végeselemes szoftverekkel számos, még laboratóriumi körülmények között nem vizsgált vagy mérete miatt kísérletileg nehezen kezelhető szerkezeti kialakítás válik vizsgálhatóvá.

3. NUMERIKUS MODELLEK

A végeselemes modelleket az *ATENA 3D v5* nemlineáris végeselemes szoftverrel építettük fel. A numerikus vizsgálatok során az egyes oszlop-gerenda csomópontok egyirányú, a tönkremenetelig monoton növekvő, kvázi-statisztikus teherrel szembeni viselkedését elemezzük. A numerikus eredmények helyességét tényleges laborkísérletek eredményeihez hasonlítjuk, ezzel megmutatva az általunk kidolgozott modellezési eljárás pontosságát, helyességét. A felépített numerikus modelleket a szakirodalomban fellelhető laboratóriumi kísérletekkel (Sin és Bing, 2011; Morgan, 2000) megegyezően készítettük el.

A numerikus modellek geometriai méretei és vasalásuk a laboratóriumban vizsgált próbatetekkel megegyezően lettek meghatározva (Sin és Bing, 2011; Morgan, 2000). A numerikus vizsgálatok alapjait képező laboratóriumi kísérletek főbb alapadatait és a kapcsolatok tényleges kialakítását az 1. táblázatban foglaljuk össze. A laboratóriumban vizsgált próbatetek (NS, LS és RV jelű) statikai vázainak sémáját az 1. ábrán mutatjuk be.

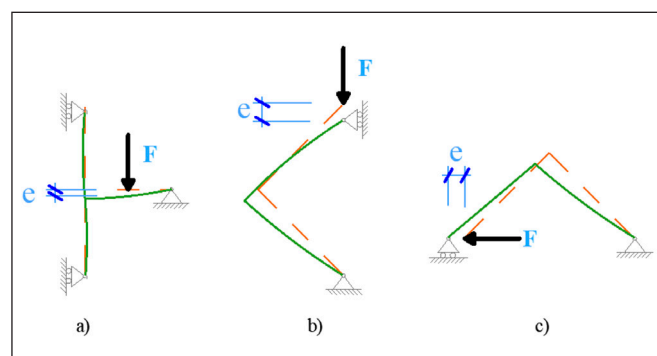
A kvázi statisztikus terhelésű numerikus kísérletek során a betonra vonatkozó anyagmodellt a korábbi eredményeink alapján (Haris és Roszevá, 2017) egyedileg parametrizált modellel definiáltuk. A betonacélra vonatkozó anyagmodell a laboratóriumi kísérletekben is alkalmazott betonacélok tulajdonságainak megfelelően, a valós feszültség-alakváltozás karakterisztikával lettek megadva (Haris és Roszevá, 2017), kivéve az „NS” és az „LS” jelű próbatetek esetén, melyeknél lineárisan rugalmas - lineárisan felkeményedő anyagmodellt alkalmaztunk, mert a laboratóriumi kísérletsorozat (Sin és Bing, 2011) során alkalmazott betonacélok szakítókísérletének (erő-alakváltozás diagram) eredményei nem, csak a folyáshatár és a szakítószilárdság értéke állt rendelkezésünkre.

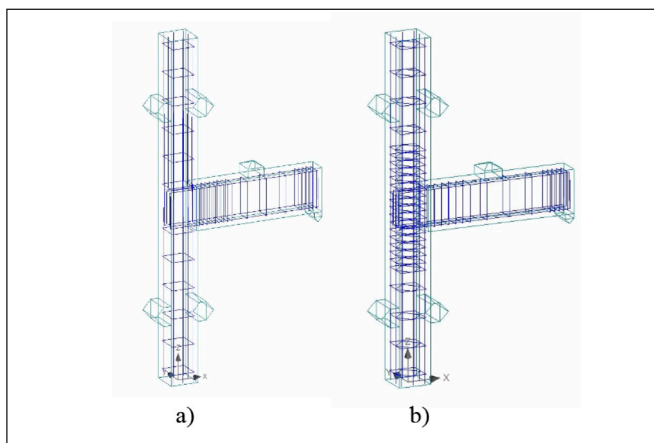
1. táblázat: Próbatestek paraméterei

Kvázi-statisztikus terhelés							
Próbatest geometria	Vasalás kialakítása	Alkalmazott vasalás				Próbatest jele	Laborkísérletek végzője(ek)
		Gerenda hosszvasalás	Oszlop hosszvasalás	Gerenda kengyel	Oszlop kengyel		
		2+3Ø25	8Ø20	Ø10/100	Ø10/300	NS01	Sim Lim Yap, Bing Li (2011)
		2+3Ø25	8Ø20	Ø10/80	Ø10/300	NS02	
		2+3Ø25	8Ø20	Ø10/50	Ø10/300	NS03	
		3+3Ø25	8Ø20	2Ø10/100	2Ø10/100	LS01	
		3+3Ø25	8Ø20	2Ø10/80	2Ø10/80	LS02	
		3+3Ø25	8Ø20	2Ø10/50	2Ø10/50	LS03	
		6Ø16	8Ø16	-	-	RV1	Morgan Johanson (2000)
		5Ø16	5Ø16	-	-	RV9	
		6Ø16	6Ø16	-	-	RV2	
		5Ø16	5Ø16	-	-	RV10	

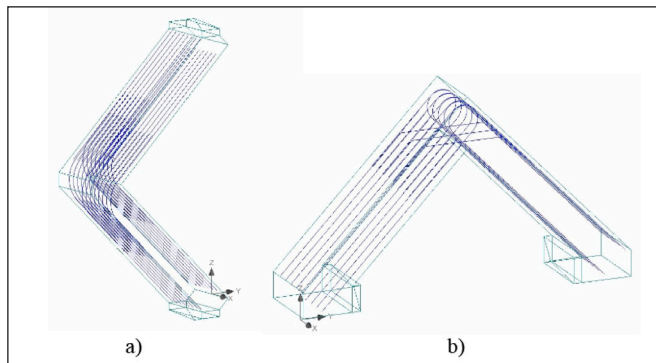
1. ábra: Próbatestek statikai vázai

a) NS és LS próbatetek, b) RV1 és RV2 próbatetek, c) RV9 és RV10 próbatetek





2. ábra: Numerikus modellek; oszlop-gerenda kapcsolat, a) NS03 próbatétel; b) LS02 próbatétel

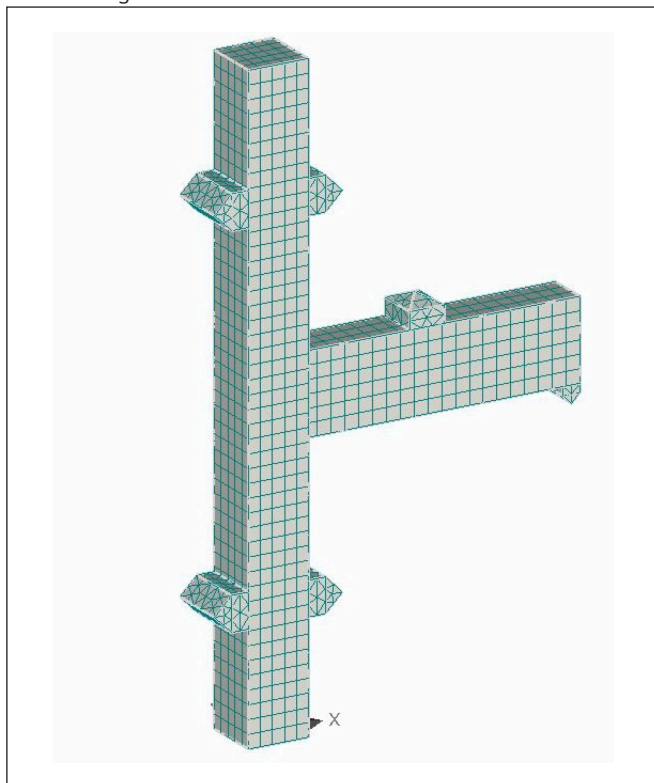


3. ábra: Numerikus modellek; keretsarok - a) RV1 próbatétel; b) RV9 próbatétel

A hosszirányú betonacélokat a valós geometriájukkal és átmérőjükkel, a kengyeleket a tényleges hajlítási alaktól eltérő zárt négyszög alakkal, de a valós átmérőjükkel modelleztük. A beton és a betonacél közötti kapcsolatot a CEB-FIB 1990 Model Code-ban megadottak alapján számítottuk és definiáltuk a numerikus modellekben (*fib-Model Code for Concrete Structures*, 2010).

A numerikus modellekben egységesen kvadratikus bázis-

4. ábra: Végeselemes felosztás



függvényeket alkalmaztunk, valamint a beton elemekre 20 csomópontos téglatest végelemeket használtunk (Cervenka et al., 2014). A végelem háló mérete (4. ábra) a szerkezeti elemekben azonos mérettel lett felvéve úgy, hogy az adott keresztmetszeti méreten belül minimum 4 db végelem legyen (Haris és Roszevák, 2017). A laborkísérletek során alkalmazott támaszok és erőbevezetések pozícióiban a numerikus modellekben acéllemezeket definiáltunk. A kvázi-statisz terheléssel terhelte próbatételeknek megfelelő numerikus modelleket (RV jelű) keretsarok és (NS és LS jelű) oszlop-gerenda kapcsolatokra építettük fel a csomópont környezetében több, eltérő vasvezetéssel (2. és 3. ábra).

Valamennyi nemlineáris analízisnél az iterációs folyamat végrehajtásához implicit megoldási módszert, a Newton-Raphson iterációs eljárást alkalmaztuk. A szerkezet állapot-egyenletének megoldására a Cholesky-felbontást használtuk.

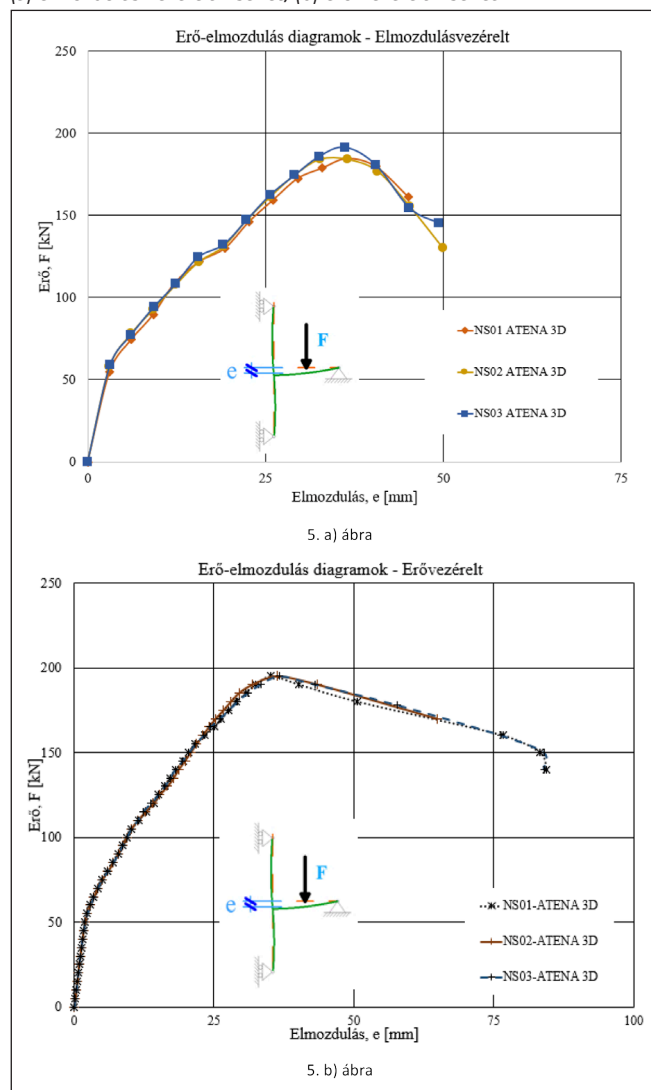
4. A NUMERIKUS VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

Ebben a fejezetben részletesen bemutatjuk a numerikus vizsgálataink eredményeit. Először az oszlop-gerenda csomópontok vizsgálatainak eredményeit ismertetjük. A számításokat erő- és elmozdulás vezérelve is elvégeztük. Az alábbi grafikonon az „NS” jelű próbatételek erő - elmozdulás diagramjait mutatjuk be (5. ábra).

Az ábrákon megfigyelhető, hogy a két modell a terhelés

5. ábra: Erő-elmozdulás diagramok

(a) elmozdulás vezérelt kísérlet, (b) erő vezérelt kísérlet



2. táblázat: A numerikus modellek eredményei – erő és elmozdulás vezérelt kísérlet esetén

Próbatest jele	Repszto erő [kN]		Eltérés [%]	Tönkremenetelhez tartozó erő [kN]		Eltérés [%]	Tönkremenetelhez tartozó lehajlás [mm]		Eltérés [%]
	Elmozdulás-vezérelt	Erő-vezérelt		Elmozdulás-vezérelt	Erő-vezérelt		Elmozdulás-vezérelt	Erő-vezérelt	
NS01	49,35	48,00	-2,73	183,81	193,00	+4,99	36,58	33,40	-8,69
NS02	53,45	54,00	+0,85	183,81	194,50	+5,49	36,58	33,50	-8,42
NS03	58,63	57,50	-1,93	191,18	195,00	+1,98	36,14	36,80	+1,79

3. táblázat: A numerikus modellek eredményei – „LS” jelű próbatestek esetén

Próbatest jele	Repszto erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó lehajlás [mm]
LS01	57,87	276,50	55,20
LS02	57,86	326,10	67,14
LS03	66,53	375,01	73,85

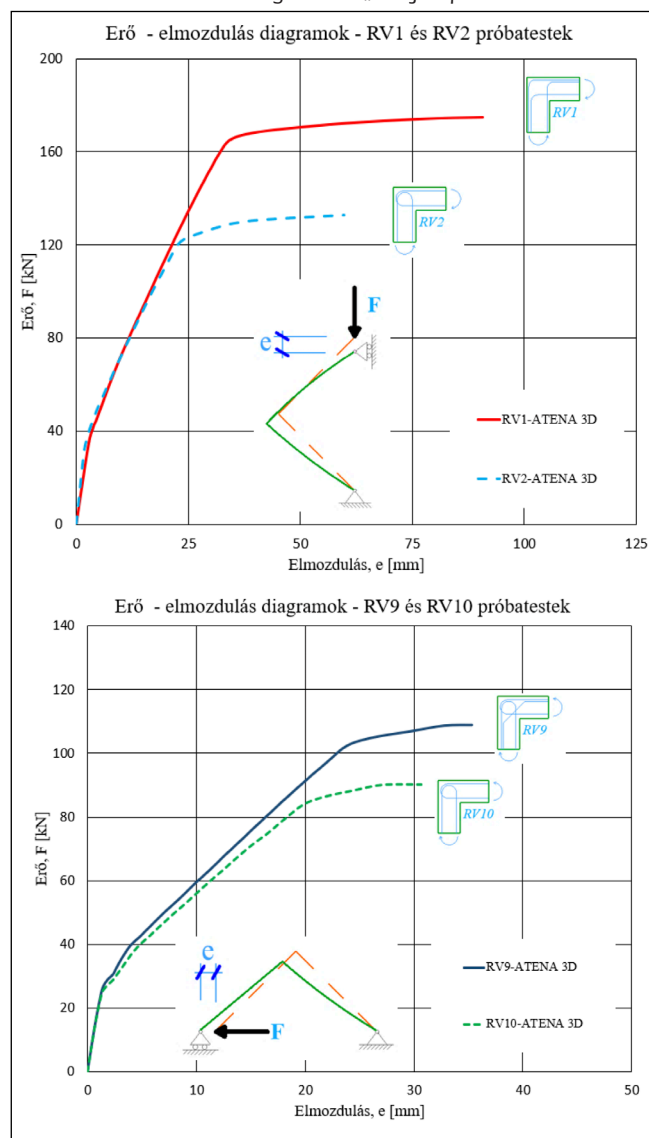
kezdeti, berepedezetlen szakaszán szinte azonos eredményt ad, azonban a tönkremenetelt követő állapotban az elmozdulás vezérelt esetben a modell nem írja le az ún. leszálló képlékeny-alakváltozási szakaszt. Az eltérő vezérlésű numerikus modellekből kapott eredményeket az alábbi táblázatban foglaljuk össze (2. táblázat).

A kezdeti szakaszban, mely megfelel a rugalmas, I. feszültségi állapotnak (eltérés: 0,85-2,73 %), és a tönkremenetel közötti állapotban az egyes modellek szinte megegyező eredményt nyújtanak (eltérés a tönkremenetelhez tartozó erőnél: 1,98-5,49 %, lehajlásnál: 1,79-8,69 %). A különböző vasalással kialakított numerikus modellek között jelentős különbség nem látható az eredményeket tekintve (a legnagyobb eltérés: +5,49 %, a legkisebb eltérés: -8,69 %), az egyes erő-elmozdulás diagramok jellegüket tekintve megegyeznek egymással. Különbség a tönkremenetelt követő lecsengésben figyelhető meg, mely a ciklikus terhelésre történő ciklikus morzsolódás modellezhetősége szempontjából válik a későbbiekben fontossá, jelen esetben azonban irreleváns.

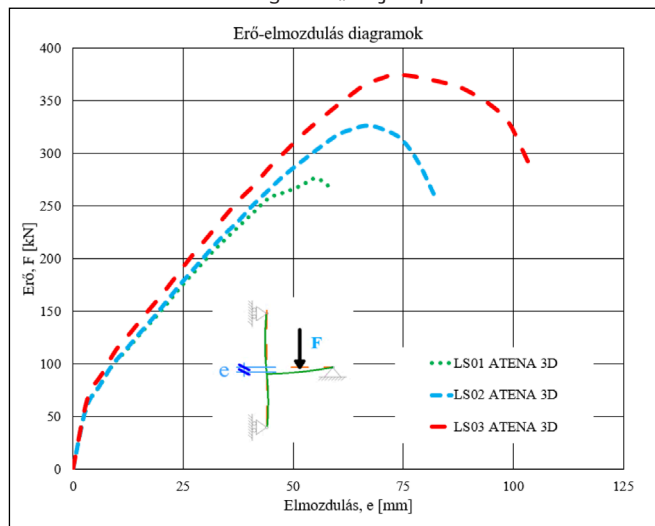
A következőkben az „LS” jelű próbatesteken elvégzett kísérletek eredményeit mutatjuk be. Ebben az esetben erő vezérelt kísérleteket végeztünk el (6. ábra). A kapott grafikonon megfigyelhető, hogy az eltérő kengyelezéssel kialakított modellek eredményei viszonylag nagy eltérést mutatnak (eltérés: 15-26 %) a tönkremenetelhez tartozó erőt vizsgálva még úgy is, hogy a modellekben a „klasszikus” alkalmazott hajlított vasmenyiség azonos. Az „LS01” jelű próbatest esetében a

tönkremenetelt követő „lecsengő” képlékeny alakváltozási szakasz nem figyelhető meg, azonban az „LS02” és „LS03” jelű próbatestek esetében már igen. Az „LS02” és az „LS03” próbatestek alakváltozó képessége nagyobb (eltérés: 17-26 %), így ezek duktilisabban viselkednek. A próbatestek húzott vasmenyisége minden esetben azonos, csak a vasvezetés, illetve a kengyelezés sűrűsége változik, melynek hatására a

7. ábra: Erő-elmozdulás diagramok – „RV” jelű próbatestek esetén



6. ábra: Erő-elmozdulás diagram – „LS” jelű próbatestek esetén



4. táblázat: A numerikus modellek eredményei – „RV” jelű próbatetek esetén

Próbatest jele	Repesztő erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó lehajlás [mm]
RV1	39,16	165,54	34,52
RV2	37,40	120,70	22,81
RV9	27,20	102,00	23,59
RV10	25,50	85,00	20,51

teherbírás növekszik (teherbírás növekedés mértéke: 15-26 %). A numerikus vizsgálatok eredményeit a 3. táblázatban foglaljuk össze.

Az alábbi erő-elmozdulás grafikonokon a keretsarok csomópontokon elvégzett numerikus vizsgálatok eredményeit foglaljuk össze. Az „RV1” és „RV2” jelű próbatetek esetén ún. záródó keretsarok, az „RV9” és „RV10” jelű próbatetek esetében ún. nyíló keretsarok vizsgálataival foglalkoztunk. Az eredményül kapott erő-elmozdulás diagramokat lásd a 7. ábrán.

Az „RV1” és „RV2” jelű próbatetek esetén a vasalási hányad azonos, azonban a vasvezetés eltérő. Megfigyelhető, hogy az „RV2” jelű próbatest esetében a berepedést követően egy kisebb iránytangensű, közel egyenes szakasz alakul ki az erő-elmozdulás diagramon. A két modellben a repesztő erő nagysága közel azonos (repesztőerő: „RV1”: 39,16 kN; „RV2”: 37,40 kN). A tönkremeneteli erő az „RV1” jelű próbatest esetén mintegy 165,54 kN, az „RV2” esetén pedig 122,40 kN.

A nyíló keretsarok vizsgálatánál az „RV9” és „RV10” próbatetek esetén az alkalmazott hajlítási vashányad szintén azonos, de a hajlított betonacélok vasvezetése ismét eltér. A felhasznált betonacélok „hatékonyságának” változása mutatható ki ebben az esetben is. Az erő-elmozdulás diagramok jellegüket tekintve azonosak, azonban a ferde átkötő vasalásnak köszönhetően az „RV9” jelű próbatest több erőt képes felvenni (tönkremenetelhez tartozó erő: „RV9”: 102,00 kN; „RV10”: 85,00 kN). Az egyes numerikus vizsgálatokból kapott eredményeket az alábbi 4. táblázatban foglaljuk össze.

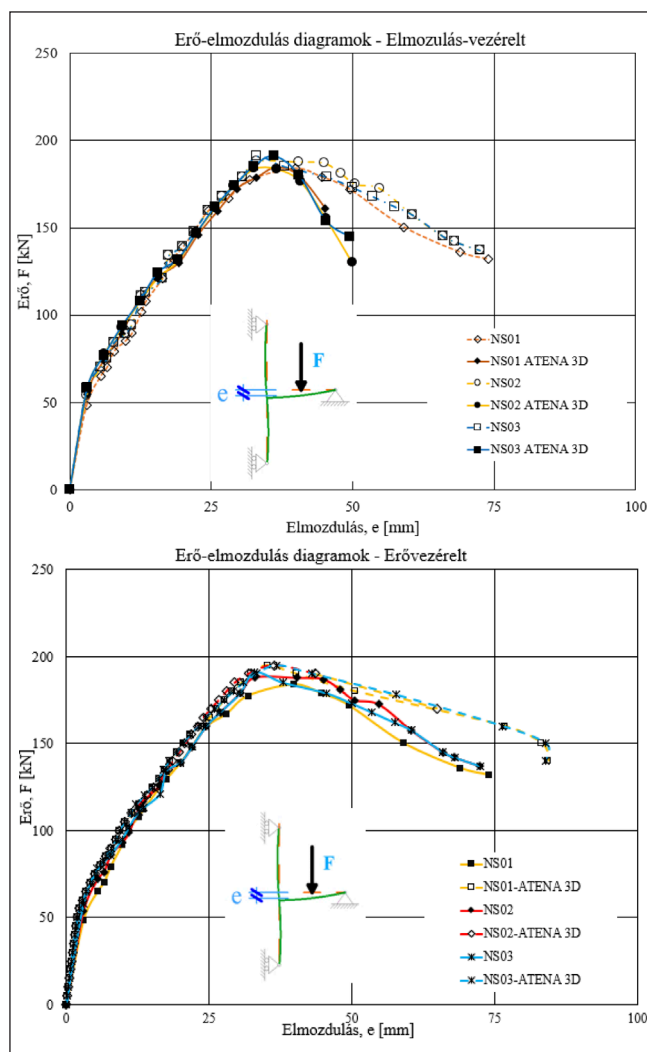
5. NUMERIKUS ÉS LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Ebben a fejezetben összegezzük és összehasonlítjuk az általunk kapott numerikus és a szakirodalomban fellelhető laboratóriumi kísérleti eredményeket. Először az „NS” jelű próbatetek elvégzett kísérletek eredményeit hasonlítjuk össze (8. ábra).

Az elvégzett numerikus vizsgálatok és a laboratóriumi kísérletek eredményeit az 5. táblázatban foglaljuk össze. A táblázatban az erő vezérelt és az elmozdulás vezérelt kísérletekkel elvégzett numerikus eredményeket tüntetjük fel.

Az elmozdulás vezérelt és az erő vezérelt esetben is a tönkremenetelig igen jó egyezés figyelhető meg a laboratóriumi és a numerikus kísérleti eredmények között. A repesztőerő mind a két esetben 2,00 %-nál kisebb eltérést mutat, a tönkremenetelhez tartozó erő esetében azonban már nagyobb különbségek figyelhetők meg. A tönkremenetelhez tartozó erő esetén a legnagyobb eltérést az „NS01” jelű próbatetek kísérleteiből kaptuk, mely az erő vezérelt esetben +4,66 %, az elmozdulás vezérelt esetben +5,06 %. Az elmozdulás vezérelt esetben a tönkremenetel után „lecsengő” viselkedési szakasz nem volt elérhető az alkalmazott modellbeállításokkal.

A következőkben az „LS” jelű próbatetek elvégzett laboratóriumi és numerikus vizsgálatok eredményeit ismertetjük, melyeket szintén erő-elmozdulás diagramokon szemléltetünk



8. ábra: Erő-elmozdulás diagramok – laboratóriumi és numerikus kísérlet

(9. ábra). A numerikus vizsgálatok során ebben az esetben már csak erő vezérelt numerikus kísérleteket végeztünk. A kapott eredményeket táblázatosan is összefoglaljuk, lásd 6. táblázatban.

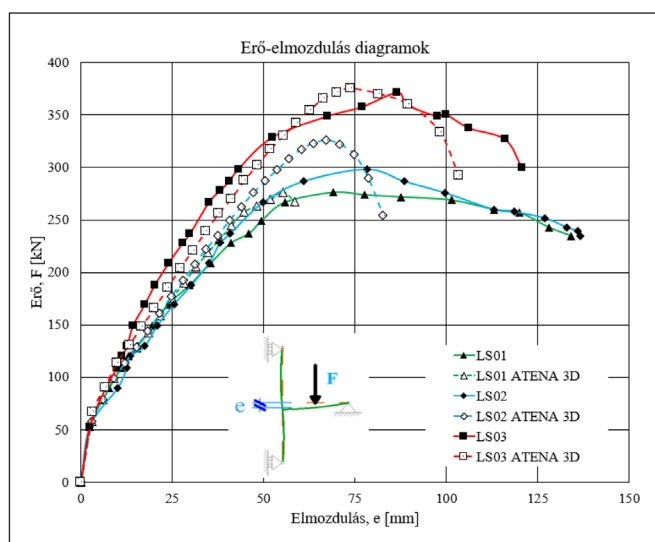
Az „LS” jelű próbatetek esetében a kezdeti, I. feszültség-állapotban közel azonos, a laborkísérleti eredményekkel jól egyező numerikus eredményeket kaptunk. A berepedéshez tartozó erő tekintetében az „LS01” próbatestnél -7,89 %, az „LS02” próbatestnél -8,22 % és az „LS03” próbatestnél -8,08 % az eltérés. A berepedést követően az egyes numerikus modellek merevsége, az erő-elmozdulás diagram iránytangense jól követi a laborkísérleteket. A tönkremenetelhez tartozó erők („LS01” próbatest esetében laborkísérletből: 276,30 kN, numerikus vizsgálatból: 276,50 kN) is szinte megegyeznek. Mind a laboratóriumi, mind a numerikus kísérletek során megfigyelhető, hogy az azonos húzott vashányad és eltérő vasvezetés, illetve kengyelsűrűség alkalmazása miatt a próbatetek teherbírása ismételtelen jelentős eltérést mutat, ezzel felhívva a figyelmet a vasalás kialakításának fontosságára. A

5. táblázat: Laboratóriumi és numerikus kísérleti eredmények

Próbatest jele	Vizsgálat típusa	Repesztő erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó lehajlás [mm]
NS01	Laborkísérlet	48,50	184,00	39,80
	Numerikus (erő)	48,00	193,00	35,40
	Numerikus (elmozdulás)	49,35	193,81	36,58
	Eltérés [%] (erő)	-1,03	+4,66	-11,05
	Eltérés [%] (elmozdulás)	+1,72	+5,06	-8,09
NS02	Laborkísérlet	53,70	188,00	33,10
	Numerikus (erő)	54,00	194,50	36,40
	Numerikus (elmozdulás)	53,45	183,81	36,58
	Eltérés [%] (erő)	+0,55	+3,34	+9,06
	Eltérés [%] (elmozdulás)	-0,46	-2,23	+9,51
NS03	Laborkísérlet	57,80	191,10	33,00
	Numerikus (erő)	57,50	195,00	36,80
	Numerikus (elmozdulás)	58,63	191,18	36,14
	Eltérés [%] (erő)	-0,51	+2,00	+10,33
	Eltérés [%] (elmozdulás)	+1,41	+0,04	+8,68

6. táblázat: Laboratóriumi és numerikus kísérleti eredmények

Próbatest jele	Vizsgálat típusa	Repesztő erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó lehajlás [mm]
LS01	Laborkísérlet	57,87	276,30	69,00
	Numerikus vizsgálat	53,30	276,50	55,20
	Eltérés [%]	-7,89	+0,07	-20,00
LS02	Laborkísérlet	57,86	298,60	78,20
	Numerikus vizsgálat	53,10	326,10	67,14
	Eltérés [%]	-8,22	+8,43	-14,14
LS03	Laborkísérlet	58,53	371,70	86,50
	Numerikus vizsgálat	53,80	375,10	73,85
	Eltérés [%]	-8,08	+0,91	-14,60

**9. ábra:** Erő-elmozdulás diagramok – laboratóriumi és numerikus kísérlet

tönkremenetelhez tartozó erő az „LS01” jelű próbatest esetében 276,30 kN (laborkísérlet) és 276,50 kN (numerikus kísérlet), az „LS03” jelű próbatest esetében 371,70 kN (laborkísérlet) és 375,10 kN (numerikus kísérlet).

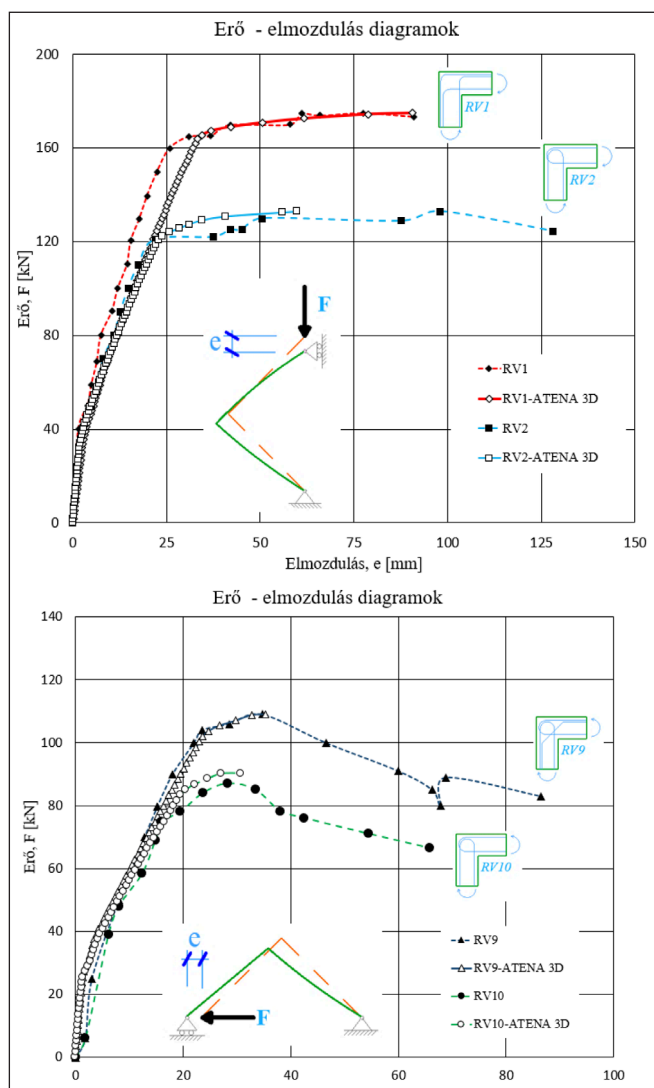
Bemutatjuk a nyíló és záródó keretsarok (RV jelű) modelleken elvégzett numerikus és laboratóriumi vizsgálatok

eredményeit is. A vizsgálatokból kapott erő-elmozdulás diagramokat a 10. ábrán szemléltetjük, valamint az eredményeket a 7. táblázatban foglaljuk össze. Az „RV1” és „RV2” jelű próbatestek a záródó, az „RV9” és „RV10” jelű próbatestek a nyíló keretsarok vizsgálatára készültek.

Az „RV1” és „RV2” jelű próbatestek laboratóriumi és numerikus eredményeinél a keresztmetszet berepedéséig ebben az esetben is igen jó egyezés figyelhető meg. A laborkísérleti eredményeket jól közelíti a numerikus modell. A berepedéshez tartozó erő értéke az „RV1” jelű próbatest esetében 40,00 kN (laborkísérlet) és 39,10 kN (numerikus kísérlet). Az „RV2” próbatestnél a laborkísérletben közel 38,00 kN-os erő rögzíthető, ezzel szemben a numerikus kísérletben 35,70 kN-os erő mutatkozik. A két eltérő vaskialakítással készült, azonban azonos húzott vasalási hányaddal rendelkező próbatestnél a tönkremeneteli erők között ismételtelen jelentős az eltérés, melyet a laboratóriumi („RV1”: 165,00 kN; „RV2”: 121,00 kN) és a numerikus („RV1”: 165,54 kN; „RV2”: 122,40 kN) kísérletek is alátámasztanak. A nyíló keretsarok vizsgálatainál („RV9” és „RV10”) szintén jó egyezés mutatható ki a laboratóriumi és a numerikus kísérletek eredményei között. A végeselemes számításban kapott berepedéshez tartozó erő (eltérés: „RV9”: 5,88 %; „RV10”: 1,65 %) közel azonos a laboratóriumban kapott eredményekkel. A tönkremenetel ebben az esetben is a laboratóriumban elvégzett kísérletekkel megegyező módon az

7. táblázat: Laboratóriumi és numerikus kísérleti eredmények

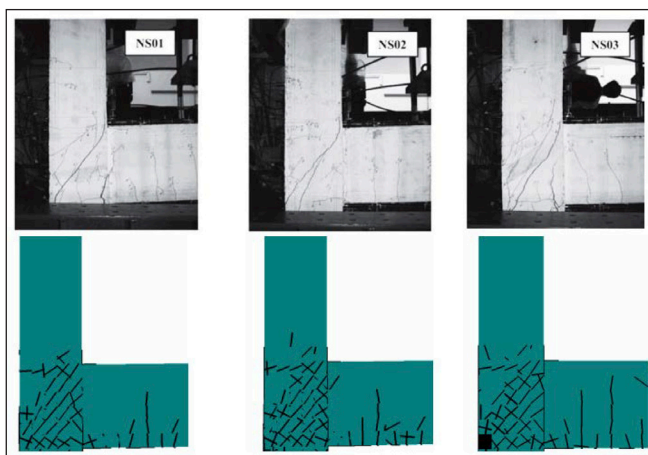
Próbatest jele	Vizsgálat típusa	Repesztő erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó erő [kN]	Tönkremenetelhez tartozó lehajlás [mm]
RV1	Laborkísérlet	40,00	165,00	31,00
	Numerikus vizsgálat	39,10	165,54	34,52
	Eltérés [%]	-2,25	+0,33	+10,19
RV2	Laborkísérlet	38,00	121,00	22,00
	Numerikus vizsgálat	35,70	122,40	23,86
	Eltérés [%]	-6,05	+1,14	+7,79
RV9	Laborkísérlet	27,20	109,00	34,70
	Numerikus vizsgálat	28,90	108,80	32,74
	Eltérés [%]	+5,88	-0,18	-5,65
RV10	Laborkísérlet	24,20	87,00	28,30
	Numerikus vizsgálat	23,80	90,10	27,13
	Eltérés [%]	-1,65	+3,44	-4,13



10. ábra: Erő-elmozdulás diagramok – laboratóriumi és numerikus kísérlet

„RV10” jelű próbatest esetében kisebb erőnél (laborkísérletnél: 87,00 kN, numerikus kísérletnél: 90,10 kN) következik be. Az „RV9” jelű próbatestek esetében a húzott vasalási hányad azonos, mint az „RV10” jelű próbatesteknél, azonban a betonacélok vonalvezetése eltérő. Az azonos vashányaddal (mint „RV10”) készült „RV9” jelű próbatestnél a tönkremenetelhez tartozó erő a laborkísérletnél 109,00 kN, a numerikus vizsgálatnál 108,80 kN.

Az általunk fejlesztett végeselemes modellezési eljárás al-



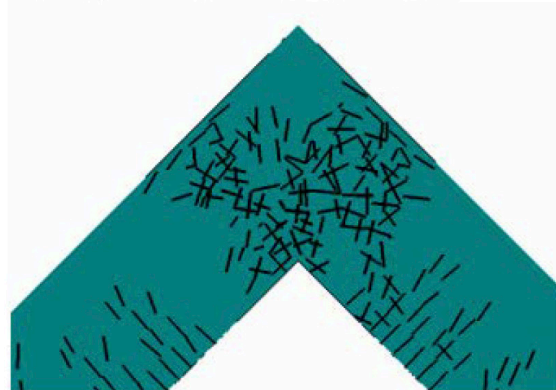
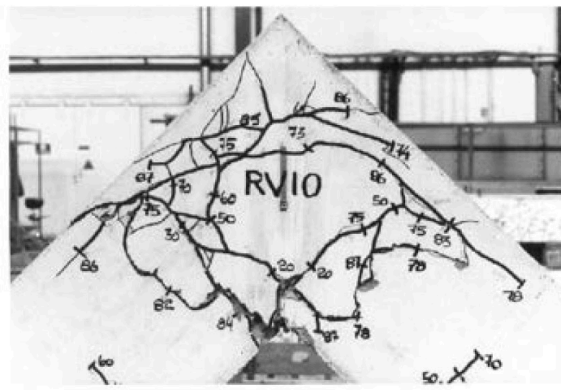
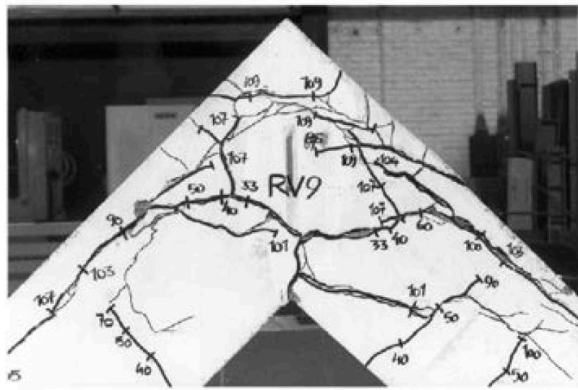
11. ábra: Repedésképek – felül: laboratóriumi kísérlet (Sin és Bing, 2011), alul: numerikus kísérlet

kalmas a repedések, repedésképek vizsgálatára is. Ezt az „NS” és az „RV” jelű próbatestek esetében a teljesség igénye nélkül a következőkben mutatjuk be. Nem ez volt a kutatás jelenlegi fázisának alapvető célja, de jól szemlélteti a modellalkotásban rejlő további potenciált.

A repedéseket az ún. **elkent (smeared crack) repedésmodel**lalkottuk meg. Az elkent repedésmodellben a fix repedés (Cervenka, 1985; Darwin, 1974) és az elfordult repedés (Vecchio, 1986; Crisfield, 1989) modelleket alkalmaztuk. Az „NS” jelű próbatestek repedésképeit lásd a 11. ábrán. Az „NS” jelű próbatesteknél bemutatott repedésképekről megállapítható, hogy a laboratóriumi kísérletekben megfigyelhető irányított-ság és elhelyezkedés a numerikus modellekben is jól nyomon követhető. A gerenda oszlophoz csatlakozó szakaszán csak tiszta hajlítási, a gerenda tengelyére közel merőleges repedések keletkeztek. A csomópontban ferde, az összetett feszültségállapotból adódó repedések alakultak ki.

Az „RV9” és „RV10” jelű próbatesteken elvégzett laboratóriumi kísérletek során készített fotók alapján (Morgan 2000) az egyes próbatestek repedésképei összehasonlíthatók. A laboratóriumi és numerikus vizsgálatokból kapott repedésképek a 12. ábrán láthatók.

A numerikus kísérletekből kapott repedésképeken és a labor-kísérletekben rögzített repedésképeken megfigyelhető, hogy a csomópont mellett mindkét oldalt csak a tartó tengelyére merőleges repedések alakulnak ki. A csomópontban a numerikus modelleknél és a laborkísérleteknél is a belső sarokból kiinduló ferde repedezettség keletkezik.



12. ábra: Repedésképek – felül: laboratóriumi kísérlet (Morgan, 2000), alul: numerikus kísérleti eredmények

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

Jelen cikk keretein belül oszlop-gerenda (csomópontba befutó három rúdelem) és keretsarok (csomópontba befutó két rúdelem) csomópontok numerikus vizsgálatait végeztük el egy általunk fejlesztett 3D-s modellezési eljárás segítségével monoton növekvő, kvázi-statisztikus terhelés esetére. A numerikus modellek a szakirodalomban fellelhető valós laboratóriumi kísérletekben (Sin és Bing, 2011; Morgan, 2000) alkalmazott tényleges betonkeresztmetszettel és vasalással lettek felépítve azért, hogy a kapott eredményeket közvetlenül össze lehessen vetni egymással. A numerikus vizsgálatokat az *ATENA 3D* háromdimenziós, nemlineáris végeselemes programmal végeztük el. A numerikus vizsgálatok eredményeit bemutattuk, valamint a hivatkozott laboratóriumi kísérletekkel kapott eredményekkel összehasonlítottuk.

Az általunk megalkotott modellezési eljárással elkészített numerikus vizsgálatok alapján az alábbi megállapításokat tesszük:

- Az oszlop-gerenda kapcsolatok vizsgálatánál a sűrített kengyelezés az „NS” jelű próbatetek esetén nem mutat lényegi eltérést a teherbírásban, azonban a laboratóriumi kísérletekben kapott eredményekhez a numerikus vizsgálatok eredményei igen jól illeszkednek (eltérés 0,04-8,43 %). Annak érdekében, hogy a kapcsolat viselkedését megfelelően értékelni tudjuk a tönkremenetelhez tartozó lehajlás értékeit is rögzítettük, melyek szintén jó egyezést mutatnak a laboratóriumban elvégzett kísérletekkel összehasonlítva (eltérés: 8,09-20,00 %).
- Az „NS” és „LS” jelű, oszlop-gerenda próbatetek esetén a kezdeti berepedetlen (I. feszültségi állapot) és a tönkremenetelig tartó szakaszokon (II. és III. feszültségi állapotok) igen jó egyezés mutatható ki (eltérés: 4-8 %).
- Az elmozdulás vezérelt numerikus kísérletekkel a tönkremenetel utáni ellapuló viselkedési szakasz nem modellezhető

az általunk alkalmazott modellezési technikával. Az erő vezérelt numerikus kísérletekben ezzel szemben megmutatható a tönkremenetel követő viselkedési szakasz.

- Az „LS02” és „LS03” jelű próbatetek esetén nagy képlékeny alakváltozások figyelhetők meg. A tönkremenetelig az eredmények jó egyezést mutatnak (eltérés: tönkremenetelhez tartozó erő: +0,07 %, +8,43 %, +0,91 %).
- Az „RV” jelű próbatetek esetén a tönkremenetelig jó egyezés mutatható ki a numerikus és a laborkísérletben megadott eredmények között (eltérés: 0,33-1,14 %).
- Megállapítható, hogy a tényleges (valós) betonacél karakterisztikával készített numerikus modellekkel jobb eredmények érhetők el (eltérés a lehajlásnál: 4-11 %), mint azokban a modellekben, ahol a lineárisan rugalmas - lineárisan felkeményedő betonacél anyagmodellt alkalmaztuk (eltérés a lehajlásnál: 4-20 %). A tönkremenetel utáni képlékeny alakváltozások a valós betonacél karakterisztika alkalmazásával modellezhetők.
- A numerikus vizsgálatokkal előállított repedésképek a laboratóriumi kísérleteknél rögzített repedésképekkel jó egyezést mutatnak. A repedések pontosabb vizsgálatára a végeselem háló nagyságának csökkentése jó megoldás (Haris és Roszevák, 2017) lehet, azonban ez a modellek futási idejét közel exponenciális mértékben megnöveli (8 cm-es végeselem háló méret, futási idő = ~1,5 óra, 5 cm-es végeselem háló méret, futási idő = ~8 óra).

Összességében megállapítható, hogy az általunk meghatározott modellezési technikával a monolit vasbeton oszlop-gerenda és keretsarok kapcsolatok valós viselkedése egyirányú monoton növekvő, kvázi-statisztikus terhelés esetén numerikusan rendkívül jól közelíthető. Az alkalmazott háromdimenziós, nemlineáris végeselemes szoftverrel az általunk kifejlesztett modellezési technikával a csomópontok és az azokban alkalmazott eltérő vasalási kialakítások viselkedése kellő pontossággal modellezhető. A szakirodalomban fellelhető

nemzetközi kutatási programokban elvégzett laboratóriumi kísérletekhez a kapott numerikus eredmények műszaki szempontból elfogadható pontossággal illeszkednek. Ezzel a modellezési technikával lehetőség nyílik a szerkezeti csomópontok, illetve részletek összetett viselkedését alapvetően befolyásoló tényleges vasvezetés hatásának vizsgálatára. Numerikusan vizsgálható az alkalmazott vasalási kialakítás és vasmennyiség „hatékonyága”, ezzel adott esetben optimalizálható is a kapcsolat (teherbírási, alakváltozóképessegre, vasmennyiségre, akár költségekre is). Megmutattuk, hogy lehetséges a nagyon költséges laboratóriumi kísérletsorozatok helyett numerikus vizsgálatokkal az azonos vashányaddal, de eltérő vasvezetéssel kialakított monolit vasbeton keretcsomópontok összetett (hajlított-nyírt) viselkedésének elemzése egyirányú monoton növekvő kvázi-statisztikus terhelése esetén.

Jelen cikk keretein belül kizárólag az egyirányú monoton növekvő kvázi-statisztikus vizsgálatokat mutattuk be. A kapott eredmények alapján végeztük el a modellezési eljárás fejlesztésével a ciklikusan változó irányú és nagyságú teherrel terhelt keretcsomópontok numerikus vizsgálatait, melyet a következő cikkünkben mutatunk be.

7. HIVATKOZÁSOK

- Kazinczy G. (1917), „Kísérletek vasbeton medence-sarokkal”, *Magyar Mérnök és Építészegylet Közöny*, LI. kötet. 9.szám, pp. 78-83.
- Kordina K., Kohler G. (1971), „Tragverhalten der Stützenschlüsse in Rahmenknoten bei herabgesetzter Verankerungslänge der Anschlußbewehrung, 1. Zwischenbericht“, Lehrstuhl für Stahlbeton- und Massivbau, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, Technische Universität Braunschweig
- Kordina K. (1978), „Tragverhalten von Rahmenknoten bei herabgesetzter Verankerungslänge der Anschlußbewehrung unter Berücksichtigung der Bewehrungsführung“, Lehrstuhl für Stahlbeton- und Massivbau, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, Technische Universität Braunschweig.
- Almási J. (1992), „Cracks as important constituents of strut and tie models“ *Periodica Polytechnica* vol. 36. No. 3., pp.
- Kordina K., Teutsch M., Wegener E. (1995), „Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenknoten“, *Schlußbericht, Deutschen Forschungsgemeinschaft*, Kennziffer Ko 201/37.
- Morgan J. (2000), „Structural Behavior in Concrete Frame Corners of Civil Defense Shelters, Thesis for the degree of doctor of philosophy“, Division of Concrete Structures, Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden
- Yap, S. L., & Li, B. (2011), „Experimental investigation of reinforced concrete exterior beam-column sub assemblages for progressive collapse“ *ACI Structural Vol., Nr*, pp.

- Campana S., Fernández Ruiz M., Muttoni A. (2010), „Behaviour of nodal regions of reinforced concrete frames subjected to opening moments and proposals for their reinforcement”, *Engineering Structures*, Vol. 51, pp. 200-210. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.01.029>
- fib Model Code for Concrete Structures 2010 (2013), *Wilhelm Ernst & Sohn*, Berlin, <https://doi.org/10.1002/9783433604090>
- Cervenka, V., Jendele, L., Cervenka, J. (2014), „ATENA Program Documentation Part 1, Theory“ *Cervenka Consulting s.r.o*
- Szczecina M., Winnicki A., (2015), „Numerical simulations of corners in RC frames using strut-and-tie method and CDP model“, *XIII International Conference on Computational Plasticity, Fundamentals and Applications COMPLAS XIII*.
- Haris I., Roszevák Zs. (2017), „Előregyártott vasbeton gerendák numerikus és kísérleti vizsgálata“ *Vasbetonépítés: A fib Magyar Tagozat lapja: Műszaki folyóirat XIX: (1) pp. 2-11*.
- Roszevák Zs., Haris I. (2017), „Comparison of different models on different cast-in-situ RC joints“, *Proceedings of 12th Central European Congress on Concrete Engineering 2017 Tokaj*, pp.: 648-658.
- Himanshu G., Roashan L. (2018), „Analytical Investigation on Behaviour of RC Framed Corner Joints“, *International Journal of Advance Engineering and Research Development (IJAEIRD)* Volume 5, Issue 02, February-2018, e-ISSN: 2348 - 4470, print-ISSN: 2348-6406
- Windisch A., (2018), „Egységes méretezési modell“ *Vasbetonépítés: A FIB magyar tagozat lapja: Műszaki folyóirat XX: (1) pp. 2-9*.

Roszevák Zsolt (1991) okleveles építőmérnök MSc. (2016), a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék doktorandusza. Fő érdeklődési területei: Fal-födém típusú monolit vasbeton kapcsolatok kísérleti és numerikus vizsgálata. A Magyar Mérnöki Kamara tagja. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

Dr. Haris István (1980), okleveles építőmérnök (2004), PhD (2013), egyetemi adjunktus a BME Hidak és Szerkezetek Tanszéken. Fő érdeklődési területei: Téglá és vasbeton merevítő elemek viselkedése földrengés hatására. A Magyar Mérnöki Kamara tagja. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

NUMERICAL ANALYSIS OF CAST-IN-SITU RC FRAME JOINTS – PART I.

Zsolt Roszevák – István Haris

Many computer software is currently available for numerical modeling of monolithic RC structures, however the accuracy of the numerical models created with the programs can only be acceptable with well-developed modeling method. Within the framework of our two-part series, we present the behavior of monolithic RC frame corners and beam to column joints for quasi-static and cyclic lateral loads, using numerical models created by our modeling method. Several laboratory experiments have already been carried out to investigate the failure of the joints and the behavior of these unique connection. In this paper, we made three-dimensional nonlinear FE body models with different reinforcement shapes, based on actual laboratory tests and we present the behavior of the joints in case of monotonic increasing quasi-static loads. The results of laboratory experiments found in the literature and finite element calculations are compared and the conclusions that can be drawn from them are summarized within this article. The analysis of the cyclic loads is examined in detail in the second paper.

MÁTYÁSSY LÁSZLÓ KÖSZÖNTÉSE 70. SZÜLETESNAPJÁN



Máttyássy László a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki karán 1972-ben szerzett oklevelet, majd ezt követően a mérnöki pályafutását az Uvater Híd-4 osztályán kezdte el. Jókor érkezett, mert akkor folyt a Jugoszláviának készülő Duna-hidak (Újvidék, Sabác, Bácskapalánka) acélszerkezeti tervezése, közöttük az újvidéki ferdekábeles híd terveivel, amelyben részt vállalt. Ebben az időszakban készültek a szegedi Bertalan-híd és a budapesti Árpád-híd szélesítésének a tervei is.

1981-82-ben a Linz-i Vöest Alpine AG.-nél dolgozott vendégmunkásként, az Uvater kiküldetésében, majd 1983-ban a Híd-5 osztályon lett irányító tervező.

A Kereskedelmi Tervező Vállalatnál töltött rövid kitérő jó lehetőséget jelentett számára a magasépítési szerkezetekkel való gyakorlatszerzésre, azonban a nagy álmat számára továbbra is a hídtervezés jelentette. 1988-ban tért vissza az Uvater hídirodára, ahol előbb szakosztályvezető, majd a Híd-3 osztály vezetője lett. Itt főképpen feszített vasbeton hidak tervezésével foglalkozott. Legfontosabb munkái a szolnoki Szent István-híd ártéri szerkezeteinek felújítása, az M1 autópálya Rába-hídjának betolása és az M0 autópálya Dulácska völgyhídjának tervezése volt. A cigándi Tisza-híd ártéri hídjait szintén szakaszos betonnal épülő feszített szerkezettel tervezte.

1994-ben mérnök társaival együtt megalapították a Pont-TERV Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft-t, amelynek ügyvezetője lett. Amikor a Kft részvénytársasággá alakult, a Pont-TERV Zrt. vezérigazgatójaként és műszaki igazgatójaként folytatta munkáját, mely elsősorban a cég tervezési feladatainak szervezését és műszaki irányítását foglalta magába. Az ebben az időszakban készült feladatai közül érdemes

kiemelni az Esztergomi Mária-Valéria hídát, a tiszugi Tisza-hídát, a szekszárdi Szent László Duna-híd meder szerkezetét, az M7 autópálya 1872 m hosszú Köröshegyi völgyhídját, az M8 autópálya dunai városi Pentele Duna-híd ártéri szerkezetét, az M6 autópálya 650 m hosszú szakaszosan betöltött feszített beton szerkezetét, és az M0 autópálya Deák Ferenc Duna-hídját. Az M43 autópálya 180 m fesztávolságú Móra Ferenc Tisza hídja trapéz hullámlemez gerincű, „extradosed”-feszített vasbeton szerkezettel épült.

Legutóbbi munkái a hálós ívhíd szerkezetű Klatsmányi-híd a Mosoni-Dunán és a 252 m fesztávolságú Komáromi új, ferdekábeles acél közúti Duna-híd, amely jelenleg épül.

Máttyássy László a Magyar Mérnöki Kamara alapító tagja, 1998 és 2008 között a MMK Hidász Szakosztály elnöke, 2004-2008 között a Tartószerkezeti tagozat elnökségi tagja volt.

A szakmai közélet aktív tagjaként számos publikációja jelent meg és nagyszámú előadást tartott mind a tervezői munkájához kapcsolódó, mind a magyar hídépítés történetét átfogó kérdésekről. Az ifjúság szakmai képzésében egyetemi előadásokkal, diplomatermi konzultációkkal valamint az államvizsga bizottság tagjaként vállalt részt.

Munkáját Feketeházy János-díjjal (2007) és Arany Mérföldkő-díjjal (2008) ismerték el. 2010-ben a fib magyar tagozat Palotás László-díjjal tüntette ki, 2017-ben pedig a MMK Tartószerkezeti tagozat Életmű-díjjal jutalmazta. Az általa tervezett hidak több Építőipari Nívódíjat, Tierney Clark-díjat és a MAGÉSZ Az év acélszerkezete nívódíját kapták. Két munkáját a fib Nemzetközi Betonszövetség fődíjára is jelölték.

Vezetésével a Pont-TERV Zrt. 25 éves fennállása alatt a magyar hídervezés meghatározó szakmai műhelye lett.

A **fib** Magyar Tagozata nevében jó egészséget és további sikereket kívánunk.

Balázs L. György

DR. KAUSAY TIBOR KÖSZÖNTÉSE 85. SZÜLETÉSNAPOJÁN



Dr. Kausay Tibor Nyíregyházán, 1934. október 1-én született. Műegyetemi tanulmányait az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Mérnöki Karán 1956-ban kezdte meg. Diplomát a Híd- és Szerkezetépítő Szakon 1961-ben kapott. Ugyanott 1967-ben vasbetonépítési szakmérnöki oklevelet szerzett.

Az egyetemi doktori fokozatot 1969-ban, a műszaki tudomány kandidátusa fokozatot 1978-ban nyerte el. Címzetes egyetemi docens lett 1985-ban, Ph.D. fokozatot 1997-ben kapott, 2003-ban a BME címzetes egyetemi tanára lett az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken.

1961-1963 között a Budapesti Közúti Üzemi Vállalatnál volt műszaki előadó és építésvezető. 1963-tól 1994-ig a több névváltozáson átesett Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézetben dolgozott, ahol tudományos kutató, az utolsó tíz évben tudományos tanácsadó és a Betonosztály tudományos osztályvezetője volt. Jelenleg az egyszemélyes Betonopus Betontechnológiai és Kőzetalkalmazástani Mérnökiroda Bt-ben tevékenykedik.

1968 óta az építőanyagok tantárgy különböző stúdiumainak külső óraadó tanára volt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. 1991-2001 között az Ybl Miklós Mű-

szaki Főiskolán, és 2000–2003, továbbá 2007-2008 között a Schulek Frigyes Kéttannyelvű Építőipari Műszaki Szakközépiskolában is tanított.

A **fib** Nemzetközi Betonszövetség Magyar Tagozata 2000-ben vette fel tagjai közé, és 2015-ben Palotás László-díjban részesítette.

A Magyar Tudományos Akadémia Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének 1992-ben tagja, 2003-ban tiszteletbeli tagja lett, ahol ugyanebben az évben a gróf Lónyay Menyhért Emlékérmét vehette át.

A Magyar Mérnöki Kamarába 1996-ban lépett be. Régi tagja a Szilikátipari Tudományos Egyesületnek, az Építéstudományi Egyesületnek, a Magyar Út- és Vasúti Társaságnak, a Közlekedéstudományi Egyesületnek, a Magyarhoni Földtani Társulatnak.

Kutatási tevékenysége a betontechnológiára és az építési kőanyagok anyagtanára terjed ki. Publikációinak száma mintegy 225.

Honlapján (<http://www.betonopus.hu>) megjelenő írásai az egyetemi építőanyag-oktatást és a szakmai ismeretek terjesztését szolgálják.

Kedves Tibor, sok szeretettel kívánunk születésnapod alkalmából nagyon sok boldogságot, sok-sok aktív évet.

Lublóy Éva és Balázs L. György

fib BULLETIN NO. 83

TITLE: PRECAST SEGMENTAL BRIDGES

Category: Guide to good practice

Year: 2017

Pages: 162

Format approx. DIN A4 (210x297 mm)

ISBN: 978-2-88394-123-6

Abstract:

With the publication of this bulletin, fib Commission 1 is initiating a new series of documents related to the use of structural concrete in underground construction, where structural concrete plays a major and increasingly important role. The usage of underground space is more than ever a key issue of urban planning and fib decided to start addressing the issues related to the design and construction of concrete structures in this particular environment.

In this context one the most significant applications of structural concrete is tunnel lining, for which the properties of reinforced concrete are particularly well suited through compressive strength, water tightness, ductility, and durability. Reinforced concrete tunnels linings have mostly been traditionally cast in situ, but the development of Tunnel Boring Machines has lead to the invention of precast concrete segmental lining technology, which is nowadays one of the most promising applications of Fibre Reinforced Concrete (FRC).

Thanks to the courage and dedication of innovative designers and contractors, a number of large tunnels have already been built around the World with FRC precast linings, and this report presents the experience acquired with these projects, and also provides guidance about the way to apply 2010 fib Model Code recommendations on FRC to these structures.

The main drivers of this evolution from RC to FRC are a better ductility, more durability, and easier fabrication and construction process.

As Commission 1 chair, I am very grateful to Alberto Meda and to all members of this task group for opening the way to this new field of underground structures within our commission, and to have efficiently produced a document that will be useful to our members and to the construction community around the World.



fib BULLETIN NO. 84

TITLE: PRECAST INSULATED SANDWICH PANELS

Category: State of the art report

Year: 2017

Pages: 129

Format approx. DIN A4 (210x297 mm)

ISBN: 978-2-88394-124-3

DOI: doi.org/10.35789/fib.BULL.0084

Abstract:

During the mid-20th century, with the rise of industrial prefabrication, precast concrete sandwich panels started being used as cladding for buildings. Since then, society and construction industry have become increasingly aware of energy efficiency in all fields, including affordability and sustainability consciousness, while maintaining the buildings' durability. As such, buildings have been subject to increasingly stringent requirements which has kept the technology of sandwich panels continually at the forefront of building envelope evolution.

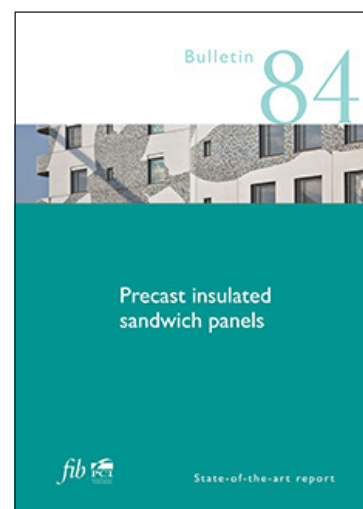
Nowadays, sandwich panels have reached the highest standards of functional performance and aesthetic appeal. In building construction, these sandwich panel attributes combine with the well-known advantages of prefabrication including structural efficiency, flexibility in use, speed of construction, quality consciousness, durability, and sustainability. Sandwich panels have gained more exposure, thus representing quite a significant application within the prefabrication industry and a vital component of the precast market.

The fib Commission "Prefabrication" is eager to promote the development of all precast structural concrete products and to share the knowledge and experience gained, to aid with practical design and construction. By issuing this comprehensive overview, "Guide to Good Practice", a better understanding of design considerations, structural analysis, building physics, use of materials, manufacturing methods, equipment usage and field performance will be provided. This document contains the latest information currently available worldwide.

The Commission is particularly proud that this document is a result of close cooperation with PCI and that it is published by both the fib and PCI. This cooperation started six years ago, first with comparing the different approaches to several issues, then progressively integrating and producing common documents, like this one, that hasn't yet been treated in a specific Guide by either body.

This Guide is intended to be the reference document to all who are interested in utilising the advantages of Precast Sandwich wall panels. In conjunction with the previously published Planning and Design Handbook on Precast Building Structures, the designer will have significant resources to integrate sandwich wall panels into any applicable structure.

The Commission is grateful to all the Task Group members for this accomplishment, particularly to Simon Hughes, who convened and led it successfully.





MODULÁRIS ZSALURENDSZEREK ÉS TARTÓÁLLVÁNYOK

gazdaságosan

gyorsan

biztonságosan



MEVA Zsalurendszer Zrt. | Tel. +36 1 272-2222
E-mail: info@meva.hu | www.meva.net



Mapleton Crescent toronyház - London, Szerkezettervezők: Clancy Consulting & Barrett Mahony Consulting Engineers

www.axisvm.hu