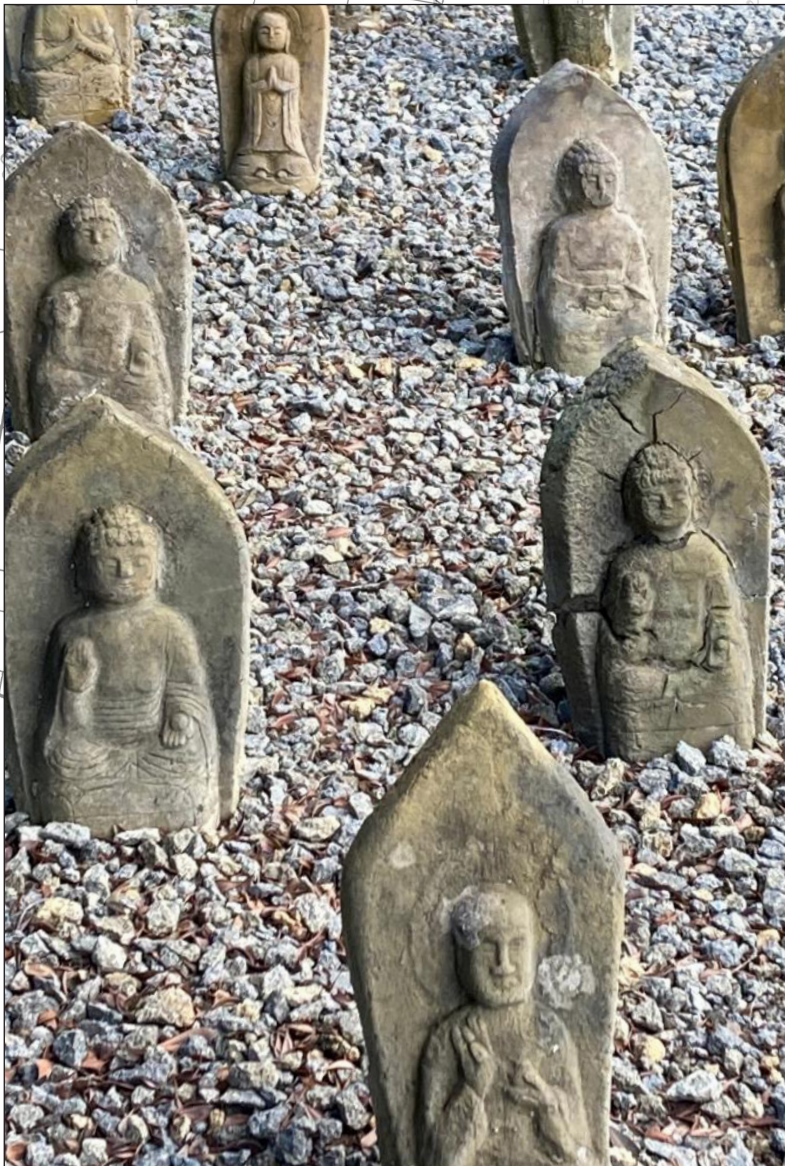


VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*



KISS RUDOLF

KALOCSA-PAKS KÖZÖTTI ÚJ DUNA-HÍD -

1. RÉSZ: A HÍD ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE

26

BARANYI ATTILA -

DR. KOPECSKÓ KATALIN

A RADIOAKTÍV

HULLADÉK CEMENTEZŐ

TECHNOLÓGIA ÁLTAL

HASZNÁLT CEMENTTÍPUSOK

AZONOSÍTÁSA

BÓRSÁVVAL KOMBINÁLT

FÉLADIABATIKUS

KALORIMETRIÁVAL

30

SOMLAI BÁLINT -

DR. BALÁZS L. GYÖRGY -

DR. SÓLYOM SÁNDOR

FRP BETÉTEK ALKALMAZÁ-

SA BETONSZERKEZETEKHEZ

A VILÁGBAN

1. RÉSZ -

FRANCIA MEGKÖZELÍTÉS

39

SZEMÉLYI HÍREK

BÚCSÚZUNK

PROF. DR. ZVONIMIR MARICTÓL

46

fib BULLETIN 106, 107

48

2024/2

XXVI. évfolyam, 2. szám

Betonszilárdulás – amikor minden perc számít

Az építőipar világában minden perc számít. A kivitelezések felgyorsításának szükségessége egyre kritikusabb kérdés, a szakemberek folyamatosan innovatív megoldásokat keresnek e cél eléréséhez.

A **MAPECUBE 1** adalékszer valós esélyt kínál a beton szilárdulási folyamatának felgyorsítására, valamint a beton teljesítményének és tartósságának javítására. Ez egy olyan, a Mapei által szabadalmaztatott exkluzív szintézis-eljárással megalkotott betonadalékszer, amely komplex hidratált szilikátok nanorészecskéiből áll, vizes szuszpenzióban.

A **MAPECUBE 1** képes a cement teljesítményének fokozására - az alacsony klinker tartalmú cementek esetében is, a maximális mechanikai tulajdonságok elérése érdekében, még rövid szilárdulási idők esetén is (6-18 óra). Valójában a termék fejlett kémiai összetétele azt jelenti, hogy gyorsan reagál a cementtel, jelentősen felgyorsítva a cementpép hidratációját, amint a szilárdulási fázis megkezdődik. Bármilyen transzport- és előregyártott betonkeverékben alkalmazható, ahol különleges követelmények vannak előírva, mint például:

- magas mechanikai szilárdság rövid szilárdulási idő után;
- a gőzzel történő szilárdítási idő csökkentése vagy megszüntetése;
- a hőmérséklet különbségek miatti repedések csökkentése;
- 10 °C alatti környezeti hőmérsékletű alkalmazások;
- a gyártási idők optimalizálása az előregyártott betonüzemekben;
- a zsaluzási idők gyorsítása;
- csökkentett klinker tartalmú cement használata.

Ezek a tulajdonságok a következők elérését segítik elő:

- az építési fázisok gyorsabb befejezése a szerkezetek minőségének romlása nélkül;
- a helyszíni termelékenység maximalizálása és az erőforrások optimalizálása;
- a munkák tervezése és kivite-



lezése nagyobb működési rugalmassággal;

- a környezeti hatások és a beton keverékek CO₂-kibocsátásának csökkentése;
- a termelési költségek és a CO₂-kibocsátás csökkentése az előregyártott betongyárakban a fokozott szilárdulási ciklusok miatt.

A **MAPECUBE 1** az építési projektek széles skálájánál alkalmazható, például

lakó- és kereskedelmi épületek; közúti infrastruktúrák és hidak, előregyártott betonszerkezetek építésénél. Különösen az előregyártó betonágazatban, ahol a pontosság, a határidők és a minőség alapvető követelmény, a **MAPECUBE 1** lehetővé teszi a gyártási idők optimalizálását olyan elemek esetében, mint a gerendák, pillérek, alagútszegmensek és szerkezeti panelek. Nem csak a teljes gyártási időt csökkenti, hanem nagyobb

rugalmasságot is lehetővé tesz az anyagok szállításának ütemezésében, így megfelel az összetettebb projektek és a szoros határidők által támasztott igényeknek. Ráadásul használata garantálja, hogy az előregyártott betonelemek teljesítik az előírt műszaki követelményszintet, így biztosítva az elkészült szerkezetek biztonságát és megbízhatóságát.



Ha szívesen olvasna további szakmai tartalmat is, iratkozzon fel a tervezőknek, mérnököknek szóló hírlevelünkre, ehhez olvassa be telefonja kamerájával a jobb felső sarokban található QR kódot!

VASBETONÉPÍTÉS

műszaki folyóirat
a **fib** Magyar Tagozat lapja

CONCRETE STRUCTURES
Journal of the Hungarian Group of **fib**

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztők:

Hajós Bence, Dr. Koris Kálmán

Szerkesztőbizottság:

Dr. Csiki Béla
Dr. Czoboly Olivér
Dr. Erdélyi Attila
Dr. Farkas György
Dr. Hlavička Viktor
Horváth Adrián
Kolozi Gyula
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
Dr. Sólyom Sándor
Dr. Szép János
Szijártó Anna
Telekiné Királyföldi Antónia
Várdai Attila
Dr. Völgyi István

Lektorai testület:

Dr. Dulácska Endre
Madaras Botond
Dr. Madaras Gábor
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:
Bíró András, doktorandusz

Tervezőszerkesztő: Halmai Csaba

Megjelenik negyedévenként
nyomtatásban (korlátozott példányszám-
ban) és online.

WEB:

<http://fib.bme.hu/kiadvanyok.html>

© a **fib** Magyar Tagozata
ISSN 1419-6441 online ISSN: 1586-0361

A hirdetések felvétele:
Tel.: 463-4068, Fax: 463-3450

Címlapfotó:

Kohósalak felhasználásával készült
Buddha szobrok (Japán).
Fotót készítette: Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

- 26** KISS RUDOLF
**KALOCSA-PAKS KÖZÖTTI ÚJ DUNA-HÍD -
1. RÉSZ: A HÍD ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE**
- 30** BARANYI ATTILA - DR. KOPECSKÓ KATALIN
**A RADIOAKTÍV HULLADÉK CEMENTEZŐ
TECHNOLÓGIA ÁLTAL HASZNÁLT
CEMENTTÍPUSOK AZONOSÍTÁSA
BÓRSÁVVAL KOMBINÁLT FÉLADIABATIKUS
KALORIMETRIÁVAL**
- 39** SOMLAI BÁLINT - DR. BALÁZS L. GYÖRGY -
DR. SÓLYOM SÁNDOR
**FRP BETÉTEK ALKALMAZÁSA BETON-
SZERKEZETEKHEZ A VILÁGBAN
1. RÉSZ - FRANCIA MEGKÖZELÍTÉS**
- 46** **SZEMÉLYI HÍREK**
BÚCSÚZUNK PROF. DR. ZVONIMIR MARICTÓL (1944-2024)
- 48** **fib BULLETIN 106, 107**

A folyóirat támogatói:

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

KALOCSA-PAKS KÖZÖTTI ÚJ DUNA-HÍD – 1. RÉSZ A HÍD ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE



Kiss Rudolf

<https://doi.org/10.32969/VB.2024.2.1>

A Duna Magyarországi szakaszán 20. hídként 2021. év januárjában elindult a Kalocsa–Paks új Duna-híd kivitelezése. Az Építési és Közlekedési Minisztérium beruházásában megvalósuló fejlesztés keretében a Duna Aszfalt Zrt. kivitelezőként a csatlakozó utakra és 3 db műtárgy építésére kapott megbízást. A Vasbetonépítés c. folyóirat cikksorozatában bemutatjuk a Duna felett átívelő extradosed felszerkezetű mederhíd tervezésének folyamatát. Jelen cikk a beruházás kiindulási fázisát és a híd alapadatait ismerteti.

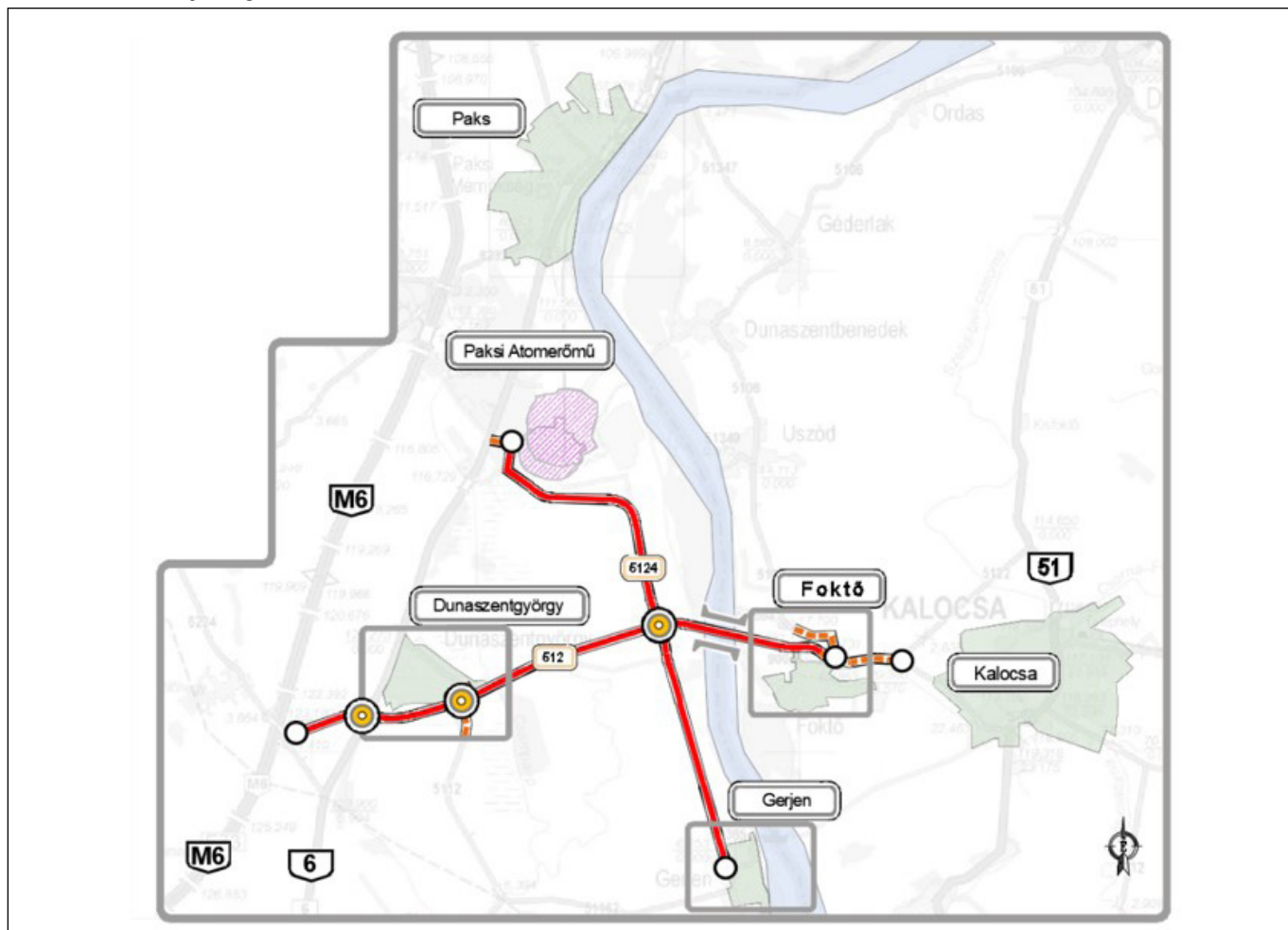
Kulcsszavak: Duna-híd, előzmények, extradosed szerkezet

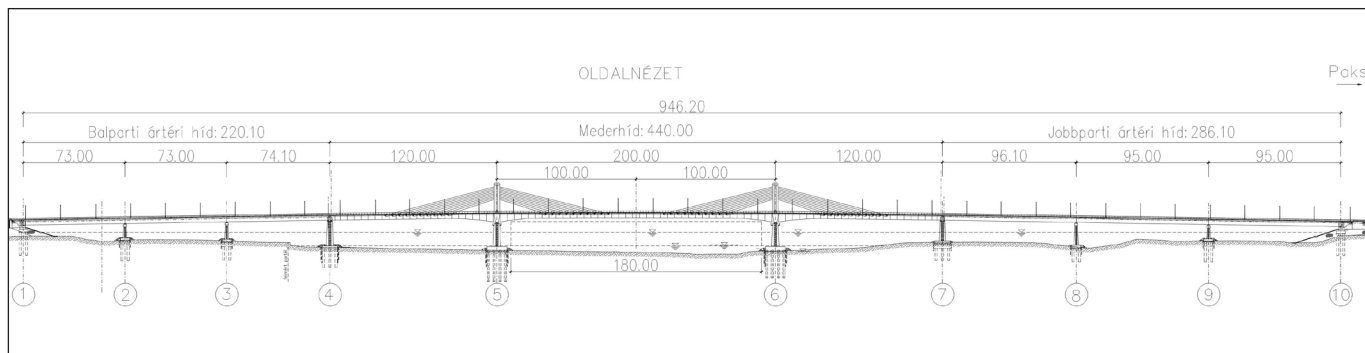
1. ELŐZMÉNYEK

A Kalocsa és Paks térségében tervezett új Duna-híddal kapcsolatos beruházás előkészítéséről a Kormány a 1438/2015. (VI.30.) Korm. határozatában döntött. A beruházás a Kormány 226/2015. (VIII.7.) Korm. rendelete alapján nemzetgazdasági

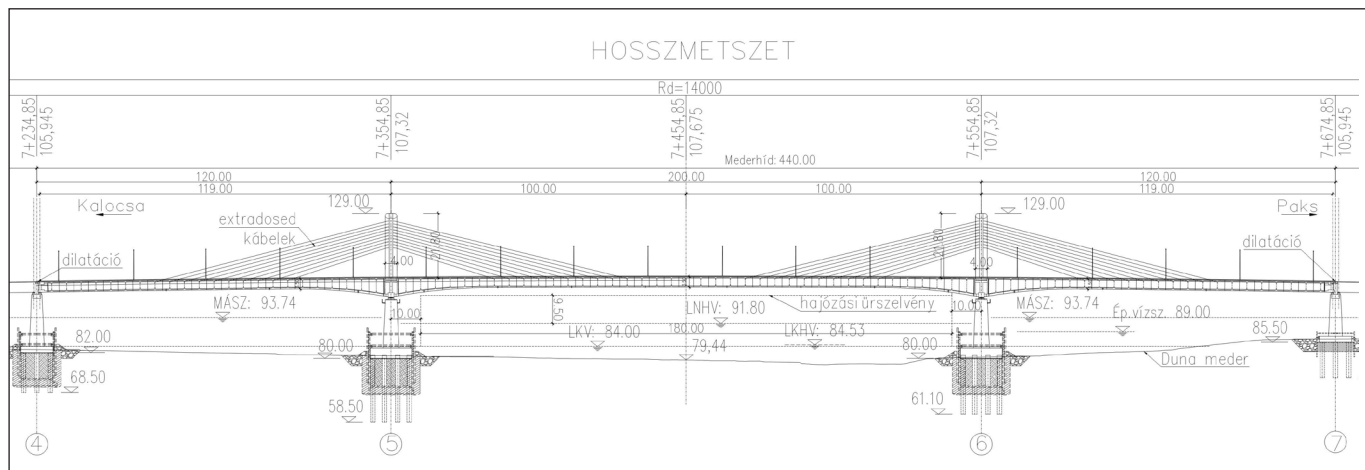
szempontból kiemelt jelentőségű közlekedési infrastruktúra beruházásnak minősül. A Nemzeti Fejlesztési Minisztérium a NIF Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő zártkörűen működő Részvénytársaság-ot (az Építési és Közlekedési Minisztérium jogelődje) bízta meg a szükséges előkészítési munkák – mint környezeti hatástanulmány, tervezések,

1. ábra: Átnézeti helyszínrajz





2. ábra: Teljes híd oldalnézete



3. ábra: Mederhíd hosszszelvénye

engedélyek beszerzésével – és ezek közbeszerzéseinek lebonyolításával. A 2017 áprilisában megjelent közbeszerzési eljárás eredményeként a tervezést a CÉH Tervező, Beruházó és Fejlesztő zRt. vezette KALOCSA HÍD 2017 Konzorcium kezdhette meg 2017 októberében, a konzorcium további tagjai a Pont-TERV Mérnöki Tervező és Tanácsadó Zrt. és az UTIBER Közúti Beruházó Kft. voltak. A tervezési feladat magában foglalta az engedélyezési tervek elkészítését, az építési engedély megszerzését, valamint az ajánlati tervek elkészítését.

A tervezési feladat két részből állt (1. ábra), az egyik az 512. sz. új másodrendű főút tervezése az 51. sz. főút és a M6 autópálya között, ennek az útnak a részét képezi az új Duna-híd, valamint az 5124.j. új észak-déli irányú összeköttetés tervezése Paks és Gerjen között.

A tervezés kiindulási adataként a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ megbízásából készült megvalósítási és helykijelölési tanulmány („Kalocsa–Paks térségében tervezett Duna-híd”; Hegymagas Kft.; 2015. szeptember hó) szolgált. A tanulmányban vizsgált nyomvonalváltozatok közül a „B” változat került tovább tervezésre, ahol a nyomvonal a Foktő–Dunaszentgyörgy vonal mentén haladt.

A NIF Zrt. 2020 januárjában közbeszerzési eljárást indított a Kalocsa–Paks új Duna-híd és kapcsolódó úthálózat tervezésére és kivitelezésére. A közbeszerzési eljárás nyertese a DUNA ASZFALT Kft. (DUNA ASZFALT Zrt. jogelődje) volt, aki a tényleges kivitelezési munkákat 2021 januárjában, a vállalkozási szerződés hatálya lépését követően, elindította.

2. ÚJ DUNA-HÍD

Az új Duna-híd tervei a CÉH Tervező, Beruházó és Fejlesztő zRt. főtervezésében készültek, a Pont-TERV Mérnöki Tervező és Tanácsadó Zrt. alvállalkozóként vett részt a tervezésben.

A híd a Duna 1520,446 fkm szelvényében keresztezi a

folyamot, ez az 512. sz. út 7+454,85 km szelvényébe esik. A keresztezés helyén a Duna „irányt vált” (inflexiós ívben folyik), a meder szigetekkel, csatornákkal, holtágakkal kissé tagolt. A fő meder szélessége 460 m, az árvízvédelmi töltések távolsága kb. 1010 m-re tehető. A töltéseken futó kezelőutak a Duna-híd előtt és után egy-egy megnyílású kezelő úti híddal lettek átvezetve a főút alatt.

Az új Duna-híd egységes, de különböző szerkezetekből álló műtárgy. Felszerkezetileg három hídról beszélhetünk: bal parti ártéri híd, mederhíd, jobb parti ártéri híd.

A hídon, az 512. sz. főút keresztmetszvényéhez igazodva, 2x1 forgalmi sáv van átvezetve, a híd mindkét külső oldalán kétirányú kerékpárutakkal. A kilenc nyílású híd teljes hossza 946 m, a mederhíd középső nyílásában biztosítottuk a 180 m széles hajóútot, így a legnagyobb támaszköz 200 m-re adódott (2. ábra).

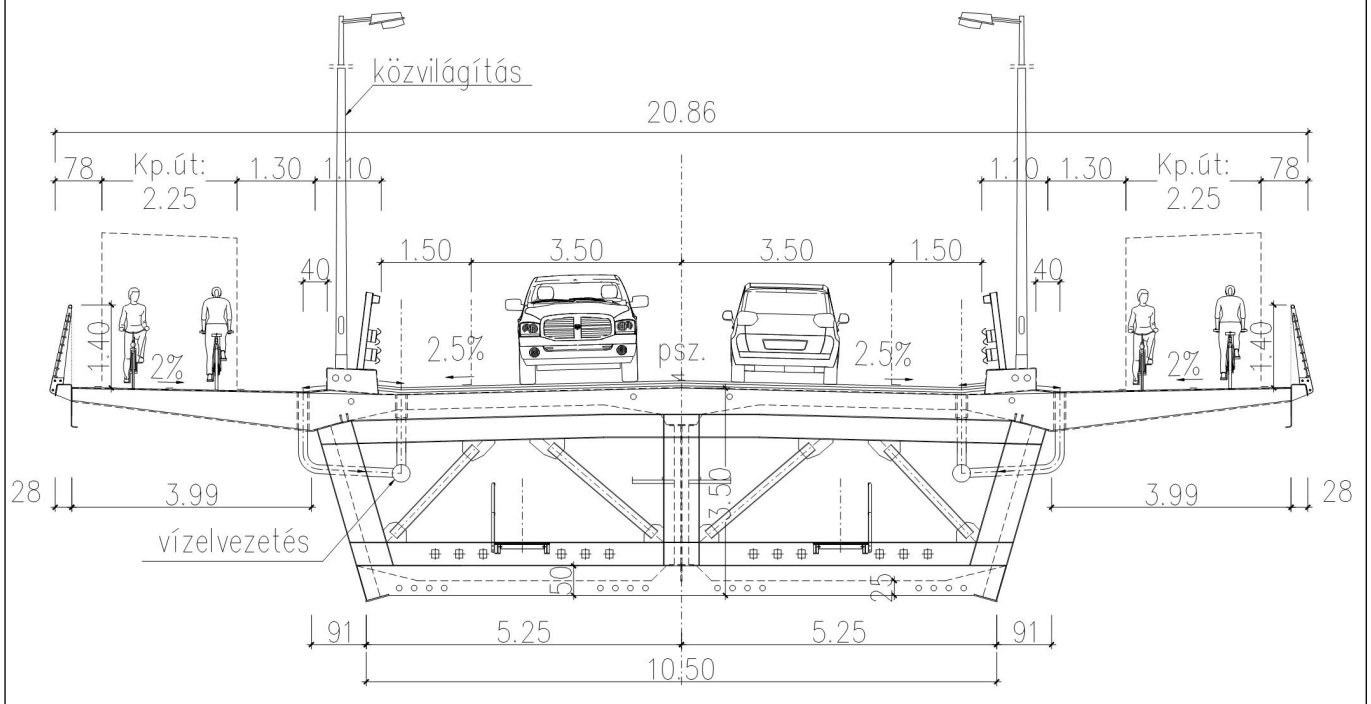
2.1 Mederhíd

A 440 m hosszú mederhíd felszerkezete háromnyílású, a mederpillérek felett parabolikusan kiékelte, kétcéllás szekrénytartós, öszvér keresztmetszetű extradosed típusú híd, amelynek támaszközei: 119,0 + 200,0 + 119,0 m (3. ábra). A híd főtartója kétcéllás szekrénytartó, amelynek ferde oldalfalait és középső falát acél trapézlemez gerincek, alját vasbeton fenékmez, felső részét mindkét oldalon konzolos kialakítású vasbeton pályalemez alkotja.

A felszerkezet az építési és állandó igénybevételeknek megfelelően hosszirányban tapadóbetétes kábelekkel feszített vasbeton pályalemezzel, feszített vasbeton fenékmezszel, a hasznos teher igénybevételeinek megfelelően pedig a szekrényekben szabadon vezetett csúszókábeles feszítéssel lett kialakítva.

A szekrénytartó magassága az állandó magasságú szakaszokon úttengelyben mérve 3,50 m. Az 5. és 6. jelű meder-

MEDERHÍD KERESZTMETSZET KÖZÉPSŐ SZAKASZON



4. ábra: Mederhíd keresztmetszete a középső szakaszon

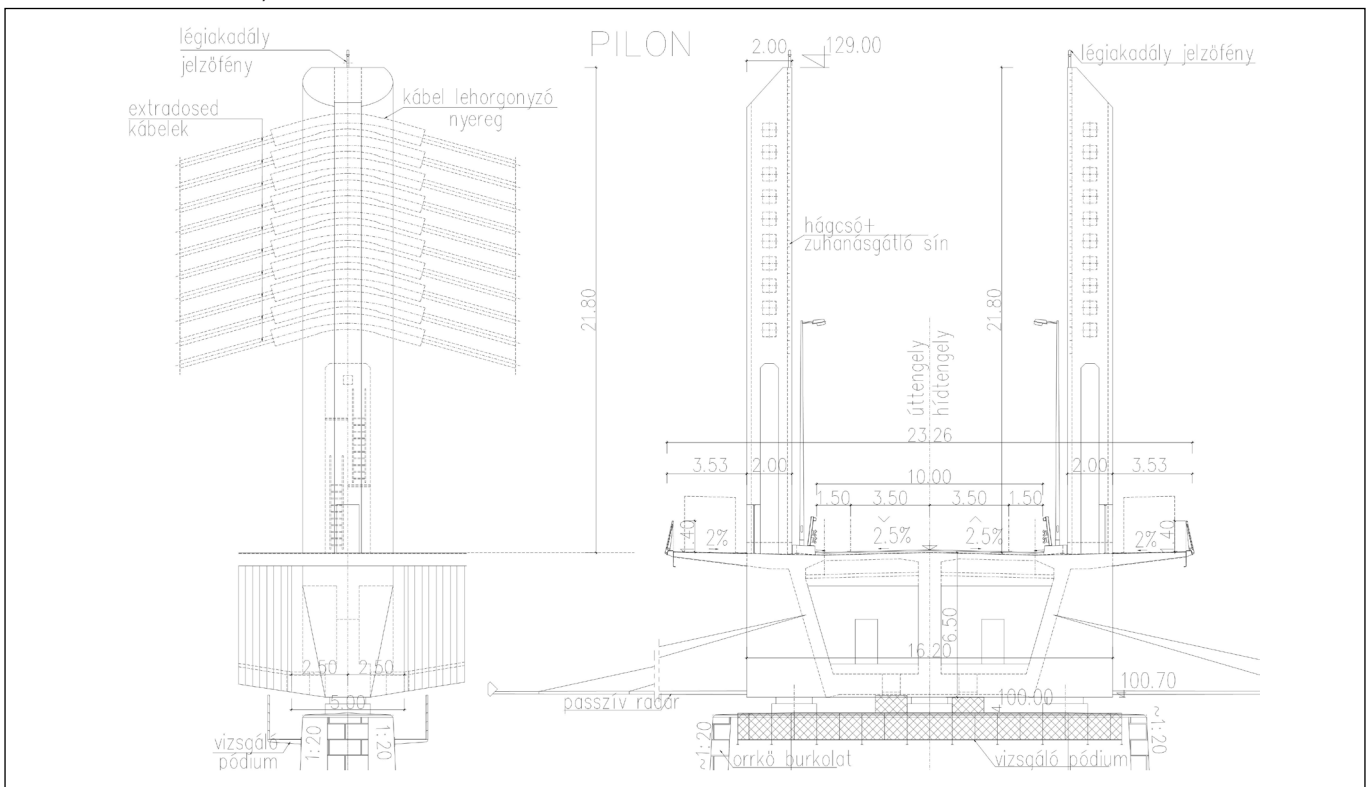
pillérektől az extradosed kábel lehorgonyzások szakaszáig a szekrénytartó magassága változó, a mederpillérek felett 6,50 m. A trapézlemez gerinces keresztmetszet keresztirányú merevségét – az 5 m-es építési zömhossznak megfelelően – 5 méterenként beépített, a gerinclemezekkel egybeépített acélszerkezetű keresztartók biztosítják.

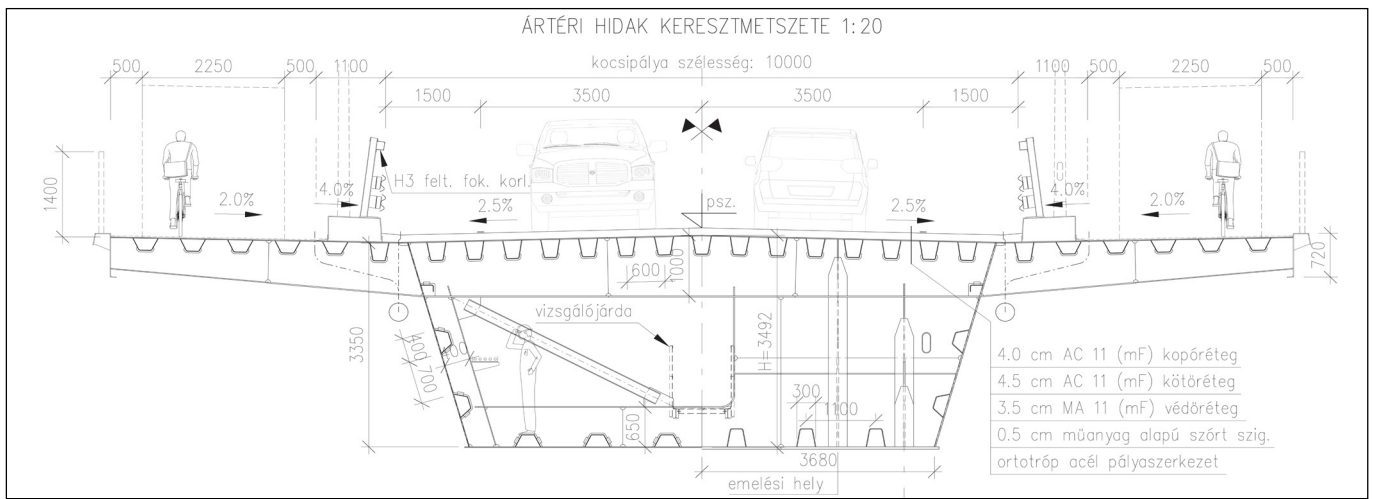
A felszerkezet szélessége (4. ábra) a mederhíd hossza mentén nem egységes, az ártéri hidakhoz való csatlakozásnál 19,26 m, és a pilonoknál a maximális szélesség 23,26 m.

A felszerkezethez 5 méterenkénti lehorgonyzással a pilonok két oldalán 10-10 db extradosed kábel került beépítésre. A kétoszlopos kialakítású pilonok tömör monolit vasbeton szerkezetek, egybeépítve a felszerkezet támaszkeresztartóival. A kábelek lehorgonyzása a pilon palástján kívül, a pilonba bebetonozott, acélszerkezetekkel úgynevezett linkelemekkel történt.

A pilonok magassága 21,80 m az úttengelyben vett pályalemez szinttől mérve (5. ábra).

5. ábra: Pilon általános terv, oldalnézet és metszet





6. ábra: Ártéri híd keresztmetszete

2.2 Ártéri hidak

A mederhídhoz két ártéri szerkezet kapcsolódik. A Paks felőli jobb ártéri híd háromnyílású, összesen ~287,00 m, míg a Kalocsa felőli bal ártéri híd háromnyílású, összesen ~221,00 m hosszú hídszerkezet. A két ártéri híd szerkezeti rendszere megegyezik, mindkét híd ortotrop pályalemez, párhuzamos övű, többtámaszú, folytatólagos, két főtartós, ferde gerincű, egy cellás acél szekrénytartós gerendahíd. A balparti híd támaszközei 73,0 + 73,0 + 73,0 m, a jobbparti híd támaszközei 95,0 + 95,0 + 95,0 m.

A szekrénytartós szerkezet felső övét az ortotrop pályalemez alkotja. A szekrény alsó felülete az állandó gerinc magasságra tekintettel követi a hossz-szelvény vonalát, keresztirányú alkotói vízszintesek.

A felszerkezet szélessége állandó 19,26 m, a szerkezeti magasság is állandó a hidak hossza mentén, úttengelyben mérve 3,625 m (6. ábra).

Az ortotrop acél pályalemezt 0,6 méterenként trapéz keresztmetszetű hosszbordák, valamint 3,65 méterenként keresztartók támasztják alá. A gerinclemezeket és a szekrény fenéklemezét két irányban, hosszirányú és arra merőleges elemek merevítik. A gerincek és a fenéklemez hosszirányú merevítései trapéz keresztmetszetűek. A két főtartót minden második keresztartónál rácsos keresztkötések kapcsolják össze, a támaszok felett tömör diafragmák vannak.

Az ártéri hidak vízzáró dilatációs szerkezettel kapcsolódnak a hídfők térdfalához, illetve a mederhídhoz a 4. és 7. jelű közös pillérek felett.

3. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A Kalocsa–Paks új Duna-híd építését 2021. januárban kezdte meg a Duna Aszfalt Zrt. A hídepítés ünnepélyes átadása 2024. június 6-án volt. A közel 40 hónap alatt a teljes 946 m hosszúságú műtárgyra vonatkozóan ~32,000 m³ beton, 4800 t acél, 230 t extradosed kábel és ~15 km feszítőkábelből beépítését végezte el a fővállalkozó.

Az extradosed híd műszaki megoldásai komoly kihívást jelentettek mind a tervezőknek, mind a kivitelezőknek. A felszerkezetnél alkalmazott trapézlemezéből kialakított gerinclemezeket korábban hazánkban csak az M43-as autópálya Tisza feletti Móra Ferenc hídnál alkalmazták. Az eltérő anyagfelhasználás, különböző feszítési rendszerek és bonyolult építési ütemezés, illetve technológia a tervező és a kivitelező szoros együttműködését igényelte.

4. IRODALOM

- Bellai L. (szerk.) (2024) „Beton és acél ölelésében – Tomori Pál híd Kalocsa és Paks térségében”, Duna Aszfalt Zrt. Budapest, p. 198
- Pusztai P. (2022) „Kalocsa–Paks új Duna-híd tervezése I. – Mederhíd tervezése”, Hidász napok 2022 előadásainak gyűjteménye, Lánchíd füzetek 35. Első Lánchíd Bt. Biri, pp. 36-45.
- Fornay Cs. (2022) „Kalocsa–Paks új Duna-híd tervezése II. – Ártéri hidak, aléptímenyek és széldinamika”, Hidász napok 2022 előadásainak gyűjteménye, Lánchíd füzetek 35. Első Lánchíd Bt. Biri, pp. 46-56.
- Feczkó R., Magyar J. (2022) „Kalocsa–Paks Duna-híd mederhíd építése” Hidász napok 2022 előadásainak gyűjteménye, Lánchíd füzetek 35. Első Lánchíd Bt. Biri, pp. 57-75.
- Szigeti A. (2022) „Kalocsa–Paks új Duna-híd mederszerkezet zsaluechnológiája VBC – Balanced Cantilever Carriage”, Hidász napok 2022 előadásainak gyűjteménye, Lánchíd füzetek 35. Első Lánchíd Bt. Biri, pp. 76-92.
- Tóth T. (2022) „Kalocsa–Paks új Duna-híd és kapcsolódó úthálózat tervezése és kivitelezése”, Hidász napok 2021 előadásainak gyűjteménye, Lánchíd füzetek 29. Első Lánchíd Bt. Biri, pp. 74-82.
- Feczkó R. (2021) „A Kalocsa és Paks közötti új Duna-híd építésének megkezdése”, Hidépítők, 2021/3 p. 24-29.
- Feczkó R. (2021) „A Kalocsa és Paks közötti új Duna-híd építése”, Hidépítők 2021/4 p. 12-17.
- Kiss Rudolf (1972), okl. szerkezetépítő mérnök (BME 1996), A CÉH zRt. hidszakági főmérnöke, 1997-től a cég munkatársa. Tervezőként, illetve szakaszfelelős tervezőként részt vett az M3 autópálya Füzesabony–Polgár szakasz, az M30 autópálya M3–Miskolc szakasz, az M0 útgűrű Északi, Keleti és Déli szektorok, az M60 autópálya Bóly–Szentlőrinc szakasz tervezésében. Részes volt a budapesti Margit híd, valamint a Széchenyi lánchíd műemléki felújításának tervezésének. A Kalocsa–Paks új Duna-híd tervezési projektvezetője.

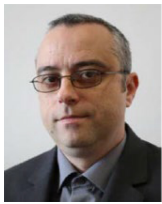
NEW BRIDGE BETWEEN KALOCSA AND PAKS PART 1. – GENERAL INFORMATION OF THE BRIDGE

Rudolf Kiss

In January 2021, the construction of the new Kalocsa-Paks Danube bridge, the 20th bridge on the Hungarian section of the Danube, started. The investor is The Ministry of Building and Transportation, the main contractor is Duna Aszfalt Zrt., the completion date was 6 June 2024. The project contains the construction of a 946 m long bridge structure with 3 different superstructures. The left side approaching bridge is 221 m long and the right side approaching bridge is 287 m long with an orthotropic steel superstructure. The 440 m long river bridge is described in detail in this journal. The span of the bridge is 119+200+119 m. A total of 80 pc. extradosed cables suspend the two-cell girder of the main girder. A special feature of the bridge is that the steel main girders are made of corrugated steel plate.

Keywords: Danube bridge, bridge history, extradosed superstructure

A RADIOAKTÍV HULLADÉK CEMENTEZŐ TECHNOLOGIA ÁLTAL HASZNÁLT CEMENTTÍPUSOK AZONOSÍTÁSA BÓRSAVVAL KOMBINÁLT FÉLADIABATIKUS KALORIMETRIÁVAL



Baranyi Attila - Dr. Kopecskó Katalin

<https://doi.org/10.32969/VB.2024.2.2>

A Paksi Atomerőműben működő Radioaktív Hulladék Cementező Technológia segítségével a folyékony radioaktív hulladékokat cementkötésű anyagokkal keverik össze, majd a cementpépet acélhordókban elhelyezett szilárd radioaktív hulladékokat tartalmazó konténerekbe töltik. Az így elkészített ún. kompakt hulladékcsomagok minősítésük után már végleges tárolásra kerülhetnek.

A cementezési receptúra hulladéktípusonként változhat, valamint a keverékek érzékenyek lehetnek a kötőanyagok minőségére, ezért az alapanyagokat minden szállítás alkalmával azonosítani kell. Mivel a termékszabványok szerinti követelmények csak az adott cementtípusra vonatkozó alapvető jellemzők ellenőrzésére szolgálnak és időigényesek, ezért az adott felhasználás szempontjából lényeges alkalmazástechnikai tulajdonságok ellenőrzéséhez szükség van egy egyszerű és gyors kiegészítő azonosítási módszerre, a cementezési folyamat megkezdése előtt.

Tanulmányunkban, a Duna-Dráva Cement Kft. (DDC), a Holcim Magyarország Kft. (Holcim) és a Danucem Magyarország Kft. (Danucem) által gyártott különböző típusú cementeket vizsgáltuk. A méréseink eredményeképpen a bórsavval kombinált fél-adiabatikus kalorimetrikus, és savas feltárással azonosítani tudtuk a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia működéséhez szükséges CEM I 42,5 N típusú cementet a DDC beremendi gyárából származó többi cementtípus között, valamint megvizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát más, az építőiparban gyakran előforduló cementtípusokra is.

Kulcsszavak: cementazonosítás, cementezés, radioaktív hulladék, féladiabatikus kalorimetria, bórsav

1. BEVEZETÉS

A Paksi Atomerőműben 2023-ban bevezetésre került a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia, amely segítségével a különböző, tovább már nem kezelhető folyékony radioaktív hulladékokat (bepárlási maradékok, iszapok, dekontamináló oldatok, evaporátor savazó oldatok és használt ioncserélő gyaníták) különböző típusú cementekkel, metakaolinnal, és esetleg adalékszerrel keverik össze. Az így elkészített cementpépet acélhordókban elhelyezett szilárd radioaktív hulladékokat tartalmazó konténerbe töltik. Ezzel a művelettel olyan kompakt hulladékcsomagot alakítanak ki, amely már megfelel a Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló (NRHT) hulladék átvételi követelményeinek (HÁK). Tanulmányunkban csak a jelenleg feldolgozás alatt álló bepárlási maradék (sűrítmény) szilárdításának receptúrájához szükséges kötőanyag azonosítását tárgyaljuk, amelynek lényegesebb tulajdonságait az 1. táblázatban tüntettük fel.

A cementezési receptúrákat a CHEMCOMEX, a.s. (kivitelező) dolgozta ki minden egyes hulladéktípusra (Süssmilch et al., 2022), amelyekben konkrét cement és metakaolin típust írtak elő, ill. meghatározták a hulladék/kötőanyag (H/k) tényezőt is az üzemi paraméterek, valamint a HÁK-ban foglalt követelmények biztosítása érdekében. A receptúrafejlesztés során számos nehézség merült fel, többek közt az először kifejlesztett receptúra készítéséhez szükséges, Vácon gyártott CEM I 42,5 N típusú portlandcement gyártásának megszűnése, amely miatt új keverék összetétel kidolgozása vált szükségessé. A jelenleg elfogadott receptúra ugyanolyan típusú (CEM I 42,5 N), de Beremenden gyártott cementet tartalmaz, azonban a két cement eltérő összetétele miatt csökkenteni kellett a cementpép hulladéktartalmát, mert a korábbi H/k tényezővel gyártott termék nem felelt volna meg a követelményeknek. Ezen kívül a minősítéshez szükséges próbatetek elkészítése és vizsgálata is nehézkessé vált.

1. táblázat: A vizsgált bepárlási maradék néhány fontosabb jellemzője (MVM Paksi Atomerőmű Zrt., 2023)

pH	Nitrát [g/dm ³]	Borát [g/dm ³]	Mólarány (NaOH/H ₃ BO ₃)	Sűrűség [kg/dm ³]	Száranyag [g/dm ³]	⁶⁰ Co [Bq/dm ³]	¹³⁷ Cs [Bq/dm ³]
12	22,59	181,7	1,11	1,229	362,60	1,45·10 ⁵	1,17·10 ⁶

Mivel a cementek minősége nagyban befolyásolja a termék tulajdonságait, szükség van azok minőségének laboratóriumi ellenőrzésére. Ezeket az időigényes minősítő vizsgálatokat külső intézet végzi, így találni kellett egy egyszerű és gyors tesztet, amely a szabványos vizsgálatok kiegészítéseként lehetővé teszi a beérkezett cement üzemen belüli azonosítását, elősegítve a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia folyamatos, megbízható működését.

Jelen tanulmányunkban elsősorban a technológiához szükséges beremendi CEM I 42,5 N típusú cement azonosítása volt a célunk. Emellett további eredményeinkkel alátámasztva szerettük volna a bórsavval kombinált féladiabatikus kalorimetrikus vizsgálati módszert szélesebb körű építőipari alkalmazásra is kiterjeszteni.

1.1 A cementezett hulladékkal szemben támasztott követelmények

A szilárdított termékek vizsgálatával a Cementezett Hulladék Vizsgáló Laboratórium foglalkozik, amely egyrészt a cementpép technológiai paramétereit, másrészt a már megszilárdult cementkő HÁK-nak való megfelelést ellenőrzi (Baranyi et al., 2021).

A cementpéppel szemben támasztott technológiai követelmények:

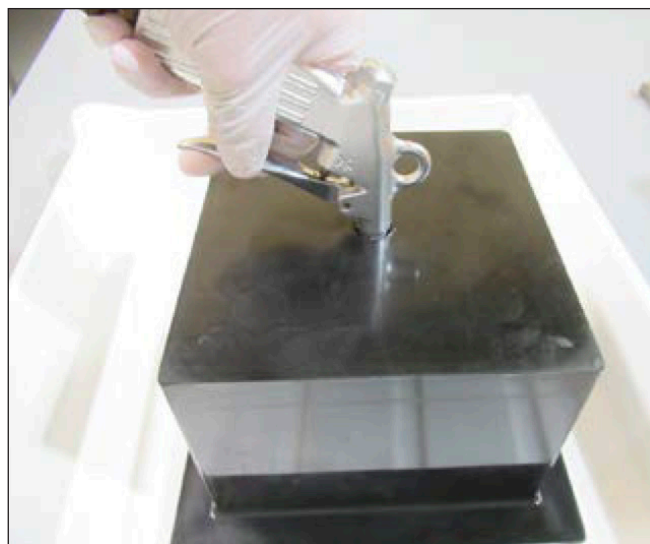
- konzisztencia (Suttard – féle terület): 120 – 170 mm (optimális: 150 mm),
- kötési idő: kötési idő kezdete (IST): min. 2 h; kötési idő vége (FST): max. 48 h (MSZ EN 196-3),
- hidratációs hőfejlődés mértéke: max. 80 °C,
- kivérzés (víz feladás) mértéke: max. 1 V/V%.

A szilárdított hulladékkal szemben támasztott hulladék átvételi követelmények (HÁK):

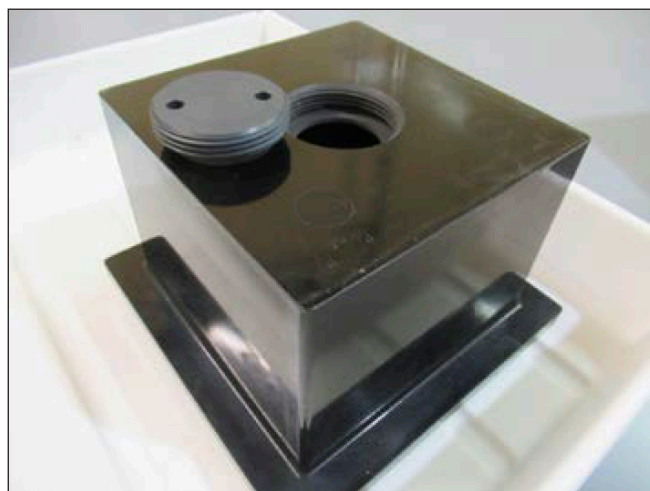
- nyomószilárdság min. 10 MPa (MSZ EN 12390-3),
- diffúziós együttható minden izotóp tekintetében max. 10^{-7} cm²/s (ASTM 1308-08).

1.2 A cementváltás következményei

A több éven át tartó előkészítő munka után kifejlesztett receptúrában hirtelen bekövetkező változás során a kivitelező először összehasonlító méréseket hajtott végre az új összetételű cementpéppel, majd a megfelelő technológiai paraméterek elérése után elvégezte a cementkő vizsgálatokat. Már a beremendi cementtel végzett cementpép vizsgálatok korai szakaszában világossá vált, hogy a váci cement esetében elért 0,61 H/k tényezőt csökkenteni kell, mert a beremendi cementtel készült keverékek konzisztenciája már 0,57 H/k mellett is elérte az optimális 150 mm értéket, ráadásul a többi vizsgált paraméter tekintetében is megfelel az előírásoknak. Egyedül a nyomószilárdság értékben volt tapasztalható csökkenés, de még így is több, mint a duplája a HÁK-ban előírt követelmé-



1.a ábra: Pneumatikus öntőforma



1.b ábra: Átalakított, hidraulikus öntőforma

nyeknek (2. táblázat).

A cement minőségének megváltozásával módosítani kellett a próbatestek kizsaluzási módszerét. A váci cementnél alkalmazott manuális, ill. pneumatikus kizsaluzás helyett (1.a ábra) a mintákat sok esetben csak hidraulikus présel lehet eltávolítani az öntőformából. Ennek megfelelően a nyomószilárdság vizsgálatra használt 150 mm-es próbatestek öntőformáit át kellett alakítani (1.b ábra).

A cement vizsgálata tehát kiemelt fontosságú mind a technológiai, mind a hulladék átvételi követelmények betartása érdekében, ugyanakkor nagyban befolyásolhatja a laboratóriumi mintaelőkészítést is.

2. A KÖTŐANYAGOK AZONOSÍTÁSI MÓDSZEREI

A cementgyárak az általuk gyártott különböző típusú cementeket a saját sztenderdjeik alapján röntgendiffrakciós (XRD)

2. táblázat: A radioaktív bepárlási maradékokat tartalmazó cementpépek főbb jellemzői

Cement típusa	IST/FST [h]	T _{max} [°C]	f _{cm} [MPa]	D [cm ² /s]
Váci CEM I 42,5 N	15-60/20-110	65±3	39,53	6,5·10 ⁻⁹
Beremendi CEM I 42,5 N	4/30	55±6	22,36	7,3·10 ⁻¹⁰

IST: kötési idő kezdete; FST: kötési idő vége; T_{max}: maximális hidratációs hőmérséklet; f_{cm}: átlagos 28 napos nyomószilárdság, D: a ¹³⁷Cs diffúziós együtthatója

vizsgálattal, röntgenfluoreszcens (XRF) spektrometriával, valamint optikai mikroszkópiával tudják azonosítani. Ugyanakkor a gyártás minőségbiztosítási rendszerének segítségével is nyomon lehet követni az egyes cementek életútját.

A betonüzemek a cementgyárak által kiadott teljesítmény-nyilatkozatok alapján veszik át az általuk rendelt cementeket. Amennyiben a termék minőségével kapcsolatban kétely merülne fel, akkor független, általában akkreditált laboratóriumokba küldik a cementmintákat azok minőségének ellenőrzése céljából. A vizsgálatokat az EN 196 jelzetű szabványsorozat szerint végzik, amelyek eredménye alapján a vizsgált cement az EN 197-1 szabványban leírt követelmények szerint különböző cementtípusokba és nyomószilárdsági osztályokba sorolható. A szabvány az építőipari biztonság szempontjából konzervatív megközelítést alkalmaz, így előfordulhat, hogy egy 32,5 N szilárdsági osztályú cement megfelel a 42,5 N szilárdságú cement követelményeinek is. Ugyanakkor, ahogy korábban láttuk a folyékony radioaktív hulladékok cementezése esetén, még azonos típusú cementek alkalmazása is jelentős minőségi különbséget okoz, ill. a cementezett radioaktív hulladékokkal szemben támasztott szigorú követelmények betartása, és a másodlagos (radioaktív) hulladékok keletkezésének elkerülése érdekében lehetőség szerint ki kell küszöbölni a kötőanyagok okozta nem-megfelelőségeket.

A nemzetközi irodalomban meglehetősen nehéz a témában tájékozódni valószínűsíthetően a fent leírt gyakorlat miatt, ill. az egyes cementtípusok ásványi összetételével kapcsolatos információk nem mindig elérhetőek. Mindenesetre az XRD és XRF analízis megfelelő módszerek lehetnek a cementek azonosítására, amennyiben a cementezésre már korábban is használt cementet tekintik referenciának. A kristályos komponensek azonosíthatók a röntgendiffrakciós csúcsok helyzetének és relatív intenzitásának meghatározásával, valamint az adott diffraktogram röntgendiffrakciós adatbázissal történő kiértékelésével (Aldrige, 1982; Snellings, 2016.; Khelifi et al., 2017).

A cementek azonosításának elsősorban a különböző mérnöki műtárgyakban bekövetkező károk felderítésénél, felelősségi kérdéseknél és igazságügyi szakértői vizsgálatoknál, valamint régészeti szempontból (Varas et al., 2005; Mirello et al., 2010) van jelentősége. A cementek azonosíthatók a betonban található nyomelemek (pl.: Mg, Sr, Ba, Mn, Zn, Zr, Ti, V) meghatározásának segítségével is, amelyhez általában induktív csatolású plazma atomemissziós (ICP-AES), valamint tömegspektrometriás (ICP-MS) módszereket alkalmaznak (Goguel et al., 1993; Potgieter-Vermaak et al., 2007). A klinkerben található nyomelemek feltáró adatelemzésével (EDA), annak származási helye szintén megállapítható (Tamás et al., 2002; Abonyi et al., 2004).

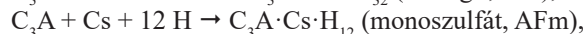
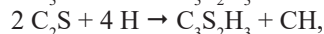
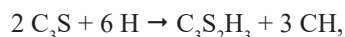
A cementek klinkertartalmának eredete (ujjlenyomata) radioanalitikai módszerekkel is tisztázható a cementben található stroncium $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ill. neodímium $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotóp arányának előfordulása alapján (Graham et al., 2000; Kazlagić et al., 2021).

Egy másik alkalmas módszer a beton készítéséhez használt cement típusának meghatározására a lézer indukált plazma spektrometria (LIBS). A mérés során a cementkő mintát lézer impulzussal sugározzák be, majd az abláció következtében keletkezett plazma emissziós szinképét elemzik, amelyhez nagy felbontású UV/VIS és IR spektrométert használnak (Völker et al., 2020).

Mindazonáltal az elemanalitikai módszerek alkalmazhatóságát a cement származási helyének megállapítására nagymér-

tékben befolyásolja, hogy az egyes cementekhez használt gipsz és más fő-, ill. mellékalkotórészek ma már nem csak helyi, természetes forrásból származnak. A modern cementgyárak jelentős mennyiségű másodlagos tüzelő- és nyersanyagot is felhasználnak, amelyek a mintaelőkészítéssel bevitt egyéb segédanyagokkal együtt növelik a mérések bizonytalanságát.

Az ismert forrásból származó cementtípusok azonosítására alkalmasak lehetnek még a termikus módszerek is, amelyek alapja, hogy a cement hidratációs hőfejlődését lényegében a különböző klinkerásványok (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF) hidratációja (vízzel való reakciója, hidratképződés) eredményezi. A folyamat egyszerűsített szilikátkémiai egyenletei a teljesség igénye nélkül a következők:



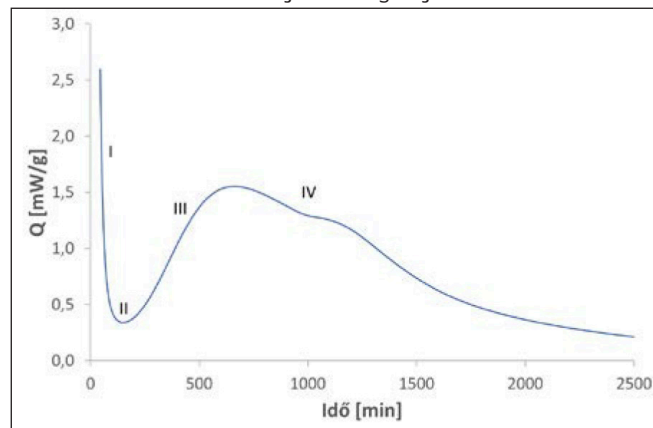
ahol C_3S : trikálcium-szilikát (alit), C_2S : dikalcium-szilikát (belit), H: víz, $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$: trikálcium-szilikát-hidrát, CH: kalcium-hidroxid, C_3A : trikálcium-aluminát, $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{Cs} \cdot \text{H}_{32}$: ettringit (AFt fázis), $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{Cs} \cdot \text{H}_{12}$ (monoszulfát, AFm fázis).

A hidratáció hőfelszabadulással járó (exoterm) kémiai reakció, amely során a keletkező reakcióhő arányos a reakcióban résztvevő anyagok minőségével és mennyiségével, azaz a cement összetételével, valamint az őrlési finomságával.

A cementek hidratációs hőfejlődési diagramja (2. ábra) széles körben ismert. A hidratációs folyamat négy fő fázisra osztható:

- (I) Először az ún. inicializálási periódusban, a cement vízzel történő keverése során, egy diszperz fázist tartalmazó oldat képződik, amelyet hirtelen hőmérséklet növekedés kísér. Ebben a fázisban megkezdődik a kalcium-szilikát-hidrát (CSH), az ettringit (AFt), ill. a monoszulfát (AFm) valamint a portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) képződése.
- (II) Az oldatban lévő ionok fogyásával a keletkező hidráttermékek túltelített oldatot hoznak létre, majd a reakció lelassul, amelyet alvó vagy indukciós periódusnak nevezünk. A lassulás oka nem teljesen tisztázott, de alapvetően két megközelítés létezik: a védő membrán és a telítetlenség vezérelt oldódás elmélete. Ezen elképzelések részleteit ugyan nem tárgyaljuk, de a legújabb bizonyítékok azt mutatják, hogy nem keletkezik áthatolhatatlan gátló réteg a cementszemcsék felületén (Scrivener et al., 2015). Mindazonáltal a kezdetben metastabil CSH réteg kicsapódhat a felületre, amely befolyásolja a porusoldat koncentrációját

2. ábra: Portlandcement hőfejlődési diagramja izoterm kalorimetriával



(Bullard et al., 2011). Bár a folyamat jelentősen lelassul, azonban ebben a fázisban is folytatódnak a kémiai reakciók, amelyek szintén járnak némi hőfejlődéssel.

(III) A klinkerfázisok további hidratálódásával újabb ionok szabadulnak fel, amelyek további hidráttermékek képződéséhez vezetnek, így a hőmérséklet újra emelkedésnek indul. Ebben a gyorsulási periódusban elsősorban a CSH fázis további göcképződése és kristály növekedése indul meg, amely hozzájárul a cementpép szilárdságának növekedéséhez.

(IV) Végül a lassulási periódusban, a hidratáció előrehaladtával az oldatban lévő ionok és a hidratálatlan cement szemcsék mennyisége csökken, amely a hőfejlődés csökkenésén keresztül is nyomon követhető (Double et al., 1978; Scrivener és Nonat, 2011).

A hőfejlődés görbe alakulásának tanulmányozását elsősorban a különböző cement kiegészítőanyagok a cement korai hidratációra gyakorolt hatásának leírására használták (Zhang et al., 2002; Ballim és Graham, 2009; Talero és Rahhal, 2009; Nocuń-Wzelik et al. 2010; Xu et al., 2010; Klemczak és Batog, 2016; Laczkó, 2024), ill. más analitikai módszerekkel pl: XRD, termoanalízis (differenciál termoanalízis – DTA) kombinálva a hőfejlődési profil változásának lehetséges okait kutatták (Rahhal et al., 2012; Boháč et al., 2014, Chung et al., 2016; Yu et al. 2018). Bár a fellelhető tanulmányokban a különböző összetételű cementek hidratációs hőfejlődési görbéi karakterisztikusan eltérnek egymástól, ezeket nem azonosítási céllal alkalmazták. Korábbi vizsgálataink során megfigyeltük, hogy a különböző cementek szabványos körülmények között végzett vizsgálata során felvett féladiabatikus kalorimetrikus hőfejlődési görbéi differenciális csúcsának megjelenési ideje az adott cementre jellemző értéket mutat (Baranyi et al, 2024). A cement azonosítása tehát lehetséges a cementre jellemző hőfejlődési profil alapján, ugyanakkor előfordulhatnak olyan esetek, amikor a hőfejlődési mintázat hasonlósága miatt nem tehető különbség a vizsgált cementek között. Ezt a problémát úgy küszöböltük ki, hogy kihasználtuk a bórsav kötéseleltető hatását (Csetényi és Glasser, 1995; Davraz, 2010; Rajadesingu és Arunachalam, 2020), amely a citromsavhoz hasonlóan (Möschner et al., 2009, Li et al., 2023) a cement termikus viselkedését is karakterisztikusan megváltoztatja. Ezért a cikkben bemutatott, új cementazonosítási módszerünket *bórsavval kombinált féladiabatikus kalorimetriaként* említjük.

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Az általunk elsődlegesen vizsgált cementek a DDC Beremendi Gyárában gyártott hat különböző cement, (i) háromféle portlandcement: CEM I 52,5 N, CEM I 42,5 N, CEM I 32,5 N-LH és (ii) háromféle kompozit-portlandcement: CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N, CEM II/B-M (V-LL) 32,5 N és CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R. A cementek jelében a CEM I jelölés a portlandcementre, CEM II jelölés a kompozit-portlandcementre utal, valamint az ezt követő A vagy B jelölés a cement klinker tartalmára utal. Portlandcementek esetében a klinkertartalom 95-100%, míg a kompozit-portlandcementek 80-94% (A), ill. 65-79% (B) klinkert tartalmaznak. Az M a kompozit-portlandcementeket jelöli, amelyeknél zárójelben meg kell adni a klinker mellett lévő főalkotórészeket, jelen esetben V (savas pernye) és LL (mészke, max. 0,20% szervesszén-tartalommal). Ezt követi a szilárdsági osztály (32,5; 42,5; vagy 52,5) és a szilárdulási ütem (N: normál, R: gyors), végül pedig az LH jelölés a kis hőfejlesztésre utal (max. 270 J/g 7 napos korban; MSZ EN 197-1:2011). A többi vizsgált cement a Holcim CEM

I 52,5 R, CEM II/B-LL 32,5 R és a CEM III/A 32,5 N, valamint a Danucem CEM I 42,5 R, CEM II/A-LL 42,5 R, ill. a CEM III/A 32,5 N típusú cementjei.

A féladiabatikus kalorimetrikus azonosítási vizsgálathoz a pontos mérések érdekében szükség van a lehető legtöbb körülmény, különösen a hőfejlődést befolyásoló paraméterek szabványosítására. Ebből kifolyólag a laboratórium és minden felhasznált eszköz hőmérsékletét 20 ± 2 °C-on tartottuk, míg a cementek, a keveréshez használt, 0,2 g pontossággal előre kimért ioncserélt víz, valamint az 1 m/m% bórsav oldat hőmérsékletét $20 \pm 0,1$ °C-on tartottuk egy Memmert IPP 110 hűtött inkubátor segítségével. A keverést 270 s-en keresztül végeztük egy szabványos Controls 65-L0502 típusú keverőgéppel, amellyel $v/c = 0,29$ tényezőt állítottunk be. A cementpép hőmérséklet változását, valamint a laboratórium hőmérsékletének állandóságát egy COMET M1200 típusú adatgyűjtővel és K típusú (Ni-Cr/Ni-Al) termoelemekkel követtük.

Az elkészített cementpépből egy polipropilén főzőpohárba mértünk 1800 ± 1 g-ot, amelyet egy polisztirol kaloriméterbe helyeztünk, ahol a hőmérsékletet 5 perces időközönként rögzítettük. A cement típusok hőfejlődési görbéit és az abból származtatott differenciális görbéket értékeljük.

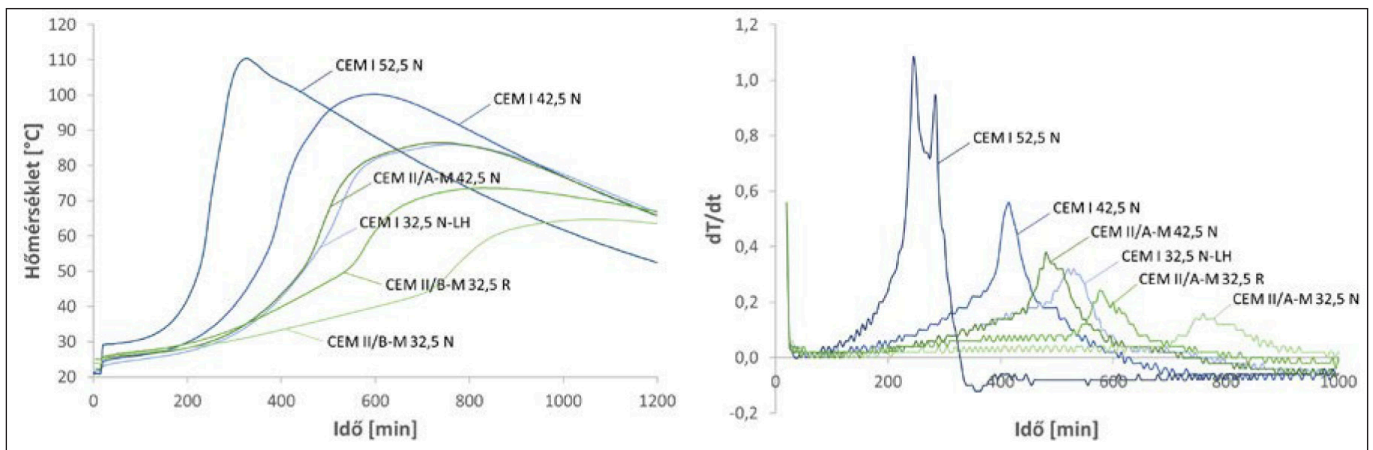
Tanulmányunk célja a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia működéséhez szükséges CEM I 42,5 N típusú cement azonosítása a DDC beremendi gyárából származó többi cementtípus között, amelyhez kifejlesztettük a bórsavval kombinált fél-adiabatikus kalorimetrikus módszert, savas feltárással kiegészítve, valamint megvizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát más, az építőiparban gyakran előforduló cementtípusokra is.

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

4.1 Beremendi cementek azonosítása kalorimetrikus módszerrel

A vizsgálatok során három párhuzamos méréssel felvettük a beremendi cementek hőfejlődési profilját (3. ábra), ahol kék színnel a portlandcementek (CEM I), zölddel a kompozit-portlandcementek (CEM II/A-M, B-M) hőfejlődését jelöltük. Vizsgálataink eredményeképpen megállapítottuk, hogy a legtöbb cement azonosítható a következő adatok ismeretében: a hidratációs hőfejlődés maximális hőmérsékleti értéke (T_{max}), a maximális hőmérsékleti érték megjelenéséig eltelt idő ($\Delta t_{T_{max}}$), a differenciális görbe maximuma (a hőfejlődési görbe inflexiós pontja) megjelenéséig eltelt idő (differenciális idő, Δt_{diff}) és a csúcs intenzitása (dT/dt). Ugyanakkor a CEM I 32,5 N-LH portlandcement és a CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N kompozit-portlandcement hőfejlődési görbéi nagy hasonlóságot mutatnak egymással (3. ábra; 4. és 5. táblázat), de a derivált görbéik némileg elkülönülnek.

További lehetséges szétválasztási módszerként az általunk jelen tanulmányban vizsgált beremendi cementtípusokat savas feltárásnak vetettük alá, az MSZ CEN/TR 196-4 szabvány 6.2.4.4 pontja szerint: egy fél literes laboratóriumi üveget megtöltöttünk 120 ml ioncserélt vízzel, majd folyamatos keverés mellett hozzáadtunk 1,000 g vizsgálandó cementet. Öt perc kevertetés után lassan hozzáadagoltuk az 1:9 hígítású salétromsavat, majd a keverést további harminc percig folytattuk. A három beremendi tiszta portlandcementen, valamint a három beremendi kompozit-portlandcementen végzett savas feltárással vizsgálat alapján megállapítottuk, hogy az oldat színében



3. ábra: A DDC Beremendi Gyárában gyártott cementtípusok hőfejlődési görbéi (balra) és azok első deriváltjai (jobbra)

bekövetkezett változás, valamint a leszűrt oldat oldhatatlan maradékának színe alapján a beremendi cementek két csoportra oszthatók: portland- és kompozit-portlandcementekre. A savas feltárást követően a portlandcementek oldata barna, a kompozit-portlandcementek (V-LL: savas pernye és mészköliszt) esetében szürke elszíneződést mutatott (4. ábra), amely az oldatban lebegő oldhatatlan szemcséknek köszönhető. Szűrést (0,45 mikrométer) követően a szűrlet színtelen, az oldhatatlan maradék színes. Két cement, a CEM I 32,5 N-LH és a CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N esetében a szűrlet, ill. az oldhatatlan maradék (5. ábra) összetételét tovább vizsgáltuk induktív



4. ábra: A CEM I 32,5 N-LH (balra) és a CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N (jobbra) salétromsavas oldás után



5. ábra: A híg salétromsavas oldatok oldhatatlan maradékai, CEM I 32,5 N-LH (balra), CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N (jobbra)



6. ábra: A mágneses keverőbotra tapadt vaspor

csatolású plazma tömegspektrometria (ICP-MS) vizsgálat segítségével. A vizsgálatához az oldhatatlan maradékot tömény salétromsav és sósav keverékével, mikrohullámú feltárási készülékben kellett feltárni.

A híg salétromsavval feltárt oldat, valamint az oldhatatlan maradék ICP-MS vizsgálati eredményei (3. táblázat) alapján a barna elszíneződést vas-oxid okozza, míg a fekete oldhatatlan maradék mágnesezhetősége alapján fém-vasra (6. ábra) és valószínűsíthetően a pernye széntartalmára utal. Mindenesetre a vizsgált három portlandcement és három (V-LL) kompozit-portlandcement a savas feltárást követő elszíneződés alapján egyértelműen elkülöníthető. A híg salétromsavas feltárást a kalorimetrikus azonosítási módszer kiegészítő módszerének tekinthetjük. A továbbfejlesztett, bórsavval kombinált módszert a következő fejezetben ismertetjük.

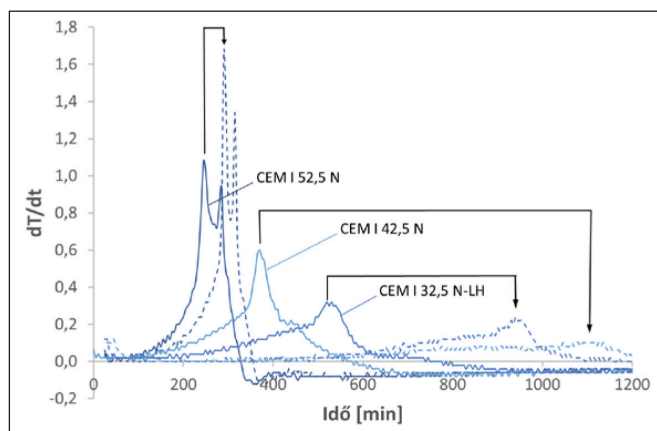
4.2 Beremendi cementek azonosítása bórsavval kombinált kalorimetrikus módszerrel

Előzetes vizsgálataink szerint a bórsav kötőképesítő hatása miatt a differenciális görbék az adott cementre jellemző mértékben tolódnak el egymástól, ezért kidolgoztunk egy bórsavval kombinált kalorimetrikus módszert a cementtípusok pontosabb azonosítására.

A féladiabatikus kalorimetriával végzett cementazonosítás pontosítása és még megbízhatóbbá tétele érdekében a kalorimetrikus méréseket bórsavval kombinálva is elvégeztük: az ioncserélt vizes cementpépekhez hasonlóan $v/c = 0,29$ víz-ce-

3. táblázat: A híg salétromsavval feltárt CEM I 42,5 N-LH és a CEM II/A-M 42,5 N típusú cementek ICP-MS vizsgálati eredményei [mg/g cement]

Minta	Na	K	Mn	Fe	Ca	Mg	Al
CEM I 32,5 N-LH oldat	9,03	8,86	1,83	20,73	386,49	8,59	24,30
CEM II/A-M 42,5 N oldat	2,22	7,29	2,21	17,49	346,33	6,59	23,41
CEM I LH oldh. maradék	0,08	0,05	0,94	0,23	0,17	0,06	0,19
CEM II/A-M oldh. maradék	0,75	0,44	0,05	2,57	0,92	0,33	3,00



7. ábra: A beremendi portlandcementek hőfejlődésének differenciális görbéi

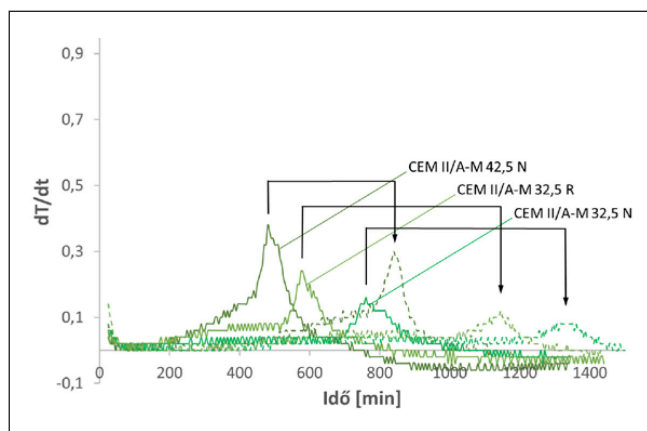
ment tényezővel dolgoztunk, ahol a keverővíz helyett 1 m/m%-os borsav oldatot használtunk fel. A beremendi portlandcementek differenciális diagramjait a 7. ábra mutatja. Folytonos vonal jelzi az ioncserélt vízzel kevert minták görbéit, míg a borsav felhasználásával készült keverékek görbéit szaggatott vonallal jelöltük. A termikus mérések eredményeit, amelyek három párhuzamos mérésből származnak, a 4. táblázatban foglaltuk össze, amely alapján annak ellenére meghatározható a vizsgált cement típusa, hogy pl. éppen a CEM I 42,5 N típusú cement diffúz borsavas differenciális csúccsal rendelkezik. A CEM I 52,5 N típusú cementet a hirtelen nagy hőfejlődés azonosítja, amely a többi vizsgált cementtől eltérő módon nem csökkent borsav hatására, sőt a differenciális görbe intenzitása nagyobb, mint a vízzel készült keveréké.

4. táblázat: A beremendi portlandcementek féladiabatikus kalorimetriával mért hőfejlődési eredményei

Cement típusa	Keverővíz	T_{max} [min]	$\Delta t_{T_{max}}$ [min]	Δt_{diff} [min]	dT/dt
CEM I 52,5 R	víz	110	325	245, 285	1,08, 0,94
	borsavas	111	350	290, 315	1,66, 1,34
CEM I 42,5 N	víz	101±2	600±17	405±11	0,58±0,02
	borsavas	70±2	1180±66	1050-1110	0,10±0,00
CEM I 32,5 N-LH	víz	86±1	728±19	513±25	0,32±0,00
	borsavas	80±4	1125±88	943±3	0,21±0,03

5. táblázat: A beremendi kompozit-portlandcementek féladiabatikus kalorimetriával mért hőfejlődési eredményei

Cement típusa	Keverővíz	T_{max} [min]	$\Delta t_{T_{max}}$ [min]	Δt_{diff} [min]	dT/dt
CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N	víz	83±4	713±8	490±11	0,36±0,02
	borsavas	77±7	1038±36	950±15	0,24±0,07
CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	víz	78±5	803±25	545±33	0,27±0,03
	borsavas	62±7	1520±204	1808±30	0,10±0,02
CEM II/B-M (V-LL) 32,5 N	víz	65±2	963±80	715±50	0,16±0,01
	borsavas	58±10	1430±88	1295±61	0,09±0,01

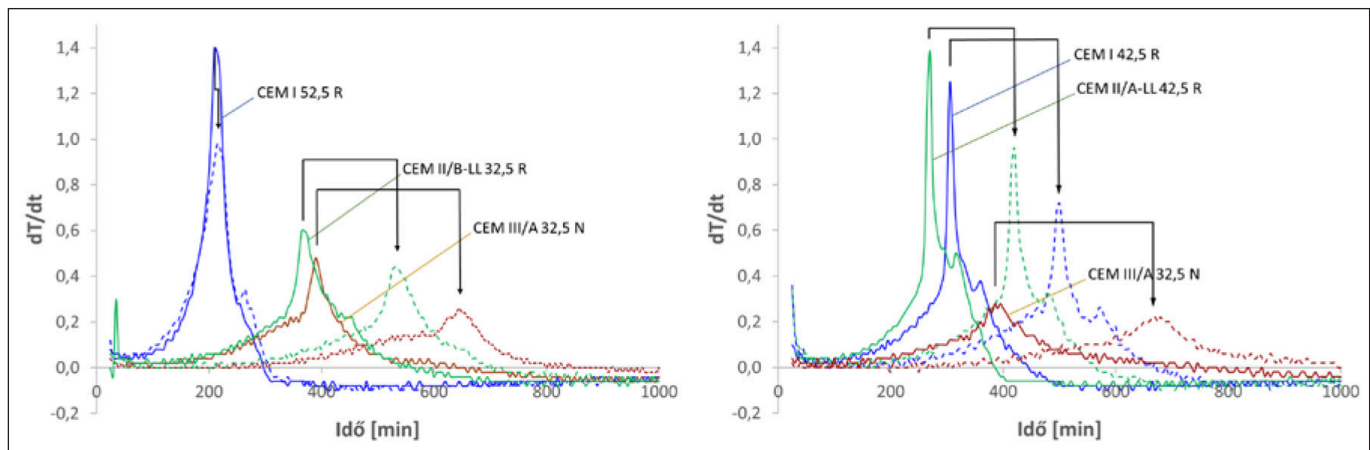


8. ábra: A beremendi kompozit-portlandcementek hőfejlődésének differenciális görbéi

A beremendi kompozit-portlandcementek azonosítását szintén elvégeztük a borsavval kombinált termikus módszerrel. Ezekben az esetekben a kisebb hőfejlődés miatt a borsavval készült keverékek görbéi ellapult, diffúz csúcsokat eredményeztek (8. ábra), ugyanakkor a vizsgált cementek a már említett termikus paraméterek alapján (5. táblázat) egyértelműen megkülönböztethetők egymástól.

4.3 Más forrásból származó cementek termikus azonosítása

Az előző pontokban felvázolt, borsavval kombinált féladiabatikus kalorimetrikus módszer segítségével megvizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát más, a rendel-



9. ábra: A Holcim (balra) és a Danucem (jobbra) által gyártott cementek hőfejlődésének differenciális görbéi

kezésünkre álló cementek esetében is. Ezeket a méréseket elvégeztük a Holcim CEM I 52,5 R, CEM II/B-LL 32,5 R és a CEM III/A 32,5 N, valamint a Danucem CEM I 42,5 R, CEM II/A-LL 42,5 R, ill. a CEM III/A 32,5 N típusú cementjeivel is. A 9. ábrán látható differenciális görbéken a portlandcementeket (CEM I) kék színnel, a mészkő-portlandcementeket (CEM II/A-LL) zölddel és a kohósalak cementeket (CEM III) barna színnel tüntettük fel. A szaggatott vonalak a bórsavas keveréket jelölik.

Látható, hogy a differenciális idő (Δt_{diff}) és a csúcshintenzitás (dT/dt) már önmagában is elég információt nyújthat az azonosításra, de a bórsavas eltolódás mértékéből (6. és 7. táblázat) még nagyobb biztonsággal lehet azonosítani a vizsgált cementtípusokat. Érdekes tény, hogy az általunk vizsgált összes cement közül a Holcim CEM I 52,5 R típusú cementje volt az egyetlen, amelynek minimális volt a bórsavas eltolódása.

5. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A Paksi Atomerőműben a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia a cementpép készítése során a CHEMCOMEX a.s. által kidolgozott receptúrákat alkalmazza, amelyek meg-

határozott cementtípust írnak elő minden egyes folyékony radioaktív hulladéktípus vonatkozásában. Mivel a receptúrák nagyon érzékenyek a kötőanyagok minőségére, azokat minden szállítmány esetében ellenőrizni kell. A cementek minőségét külső intézmény ellenőrzi, amely vizsgálatok hosszú időt vesznek igénybe, ezért kifejlesztettünk egy egyszerű, gyors és olcsó kiegészítő vizsgálati módszert a receptúrák cementtípusának azonosítása céljából.

Jelen tanulmányunkban a Duna-Dráva Cement Kft. Bere-mendi Gyárában gyártott tiszta portlandcementeket, valamint kompozit-portlandcementeket azonosítottuk a bórsavval kombinált féladiabatikus kalorimetriás módszerrel. A módszer segítségével szabványos körülmények között, egy nap alatt azonosítható a beérkezett cementminta egy kaloriméter és hőmérséklet adatgyűjtő segítségével. A mérés egyetlen feltétele a méréshez felhasznált anyagok és eszközök temperálása, valamint a precíz munkavégzés.

Továbbá bemutattuk, hogy méréseink alapján a módszer más gyártóktól származó cementtípusok azonosítására is alkalmas, illetve, mivel a cementek szilárdsági osztályai között nincs jól definiált határ, megfelelő lehet az egyes gyártási sarzsok azonosítására, az őrlési finomság és az aktivitás ellenőrzésére is.

6. táblázat: A Holcim által gyártott, vizsgált cementek féladiabatikus kalorimetriával mért hőfejlődési eredményei

Cement típusa	Keverővíz	T_{max} [min]	$\Delta t_{T_{max}}$ [min]	Δt_{diff} [min]	dT/dt
CEM I 52,5 R	víz	108±1	298±23	490±11	1,35±0,05
	bórsavas	108±3	298±19	218±25	1,14±0,18
CEM II/B-LL 32,5 R	víz	91±3	543±14	365±6	0,58±0,02
	bórsavas	83±2	860±6	688±3	0,51±0,01
CEM III/A 32,5 N	víz	83±1	645±17	380±11	0,45±0,03
	bórsavas	76±1	900±66	698±58	0,27±0,01

7. táblázat: A Danucem által gyártott cementek féladiabatikus kalorimetriával mért hőfejlődési eredményei

Cement típusa	Keverővíz	T_{max} [min]	$\Delta t_{T_{max}}$ [min]	Δt_{diff} [min]	dT/dt
CEM I 42,5 R	víz	105±2	415±28	293±17	1,29±0,08
	bórsavas	102±3	680±17	510±11	0,68±0,04
CEM II/A-LL 42,5 R	víz	105±2	385±6	260±11	1,37±0,01
	bórsavas	104±2	545±17	408±19	0,99±0,10
CEM III/A 32,5 N	víz	75±1	750±22	400±17	0,27±0,01
	bórsavas	75±4	1000±17	670±6	0,21±0,01

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk köszönetünket kifejezni Sas László János kutatás és fejlesztési vezető úrnak (DDC), Khirer Attila laboratórium vezető úrnak (DDC) és Kiss Gábor minőségbiztosítási vezető úrnak (HOLCIM) a vizsgált cementmintákért és a mérési eredményekért.

Ezen kívül szeretnénk megköszönni Dr. Gábel Viktóriának (Miskolci Egyetem), Dr. Szilágyi Tamásnak (Danucem) és Laczkó Lászlónak (SZIKKTI) a szakmai téren nyújtott értékes tanácsait.

Végül, de nem utolsó sorban köszönjük Tamás Péternek és Strasszer Zsoltnak az öntőformák átalakítását, és a kiszaluzáshoz szükséges eszközök megtervezését, valamint a Paksi Atomerőmű Radiokémiai, Üzemi és Minőségellenőrzési Laboratórium és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem munkatársainak a műszeres analitikai mérések eredményeit.

7. HIVATKOZÁSOK

- Abonyi, J.; Tamás, F. D.; Tritthart, J. (2004), "Exploratory data analysis of trace elements in clinker" *Advances in cement research*, 16(1), pp. 9-15, <https://doi.org/10.1680/adcr.2004.16.1.9>
- Aldridge, L. P. (1982), "Accuracy and precision of an X-ray diffraction method for analysing Portland cements", *Cement and Concrete Research*, 12(4), pp. 437-446, [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(82\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0008-8846(82)90058-8)
- ASTM C1308-08(2017) Standard Test Method for Accelerated Leach Test for Diffusive Releases from Solidified Waste and a Computer Program to Model Diffusive, Fractional Leaching from Cylindrical Waste Forms, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/C1308-08R17>
- Ballim, Y.; Graham, P. C. (2009), "The effects of supplementary cementing materials in modifying the heat of hydration of concrete", *Materials and Structures*, 42(6), pp. 803-811, <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9425-3>
- Baranyi A.; Kopecskó K.; Feil F.; Grič, L. (2021), „A Paksi Atomerőmű hulladékaikainak cementbe ágyazása, és a technológiához tartozó vizsgálati laboratórium kialakítása”, *Vasbetonépítés*, 23(2), pp. 31-40, <https://doi.org/10.32969/VB.2021.2.2>
- Baranyi A.; Kopecskó K.; Csetényi L. (2023), „Portlandcementek kötési idejének meghatározása feládiabatikus kalorimetriás módszerrel”, *Vasbetonépítés*, 25(4), pp. 106-111, <https://doi.org/10.32969/VB.2023.4.2>
- Boháč, M.; Palou, M.; Novotný, R.; Másilko, J.; Všianský, D.; Staněk, T. (2014), "Investigation on early hydration of ternary Portland cement-blast-furnace slag–metakaolin blends", *Construction and Building Materials*, 64, pp. 333-341, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.018>
- Bullard, J. W.; Jennings, H. M.; Livingston, R. A.; Nonat, A.; Scherer, G. W.; Schweitzer, J. S.; Scrivener, K. L.; Thomas, J. J. "Mechanisms of cement hydration" (2011), *Cement and Concrete Research*, 41(12), 1208-1223, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011>
- Chung, C.-W.; Kim, J.-H.; Lee S.-J. (2016), "The Use of Semi-Adiabatic Calorimetry for Hydration Studies of Cement Paste", *Journal of the Korean Institute of Building Construction*, 16(2), 185-192 <https://doi.org/10.5345/jkibc.2016.16.2.185>
- Csetényi, L. J.; Glasser, F.P. (1995), "Borate retardation of cement set and phase relations in the system Na₂O-CaO-B₂O₃-H₂O", *Advances in Cement Research*, 7(25), pp. 13-19, <https://doi.org/10.1680/adcr.1995.7.25.13>
- Davraz, M. (2010), "The Effects of Boron Compounds on the Properties of Cementitious Composites", *Science and Engineering of Composite Materials*, 17(1), pp. 1-18, <https://doi.org/10.1515/SECM.2010.17.1.1>
- Double, D. D.; Hellawell, A.; Perry, S., J. (1978), "The hydration of Portland cement", *Proceedings of The Royal Society*, 359(1690), pp. 435-451, <https://doi.org/10.1098/rspa.1978.0050>
- Goguel, R. L.; St. John, D.A. (1993) "Chemical identification of Portland Cements in New Zealand Concretes. I trace element chemistry", *Cement and Concrete Research*, 23(1), pp. 59–68, [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90136-W](https://doi.org/10.1016/0008-8846(93)90136-W)
- Graham, I. J.; Goguel, R. L.; St John, D. A. (2000), "Use of strontium isotopes to determine the origin of cement in concretes: Case examples from New Zealand", *Cement and Concrete Research*, 30(7), pp. 1105-1111, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00248-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00248-9)
- Kazlagić, A.; Vogl, J.; Gluth, G. J. G.; Stephan, D. (2021), "Provenancing of cement using elemental analyses and isotope techniques – the state-of-the-art and future perspectives", *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 36, pp. 2030-2042, <https://doi.org/10.1039/d1ja00144b>
- Khelifi, S.; Ayari, F.; Tiss, H.; Chehimi, D. B. H. (2017), "X-ray fluorescence analysis of Portland cement and clinker for major and trace elements: accuracy and precision", *Journal of the Australian Ceramic Society*, 53(2), pp. 743-749, <https://doi.org/10.1007/s41779-017-0087-x>
- Klemczak, B.; Batog, M. (2016), "Heat of hydration of low-clinker cements", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123(2), 1351-1360, <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4782-y>
- Laczkó, L. (2024), „Kiegészítőanyagok hatása a cementek és habarcsok tulajdonságaira”, *Építőanyag, Első Magyar Építőanyag-Ipari Konferencia cikkszerű összefoglalója*, 11, pp. 10-14
- Li, P.; Chen, D.; Jia, Z.; Li, Y.; Li, S.; Yu, B. (2023), "Effects of Borax, Succrose, and Citric Acid on the Setting Time and Mechanical Properties of Alkali-Activated Slag", *Materials*, 16(8), pp. 3010, <https://doi.org/10.3390/ma16083010>
- Mirello, D.; Barca, D.; Bloise, A.; Ciarallo, A.; Gino, M.; Crisci, G. M.; De Rose, T.; Gattuso, C.; Gazineo, F.; La Russa, M. F. (2010), "Characterisation of archaeological mortars from Pompeii (Campania, Italy) and identification of construction phases by compositional data analysis", *Journal of Archaeological Science*, 37(9), pp. 2207-2223, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.03.019>
- Möschner, G.; Lothenbach, B.; Figi, R.; Kretzschmar, R. (2009) "Influence of citric acid on the hydration of Portland cement", *Cement and Concrete Research*, 39(4), pp. 275-282, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.01.005>
- MSZ EN 196 Cement vizsgálati módszerek, Szabványsorozat
- MSZ EN 196-3: 2017 Cementvizsgálati módszerek. 3. rész: A kötési idő és a térfogat-állandóság meghatározása
- MSZ EN 197-1:2011 Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei
- MSZ EN 12390-3:2019 A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága
- MSZ CEN/TR 196-4:2008 Cementvizsgálati módszerek. 4. rész: Az alkotórészek mennyiségi meghatározása
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2023), „Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Radioaktív hulladékaikainak kezelése, tárolása és elhelyezése”, Éves jelentés 2023
- Nocuń-Wczelik, W.; Stok, A.; Konik, Z. (2010), "Heat evolution in hydrating expansive cement systems", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101, pp. 527-532, <https://doi.org/10.1007/s10973-010-0846-1>
- Potgieter-Vermaak, S. S.; Potgieter, J. H.; Worobiec, A.; van Grieken, R.; Marjanovic, L.; Moeketsi, S. (2007), "Fingerprinting of South African ordinary Portland cements, cement blends and mortars for identification purposes – Discrimination with starplots and PCA", *Cement and Concrete Research*, 37(6), pp. 834-843, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.013>
- Rahhal, V. F.; Irassar, E. F.; Trezza, M. A.; Bonavetti, V. L. (2012), "Calorimetric characterization of Portland limestone cement produced by intergrinding", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 109, pp. 153-161, <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1575-9>
- Rajadesingu, S.; Arunachalam, K. D. (2020), "Hydration Effect of Boric Acid on the Strength of High-Performance Concrete (HPC)", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(6), pp. 062073, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/6/062073>
- Scrivener, K. L.; Juilland, P.; Monteiro, P. J. M. (2015), "Advances in understanding hydration of Portland cement", *Cement and Concrete Research*, 78, pp. 38-56, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.025>
- Scrivener, K. L.; Nonat A. (2011), "Hydration of cementitious materials, present and future", *Cement and Concrete Research*, 41, pp. 651-65, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.026>
- Snellings, R. (2016), "X-ray powder diffraction applied to cement", In: Scrivener, K.; Snellings, R.; Lothenbach, B. (ed) *A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials*, CRC Press, 108-162, <https://doi.org/10.1201/b19074>
- Süssmilch, J.; Grič, L.; Fabián, P.; Tóth-Bodrogi, E.; Nehme, S.; Baranyi, A.; Kopecskó, K. (2022), "Solidification of radioactive evaporator residues with high borate content", *Concrete Structures*, 23, pp. 23-30, <https://doi.org/10.32970/CS.2022.1.4>
- Talero, R.; Rahhal, V. (2009), "Calorimetric comparison of Portland cements containing silica fume and metakaolin", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 96(2), pp. 383-393, <https://doi.org/10.1007/s10973-008-9096-x>
- Tamás, F. D.; Abonyi, J.; Borszédi, J.; Halmos, P. (2002), "Trace elements in clinker: II. Qualitative identification by fuzzy clustering", *Cement and Concrete Research*, 32(8), pp. 1325-1330, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00797-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00797-4)
- Varas, M. J.; de Buergo, M. A.; Fort, R. (2005), "Natural cement as the precursor of Portland cement: Methodology for its identification", *Cement and Concrete Research*, 35(11), 2055-2065, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.045>
- Völker, T.; Millar, S.; Strangfeld, C.; Wilsch, G. (2020), "Identification of type of cement through laser-induced breakdown spectroscopy", *Construction and Building Materials*, 258, pp. 120345, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120345>
- Xu, Q.; Hu, J.; Ruiz, J. M.; Wang, K.; Ge, Z. (2010), "Isothermal calorimetry tests and modeling of cement hydration parameters", *Thermochimica Acta*, 499, pp. 91-99, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2009.11.007>
- Yu, J.; Li, G.; Leung, C. K. Y. (2018), "Hydration and physical characteristics of ultrahigh-volume fly ash-cement systems with low water/binder

ratio”, *Construction and Building Materials*, 161, pp. 509-518, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.104>

Zhang, Y.; Ji, Y.; Li, J.; Gao, F.; Huang, G. (2019) “Effect of retarders on the early hydration and mechanical properties of reactivated cementitious material”, *Construction and Building Materials*, 212, pp. 192-201, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.323>

Baranyi Attila (1978) okl. vegyész (2003), okl. kémia szakos tanár (2005), betontechnológus szakmérnök (2021). Korábban radioanalitikával, majd folyékony radioaktív hulladékok kezelési technológiájának fejlesztésével foglalkozott. Kidolgozta a Paksi Atomerőműben működő Cementezett Hulladékvizsgáló Laboratórium mérési módszereit és dokumentációs rendszerét. Jelenleg a folyékony radioaktív hulladékok szilárdításával kapcsolatos kutatásokkal foglalkozik.

Dr. Kopecskó Katalin (1961) okl. vegyészmérnök (BME, Vegyészmérnöki Kar, 1990), okl. betontechnológus szakmérnök (2004), PhD (2006), egyetemi docens a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: építőanyagok és beton tartóssága, anyagvizsgálat és fázisátalakulások. A *fib* TG7.8, a RILEM TC 302-CNC, a *fib* Magyar Tagozatának, valamint az MSZT/MB 102 „Cement és mész” Nemzeti szabványosító műszaki bizottság tagja.

IDENTIFICATION OF CEMENT FOR THE RADIOACTIVE WASTE CEMENTATION TECHNOLOGY BY SEMI-ADIABATIC CALORIMETRY COMBINED WITH BORIC ACID

Attila Baranyi – Katalin Kopecskó

The Cementation Technology at The Paks Nuclear Power Plant solidifies the liquid radioactive waste using cementitious materials. Such cement paste is poured into a steel container containing solid radioactive waste, and then the prepared containers can finally be deposited after a verification process.

The cementation recipes may be changed for each type of liquid radioactive waste and the mixtures can be sensible for the quality of the binders, therefore the types of cement must be identified for each shipment. Since the requirements according to product standards only serve to verify the basic characteristics of the given cement type and are time-consuming, a simple and quick additional identification method is needed to check the application properties relevant to the application field before the cementing process begins.

In this study, various types of cement were measured, that produced by Beremend Cement Plant of Duna Dráva Cement Ltd. (DDC), Holcim Hungary Ltd. and Danucem Ltd. As a result of our measurements, we identified the CEM I 42.5 N type cement from other types of cement from Beremend Cement Plant required for the continuous and reliable operation of the Cementation Technology using semi-adiabatic calorimetric and acidic digestion methods. In addition, the applicability of this method in the construction industry was also investigated for other commonly used cement types.

FRP BETÉTEK ALKALMAZÁSA BETONSZERKEZETEKHEZ A VILÁGBAN

1. RÉSZ – FRANCIA MEGKÖZELÍTÉS



Somlai Bálint - Dr. Balázs L. György - Dr. Sólyom Sándor

<https://doi.org/10.32969/VB.2024.2.3>

A szálerősítésű polimerek (FRP – Fibre Reinforced Polymer) építőmérnöki használata, azok kedvező tulajdonságainak köszönhetően egyre elterjedtebb. Ezzel egy időben a használatukkal, viselkedésükkel és tulajdonságaikkal kapcsolatos kutatások eredményei egyre átfogóbb képet adnak róluk. Széleskörű tapasztalat hiányában azonban nehéz kiválasztani a tervezéshez szükséges információt. Ebben segítségül szolgálhatnak a különböző munkacsoportok által kiadott jelentések, ajánlások. Ezekre több példa létezik az FRP betétek felhasználásával (FRP erősített) szerkezetekre vonatkozóan, többek között francia, japán és kanadai kutatóktól. Jelen cikksorozat ilyen dokumentumokat hasonlít össze, azok tartalma és filozófiája szerint. Ezek a Francia Építőmérnök Egyesület (AFGC – Association Française de Génie Civil), a Japán Előfeszített Beton Intézet (JPCI – Japan Prestressed Concrete Institute) és a Kanadai Szabványügyi Testület (CSA – Canadian Standards Association). Az összehasonlítás célja, hogy összefoglalja és bemutassa a szakirodalomban elérhető méretezéssel kapcsolatos ajánlásokat, azok részleteit és vonatkozásait. Ezen cikk a kiadó szervezetek bemutatását, valamint az AFGC dokumentum leírását tartalmazza.

Kulcsszavak: FRP, használati hőmérséklet, környezeti osztály, kúszás, fáradás, tervezés, ULS, SLS

1. MŰSZAKI AJÁNLÁSOKAT, SZABVÁNYOKAT KIADÓ SZERVEZETEK

Az első bemutatott anyag a francia AFGC által 2023-ban kiadott (AFGC, 2023) FRP betétek vasbetonban történő alkalmazását áttekintő műszaki ajánlás. A mű kijelentett célja, hogy a francia mérnökök számára útmutatást adjon az FRP használatára és tervezésére. Az ajánlást kiadó testület egy Franciaországban és azon kívül élő építőmérnököket összefogó szervezet, amely jelenleg nyolc munkacsoportba szerveződve folytat kutatási tevékenységet. Ezek a csoportok, más szervezetekhez hasonló módon egy-egy témával kapcsolatban publikált tudományos eredmények alapján adnak ki műszaki ajánlásokat és tudományos munkákat. A tárgyalt mű, az FRP betétek (belső armatúraként) beton szerkezetekben való alkalmazását vizsgáló munkacsoport záró munkája volt, francia és angol nyelven is megjelent. A szervezet továbbá partnere több nemzetközi társaságnak, mint a *fib* (International Federation for Structural Concrete), a RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) vagy az ACI (American Concrete Institute).

A második ajánlás a japán JPCI által 2021-ben kiadott ajánlás (JPCI, 2021) – amely szintén megjelent angol nyelven is – FRP betét erősített vasbeton szerkezetek építéséhez és tervezéséhez. A mű célja, hogy frissítse a Japán Építőmérnöki Társaság (JSCE – Japan Society of Civil Engineers) által 1996-ban kiadott műszaki ajánlást, ami a tárgyalt mű kiadásáig használatban volt Japánban. A JPCI a Japánban széles körben

használt előfeszített beton szerkezetek biztonságával és fejlődésével foglalkozó testület. Munkájuk tudományos eredmények rendszerezésén és publikálásán kívül kiterjed, szabványosításra, konferenciák szervezésére és a japán „Prestressed Concrete Engineer” (feszített beton készítésével foglalkozó mérnök) és „Concrete Structure Diagnostician” (Beton szerkezet diagnosztika) képzések igazolásának folyamatában is részt vesznek. A szervezet továbbá tagja a *fib*-nek.

A harmadik bemutatott mű a kanadai CSA által kiadott szabvány (CSA, 2012), ami az FRP betétekkel készülő betonszerkezetek építését és tervezését szabályozza. A szabvány első verziója 2002-ben került kiadásra és azóta bővült későbbi kiadásokkal. A tárgyalt változat 2012 márciusában került kiadásra és a cikk írásakor a jelenlegi legfrissebb. A Kanadai Szabványügyi Testület egy nemzetközileg is tevékenykedő szervezet, ami szabványosítással, vizsgálatokkal és minősítéssel foglalkozik Kanadán kívül az Egyesült Államokban, Európában és Ázsiában. Alapításkor (1919) kiadott első szabványuk óta 3000 szabványt és ajánlást publikáltak számos területen.

2. FRANCIA MEGKÖZELÍTÉS: RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF FRP REBARS FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Az AFGC által kiadott műszaki ajánlást a legújabb a felsorolt dokumentumok közül, valamint a legrelevánsabb a magyar

építőmérnöki gyakorlat számára, mivel sok tekintetben támaszkodik az Eurocode szabványsorozatra. Ezen felül, mivel a jelenleg megújulás alatt álló Eurocode 2 egyik függeléke az FRP betétekkel készülő betonszerkezetekkel foglalkozni. Ezen ajánlás jelenleg az egyik legújabb és átfogóbb európai – FRP betétekkel foglalkozó – dokumentum, amely megközelítőleg 260 oldal terjedelmű, hat fejezetből és öt függelékkel áll.

3.1. FRP betétek alapvető tulajdonságai

Az első fejezet az FRP armatúrák általános tulajdonságait, az alkotó anyagokat, felületi kialakítást és gyártástechnológiát, valamint a fizikai tulajdonságait írja le. A fizikai tulajdonságok között a sűrűség, mikrostruktúra és a hőmérsékletfüggő tulajdonságok kerülnek ismertetésre. A mechanikai tulajdonságok a húzott, nyomott betétek tulajdonságai, szilárdsági paraméterek, rugalmassági modulus és tönkremenetelhez tartozó alakváltozás. Ezek mellett a keresztirányú és interlamináris nyírószilárdság, valamint a hajlított viselkedést is elemzi. A beton és FRP betétek együttműködése, mind pedig a hajlított elemek teherbírása is itt kerülnek említésre. Ezek a betonban való tapadás, a toldási és lehorgonyzási kialakítások teherbírása és a hajlított betétek tulajdonságai. A felsoroltak egy része az acélbetétekénél is jellemző tulajdonság, mások az anyagi különbségből és a felépítésük (polimerbe ágyazott szálak – homogén elem) különbségből adódóan eltérőek. A legtöbb felsorolt tulajdonság mellett táblázat mutatja a jellemző szálanyagokra (GFRP – üvegszál erősített polimer, BFRP - bazaltszál erősített polimer, AFRP - aramiduszál erősített polimer és CFRP - szénuszál erősített polimer) és átmérőkre megadott értékeket, mint az alább látható táblázatban (1. táblázat) felsorolt szilárdsági értékek, valamint javasolt szabványos mérési eljárásokat.

Ezek egy része – mint a hajlított betétek szilárdságának a mérése – nem jellemző acélbetétek esetén. Ezen mérési eljárások nagyrészt ISO (International Organization for Standards) és ASTM (American Society for Testing and Materials) szabványokból származnak. A tesztek elvégzéséhez ajánlott beállításokat is tartalmaz az dokumentum.

3.2. FRP betétek tartóssága és tűzállósága

A második fejezet a tartósságot és a hőmérsékletváltozások hatását tárgyalja. Az FRP betétek tartóssága fontos kérdés, amit

1. táblázat: A különböző átmérőjű és szálanyagú FRP betétek ajánlott minimálisan figyelembe vehető szilárdsága (AFGC, 2023)

Névleges átmérő ØFRP [mm]	Névleges keresztmetszeti terület AFRP [mm ²]	Minimális szakítószilárdság		
		GFRP/BFRP	AFRP	CFRP
6	28,3	900	1400	1700
8	50,3	850	1400	1700
10	78,5	850	1400	1700
12	113	800	1100	1500
13*	132	800	1100	1500
14	154	800	1100	1500
15*	176	800	1100	1500
16	201	800	1100	1500

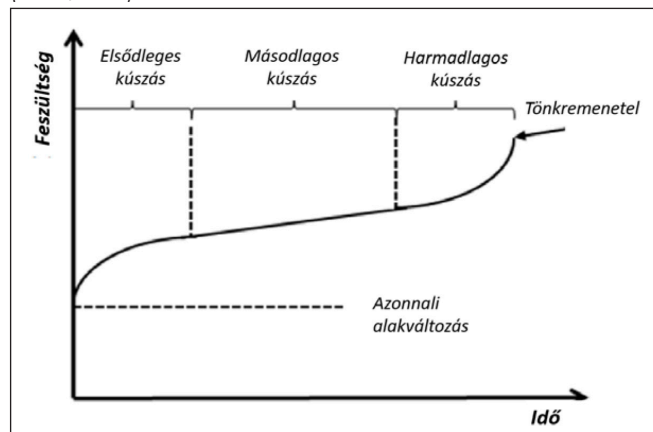
*: Névleges átmérő Amerikai szabványok alapján

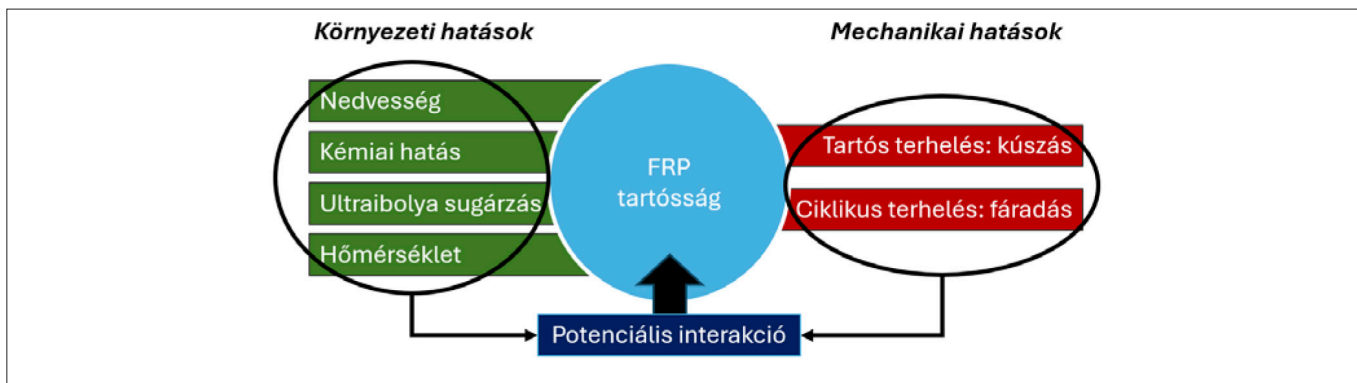
a tervezés során szükséges figyelembe venni. Több olyan hatás is van, ami a tartósságot befolyásolja, így figyelmet igényelnek. A fejezet első része felsorolja a legfontosabb hatásokat, amelyek az FRP betétek tartósságát befolyásolhatják. Ezek közül az első a nedves közeg hatása, amely az FRP betét anyagainak függvényében különböző mértékben lehet károsító hatással a befoglaló ágyazóanyag vagy a szálakra. A hatások a mátrix repedezteté válásával vagy szilárdságcsökkenéssel járhatnak. Ezen folyamatokat, valamint azok kémiai hátterét írja le az ajánlás és figyelmeztet, hogy a hatások esetekben a nedves környezetbe kerülés után több hónappal is jelentkezhetnek. A második tárgyalt hatás az alkáli környezetek károsító hatása egyes polimer mátrixokra. A beton lúgos környezetében így egyes polimereket használata nem javasolt. A pontos kémiai folyamat és az érintett polimer típusok leírásra kerülnek. Ezek mellett az ajánlás leírja az egyes üvegszálak (pl. E-Glass) leromlását ilyen környezetben továbbá, hogy az milyen körülmények között jelent problémát. A harmadik hatás állandó terhelés hatására kialakuló kúszás, ami a polimerek viskoelasztikus természetéből adódik és az ebből következő kúszási szakadási tönkremenetel lehetősége. Ennek időbeni alakulását az alábbi ábra (1. ábra) szemlélteti.

A kúszási tönkremenetel az FRP betétek kvázi állandó teher szinten – amely a statikus szakítószilárdság mértékénél kisebb igénybevételt vált ki – való tönkremenetelét jelenti, így kifejezetten nagy figyelmet kell rá fordítani. Az ajánlás leírja az FRP betétek kúszási viselkedését és a szakadást is, azonban az ezt figyelembe vevő szorzó tényezők későbbi fejezetekben találhatóak. Következő a fáradási viselkedés, amelynek rövid leírásán után, részletesebben később foglalkozik az ajánlás. Felhívja azonban a figyelmet, hogy míg húzott ciklikus terhelés esetén az FRP betétekre nem jellemző a fáradás, nyomott ciklikus terhelésre érzékenyebbek, mint az acél. Ezek után az ajánlás felhívja a figyelmet a különböző hatások lehetséges interakciójára (szinergia), amit az alábbi ábra (2. ábra) mutat be, de ezek számszerűsítését nem teszi.

A fejezet második része az FRP betétek tartósságának kísérleti vizsgálatát mutatja be a kúszást, fáradást, alkáli környezetet és ezek kölcsönhatásait figyelembe véve. A bemutatott vizsgálati eljárások az ACI, fib, ISO és CSA szabványokra támaszkodnak. A húzási fáradás vizsgálatot az ajánlás az acélok esetén is használt S-N görbék alapján javasolja végezni, definiálja a görbék előállításának módját. Összehasonlításra kerül az ISO és CSA szabványok ajánlása a fáradás vizsgálatok elvégzésére, majd az ajánlás is meghatároz javasolt vizsgálati beállítás értékeket, valamint fáradási ellenállás

1. ábra: Az FRP betétek kúszási szakadás jelenségének időbeli lezajlása (AFGC, 2023)





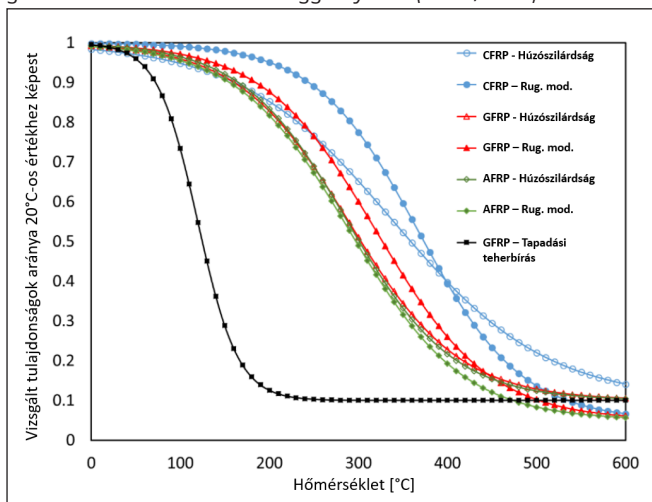
2. ábra: Az FRP elemek tartósságát befolyásoló környezeti és mechanikai hatások (AFGC, 2023)

értékeket javasol egyes száltípusokra. A kúszási viselkedés vizsgálata a fáradáshoz hasonlóan leírásra kerül. Az ISO és CSA szabványok összehasonlítása után javasolt vizsgálat beállítási értékek találhatóak, majd az ajánlott kúszás ellenállás húzószilárdság függvényében. Az alkáli környezet hatásának vizsgálatát két részre osztja az ajánlás, az első részben a terhelés nélküli, majd a mechanikai terheléssel egyidejű végzett vizsgálatot írja le az ajánlás. Az vizsgálatok két szakaszból állnak. Az elő szakaszban az betétek alkáli környezetbe kerülnek elhelyezésre, majd a második szakaszban mechanikai vizsgálatok következnek. történnek. Itt az ISO, CSA és ASTM (ACI) szabványok kerülnek összehasonlításra, majd javasolt értékek olvashatóak a bázikus környezet kialakításához, mint a pH javasolt szintjének beállítása, oldat összetétel vagy alkalmazandó próbatestek. Ezután a terheléssel egyidejű alkáli terhelés vizsgálat kerül bemutatásra, aminek esetén az ajánlás kizárólag a CSA szabványra (CSA S807-19, CSA S806-12) (CSA, 2012; CSA, 2019) támaszkodik, annak ajánlott értékeit és elvárt kimeneteli értékét veszi át.

A fejezet harmadik része a használati hőmérséklet tartománnyal, valamint a tüzeseti viselkedéssel foglalkozik. A használati hőmérséklet tartományra rövid leírás után meghatározott anyagfüggő maximális határértékek találhatóak. Az ajánlás 27°C fölötti várható éves átlag hőmérséklet esetén javasolja az FRP betétek mechanikai és fáradási felülvizsgálatát. Az FRP betétek viselkedése az acélhoz hasonlóan nagyban függ a betonfedéstől. Az ajánlás ábrán (3. ábra) mutatja be a különböző anyagú FRP betétek szakítószilárdságának és rugalmassági modulusának változását hőmérséklet függvényében.

Említés esik az szál-mátrix kapcsolat viselkedéséről, ami a szilárdságnál sokkal alacsonyabb hőmérsékleten károsodik.

3. ábra: Különböző száanyagú FRP betétek mechanikai tulajdonságainak leromlása hőmérséklet függvényében (AFGC, 2023)



Ezután bemutatásra kerülnek a létező tervezési metodikák, majd a javaslatok, amik az acéllal erősített beton szerkezetek tüzeseti tervezésének adaptációi. Azonban fontos módon megjegyzésre kerül, hogy a szerzők szerint további kutatásra van szükség a területen. A fejezet egy irodalom összefoglalással és egy összefoglaló táblázattal zárul.

3.3. FRP betéteket alkalmazó beton szerkezetek tervezése

A harmadik fejezet az FRP betéttel erősített beton szerkezetek tervezéséről szól. A fejezet tizenegy alfejezetből áll, amelyek a tervezés fontosabb kategóriáival foglalkoznak. Az első tárgyalt téma a betonfedés, amelynek meghatározását az Eurocode (AFNOR, 2005; AFNOR 2006) szabványokra alapozzák, de figyelembe veszik, hogy az FRP betétek kevésbé érzékenyek a környezeti hatásokra. Így egy egyszerűsített eljárást javasol az ajánlás. Az ehhez tartozó szilárdsági szorzók táblázata az 2. táblázatban látható.

A második téma az FRP betétek tulajdonságainak tervezési értékei húzó igénybevételek esetén. A tervezési húzószilárdságot annak karakterisztikus értékéből parciális biztonsági tényezővel, valamint környezeti tényezővel javasolja számítani az ajánlás. A tényezők értékeit itt olvashatjuk, a környezeti tényező esetében száltípusok és környezeti kitéti osztályok függvényében. Itt említésre kerül, a 100 éves szilárdsági érték, ami kísérletek alapján extrapolált érték és a feltételezett környezet károsító hatását veszi figyelembe.

A harmadik téma a hajlított keresztmetszet teherbírási vizsgálata. Ebben az ajánlás szintén az Eurocode 2-re (NF EN 1992) támaszkodik, abból veszi át az alap feltételezéseit, így a keresztmetszet egyensúlyának, a betétek arányának és a semleges tengely helyének számítása megegyezik az acélbetéttel erősített (vasalt) keresztmetszetével. Így kiszámolható az húzott zónában tönkremenetelt szenvedő és a nyomott zónában tönkremenetelt szenvedő esetekben a keresztmetszet ellenállásának tervezési értéke. Meghatározásra kerül a betétek minimális részaránya, aminek szerepe, hogy elkerüljük a rideg tönkremenetelt berepedéskor.

A negyedik téma hajlított keresztmetszet használhatósági határállapotban való vizsgálata. Az Eurocode alapján az ajánlás három kritériumot határoz meg, amelyek a feszültségek, illetve alakváltozások korlátozása és a repedések limitálása. Az ajánlás felhívja a figyelmet, hogy a feszültség kritérium általában a mértékadó. A használhatósági határállapot ellenőrzését lineárisan elasztikus állapotban kell ellenőrizni, mivel az FER elemek viselkedése lineárisan-elasztikus, rideg tönkremenetellel. A feszültségek ellenőrzését kváziállandó és karakterisztikus teherkombinációkra írja elő az ajánlás, majd bemutatja más

Környezeti osztály	Szál típus	α .FRP
X0	Szén	1
	Aramid	0,9
	Üveg	0,9
	Bazalt	0,9
XC, XD, XS, XF, XA	Szén	0,9
	Aramid	0,8
	Üveg	0,8
	Bazalt	0,8

2. táblázat: A környezeti kitéti osztályokhoz tartozó szilárdsági szorzók szárlanyaganként (AFGC, 2023)

szabványok javaslatait. A többi szabvány feszültség korlátozási tényezői után a szerzők által javasolt értékek láthatóak, (4. ábra) teheresetekre és szál típusokra külön.

Megjegyzésre kerül, hogy a betonban fellépő feszültségeket az Eurocode által meghatározott mértékben kell limitálni. Ezek után egy téglalap keresztmetszetű, hajlított, axiális tehermentes gerenda esetére le van vezetve a feszültségek számítása. A lehajlások korlátozására az Eurocode-ból adoptált, olasz CNR-DT 203/2006 (CNR, 2006) ajánlásra támaszkodnak a szerzők, a lehajlás számítására képlet, valamint annak korlátozása támaszköz/250-ben olvasható. A repedések megnyílásának korlátozására, az FRP betétek korróziómentességére hivatkozva X0 kitéti osztály esetén 0,7 mm-t, minden más kitéti osztály esetén 0,5 mm-t ír elő. Az ellenőrzést magaspépítési szerkezetekre (lakóépületek, parkolók, stb.) kváziállandó, míg építőmérnöki műtárgyakra (hidak, támfalak, stb.) gyakori teherkombinációval kell ellenőrizni. A repedéstágasság számítására itt található útmutatás. Itt kerül leírásra a betétek minimális és maximális aránya és az FRP betétek közötti minimális és maximális távolság. Az ajánlás FRP betétek csoportjának alkalmazását itt három darabban maximalizálja. Alább látható a hajlított keresztmetszet ULS (Teherbírási határállapot) és SLS (használhatósági határállapot) határállapotok tervezési folyamatábrája (5. ábra).

Az ötödik téma a nyírási teherbírás ellenőrzése. Az általános eljárás az Eurocode-ban alkalmazott eljárással azonos, attól az egyes esetek számításában tér el. Az első bemutatott eset, a nyírási betét hiánya. Az ellenállás számítására különféle szabványok által alkalmazott empirikus képletek bemutatása után olvasható az ajánlás által javasolt képlet. Ez az Eurocode-ban is alkalmazott, hagyományos tervezési képlet, FRP betétekkel való alkalmazásra adaptálva. A nyírószilárdság minimum értékének meghatározására az Eurocode 1992-1-1 francia függelékére (AFNOR, 2007; AFNOR, 2016) és a kanadai CSA S806-12 (CSA, 2012) szabványra hivatkozik. Annak értékét csak gerendák méretezésére javasolja, lemezek esetére

4. ábra: Az egyes használhatósági határállapotokban megengedett feszültségekhez tartozó szorzók (AFGC, 2023)

<p>A kvázi-állandó SLS határállapot esetén ajánlott értékek:</p> <ul style="list-style-type: none"> GFRP és BFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,25 AFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,40 CFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,60 <p>A karakterisztikus SLS határállapot esetén ajánlott értékek:</p> <ul style="list-style-type: none"> GFRP és BFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,55 AFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,55 CFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,70
--

tapasztalatok hiánya miatt nem ad utasítást. Abban az esetben, amennyiben nyírási betétek szükségesek, az ajánlás hajlított felkötő betéteket javasol alkalmazásra. Ezek felhajtási szögét a francia Eurocode 1992-1-1-el (AFNOR, 2005) megegyezően javasolják felvenni (6. ábra).

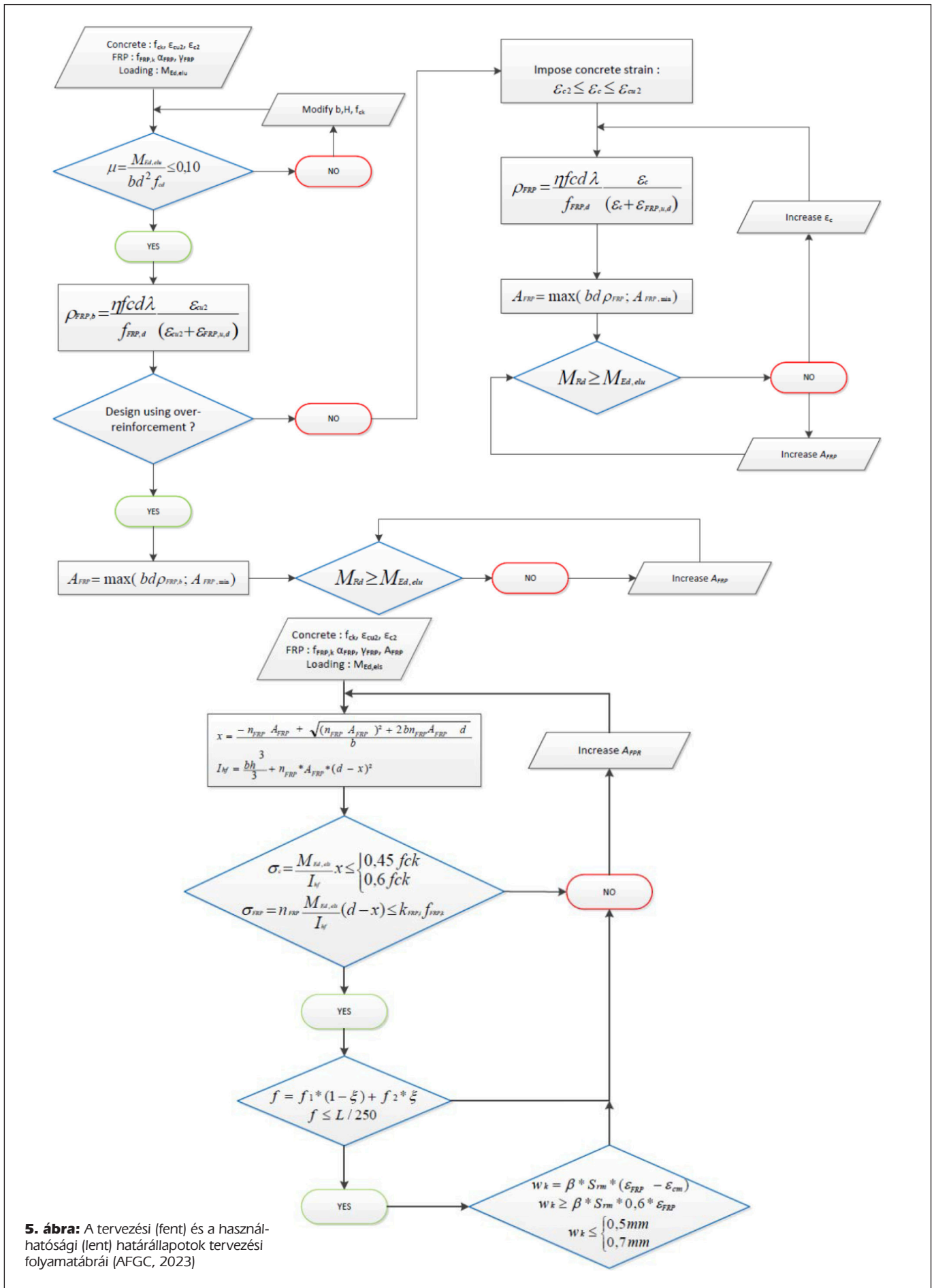
A nyírási betét által felvett nyíróerő számítására több, más ajánlások által javasolt képlet bemutatása után a szerzők által javasolt módszer látható. Ebben a hajlított betétek csökkentett szilárdságát, a rideg tönkrementelt, valamint a nagy alakváltozások miatti berepedés lehetőségét is figyelembe veszik. A nyomott beton övek maximális terhelhetőségére ajánlott képlet az Eurocode-dal megegyező. Mind a nyírási betét mennyiségének minimuma, mind azok kiosztásának maximuma meghatározásra kerülnek, az acél armatúrák esetével megegyezően. Az ajánlás kitér az eltérő időpontokban öntött betonok közti munkahézagnál jelentkező nyíróerőre. Az itt keletkező nyírófeszültség számításában az Eurocode képletét javasolja, az ajánlás itt tér ki a T keresztmetszetű keresztmetszetek esetén fellépő nyírásra (7. ábra), ami az övek és a gerinc csatlakozásánál alakul ki.

A hatodik tárgyalta téma az oszlopok ellenőrzése. A fejezet az oszlopok tervezésének és annak módszereinek rövid bemutatásával kezdődik. Itt egy általános, másodrendű hatásokat figyelembe vevő, és három egyszerűsített módszer mellett egy az Eurocode francia kiadásában található (AFNOR, 2005) egyszerűsített módszer is felsorolásra kerül. Az ajánlás egy nominális görbültre épülő módszert javasol FRP betétekkel erősített oszlopok ellenőrzésére, csak ez a módszer kerül bemutatásra később. Felsorolásra kerülnek a módszer alkalmazásának feltételei, majd az oszlop normálteher kapacitásának számítási képlete. A módszer csak tisztán nyomott, mindkét végén csuklós oszlopok esetén alkalmazható, a nyomott-hajlított oszlopok ellenőrzésére külön módszer kerül bemutatásra. A módszer menete folyamatábrán is látható (8. ábra).

A nyomott-hajlított oszlopok ellenőrzését részletező alfejezet, rövid irodalmi ismertetéssel kezdődik. A módszer az M-N interakciós görbe meghatározása, erre a lehetséges tönkrementeli módokhoz tartozó N és M értékek meghatározását javasolja az ajánlás, aminek használatát feltételekhez köti. Ezen feltételek az FRP betétekkel való számítás megfelelő adaptációjához szükségesek. Így a vizsgált oszlopon belül öt lehetséges állapot alakulhat ki a keresztmetszetekben, amelyekhez alakváltozási érték korlátok vannak rendelve mind a beton mind az FRP esetén. Ez után a normálerő és hajlítási teherbírási értékek számítása van leírva. Az ajánlás a használhatósági határállapot esetével egyező módszert javasol, az ahhoz tartozó alakváltozási korlátok figyelembe vételével. Az alfejezet tartalmaz egy kidolgozott példát, amiben egy négyszög keresztmetszeten van bemutatva a számítás. A fejezet végén egy alfejezetben láthatunk részlet rajzokat. Itt vannak ajánlások minimális betétmennyiség alkalmazására, a betétek kiosztására és a kialakítás részleteire.

A fejezet hetedik témája az átszűrődással foglalkozik. A leírt folyamat nagyban egyezik az Eurocode szabványsorozat releváns előírásaival, a nyírásra vonatkozó fejezethez hasonlóan az FRP betétek alacsony nyírási ellenállását figyelembe véve. A fejezet az ellenőrzési számítások leírásán kívül tartalmaz javaslatokat a betétek kialakítására és elrendezésére is.

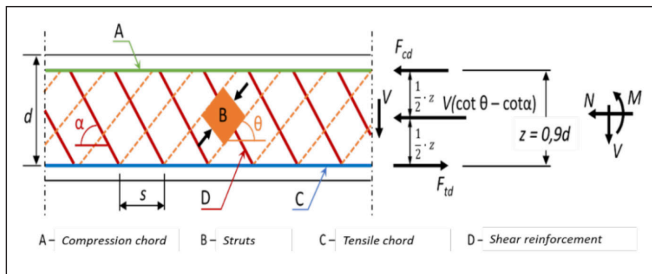
A nyolcadik téma a fáradási tervezéssel foglalkozik bővebben. A fejezet eleje a fáradásra vizsgálandó szerkezeti betétek leírásával kezdődik. Ehhez az Eurocode valamint annak francia függelékei által ellenőrzés alól felmenthetőnek ítélt szerkezeti



5. ábra: A tervezési (fent) és a használhatósági (lent) határállapotok tervezési folyamatábrái (AFGC, 2023)

elemeit listázza. A fáradás vizsgálatához az esetenként rendelkezésre nem álló Wöhler görbékre tekintettel egy egyszerűsített módszert is tartalmaz az ajánlás. Az általános módszer az acél

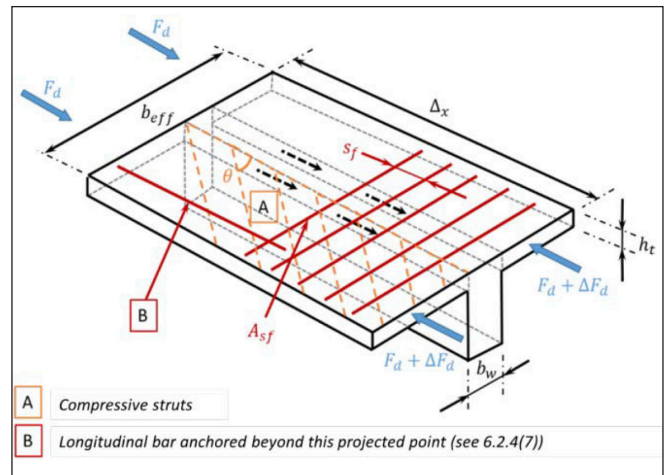
szerkezetek esetén is alkalmazottra épül, annak adaptációjával az FRP betétekre tekintettel. Az ehhez szükséges Wöhler görbék előállításához, szabványos görbék, és megfelelő kísérleti



6. ábra: A nyíróerő felvételének modellje az Eurocode 1992-1-1 alapján (AFGC, 2023)

adatok hiányában minden esetben laboratóriumi vizsgálatokat javasol az ajánlás. Az egyszerűsített módszer az elérhető legnagyobb feszültséget korlátozza használhatósági határállapotban, karakterisztikus teheresetben. Ezt egy száltípusonként megadott szorzóval teszi.

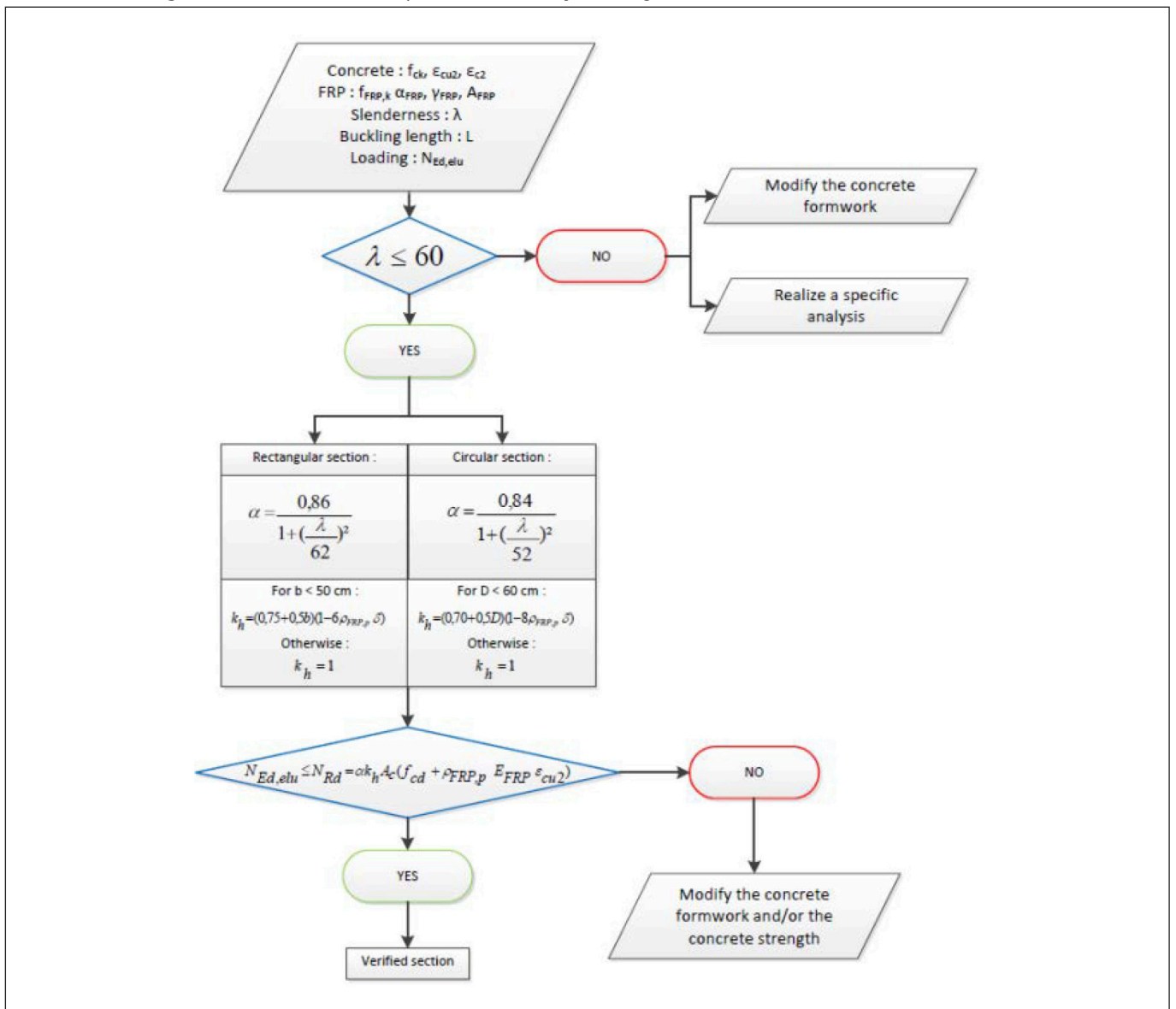
Az utolsó téma a szerkesztési szabályokkal foglalkozik. A lehorgonyzási hossz meghatározásához az ajánlás bemutatja az olasz CNR, a kanadai CSA és az amerikai AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) szabványokat és ajánlásokat. Ezekből a CSA ajánlást javasolják a szerzők, ami figyelembe vesz több változót, mint az FRP felületi kialakítása, annak száltípusa vagy a beton nyomószilárdsága. Ezt kiegészítve a hajlított betétek lehor-



7. ábra: Lemezzel együttdolgozó borda T keresztmetszetének ábrája EN 1992-1-1 alapján (AFGC, 2023)

gonyzásának tervezésére az ACI ajánlását fogadják el. A toldási hosszat az ajánlás a lehorgonyzási hossz és az betétek átmérője függvényében adja meg. Kikötés, hogy a toldások nem lehetnek olyan keresztmetszetben, ahol az betétben ébredő feszültség ULS határállapotban a szakítószilárdság karakterisztikus értékének 80%-át eléri. További javaslat, hogy CFRP betétek ne érintkezzenek acél betétekkel. Ennek oka, hogy elkerülhető

8. ábra: Mindkét végükön csuklós kialakítású oszlopok tervezésének folyamatábrája (AFGC, 2023)



legyen az elektrolitikus korrózió. Továbbá az AFRP betéteket védeni kell vizes környezetekben.

Az ajánlás egy kidolgozott példasorral folytatódik, amiben az előző részben tárgyalt tervezési elvek vannak bemutatva, három példán. Ezek egy T szelvényű tartó, egy támfal és egy garázs oszlopa. Ezt egy a minőségbiztosításról és kivitelezésről szóló rész követ, amit – mivel a tervezési témakörön kívül esik – csak megemlítünk. Végezetül az ajánlás egy rövid környezeti hatás vizsgálattal és konklúzióval zárul.

3. MEGÁLLÍPÍTÁSOK

Az FRP betétek alkalmazásának szabványosításával világszerte számos országban foglalkoznak szervezetek. Ezek közül vannak megjelent és kidolgozás alatt lévő szabványok és műszaki ajánlások. A Francia Építőmérnöki Egyesület által kiadott ajánlás:

- széles körben tárgyalja az FRP betéteket, a mechanikai tulajdonságoktól és a gyártástechnológiától kezdve a tervezésen és kidolgozott példákon át a minőségbiztosítás és környezeti hatásokig
- részletesen tárgyalja a tervezés lépéseit ULS és SLS határállapotokban is
- tárgyalt pontok háttérére is kitér, valamint összehasonlít egyéb szabványokat és ajánlásokat
- legfőképp az Eurocode, CSA és ISO szabványokra támaszkodik
- ahol nincsen megalapozott háttér, ott a biztonság javára konzervatív értékeket javasol
- közvetlenül támaszkodik tudományos eredményekre is
- tartalmaz kidolgozott mintaszámításokat, esettanulmányokat és összehasonlító tanulmányokat is

4. HIVATKOZÁSOK

AFGC (2023) *Recommendations for the use of FRP (Fibre Reinforced Polymer) rebars for reinforced concrete structures*. Párizs, Francia Építőmérnökök Egyesülete

AFNOR (2005) NF EN 1992-1-1, *Design of concrete structures - Part 1-1 General rules for buildings*. Párizs, Francia Szabványügyi Testület

AFNOR (2006) NF EN 1992-2, *Design of concrete structures - Part 2 : Concrete bridges Design and detailing rules*. Párizs, Francia Szabványügyi Testület

AFNOR (2007) NF EN 1992-2/NA, *Design of concrete structures - Part 2 : Concrete bridges Design and detailing rules - National annex to NF EN 1992-2:2006*. Párizs, Francia Szabványügyi Testület

AFNOR (2016) NF EN 1992-1-1/NA, *Design of concrete structures - Part 1-1 General rules for buildings - National annex to NF EN 1992-1-1:2005*. Párizs, Francia Szabványügyi Testület

CNR (2006). CNR-DT 203, *Guide for the design and construction of Concrete Structures Reinforced with Fibre-Reinforced Polymer Bars*. Róma, Nemzeti Kutatási Tanács

CSA (2012). CSA S806-12, *Design and construction of building structures with fibrereinforced polymers*. Toronto, Kanadai Szabvány Egyesület

CSA (2019). CSA S807-19, *Specification for fibre reinforced polymers*. Toronto, Kanadai Szabvány Egyesület

JPCI (2021) *Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Fibre Reinforced Polymer (FRP)* Tokió, Japán Feszítettbeton Intézet

Somlai Bálint okleveles építőmérnök, hidtervezőmérnök, PhD hallgató, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. Fő érdeklődési területek: szálerősítésű polimerek szerkezeti alkalmazása, szerkezeti elemek teherbírásának növelése, numerikus modellezés, betonok kémiai ellenálló képessége. **fib** (Nemzetközi Betonszövetség) Ifjúsági Tagozatának tagja.

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

Dr. Súlyom Sándor okleveles építőmérnök, betontechnológus szakmérnök, PhD, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. Fő érdeklődési területei: szálerősítésű polimer betétek alkalmazása, tapadása és lehorgonyzása betonban; szálak alkalmazása betonban, 3D betonnyomtatás, tartósság, fenntarthatóság. **fib** (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatának alelnöke, **fib** TG5.1 munkacsoport tagja, COM9 titkára.

FRP REINFORCEMENT TO CONCRETE STRUCTURES IN WORLDWIDE EXPERIENCES 1. – FRENCH APPROACH

Bálint Somlai - György L. Balázs - Sándor Súlyom

The use of fibre reinforced polymer continues to increase in popularity, as many organisations produce recommendations and standards regarding its use worldwide in many countries. It is of interest to study these, compare their contents and discuss what may be adopted to regulations in Hungary and, more broadly, in the European Union. Some of the relevant documents have been produced by the French Association of Civil Engineering (AFGC), the American Concrete Institute (ACI), the Canadian Standards Association (CSA) or the Japanese Prestressed Concrete Institute (JPCI). This series of articles presents these recommendations and standards as well as compares their contents.

Keywords: FRP, service temperature, environmental class, creep, fatigue, ULS, SLS

BÚCSÚZUNK PROF. DR. ZVONIMIR MARICTÓL (1944-2024)



Életének 81. esztendejében, 2024. november 23-án elhunyt Prof. Dr. Zvonimir Marić építőmérnök, egyetemi tanár.

1944. április 1-jén született Hercegovinában, felsőfokú tanulmányait a zágrábi egyetemen végezte, 1968-ban szerzett építőmérnöki oklevelet. Mérnöki munkáját a horvát Hidrotechna vállalatnál kezdte tervezői művezetőként.

A jugoszláv hadseregben teljesített katonai szolgálat után a zágrábi egyetemre került. Ott betontechnológiai kutatásokat végzett, majd a hírirodában lett tervező, később, 27 éven át irányító tervező, azután irodavezető. Számos jelentős hídszerkezet fűződik nevéhez: felüljárók, völgyhidak, vasúti és közúti hidak tervezése, ellenőrzése.

Időközben, 1975-ben sikerrel pályázott egy magyarországi ösztöndíjra. Tudományos kutató munkáját a BME Építőipari Laboratóriumában végezte, a hajlítás-nyírás-csavarás jelenségének újszerű kísérleti-elméleti feldolgozását végezte el. E témában írt értekezése és kiváló vizsgái alapján avatta a BME műszaki doktornak 1979-ben. Eredményeit továbbfejlesztette, 1982-ben hazájában megszerezte a műszaki tudomány doktora címet.

A Horvátországban folyamatos tervezői munka mellett 1977-től a zágrábi egyetemen is oktatott, előbb a hidak, majd a vasbeton szerkezetek tanszékén. 1983-tól docens, 1988-tól egyetemi tanár kinevezést nyert. 1985-86-ban jugoszláv műszaki segélyszolgálat keretében Algériában irányító tervezőként járult hozzá számos hídszerkezet megvalósításához.

1988-tól 2002-ig Horvátország pécsi főkonzuljaként diplomáciai szolgálatot teljesített, jól szolgálva a két ország kapcsolatát.

Hazájába visszatérve az eszéki egyetem építőmérnöki karán a hidak és a feszített vasbeton szerkezetek professzorává nevezték ki.

Számos cikke jelent meg horvát és nemzetközi szaklapokban. Folyóiratok szerkesztője, szerkesztőbizottsági tagja volt, a Ceste i Mostovi főszerkesztője, a Horvát Műszaki Akadémia munkatársa. Közreműködött a CEB és a FIP munkájában mint bizottságok tagja. A **fib** Horvát Tagozata alapítója és titkára volt.

Külön kell szólnunk azokról a körülményekről, amelyek Zvonko személyét – ahogy őt barátai Magyarországon is szólították – a magyar mérnökökhöz fűzik.

Gazdag nyelvtudású volt, a szláv nyelveken kívül világnyelvek ismerete. Magyarul egy szót sem beszélt első budapesti útjának elején, de gyorsan igen jól megtanulta nyelvünket. Ebben segítette magánélete, ugyanis feleségül vette a BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke munkatársát, Nagy Máriát. Három gyermekük született.

Pécsi diplomáciai küldetése idején minden lehetőséget megragadott a magyar kollégákkal való együttműködés segítésére. Számos magyarországi szakmai rendezvényen vett aktívan részt. Egyengette magyar szakemberek horvátországi útjait, segítette publikációs tevékenységüket, szereplésüket horvátországi fórumokon. 2006-ban segítségével rendkívül tartalmas hídsz tanulmányúton ismerhette meg a 46 fős magyar mérnökcsapat a horvát hídepítést. A hazai Hídmérnöki konferencia részvevője és előadója volt több alkalommal.

Zvonimir Marić professzor 1998 óta a **fib** Magyar Tagozat tagja. 2006-ban elnyerte a Palotás László-díjat. 2016-ban a Hídszokért Egyesülettől Clark Ádám Életműdíjban részesült.

Zvonko mindig vidám, derűs természetével, nagy precizitással végzett munkájával, és önzetlenül segítette minden hozzá fordulónak akár személyes akár szakmai kérdésekben is. Tőle tanulhattuk meg a leghídszabb köszöntést: „Sok boldogságot!”

Nyugodjék békében!

Hajós Bence

BÚCSÚZUNK PROF. DR. ZVONIMIR MARICTÓL (1944-2024)

Származását tekintve, születésekor nem folyt magyar vér ereiben, de a vágyakozás, hogy egy ismeretlen nyelvet megtanuljon, egy gyönyörű beteljesedett szerelem és ötven év szakmai kapcsolatban fogant barátságok, valamint élmények teljességgel magyarrá tetté őt.

Zvonko – ahogy - a jeles építőmérnök professzort a barátai hívták nem akart építőmérnök lenni és a hatvanas évek kommunizmust építő hatalmi szervei sem tették könnyűvé a mérnökké válás folyamatát. Zvonko nyelveket szeretett volna tanulni, de a sors a mérnöki hivatást jelölte meg számára.

Az egyetemi évek alatt a tankörtársak politikai tüntetéseiben nem vett részt, de ártatlanul, igaztalanul 8 hónapra őt is bebörtönözték, majd mivel börtönviselt volt, hosszú ideig érezhette ennek „áldásos” hatását.

A zágrábi, az eszéki egyetem nyugalmazott professzora kalandos életútja során számtalan híd tervezésében, megvalósításában vett részt. A vasbeton építészet új szemléletű megközelítésében élen járó szakértőként egyetemi tankönyvek, konferencia előadások, szakértői jelentések fémjelzik 80 éves életútját.

Gyors gondolkodású, jó tanuló révén a szakmai feladatok megoldásában a legjobbat kereste és találta meg, de a szimpla műszaki megoldást ismertető előadásait sajátosan egyéni fanyar humorával mindig élvezetessé tette! Fogékonysága nem korlátozódott a műszaki ismeretekre - bár annak legjobb művelője volt - nyitott volt a történelemre, a különböző népek, nemzetek hagyományaira, művészetére.

Ebben hatalmas segítség volt számára, hogy hihetetlen

gyorsasággal tanult nyelveket. A mellett, hogy bosnyák-horvát nyelven anyanyelvi szinten beszélt, értett szerb, szlovén nyelven, megtanulta a cseh, a lengyel, a német, az angol és a francia nyelvet is. A magyar nyelv megismerése több kudarc után végül életre szóló sikerrel zárult, aminek az eredménye egy gyönyörű magyar lány hűséges szerelme, három gyermek és az örök magyar barátság lett.

Így vált a szegénysorsú hercegovinai kisgyerekből világlátott és elismert szakember, professzor, tehetségének, szorgalmának és kitartásának köszönhetően. Barátai, tanítómesterei közül ki kell emelni dr. Tassi Géza, tanár úr személyét, a Budapesti Műszaki Egyetem professzor emeritusát, aki rengeteg fiatal építőmérnök között Zvonkót is oktatta, kísérleteiben támogatta, doktori címének megszerzésében pedig konzulensként segítette.

Dr. Zvonimir Marić 2006-ban kapta meg a Palotás László-

díjat kiemelkedő mérnöki munkájáért a *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatától a BME Dísztermében.

Zvonko 70. születésnapját még együtt ünnepeltük a fib Magyar Tagozat tagságával a Kárpátia Étteremben 2014. április elején. Mi minidig büszkék voltunk rá, hogy Zvonko szívesen volt közöttünk, és rendszeresen járt összejöveteleinkre.

2024. december 2-án Zágrábban a magyar hidász barátok és a Hidászokért Egyesület nevében több száz gyászolóval együtt leróttuk kegyeletünket jeles barátunk ravatalán.

A végső búcsút azzal köszöntéssel vesszük elhunyt barátunktól, amit tőle igen sokszor hallottunk, és örömmel emlékszünk vissza rá: *Sok boldogságot!*

*Barta János írása alapján lejegyezte
dr. Balázs L. György és Kolozsi Gyula*

fib BULLETIN NO. 106

TITLE: ADVANCES ON BOND IN CONCRETE



Year: 2022

Pages: 316

Format approx. DIN A4 (210x297 mm)

ISBN: 978-2-88394-163-2

Abstract:

Structural behavior of reinforced concrete elements strongly depends on the interaction between the reinforcing bars and the surrounding concrete, which is generally referred as “bond in concrete”. In service conditions, the reinforcement-to-concrete bond governs deformability through the tension stiffening of concrete surrounding the bar as well the crack development and crack width. At Ultimate Limit State, bond governs anchorage and lap splices behavior as well as structural ductility.

When plain (smooth) bars were used, the steel-to-concrete bond was mainly associated with “chemical adhesion/friction” that is related to the surface roughness of the rebar. As steel strengths increased the need to enhance interaction between steel and the surrounding concrete was recognized, and square twisted rebars, indented rebars or, later on, ribbed rebars came into the market, the latter being the type of deformed bar most commonly adopted since the 1960/70s.

When ribbed rebars became widely used, several research studies started worldwide for better understanding the interaction between ribs and the surrounding concrete. Researchers evidenced the development of micro-cracks (due to the wedge action of the ribs) towards the external face of the structural element. If confinement is provided by the concrete cover, by transverse reinforcement or by an external transverse pressure, the full-anchorage capacity is guaranteed and a pull-out failure occurs, with crushing of concrete between the ribs. On the contrary, with lesser confining action, a splitting failure of bond occurs; the latter may provoke a brittle failure of the lap splice or, in some cases, of anchorages.

However, after many years of research studies on bond-related topics, there are still several open issues. In fact, new materials entered into the market, as concrete with recycled aggregates or fibre reinforced concrete; the latter, having a kind of distributed reinforcement into the matrix (the fibres), provides a better confinement to the wedge action of the ribs.

In addition, concrete and steel strength continuously increased over the years, causing changes in the bond behavior due to differences in mechanical properties of materials but also to the different concrete composition at the interface with the steel rebar causing a different bond behavior. Moreover, the lower water/cement ratio of these high-strength concrete makes the bleeding phenomena less evident, changing the concrete porosity in the upper layers of the structural element and thus making the current casting position parameters no-longer reliable. Finally, concrete with recycled aggregates are becoming more important in a market that is looking forward to a circular economy.

As such, all the experimental results and database that allowed the calibration of bond rules now present in building codes for conventional concrete, may be not be representative of these new types of materials nowadays adopted in practice.

Furthermore, after more than 50 years of service life, structural elements may not satisfy the current safety requirements for several reasons, including material degradation (with particular reference to steel corrosion) or increased loads, by also considering the seismic actions that were not considered by building codes at the time of the original design. The structural assessment of existing structures requires proper conceptual models and new approaches for evaluating the reliability of existing structures by also considering the remaining expected service life. In addition, specific rules for older materials, as plain smooth bars, should be revised for a better assessment of old structures. Last, but not least, interventions in existing structures may require new technologies now available such as post-installed rebars.

While many advances have been achieved, there remain areas where a better understanding of bond and its mechanisms are required, and where further work is required to incorporate this understanding into safe and economic rules to guide construction and maintenance of existing infrastructures.

These aspects were widely discussed within the technical community, particularly in the fib Task Group 2.5 and in the ACI 408 Committee dealing with bond and anchorage issues. Furthermore, special opportunities for discussing bond developments were represented by the International Conferences on ‘Bond in Concrete’ held each decade since 1982 as well as by joint workshops organized by fib TG2.5 and ACI 408. Within this technical collaboration, this Bulletin was conceived, and, thus, it collects selected papers presented at the joint fib-ACI Convention Session on Bond in Concrete held in Detroit (USA) in 2017.

The bulletin is based on four main Sections concerning:

General aspects of bond

Anchorage and laps of bars and prestressing tendons

Bond under severe conditions

Degradation of bond for corrosion

Bond in new types of concrete

The main aim of the Bulletin is to shed some new lights on the advances in understanding and application of bond related issues achieved over the last few years, and identify the challenges and priorities to be addressed in the next years. Another important aspect of the bulletin is to provide practical information from research findings.

J. Cairns, G. Metelli, G. Plizzari

fib BULLETIN NO. 107

TITLE: AN INTRODUCTION TO THE HISTORY OF STRUCTURAL CONCRETE - VOL. 1: FROM THE ANCIENT TO THE 19TH CENTURY

Year: 2023

Pages: 134

Format approx. DIN A4 (210x297 mm)

ISBN: 978-2-88394-167-0

Abstract:

This bulletin is a Manual, the first Volume of a series on the History of Structural Concrete prepared by Task Group 1.6. This first Volume follows the structural concrete evolution from Antiquity to the 19th Century.

The history of concrete is more than stories about the past. It shows where we are today and where we can go. Cement is a binder of the whole story.

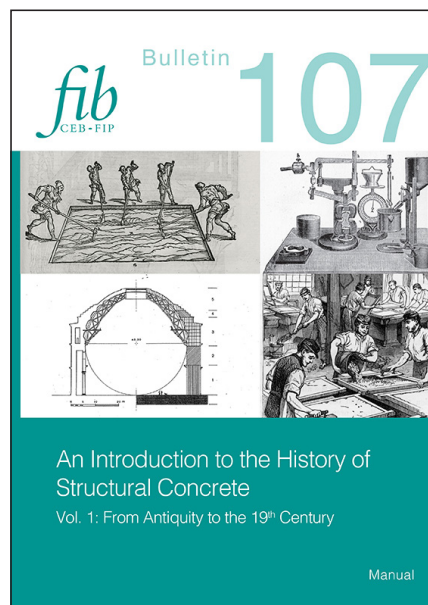
The history of concrete—and above all, that of building and construction research in the broadest sense—has been a subject of interest for a long time. As engineers, architects or builders, there is no need to reinvent the wheel. Instead, the work of predecessors can be continued. Analysis of past abnormalities and understanding of historical developments are worth using as the basis for future solutions. Above all, being involved with concrete in today’s world means dealing with building materials, aesthetic principles, construction methods, and computational techniques of the past and present to identify starting points that can be used in the future to save materials and energy but also working time.

In most groundbreaking research projects, in the beginning, researchers found themselves looking into the past. Who was the first person to research a particular topic? What is the stage of development today? What questions remain unanswered? This approach is nothing extraordinary but rather self-evident and has been the guiding force behind the evolution of structures, materials, and construction methods. An inevitable sense of admiration arises when we look at structures and into the story of their builders, who showed great courage by bringing their ideas to life, one structure at a time.

The argument of this document represents a novelty for the fib, and it is essential for disseminating the knowledge to the community. It is particularly crucial to disseminate the information presented in this manual to students and young engineers.

The historical analysis of the past is essential for the conceptual design of new structures. In addition, historical knowledge is vital when engineers approach existing structures: a critical historical analysis is essential for the correct structural assessment.

We can also consider this manual—and the upcoming volumes on the History of Structural Concrete—essential and useful documents at different levels. Regardless of whether you are a student, an engineer, or simply have an interest in cement’s history, this bulletin is certain to provide you with valuable insights.



A Duna Terasz Vista speciális zsaluzási feladatai



A FELADAT

- 80 centiméter átmérőjű és 15 méter magas körpillérek
- 550 m² felületű alulbordás födém zsaluzása, 15 méter magasságban

AZ ELVÁRÁSOK

- gyorsaság
- munkabiztonság
- alakhelyesség
- gazdaságosság

A MEGOLDÁS

MT 60 állványzat a magas födémek alátámasztásához

Circo a körpillérek zsaluzásához

STRABAG Magyarország
Gábor Dénes utca 2. Infopark D. épület
H-1117 Budapest
www.strabag.hu



Work On Progress. Rethinking construction.



STRABAG a legerősebb erő egy jobb jövő építéséhez. STRABAG az építőipari szolgáltatások terén vezető európai székhelyű technológiai vállalat. Mintegy 74 000 munkatársunk elkötelezettsége és szakmai felkészültsége révén évente mintegy 16 milliárd euró teljesítményt realizálunk. Mi alakítjuk az építőipar jövőjét. Jelentős beruházásokat hajtunk végre a több mint 250 innovációs és 400 fenntarthatósági projektből álló portfólióinkban. Erős partnereinkkel együttműködve egyértelmű célt követünk: klímasegélyes és erőforrás takarékos tervezés, építés és üzemeltetés. 2040-ig klímasegélyessé válunk.

work-on-progress.strabag.com

STRABAG
WORK ON PROGRESS