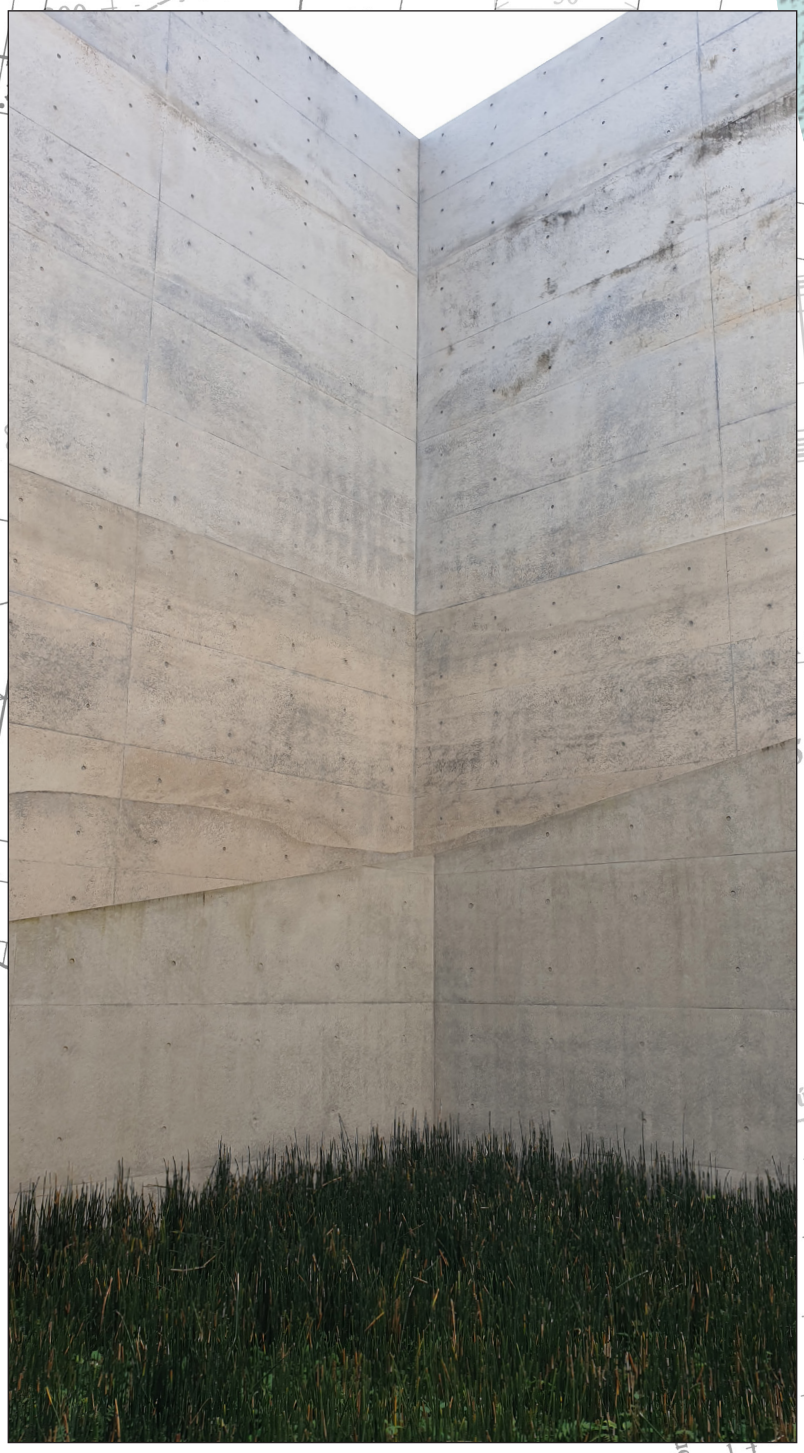
A *fib* MAGYAR TAGOZAT LAPJA

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*



DR. DULÁCSKA ENDRE†

ÉPÜLETREPEDÉSEK ÉS OKAIK

26

FARKAS TIBOR SZILVESZTER - DR. ROSZEVÁK ZSOLT - DR. HARIS ISTVÁN

NYÍRT FALAZAT NUMERIKUS VIZSGÁLATA VÉGESELEMES KONTINUUM MODELL HASZNÁLATÁVAL

31

ACI-*fib*-RILEM WORKSHOP - TENTATIVE PROGRAMME

39

SZEMÉLYI HÍREK

NAGY LÁSZLÓ 1948–2026

ZSÖMBÖLY SÁNDOR 1946–2026

DULÁCSKA ENDRE 1930–2026

49

***fib* BULLETIN 116, 117**

52

2026/2

XXVIII. évfolyam, 2. szám

www.mapei.hu

MAPEI®

RAGASZTÓK • FUGÁZÓK • ÉPÍTÉSKÉMIAI TERMÉKEK

Már elsőre végleges építési megoldások

Megoldások az előregyártott betonipar kihívásaira

Az előregyártott beton elemek piaca világszerte dinamikusan bővül. A növekedést az iparosított építési technológiák terjedése, a gyorsabb kivitelezési igények és a fenntarthatósági elvárások erősödése hajtja. A piaci előrejelzések szerint az ágazat értéke 2035-re megközelítheti a 250 milliárd dollárt, miközben a gyártóknak egyre összetettebb műszaki és környezeti kihívásoknak kell megfelelniük.



Az egyik legfontosabb feladat a beton gyártásának környezeti hatásának csökkentése. Az előregyártott elemek gyártóinak ma már egyszerre kell csökkenteniük a CO_2-kibocsátást, fenntartaniuk a magas mechanikai teljesítményt és biztosítaniuk a termékek hosszú távú tartósságát. A helyzetet tovább nehezíti az alapanyagok változó minősége és elérhetősége: egyre gyakrabban kerülnek a keverékekbe olyan adalékanyagok, mint a zúzott homok, az újrahasznosított betonadalék vagy az agyagos homok.

Az ilyen alapanyagok alkalmazása komoly keveréktervezési kihívásokat jelent. A megfelelő reológia és a gyors korai szilárdság biztosítása nélkülözhetetlen a hatékony gyártási ciklusok fenntartásához. A Mapei ehhez több irányból kínál megoldásokat.

A **Dynamon Cube** és **Mapecube** technológiák lehetővé teszik az alacsonyabb klinkertartalmú cementek alkalmazását, miközben biztosítják a beton mechanikai teljesítményét és tartósságát. A **Dynamon Cube 8000** sorozat adalékszerei kifejezetten a gyors korai szilárdságfejlődés



támogatására készültek, ami gyorsabb kizsaluzást és rövidebb gyártási ciklusokat tesz lehetővé.

A fenntarthatóbb anyaghasználatot segíti a **RE-CON AGG** technológia is, amely lehetővé teszi a kihívást jelentő adalékanyagok – például zúzott homok



vagy újrahasznosított betonadalék – nagyobb arányú alkalmazását anélkül, hogy növekedne a víz- vagy cementigény. A gyártás során keletkező felesleges beton kezelésére a **Re-Con Zero EVO** rendszer kínál megoldást, amely lehetővé teszi a friss beton újrahasznosítását és csökkenti a hulladék mennyiségét.

A gyártási hatékonyság növelésében szerepet kaphatnak a **Mapefibre** szintetikus szálak is, amelyek bizonyos alkalmazásokban részben vagy teljesen kiválthatják az acélbetéteket. Ez nemcsak a kivitelezés egyszerűsítését segíti, hanem csökkentheti a munkaerőigényt és az építési folyamat CO_2-terhelését is.

A Mapei megközelítése az előregyártott betoniparban túlmutat az egyes termékeken. A vállalat műszaki támogatása a keveréktervezéstől a gyártási folyamat optimalizálásán át a szerkezetek hosszú távú tartósságáig terjed. A cél olyan integrált megoldások biztosítása, amelyek hozzájárulnak az előregyártott beton elemek hatékonyabb, fenntarthatóbb és versenyképesebb gyártásához.

Ha szívesen olvasna a betontechnológia újdonságairól rendszeresen magyar és nemzetközi szakértők által írt tartalmakat, olvassa be telefonja kamerájával a QR kódot és iratkozzon fel a betontechnológiai edukációs hírlevelünkre!

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. Csíki Béla
Dr. Czoboly Olivér
Dr. Erdélyi Attila
Dr. Farkas György
Dr. Hlavička Viktor
Horváth Adrián
Kolozsi Gyula
Dr. Kopecskó Katalin
Dr. Kovács Károly
Dr. Kovács Imre
Dr. Kovács Tamás
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

Lektori 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 példányszámban) 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:
Környezet és betonfal, Japán
Fotó: Dr. Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

26 DR. DULÁCSKA ENDRE†
ÉPÜLETREPEDÉSEK ÉS OKAIK

31 FARKAS TIBOR SZILVESZTER - DR. ROSZEVÁK ZSOLT - DR. HARIS ISTVÁN
NYÍRT FALAZAT NUMERIKUS VIZSGÁLATA VÉGESELEMES KONTINUUM MODELL HASZNÁLATÁVAL

39 ***ACI-fib*-RILEM WORKSHOP - TENTATIVE PROGRAMME**

49 **SZEMÉLYI HÍREK**
NAGY LÁSZLÓ 1948–2026
ZSÖMBÖLY SÁNDOR 1946–2026
DULÁCSKA ENDRE 1930–2026

52 ***fib* BULLETIN 116, 117**

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

ÉPÜLETREPEDÉSEK ÉS OKAIK



Dr. Dulácska Endre†

https://doi.org/10.32969/VB.2026.2.1

1. A TERHELÉS OKOZTA ÉPÜLET-SZERKEZETI MOZGÁSOK

Minden teher, ill. erő alakváltozást okoz, mert teljesen merev anyag nem létezik. Ha az alakváltozások nagyjából egyforma értékűek, akkor az alakváltozás is nagyjából egyenletes, és repedést keltő hatása kicsi. Ha a különböző épületszerkezetek alakváltozásai jelentősebben eltérnek, akkor a repedések hamarabb jelentkeznek, és nagyobb értékekkel. Az összehangolás rendkívül nehéz, mert az anyagok alakváltozási szórása jelentős (betonnál pl. mintegy 50%-os). Befolyásolja az alakváltozást a szerkezetek előélete, tárolási feltételei és tárolásmódja is. Ezen kívül függ az alakváltozás az épület építészeti tagoltságától is, mert az építészetileg formált, mozgalmas épület hajlamosabb a hőtágulási, és a süllyedéskülönbségi repedések kialakulására. Így az alakváltozási összehangolás csak becslő jellegű lehet, az addigi építési tapasztalatok figyelembevételével. Az alakváltozási különbségeket növeli, ha az egyes szerkezetek megengedetthez mért igénybevétele jelentősen eltér. A terhelés okozta alakváltozás növekedés a lassú alakváltozás (kúszás) lezajlása után gyakorlatilag megáll.

2. A TERHELÉS OKOZTA TALAJ-SÜLLYEDÉS

Az épület súlya az alatta lévő talajt összenyomja, és ezzel épületsüllyedést okoz. Ha a talaj viszonylag puha, a süllyedés viszonylag nagy, ha viszont a talaj kemény, a süllyedés kisebb. (Még a sziklatalaj is süllyed.) A szemcsés talaj (kavics, homok) süllyedése gyorsan bekövetkezik, a kötött talajé pedig időben elhúzódik 3,17,32. Az előírások szerint arra kell törekedni, hogy az átlagos süllyedés ne legyen nagyobb 6,0-10,0 cm-nél. A süllyedés rendszerint nem egyenletes, a süllyedéskülönbség függ az alapozás hajlítási merevségétől. Teljesen hajlékony lemez, vagy merevítés nélküli szoliter alapozás esetén az épület szélei a süllyedés feleakkora, mint az épület közepén. Ahhoz, hogy a süllyedés egyenletes legyen, teljesen merev alapozás szükséges (Ez körülbelül 5,0 méteres vasbeton alaplemezt jelentene egy 25 méteres lemeznél.) Ez nyilvánvalóan lehetetlen. A szokásos alaplemez vastagság annyiszor 10 cm, ahány szintes az épület, azaz egy pince + földszint + három emeletes épület esetén a szokásos lemezvastagság 50 cm. Ez a lemezvastagság a süllyedéskülönbséget mintegy felére képes csökkenteni. Így az épületen már megjelennek a repedések, de korlátozott méretük miatt nem jelentenek komoly problémát.

Az alaplemez alatti kavicságy alkalmazása szempontjából eltérőek a vélemények. A kavicságy ugyanis magába gyűjti a vizet, felpuhítja az alatta lévő agyagtalajt, és ezzel megnöveli a süllyedéseket. Akkor alkalmazható, ha a kavicságy elegendően vastag (kb. 1,0 m talajcsere), és van lehetőség belőle a vizet elvezetni, Ez a megoldás a 10 emeletes, vagy magasabb épületeknél szokásos a jobb teherelosztás miatt. Véleményem szerint a kisebb épületeknél a kavicságy határozottan káros.

3. A TALAJ TÉRFOGATVÁLTOZÁSA OKOZTA MOZGÁS

A térfogatváltozó agyag kiszáradva zsugorodik, víz felvételével duzzad. Ha a lineáris zsugorodás 10% körüli, akkor 1,0 méter vastag agyag mozgása 10 cm, amiből 5 cm az emelkedés, és 5 cm a süllyedés. 3,17 A nedvességváltozás általában 3,0 méter mélységig hat le, ezért 2,0 méter mélyen alapozott épületnél ennek a harmada jelentkezik. Ez 1,7 cm süllyedést, ill. emelkedést jelent az épület kerületénél. Az épület közepén azonban nincs nedvességváltozás. E hatás miatt az épület meggörbül, melyből hajlítási feszültségek, és így repedések keletkeznek. Az MSZ 15002/1-87 szabvány 17 (Építmények alapozásának tervezése, Általános méretezési előírások) a 13 irodalom alapján közli azokat az összefüggéseket, melyekből becsülhető, hogy fog e repedni az épület, ill. hogy a görbület (az R görbületi sugár reciproka) okoz e esetleg teherbírási veszélyhelyzetet. A süllyedési és a térfogat-változási görbület természetesen szuperponálódik.

4. VÍZ VAGY CSATORNATÖRÉS OKOZTA TALAJKIMOSÓDÁS, ILL. TALAJPUHULÁS

Víznyomócső törés okozta elárasztásnál a nagy nyomás miatt nagymennyiségű víz kerülhet az alapok alá. A víz kimoshatja az alapok alatti talajt (inkább szemcsés talajoknál, de kötött talajnál is előfordul). Agyagtalaj esetén pedig felpuhítja a talajt. Mindkét esetben épületmozgás következik be 32. A felpuhulást okozó víz csak hosszú idő (évek) múlva távozik a talajból, addig folyamatos lehet az épületmozgás A szakirodalom 6, szerint a magyarországi épületkárok mintegy 85%-át az épület alá jutó víz okozza.

Csatornatörés esetén a helyzet hasonló, de jóval kevesebb víz jut a talajba, és a folyamat lassú. Rendszerint csak az épületmozgás okának kutatásakor derül ki a csatornatörés.

5. A HŐTÁGULÁSI MOZGÁS.

Az épület szerkezeteinek téli lehűlése megrövidülést, a nyári felmelegedése pedig az épület megnyúlását okozza. Minél erősebb az épület hőszigetelése, annál kisebb ez a mozgás. Ez a fluktuáló mozgás igénybevételeket okoz az épületek szerkezeteiben, és ez bizonyos épület-

hossz meghaladása esetén épületrepedésekben jelentkezik 5,21. Ezért szoktak dilatációs hézagokat (előregyártott repedéseket) alkalmazni, hogy a repedés a tervezett helyen jelentkezzen. Az előírt 50 méteres dilatációs hézag távolság csak azt biztosítja, hogy a szokásos hőszigetelésű épületrepedések nem lesznek elviselhetetlenül nagyok. A hőtágulási repedések ugyanis már 15-20 méter épülethossznál megjelenhetnek.

6. FÖLDRENGÉS OKOZTA REZGÉS ÉS TALAJSÜLLYEDÉS

A földrengés is okozhat épületmozgást, nevezetesen a rezgési mozgással, és a rezgés okozta talaj tömörödési hatással. Kisebb földrengés nem feltétlenül okoz repedéskárt, de a más hatásokból a repedéshatár közelében lévő szerkezeteken a meglévő hatásokhoz szuperponálódva a repedések megjelenhetnek, ill. növekedhetnek..

7. ÉPÜLETEK REPEDÉSEI

Elöljáróban le kell szögeznünk, hogy repedésmentes szerkezet nincsen, csak gyenge emberi szem. Ugyanis minden építési anyagunk már születése után teli van mikró-repedésekkel. A különböző terhelések okozta alakváltozások hatására a mikróre-pedések hossza és tágassága növekszik. A növekvő alakváltozás hatására a növekvő repedések összeérnek, és egy alakváltozási (terhelési) szinten elérik azt a nagyságot, amit már szabad szemmel is észlelni lehet. (Ez természetesen az egyes emberek szemének érzékenységétől is függ.) A gyakorlatban ez mintegy 0.05mm tágasság körül következik be. Innét kezdve nevezzük hajszálrepedésnek, egészen a 0,5mm tágasságig. A 0,5 mm repedéstágasságig a repedések az első festéssel eltüntethetők, és a később (pl. hőtágulási hatásokra) kialakuló másodlagosan megjelenő kisebb tágasságú repedés már számottevően nem rontja az esztétikai hatást 21. A 0,5 mm- től kezdve 1,0 mm tágasságig kis repedés a neve, és 1,0 mm tágasság felett simán repedésnek nevezik.

A repedések fajtái szerint megkülönböztetünk *szerkezeti repedéseket*, melyek a teherhordó szerkezeten (alapok, falak, pillérek, gerendák, födémek) jelentkeznek, és tágasságuk meghaladja a 0,5 mm értéket. Akkor vizsgálandók, ha a tágasság az 1,0 mm-t meghaladja, mert ekkor befolyásolhatják a teherbírást. Nem tekinthetők szerkezeti repedésnek azok a hézagrepedések, melyek az előregyártott elemek csatlakozásánál törvényszerűen meg szoktak jelenni, még akkor sem, ha tágasságuk meghaladja az 1,0 mm-es értéket.

Ezeken kívül megkülönböztetünk nem szerkezeti, ún. *esztétikai repedéseket*. Ezek az előzőek értelmében akkor kifogásolhatók, ha tágasságuk meghaladja a 0,5 mm-t.

Azokat a repedéseket, melyek a vakolaton jelentkeznek, de nem hatolnak be a szerkezetbe, *vakolatrepedésnek* nevezzük.

Ha tágasságuk meghaladja a 0,5 mm -t, akkor a kifogásolható repedéskategóriába tartoznak. (Itt meg kell jegyeznünk, hogy előfordulhat repedés a téglafalon repedés a nélkül is, hogy a vakolat ott átrepedne, és fordítva az is, hogy a vakolat reped, de nem találunk alatta falrepedést. E furcsa jelenségnek hajszálrepedések esetén egyrészt az az oka, hogy a vakolat nem mindenütt tapad egyenletesen a falra, ill. hogy a fal repedése a habarcshézagok eltolódása miatt a falon arrébb jelentkezik. Az is befolyásolja a kérdést, hogy a vakolat és fal keménysége hogy viszonylik egymáshoz)

Az épület és az altalaj tulajdonságaiból származó repedések mintegy 90%-a rendszerint az építést követő egy-két éven belül jelentkeznek. A hátralévő 10% az anyagok lassú alakváltozásának (kúszásának) hatására következik be, normál terhű épület (kisebb mint 6-8 emelet, és közepes talaj) esetében 4-5 éven belül az építési időtől számítva. Hosszabb időszak csak a nagyterhű, 12-15 emeletes épületeknél fordulhat elő.

8. A SZEMMEL LÁTHATÓ REPEDÉSEK KIALAKULÁSÁNAK NÉHÁNY LEHETSÉGES OKA

A repedéseket kiváltó okok lehetnek közvetettek, ill. közvetlenek. Pl. ha egy szerkezet valamely hatás miatt a repedési határállapot közelébe került (közvetett ok), akkor egy másik, esetleg gyengébb hatás következtében (közvetlen ok) túlmegy a repedési határon, és megreped. Az értékelésben a hatásokat gyenge, közepes, és erős kategóriákba sorolhatjuk. Alább felsorolunk néhány, repedést kiváltható okot:

Az építési anyagok (tégla, habarcs, beton) korlátozott húzószilárdsága.
Az építés sorrendje.
Az építési anyagok és szerkezetek tárolási előélete.
Az építéskor elkövetett technológiai hibák (pl. túl „kövér” vakolat zsugorodik).
Az egyes szerkezetek alakváltozási különbözősége (pl. lehajlás különbség).
Eltérő alapozási módok együttes alkalmazása (pl. süllyedéskülönbség).
Az épülettömeg, és az alapozási súlypont jelentősebb eltérése (pl. elferdülés).
A szerkezet túlzott igénybevétele (kicsi a biztonság).
A szerkezet túlzott alakváltozása.
Az épület hőtágulási mozgása (törvényszerű jelenség).
A hőmérséklet különbségből származó egyenetlen hőmozgás. (pl. a klímakészülékek hőfokkülönbségeket hoznak létre a falakban és födémekben).
A süllyedéskülönbségből származó nyúlási, hajlítási, nyírási és csavarási deformáció.
A kötött talaj (agyag) nedvesség változása okozta fluktuáló alakváltozás.
A földrengésekből származó rezgéshatás.

A repedések kialakulásában a különböző hatások vegyesen fordulnak elő. Ha csak egyetlen ok van, akkor a repedésképből rendszerint meghatározható az előidéző ok is. Ez a helyzet akkor is, ha erősen dominál egy ok. Rendszerint azonban több ok fordul elő vegyesen. Ezért nehéz a repedésből egyértelműen következtetni az előidéző okra. Ami könnyebb, az egyes okok kizárása, mert ha nincs az egyes kiváltó okra mutató repedéskép, akkor az kizárható a vizsgálatból.

A 16 *MSZ.15023 szabvány. Falazott szerkezetek tervezése MSzH, Bp, (1986*) szabvány előírása szerint falazott szerkezeteknél sem repedésmentességet, sem a repedéstágasságot nem kellett igazolni. Ennek okát a szabványt magyarázó irodalom 14,15,21 azzal magyarázza, hogy egyrészt repedésmentes falazott szerkezet nem létezik, másrészt pedig a repedéstágasság számítására nincsen elegendően megbízható módszer. (A lehetséges számításmódok 45781013 tendencia jellegűek, és több mint 50% hibahatárral terheltek.) A gyakorlat ennek ellenére elérendőnek tekinti, hogy a repedéstágasság lehetőleg ne legyen nagyobb, mint a vasbeton szerkezetekre megengedett 0,5 mm. Így kijelenthetjük, hogy sem a vasbetonszerkezetek-

nél, sem a falazott szerkezeteknél nem kifogásolható a 0,5 mm-méretű, vagy annál kisebb repedés. Megemlíthető, hogy a meglévő épületek ellenőrzésére vonatkozó szabályzat 28,31 nem kívánja meg a repedéstágasság ellenőrzését, hanem a repedés veszélyt jelző hatásának a vizsgálatát javasolja, ha a repedés megnyílása meghaladja a 0,5 mm tágasságot..

Fentiek figyelembevételével kijelenthetjük, hogy a 0,5 mm tágasságot meg nem haladó épületszerkezeti repedésszélesség nem kifogásolható.

9. A MOZGÁS HATÁSA AZ ÉPÜLET-REPEDÉSEKRE

Masszív (beton, falazat, vakolat, stb.) anyagú szerkezetek repedései

Minden szerkezetre igaz, hogy repedés akkor alakul ki, ha valamely pontban a fő húzófeszültség meghaladja a repesztési húzószilárdságot. Ez a húzófeszültség származhat statikus vagy dinamikus erőhatásból, vagy abból, hogy valami gátlás akadályozza a deformációt. Ez igaz az anyagon belüli mikro repedésekre ugyanúgy mint a látható repedésekre. A statikus hatásból származó húzófeszültségeket többé-kevésbé számítani tudjuk, és ebből következtethetünk a várható repedésekre, ill. azok méretére. A gátlásokkal azonban más a helyzet. A gátlást okozó elemek, szerkezetek anyagok tulajdonságainak ismerete lenne szükséges a számításhoz, ezek azonban legjobb esetben is csak durva közelítésben ismertek. Ezért a gátlásos repedés kialakulás értékelésénél szükségünk van a jelenségek tapasztalati értékelésére. Nagy szerepe van a repedni akaró szerkezet anyagi tulajdonságainak. A rideg anyag hirtelen reped, ha a húzófeszültség eléri a húzási-repedési határt. (Magam is láttam olyat, hogy a téglafal repedése egy pillanat alatt métereket szaladt.) A képlékeny anyag a húzási határ elérésekor megfolyik, esetleg a szomszédos szakaszok átveszik az erőket, ezért a repedés csak később jelenik meg, és lassabban terjed.

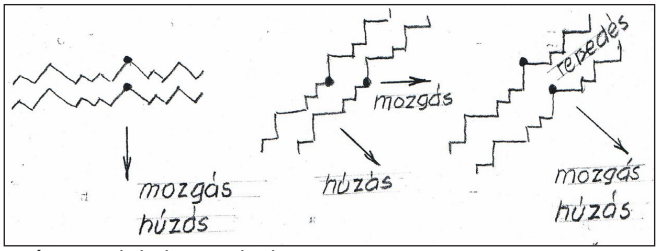
A szerkezet kialakításától függően bizonyos hőtágulási repedések tágassága a felmelegedéstől növekszik (lapostető betegség), és lehűlésre csökken, vagy záródik. Más esetekben a téli lehűlés okozza a repedés megnyílását (pl. függőfolyosó), és a repedés a nyári felmelegedés hatására csökken.

A teljes repedés sokszor nem tud teljesen záródni, a belejutott törmelék, vagy egyéb szennyeződés miatt. Van olyan, hogy a hőmérséklet változás, és a zsugorodás nem érintik az egész keresztmetszetet. Ilyen esetekben a repedés a felületről indulva a keresztmetszet belsejében megáll. Ezeket nevezzük felületi repedéseknek.

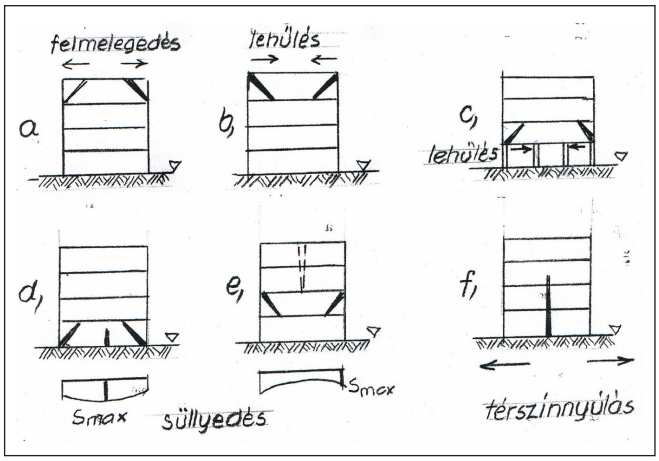
A repedés törvényszerűen a főhúzó feszültség irányára merőlegesen alakul ki. Ez azonban nem feltétlenül azonos az elrepedt szakaszok elmozdulási irányával. Márpedig az irány ismerete fontos lehet, mert sokszor ebből lehet következtetni a repedést előidéző okra.

Ha megfigyelünk egy repedést, akkor azt látjuk, hogy a rpedésszélek nem simák, hanem cikk-cakkosak. (Ez az anyagok szemcsés jellegéből következik, és technikai szinten talán csak az üvegekre nem jellemző, bár az üveg repedési felülete sem teljesen sima a térhálós molekulaszerkezet miatt.) A repedés éleken a megfelelő pontokat összekötve meghatározható az elmozdulás iránya (*1. ábra.*)

A főfeszültség irányt a bekövetkezett repedés irányból, a be nem repedt szerkezet esetén a várható irányt a megfelelő szilárdságtani összefüggéssel, vagy a Mohr feszültségi körrel



1. ábra: Húzás és mozgásirányok



2. ábra: Jellegzetes épületrepedések

határozhatjuk meg. A ferde repedés rendszerint nyírás lehetőségére utal. Ha a repedésirányra húzott merőlegesek párhuzamosak, akkor az elmozdulás is párhuzamos. Ha viszont görbe repedés esetén ezek a merőlegesek egy pontba futnak be, akkor az a pont a forgási gócpont.

Számítani kell arra is, hogy a téli-nyári viszonyok mellett a repedéstágasság változhat, mert bizonyos esetekben a felmelegedés növeli a repedéstágasságot, és a repedés pedig csökkenti (lapostető betegség). Más esetekben pedig a lehűlés növeli a repedésméretet (függőfolyosó). A 0,5 mm-es repedéskorlát a maximális repedésre vonatkozik. Ezért meg kell becsülni a várható lehetséges mozgásokat a repedésértékeléshez.

Az értékelése megkönnyítéséhez feldolgoztunk néhány épületrepedés típust 7, és azokat az 2 és 3 ábrákon mutatjuk be.

Az 2 ábrán sematikusan ábrázoltuk egy többszintes épület oldalnézetét, melyen bemutatjuk a különböző fajtájú repedéseket.

Az 2/a ábra az úgynevezett lapostető betegség okozta repedés képét mutatja. A szigetelés aljzata, ill. a legfelső födém napsugárzás okozta felmelegedése (kb. 85 C^0)miatt a födém nyúlik, a belső szerkezetek (falak, válaszfalak) viszont a viszonylag állandó (kb. 20-30 C^0) hőmérséklet miatt kevésbé deformálódnak 3 Ez az épület végei felé befelé hajló repedéseket okozhat. Hosszú épület (40-50 m.) az épület közepén is felléphetnek a födémszerkezetben is függőleges repedések. A repedések megjelenése és mérete függ az épülethossztól, az építés idején volt hőmérséklettől, a tető hőszigetelésének mértékétől, és a lapostető felületi viszonyaitól. A fekete felületű tetőn erősebb, ezüst vagy fehér festett felület esetén kisebb a nyúlás, és így a repedéshatás is. A repedés rendszerint a legfelső szintén jelentkezik, de hosszú épületeknél az alsóbb szintre is átterjedhet.

Az 2/b ábra az előzőnek a fordítottja a téli lehűlés hatására a födém összehúzódik, és ellenkező irányú repedések jelentkezhetnek. Ez a mozgás zárni igyekszik a nyári ferde repedéseket, de a belehullott törmelék miatt ez nem sikerül tökéletesen. Ezért az épület végein egy andráskereszt alakú repedéskép alakulhat ki..

Az 2/c ábra egy olyan esetet mutat, mikor a földszint lábakon áll, vagy a kialakított üzletet nem fűtik. Ilyenkor az épület legalsó szintjén keletkeznek a ferde repedések. Az épületsüllyedés hasonló repedéseket okoz, nem szabad összecserélni az okokat.

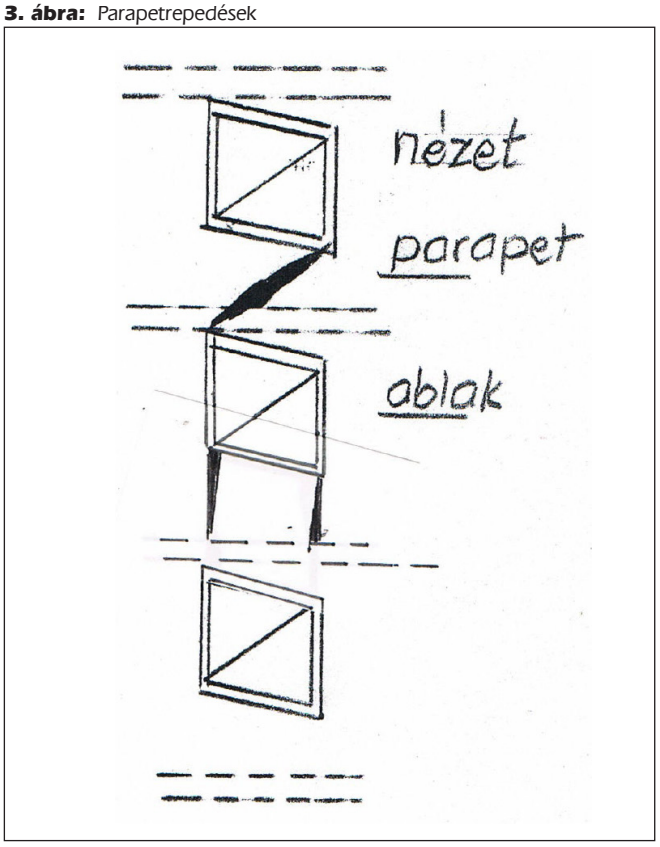
Az 2/d ábra a szokásos épületsüllyedés esetét mutatja, amikor is az épület közepe jobban süllyed, mint a széle. A szélső pillérsor vagy fal süllyedése megközelítően fele-kétharmada az épületközép süllyedésének, ezért a süllyedésalak alulról nézve domború. A repedés megjelenése függ a talajtól, mert a puha talajokban (pl. iszap, puha agyag) a süllyedés nagyobb, mint a keményebb talajokban (kavics, kemény agyag). Kicsi süllyedés esetén (1-2 cm) nem várhatunk repedést, nagyobb süllyedés 6-8 cm esetén viszont valószínű. Ha nagyobb süllyedés várható, akkor indokolt lehet az alsó szintek falait az épület teherhordó rendszerének megépülte után (amikor a süllyedés nagy része már lejátszódott) elkészíteni 4.

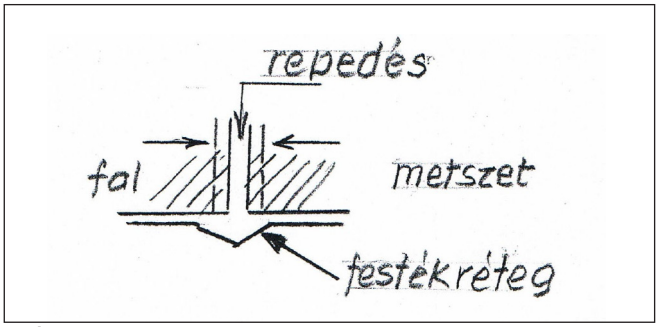
Az 2/e ábra olyan esetet mutat, amikor a süllyedésalak alulról nézve homorú. Ilyen esetekben a repedéskép az előzőnek a fordítottja, sőt nagyobb süllyedés esetén a felső szintek függőleges repedése is előfordulhat. Az ilyen süllyedésalak alagút vagy bányaépítések esetén szokott előfordulni, a kialakuló horpa (süllyedési teknő) felülről nézve domború szakaszain 8.

Az 2/f ábra repedésképe főleg a bányaterületek feletti épületeknél szokott előfordulni. A néhány méter szénlefejtés a dúcolat kirablása után (a bányatevékenység felhagyásakor) a tömedékelés ellenére1-2 métert süllyedhet. Ez azon kívül, hogy a vízfolyások irányát megváltoztatja, a térszín jelentős megnyúlását okozza, mely az épületeket szétszakíthatja. Előzetes védelemként az épületek alapjait erős vasalású vasbetonkoszorúval szokták körülabroncsolni, de e mellett a védelem mellett is előfordulnak javítható repedések 20. Abroncsolás nélküli épületnél előfordult már 10 cm körüli szétszakadási repedés is (az épületet bontani kellett).

Az 3. ábrán egy épület homlokzati részlete látható, melyen a süllyedéskülönbség okozta parapet repedéseket próbáljuk meg elemezni.

3. ábra: Parapetrepedések





4. ábra: Festésfelgyűrődés

Véletlen jelleggel kétféle repedés alakulhat ki, a parapetfal beépítési viszonyaitól függően. Ha a parapet falat a falpillérekkel együtt falazták, akkor az ábra felső részén mutatott ferde repedés valószínű, ha pedig a parapeteket utólag falazták be a falpillérek közé, akkor az ábra alsó részén látható kétoldali függőleges repedések várhatók. A deformációs értékekből a várható repedéstágasság számítható 4.

A *kéményeknél* törvényszerűen bekövetkezik a hőmérsékletkülönbség okozta függőleges repedés, mind az önálló, mind a falazatban lévő kémények eseteiben, A függőleges repedés mindenképp megjelenik, hisz a kéménykürtő hőfoka (100-200 C^0) jelentősen nagyobb, mint a környezeté. Védekezési lehetőség nincs. Utólagos javításként a kör alakú gyárkéményeket (a megrepedés után) acélpántokkal körbe abroncsolják.

10. VAKOLATREPEDÉSEK

A *vakolaton* jelentkező repedések alapvetően kétfélék lehetnek. Az egyik esetben a vakolat repedése alatt a falszerkezet is repedt. Ezeket, mint falszerkezeti repedéseket kell értékelnünk. A másik eset az, amikor a vakolati repedés alatt a fal nem repedt.

Ha a korábbi repedést nyáron átfestik, akkor a téli összehúzódás hatására a repedéstágasság csökken, melyet a kemény festékréteg nem tud követni, és felpattogzik.

A felpattogzás vázlatos metszete az 4. ábrán látható. Megjegyezzük, hogy ilyen felpattogzás hasonló viszonyoknál a lapburkolatoknál is előfordul.

Jelen cikk kéziratát Szerző életének utolsó szakaszában juttatta el a VASBETONÉPÍTÉS folyóirathoz. Szerkesztőségünk legnagyobb tisztelettel teljesíti szerző kérését a cikk publikálásra.

Szerkesztőség

11. IRODALOM AZ ÉPÜLETREPEDÉSEKHEZ

1 Möller K.: Építési Zsebkönyv. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda. Bp.1943.
2 *Andrejev, Sz.A.*: Falazott szerkezetek tervezése és számítása. *ÉM Építőipari Könyv és Lapkiadó* Budapest,(1953.)
3 Kézdi Á.: Talajmechanika I.-II. Tankönyvkiadó Budapest (1975)
4 Dulácska,E.: Épületrepedések Talajmozgás Hatására. *Magyar Építőipar*, XXV.10, 11.sz.630, 637. (1976.)
5 , *Dulácska,E.*: Falrepedések a lapostető hőmérsékleti mozgásának hatására. *Magyar Építőipar*. 6.(1977). 308 old.
6 , Rétháti, L.: Altalaj eredetű épületkárok. Akadémiai Kiadó, Budapest, (1977.)
7 *Dulácska,E.*: Talajalakváltozás és épületdeformáció. *Magyar Építőipar*. 7.(1977).
8 *Dulácska,E.*: A felszínsüllyedés és az épületkárok összefüggé-

sei., *Mélyépítéstudományi Szemle.* 1. (1978). 31 old.
9 *Dulácska,E.*: Die neuen Bemessungsverfahren für Maurerwerk in Ungarn. Bauingenieur. **54**.(1979).189..
10 *Dulácska - Fekete - Varga.*: Az altalaj és az építmény kölcsönhatása., *Akadémiai Kiadó*, Budapest, (1982.)
11 Dulácska,E.: The Effect on Soil Settlement on Buildings. (Szerzőtársakkal.), Elsevier, Amsterdam, (1992.)
12 Dulácska, E.: Válaszfaltörések a betonanyagú épületváz lassú alakváltozása következtében. *Magyar Építőipar*. 7-8.(1982).
13 *Dulácska,E.*: Épületvédelem az alagútépítés káros hatásai ellen. Műszaki Kiadó – ÉTK, Budapest, (1982)
14 Falazott és betonszerkezetek vizsgálata és megerősítése. Magyar Építőipar. 6.(1983).
15,*Dulácska,E.*: Beton, kő- és téglaszerkezetek. Műszaki Kiadó, Bp.(1984.) Könyvrészlet a Mérnöki Kézikönyv 2.kötetében. p.702.
16 MSZ.15023 szabvány. Falazott szerkezetek tervezése Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest, (1986)
17 MSZ.15002/1 SZABVÁNY. Építmények alapozásának erőtani tervezése. Általános méretezési előírások. Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest, (1988)
18 Dulácska, E.: Statikus Kisokos. *SÁMSON Építés Statikai* GMK. (1990.)
19 Dulácska*,E.*: A falazott szerkezetek erőtani tervezése. Magyar Építőipar. 4.(1990). 179 old.
20 Dulácska*,E.*: Falazott szerkezetek tervezése és kivitelezése. BME. Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék. (1994)
21 Massányi - Dulácska.: Statikusok Könyve. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest, (2000.)
22 Dulácska,E.: Gondolatok a süllyedésszámításról, Közlekedés és *MélyépítésTudományi Szemle,* (2001/4)
23 Dulácska,E.-Sajtos,I.: *Az EUROCODE 6 alkalmazása*, EUROCODE 6, *Építésügyi* Minőségellenőrző Innovációs KHT. Bp. (2001.)
24 Épületek tartószerkezeteinek diagnosztikája és rekonstrukciója. Alapismeretek. (Szerzőtárs: Arató A.) *Építőmester*. Budapest. (2007) máj.-jún.22-27 old.
25 Dulácska,E.: Épületek tartószerkezetei diagnosztikája és rekonstrukciója. A szakértői tevékenység. Építőmester. Budapest. (2007) júl.-aug. 20-21 old.
26 Dulácska, E.: Falazatok és boltozatok.BME. *Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék*, Budapest, (2008.)
27 Dulácska, E.: Épületek tartószerkezeteinek diagnosztikája és rekonstrukciója. Falazott szerkezetek diagnosztikája és rekonstrukciója. *Építőmester*. Budapest. (2008) márc.-ápr.
28 TSZ 01-2010 Műszaki Szabályzat. Épületek megépült teherhordó szerkezetei erőtani vizsgálata és tervezési elvei. Magyar Mérnöki Kamara Tartószerkezeti Tagozat (2010.)
29 *Dulácska,E.*: Épületek tartószerkezeteinek diagnosztikája és rekonstrukciója. (2. bővített kiadás) BME. Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék. (2011)
30 *Dulácska,E.*: Kisokos Statikusoknak Artifex Kiadó Kft. Budapest. (2011.)
31 TSZ 01-2013 Műszaki Szabályzat. Épületek megépült teherhordó szerkezetei erőtani vizsgálata és tervezési elvei. Magyar Mérnöki Kamara Tartószerkezeti Tagozat (2013.)
32 Farkas, J.: Alapozás. BME Geotechnikai Tanszék, Bp. (2004.)
32 Rétháti, L.: Alapozás kedvezőtlen talajokon. Akadémiai Kiadó. Bp. (1995.)
33 ME 103-77. Műszaki Előírás síkalapok alatti talajcsere és tömörítés tervezésére. ÉTK. Bp. 1977.
34 Dulácska E.: Földrengés elleni védelem. MMK, Bp. (2009)

NYÍRT FALAZAT NUMERIKUS VIZSGÁLATA VÉGESELEMES KONTINUUM MODELL HASZNÁLATÁVAL





https://doi.org/10.32969/VB.2026.2.2

Farkas Tibor Szilveszter – Dr. Roszevák Zsolt - Dr. Haris István

A falazott szerkezetek numerikus vizsgálata összetett feladat a heterogén felépítés és az eredendően nemlineáris viselkedés miatt. A cikk célja a falazatok mikro-szintű végeselemes modellezésének bemutatása egy eredetileg vasbeton szerkezetekhez kifejlesztett háromdimenziós, nemlineáris végeselemes szoftver alkalmazásával. A kutatás középpontjában annak vizsgálata áll, hogy a rendelkezésre álló beton anyagmodell alkalmas-e pontosan visszaadni a falazat mechanikai válaszát egyszerű nyomásra és nyírásra. A kutatási programban az általunk létrehozott numerikus modellek alapján kapott eredményeket összehasonlítottuk valós laboratóriumi mérések eredményeivel a deformáció, a repedéskép, és a teherbírás szempontjából. A kutatás rávilágít a végeselemes mikro-szintű modellezés alkalmazhatóságára, illetve a jelenlegi korlátjaira, különös tekintettel a számítási igényre. Az eredmények arra is rámutatnak, hogy az alkalmazott vasalatlan beton anyagmodell felhasználható falazott szerkezetek vizsgálatára. E munka jövőbeni kutatásaink alapjául szolgál, ahol célunk az egyes elemek egyedi jellemzőinek tartószerkezeti rendszerre gyakorolt hatásának vizsgálata, valamint a numerikus modellezésre és a tervezésre vonatkozó ajánlások, útmutatások megfogalmazása.

KULCSSZAVAK: téglaelem, habarcs, nyírt téglafalazat, nemlineáris végeselemes analízis, nemlineáris anyagmodell, beton anyagmodell, ATENA 3D

1. BEVEZETÉS

A falazott szerkezetek világszerte nagy számban megtalálhatók mind a mai, mind a múltbéli épületekben. Az önálló, nyomott-nyírt téglafalak mellett számos vasbeton vázas épület is falazott kitöltőfalakkal épül, amelyek jelentős hatással vannak a szerkezet globális viselkedésére, különösen földrengés esetén. A falazatokban használt anyagok – mint például az égetett kerámia vagy a természetes kő – rendkívül tartós építmények létrehozását teszik lehetővé, amelyek akár több száz éven keresztül is megőrizhetik állékonyságukat. Ez az egyszerű, több ezer éves múlttal rendelkező építési mód azonban napjainkban is számos kérdést vet fel a pontos szerkezeti viselkedés modellezésével kapcsolatban.

Egy falazat teherbírását és tönkremeneteli módját számos tényező befolyásolja, például az alkotóelemek és azok közötti kapcsolatok mechanikai tulajdonságai, a téglakötési mód, a hézagok vastagsága, az anyagban előforduló imperfekciók, valamint a kivitelezés minősége. A numerikus vizsgálati módszerek fontos szerepet töltenek be a mérnöki gyakorlatban, mert segítségükkel lehetőség nyílik a szerkezetek teherbírásait, igénybevételeit, alakváltozásait és repedéseit, valamint ciklikus viselkedésüket vizsgálni.

Ugyanakkor kevés olyan szoftver áll rendelkezésre, mely képes kellő pontossággal leírni a falazott szerkezetek komplex nemlineáris viselkedését. Jelen kézirat egy, a falazott szerkezetek összetett viselkedésének numerikus modellezését célzó kutatás első lépéseként kerül publikálásra. A kutatás kezdeti fázisának célja annak bemutatása, hogy az eredetileg beton modellezésére kidolgozott anyagmodellek alkalmassá tehetők téglaszerkezetek vizsgálatára, illetve a komplex viselkedés és tönkremenetel műszakilag jó közelítésére.

Annak érdekében, hogy a numerikus modell képes legyen a valós szerkezeti válaszok hiteles lekövetésére, elengedhetetlen annak validálása kísérleti eredmények alapján, különösen az anyagjellemzők vonatkozásában.

Az alkotóelemek mechanikai paramétereiről általában kevés adat áll rendelkezésre: a gyártók nem szolgáltatnak kellően részletes információt, míg régi épületek esetében ezek gyakran egyáltalán nem ismertek. További nehézséget jelent, hogy a különböző modellezési szintek nem minden esetben kellően pontosak. A falazatok kapcsán megkülönböztetünk makro és mikro modellezési szinteket (Naciri et al. 2022). A makro-szintű modellezés esetén a falazatot homogén anyagként kezeljük. Ez sok esetben nem ad helyes képet a repedésekről és a feszültségek eloszlásáról, csak közelítő jelleggel lehet használni. Ezzel szemben a mikro-szintű modellezés során a falazat egyes elemei és a köztük lévő kontaktfelületek is külön-külön modellezésre kerülnek. Ez az eljárás már pontosabb szimulációt tesz lehetővé, ugyanakkor jóval idő- és erőforrásigényesebb mind a modellépítés, mind a számítási idők szempontjából (D'altri et al. 2020). Ezen okból kifolyólag a mikro-szintű modellezés tudományos kutatásokra és kiemelt fontosságú szerkezetekre, például műemléki épületekre korlátozódik.

Bár az EN 1996-1-1 szabvány biztosítja a kellő biztonsággal

történő tervezést a praktizáló mérnökök számára, a részletes numerikus modellezés hasznos segédeszköze lehet a tervezőknek és a szakértőknek a sérült és megerősítésre szoruló, vagy különleges tartószerkezetek kapcsán.

2. MODELLEZÉSI MEGKÖZELÍTÉS ÉS ALKALMAZOTT ANYAGMODELLEK

Falazott szerkezetek modellezéséhez többféle numerikus módszer létezik. A két leginkább kiemelendő a diszkrét elemes módszer (DEM) és a végeselemmódszer (VEM). A diszkrét elemes módszer (DEM) olyan numerikus eljárás, mellyel sok különálló elemből felépülő szerkezeteket lehet vizsgálni, mint például ágyazatok, kőzettömegek. A módszer különösen hasznos falazatoknál, ahol a csatlakozások elcsúszása, részleges elkülönülés és egy elem nagymértékű diszlokációja fontos a szerkezeti viselkedés és a tönkremenetel szempontjából. Az analízis lépésekben történik, ahol az elemek elmozdulását és interakcióját a szoftver folyamatosan követi a számítás során. Az egymással érintkező elemek kapcsolata képes részben vagy teljesen felbomlani, az elemek el tudnak egymáson csúszni, illetve ha új elemekbe ütköznek, ott új kapcsolat jön létre (Chen, 2024). A módszer előnye, hogy a falazat heterogenitását és anizotrop viselkedését jól lehet vele szimulálni. Továbbá a téglakötéseket és a falazat csomópontjait pontosan tudjuk modellezni, illetve könnyen értelmezhető képet kapunk a tönkremenetelről és a szerkezet gyenge pontjairól.

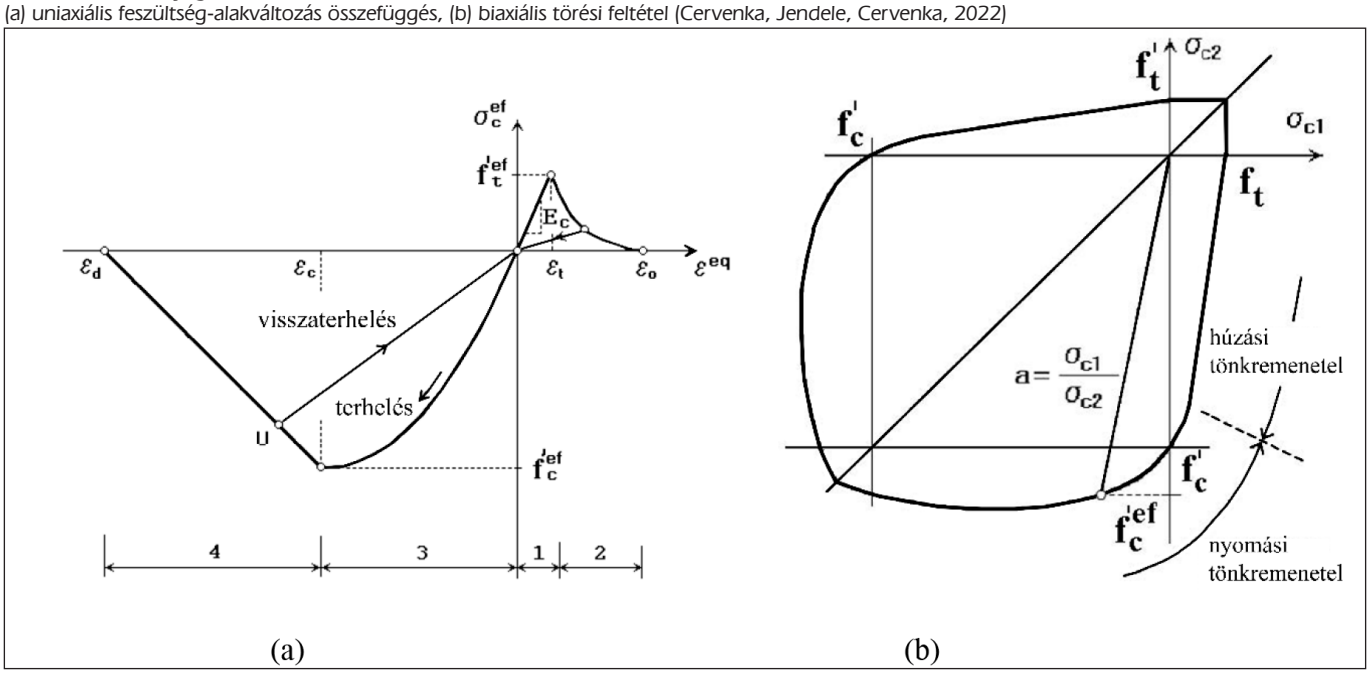
A végeselemmódszer (VEM) a szerkezetet kontinuum modellként vizsgálja és diszkretizált végeselemes hálók segítségével számítja az eredményeket. Lehetővé teszi a feszültségeloszlás, a deformációk és az elmozdulások részletes vizsgálatát az alkotóelemeken belül is, figyelembe véve a nemlineáris anyagi viselkedést és a téglakötés hatását (Romano, Grande, 2008). Makro-szint esetén a falazatot homogén kontinuum modellel vizsgáljuk, ahol fontos, hogy az alkalmazott anizotrop anyagmodell megfelelően reprezentálja a vizsgált falazat viselkedését. Ez a megközelítés kedvező az egyszerűbb modellépítés és a kisebb számítási igény miatt, ugyanakkor az anyagmodell paramétereinek meghatározása (homogenizációs eljárás) gyakran nehéz feladat, illetve az így létrejövő modell gyakran túlegyszerűsíti a szerkezet viselkedését. Mikro-szint esetén tudjuk a legpontosabban szimulálni a valós viselkedést. Ilyenkor külön-külön modellezzük a nemlineárisan viselkedő alkotóelemeket (falazóelem, habarcs) és kapcsolataikat is. Ahhoz, hogy falazatokat tudjunk vizsgálni olyan speciális VEM szoftverek alkalmazására van szükség, melyek képesek modellezni a falazóelemben, a habarcsban és a kapcsolati felületekben, illetve azok mentén kialakuló repedéseket és azok terjedését, illetve ezeknek a hatását a szerkezet mechanikai válaszára.

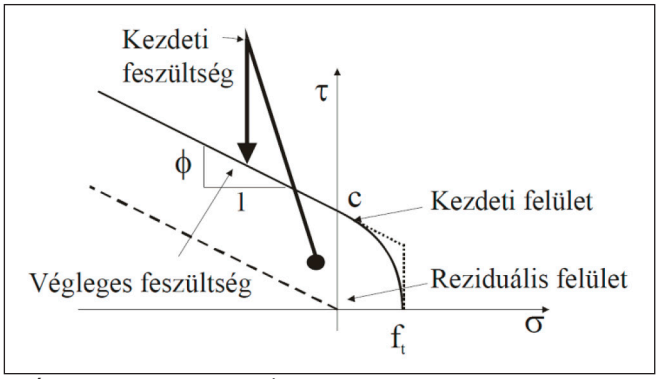
A kutatás során az ATENA nemlineáris végeselemes szoftvert alkalmaztuk, mely elsősorban vasbetonszerkezetek mechanikai vizsgálatához lett kifejlesztve. A szoftver biztosítja az alkalmazott anyagmodellek paramétereinek részletes definiálását, valamint a számítás során képes követni a repedések kialakulásából adódó merevségcsökkenést, illetve az emiatt bekövetkező feszültség átrendeződést.

A modellezési feladat során három anyagot definiáltunk: a falazóelemet, a habarcsot, illetve a téglaelemek és a habarcs közötti kapcsolati felületeket úgynevezett „Interface" (kapcsolati) elemeket. A kutatás során tömör kerámia téglát vizsgáltunk. A tégla és a habarcs modellezésére az ún. „3DNonlinearCementitious2" alapanyagmodell átparametrizált változatát használtuk, melyet eredetileg vasbetonszerkezetek analíziséhez fejlesztettek ki. Ez a modell képes a beton nemlineáris viselkedésének leírására mind nyomás, mind húzás esetén, melyet az uniaxiális feszültség-alakváltozás görbével lehet definiálni (1. ábra). Ez különböző modelleket kombinál: húzás során a lineárisan rugalmas anyagmodellt és Hordijk (1991) féle repedésmegnyílási modellt, nyomás során a CEB-FIP Model Code 1990 szabvány által javasolt formulát és a leszálló ághoz tartozó lineáris összefüggést (Mier, 1986).

Húzási és nyomási igénybevétel esetén a szoftver elkent repedésmodellt használ fel, mely a fix (Cervenka 1985, Darwin 1974) és az elfordult (Vecchio 1986, Crisfield 1989) repedésterjedési modelleket vegyesen alkalmazza. Az anyagmodell kombinálja a húzásra (Rankine törési feltétel) és a nyomásra (Menetrey-William) megalkotott modelleket. Az anyag képlékenyedésének vizsgálata a Menetrey-William törési felület alapján történik (Roszevák, 2023). A tégla-habarcs

1. ábra: Beton anyagmodell
(a) uniaxiális feszültség-alakváltozás összefüggés, (b) biaxiális törési feltétel (Cervenka, Jendele, Cervenka, 2022)





2. ábra: Tönkremeneteli határfelület (Cervenka, Jendele, Cervenka, 2022)

kapcsolat az ún. „Interface” anyagmodell felhasználásával történt, mely a Mohr-Coulomb törési feltételen alapul. A kapcsolat teherbírása a 2. ábrán látható határfelületből következik, mely a normálfeszültségtől, a súrlódási szögtől, a kohéziótól, illetve a kapcsolat nyíró- és normálmerevségétől függ.

A végeselemes számításokhoz térbeli 20 csomópontos téglatestelemek kerültek felhasználásra, kvadratikus bázisfüggvények alkalmazásával. A modellalkotás során nem végeztünk összehasonlító vizsgálatot más elemtípusokkal. Ezek az elemek az élek felezőpontjaiban is tartalmaznak integrálási pontokat.

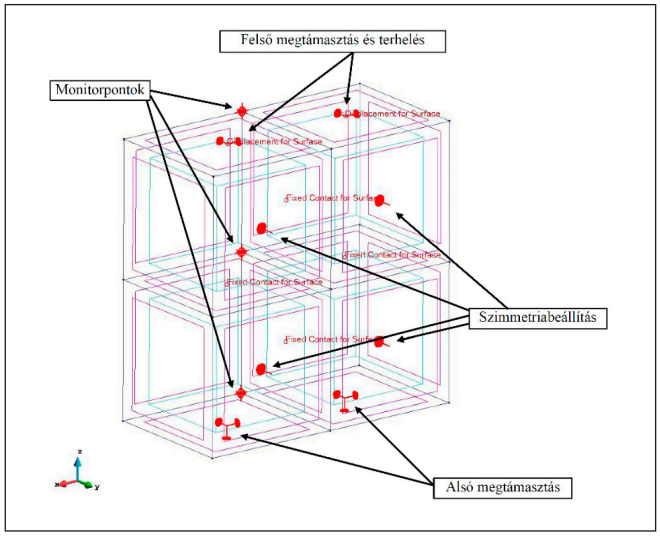
3. VÉGESELEMES MODELLEK ÉS EREDMÉNYEK

Jelen kutatás alapját Fódi (2011) laboratóriumi kísérletei adták, amelyben Magyarországon gyártott kisméretű tömör tégla és habarcs anyagjellemzőit részletesen vizsgálta, továbbá laboratóriumi tesztnek vetett alá téglafalazatokat, ahol a szerkezet vízszintes teherrel szembeni válaszát vizsgálta. Ezek a megfelelően dokumentált és publikált kísérleti adatok lehetővé tették a numerikus modellezéshez szükséges paraméterek felvételét és kalibrációját, illetve a kapott eredmények összehasonlítását valós szerkezeti viselkedéssel. Az egyes numerikus modellek geometriai méreteit, a peremfeltételeket és a terheléseket úgy vettük fel, hogy azok a laborkísérletekkel megegyezzenek, annak egyértelműen megfeleltethetőek legyenek.

3.1. Egyedi téglaelem numerikus modellje

Fódi (2011) laboratóriumi kísérletei során többek között 50 mm × 50 mm × 50 mm méretű tégla próbatesteket vizsgált egytengelyű nyomásra. A próbatestek kisméretű tömör téglákból lettek levágva, ahol a felületeket csiszolással készítették elő. A vizsgálatokat hidraulikus présgéppel hajtották végre és bélyegekkel mérték az alakváltozásokat.

Első lépésben létrehoztuk a laboratóriumi kísérletnek megfelelő numerikus modellt. A számítási idő csökkentése érdekében, megfelelő szimmetriabeállítások mellett, csupán a próbatest fele került modellezésre. Monitorpontokat helyeztünk el a tégla felső, alsó és középső síkjában, a próbatest oldalán, melyek segítségével a feszültségek nyomon követése valamennyi terhelési lépésben biztosított volt (3. ábra). A három pontban mért feszültségértékek átlagát a kísérleti eredményekkel hasonlítottuk össze, a fajlagos összenyomódás függvényében.

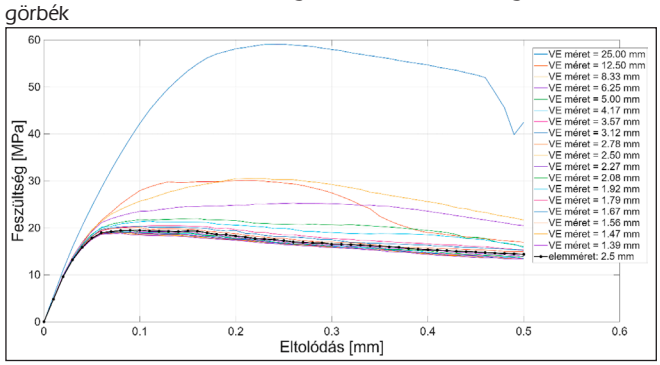


3. ábra: Peremfeltételek és monitorpontok

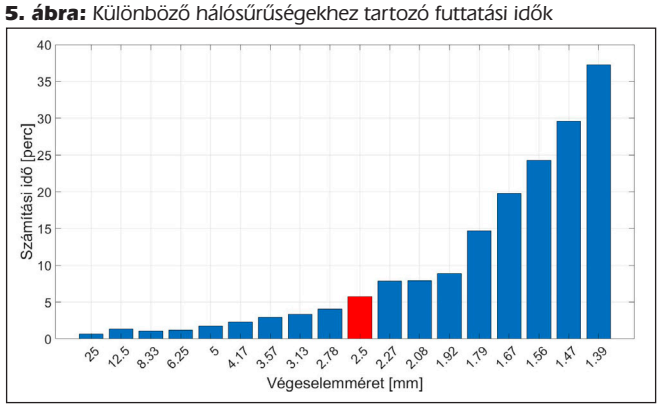
A korlátozott számítási erőforrás miatt és az eredmények pontossága érdekében nagyon fontos az optimális végeselemméret megválasztása. Ehhez elemméret-érzékenységi vizsgálat készült.

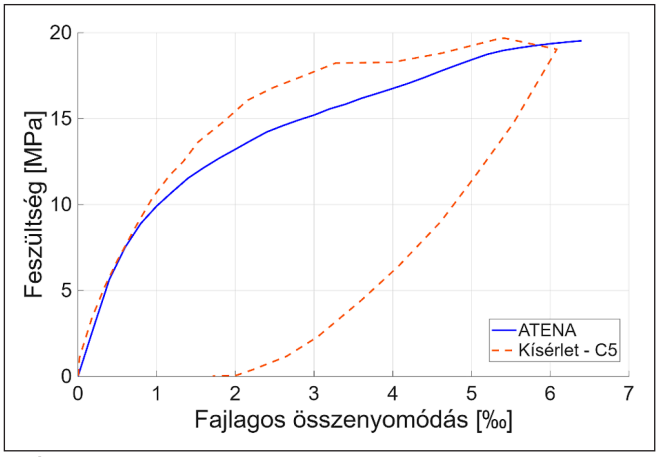
A modellt 18 különböző elemméret mellett futtattuk, ahol a legritkább 25 mm, a legsűrűbb 1,39 mm élhosszúságú végeselemekkel rendelkezett. A 4. ábra alapján megfigyelhető, hogy a háló sűrűségének növelésével az eredmények fokozatosan egy adott feszültség-eltolódás görbéhez konvergálnak. A számítási idő és a numerikus konvergencia együttes figyelembevételével az optimális hálósűrűséget 2,5 mm-es elemél-hosszban határoztuk meg, amelyet a tégla és habarcs próbatestek modelljeiben alkalmaztunk. A teljes falazati modellt azonban – a számítási kapacitás és az elemzésekre rendelkezésre álló idő korlátai miatt – 10 mm-es végeselemekkel hoztuk létre, mely esetén a feszültségek hozzávetőlegesen 40%-kal térnek el az optimális 2,5 mm-es elemmérethez képest. Ez a hálósűrűség kompromisszumként

4. ábra: Különböző hálósűrűségekhez tartozó feszültség-eltolódás görbék

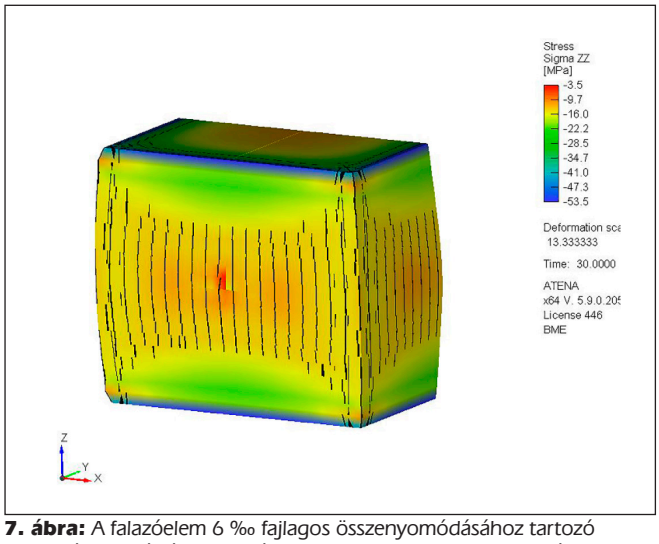


5. ábra: Különböző hálósűrűségekhez tartozó futtatási idők





6. ábra: Falazóelem numerikus és kísérleti feszültség-alakváltozás görbéi



7. ábra: A falazóelem 6 ‰ fajlagos összenyomódásához tartozó feszültségeloszlás és deformált alak a numerikus modell alapján

szolgált a részletesség és a futtathatóság között. A különböző hálósűrűségekhez tartozó futtatási idők összehasonlítása az 5. ábrán látható, ahol a kiválasztott végeselemméret érték piros színnel van kiemelve.

Elemeztük az optimális 2,5 mm elemméret mellett futatott modell eredményeit. A deformált alakban (7. ábra) jól megfigyelhető a harántkontrakció, valamint a függőleges, egymáshoz közeli repedések megjelenése. A terhelés növekedésével az anyag egyre jobban repedezik és kialakul a jellegzetes „homokóra” alak, amely a tönkremenetel jellemző formájára utal. Ez azt jelzi, hogy a numerikus modell jól követi a valós tönkremenetel jellegét. A nyomószilárdsági paraméter kalibrálását követően az 6. ábrán látható egyezés volt elérhető a számított és mért feszültség-összenyomódás görbék között.

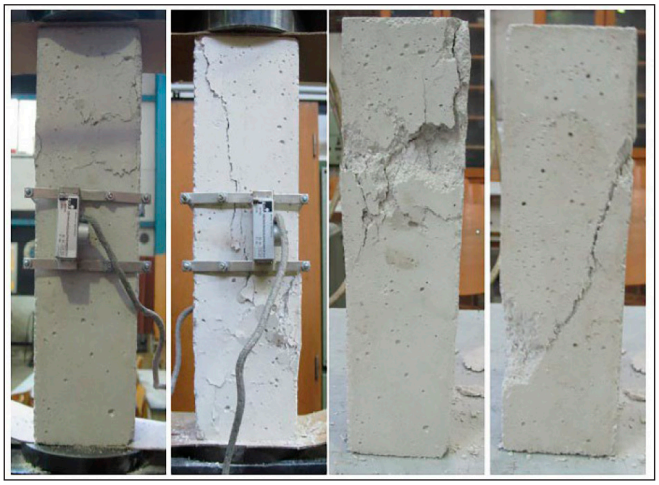
Az összehasonlításhoz két kísérleti görbe állt rendelkezésre, melyek két különböző próbatesthez (A5, C5 jelű) és az anizotropiát figyelembe véve különböző terhelési irányokhoz tartoznak (A – gyártási iránnyal megegyező, C – gyártási irányhoz képest oldalirányú). Az összehasonlítás során az A5 jelű kísérleti görbe alakja rendellenes volt, ezért azt kizártuk a vizsgálatainkból. A C5 jelű görbe alakja megfelelő, viszont az olyan méréshez tartozik, ahol a próbatest harántirányban volt terhelve. Ezért az összehasonlítás nem teljesen reprezentatív és a kevés rendelkezésre álló adat miatt további kísérleti eredményekre van szükség a későbbiekben a numerikus modell részletes validálásához. Ezt önálló kutatás formájában tervezzük elvégezni.

3.2. Habarcs próbatest numerikus modellje

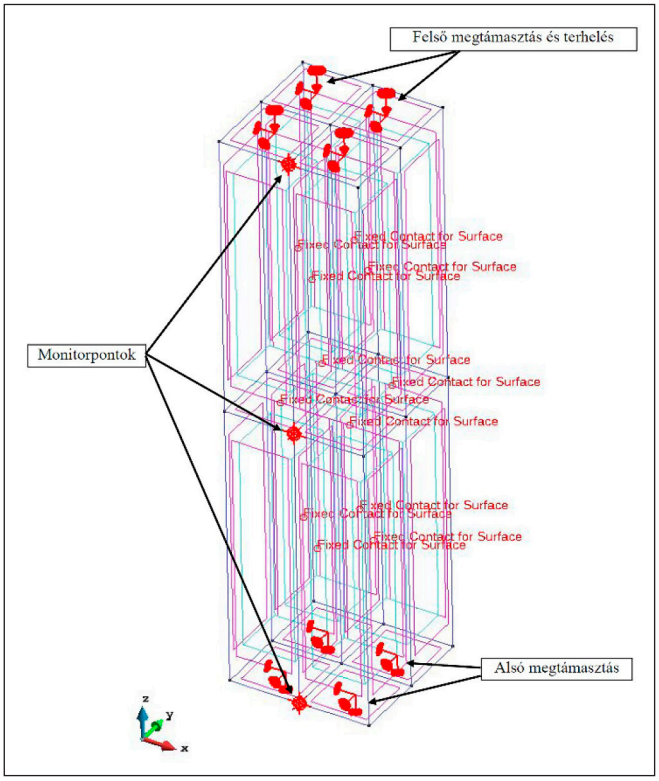
A vizsgálat során egy egytengelyű nyomással terhelt, 40 mm × 40 mm × 160 mm méretű habarcs próbatestet modelleztünk. Ez illeszkedik Fódi (2011) laborkísérletéhez, ahol hidraulikus préssel vizsgált habarcs próbatesteket és nyúlásmérő bélyegekkel rögzítette az alakváltozásokat. A modellépítés metódusa megegyezik a téglánál alkalmazott technikával, azzal a kivétellel, hogy nem alkalmaztunk szimmetriabeállításokat, az egész próbatestet modelleztük. Az eltolódások és feszültségek mérésére szolgáló monitorpontok – a kísérleti elrendezésnek megfelelően – a próbatest oldalára kerültek elhelyezésre, a próbatest felső, alsó és középső síkjában (9. ábra), majd a mért feszültségi értékek átlagát ábrázoltuk a fajlagos összenyomódás függvényében (10. ábra).

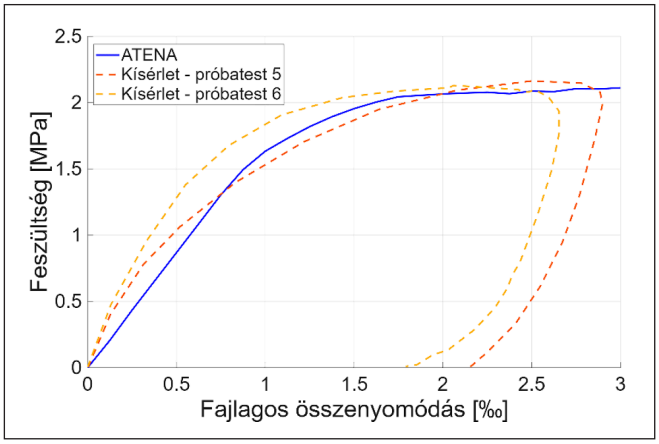
A 3 ‰ fajlagos összenyomódásnál eredményül kapott feszültségeloszláson és deformált alakon látható (11. ábra),

8. ábra: A laborkísérlet során vizsgált habarcs próbatest és annak tönkremenetele (Fódi 2011)

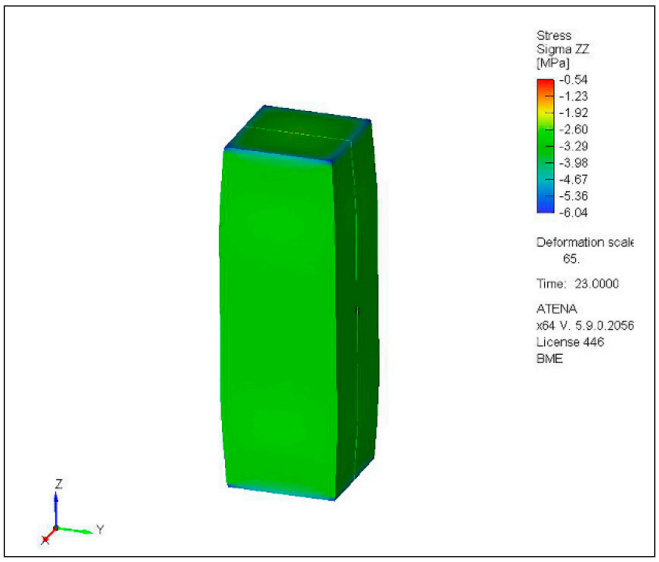


9. ábra: Habarcs próbatest numerikus modelljének peremfeltételei és monitorpontok





10. ábra: A habarcs próbatest numerikus és kísérleti feszültség-alakváltozás görbéi



11. ábra: A habarcs próbatest numerikus modelljének 3 ‰ fajlagos összenyomódásához tartozó feszültségeloszlás és deformált alak

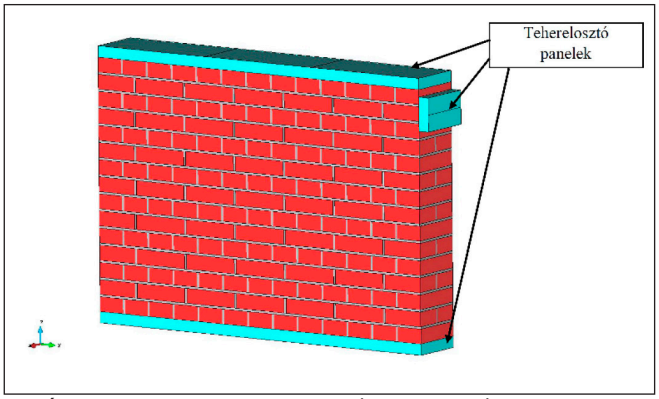
hogy az elem harántirányokban kontrahál és a függőleges normálfeszültség közel konstans a térfogat mentén. Repedések ezen összenyomódás mellett nem alakultak ki.

A valós viselkedéshez való jobb illeszkedés érdekében a nyomószilárdság kalibrálásra került. Ezáltal a 10. ábrán látható eredményre jutottunk, melyen megfigyelhető, hogy a numerikusan kapott görbe műszaki szempontból jól közelíti a kísérleti eredményeket. A numerikus modell jól követi a kezdeti lineáris szakaszt és a merevség csökkenése is hasonló mértékben következik be, valamint a teherbírás jó egyezést mutat a kísérleti adatokkal.

3.3. *Síkbeli falazat numerikus modellje*

Az elemi modellek után sor került egy síkbeli falazat vizsgálatára, ahol egy olyan méretű fal numerikus modelljét építettük fel, mely mind geometriájában, mind terhelésében megegyezik azzal az elrendezéssel, melyet Fódi (2011) vizsgált laborkísérletei során (13. ábra). Így a kapott numerikus eredmények közvetlenül összehasonlíthatóak voltak a valós viselkedéssel.

A korábbi numerikus modellek alapján kalibrált anyagjellemzőkkel vizsgáltuk a falszerkezetet, csak függőleges terhelés, valamint függőleges és vízszintes terhelés együttes hatására. A tégla és a habarcs közti interface elemek tulajdonságait, köztük a kohéziót, a súrlódási szöget és a



12. ábra: A falazat numerikus modelljének elrendezése



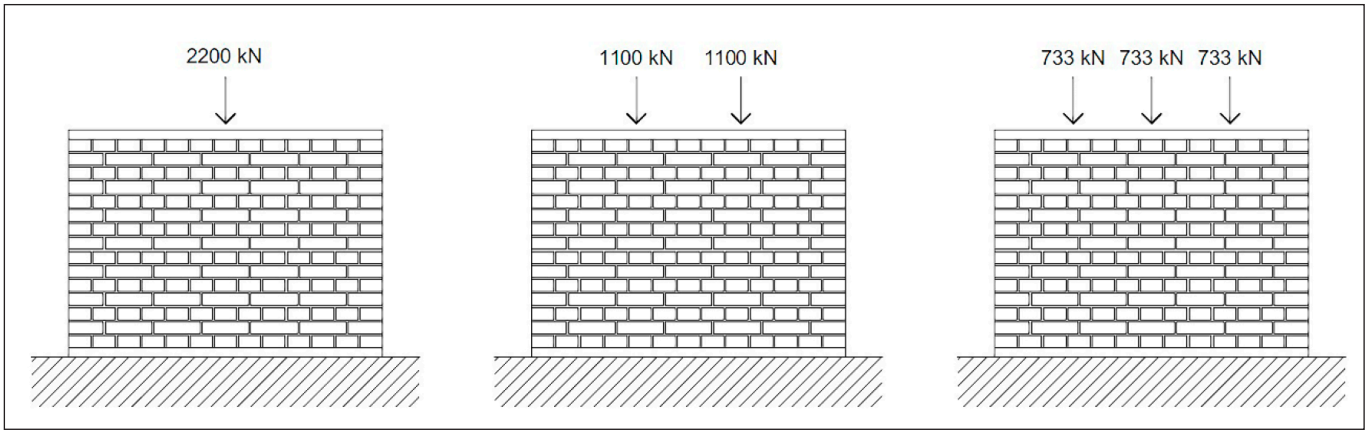
13. ábra: Téglafalazat laborkísérlet (Fódi 2011)

kapcsolat húzószilárdságát a Fódi (2011) által mért kísérleti értékek alapján vettük fel. Kialakítását tekintve a fal tömör kisméretű (120 mm × 250 mm × 65 mm) téglákból és 10 mm vastagságú habarccsal kitöltött fekvő és állóhézagokból épül fel. A fal vastagsága 25 cm, szélessége 168 cm és magassága 111,5 cm, ahol a téglák blokk-kötésben vannak elrendezve.

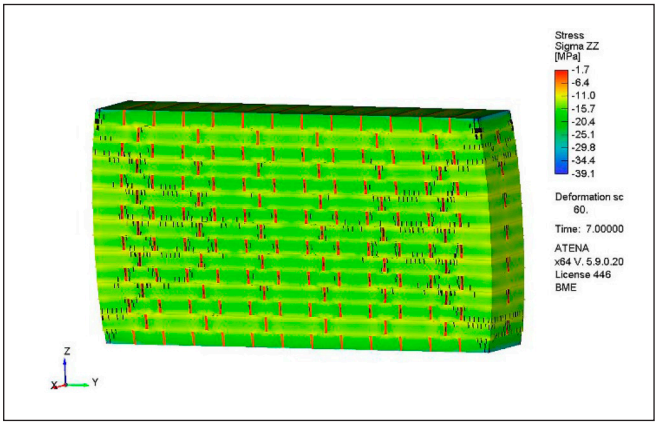
A terhek kvázi-merev teherelosztó lemezeken keresztül adódnak át a falazatra, melyek a fal tetejéhez, aljához, illetve vízszintes terhelés esetén a fal oldalán a felső három téglasorhoz csatlakoznak (12. ábra). Ezen lemezeket lineárisan rugalmas anyagként modelleztük, ahol a rugalmassági modulus értéke 2×10^{10} N/mm^2 volt.

Első körben azt elemeztük, hogy a függőleges koncentrált terhek száma és pozíciója milyen hatással van az eredményekre. Összesen 2200 kN terhet vittünk fel a szerkezetre három különböző elrendezésben: 1 db erő középen, 2 db erő a harmadolópontokban és 3 db erő a negyedelőpontokban (14. ábra). Az eredmények azt mutatták, hogy az eltérő teherelrendezések nem okoztak lényeges különbséget a viselkedésben, mivel a modellben alkalmazott teherelosztó lemezek kellően merevnek bizonyultak, így a terhelés egyenletesen oszlott el a fal teljes szélességén.

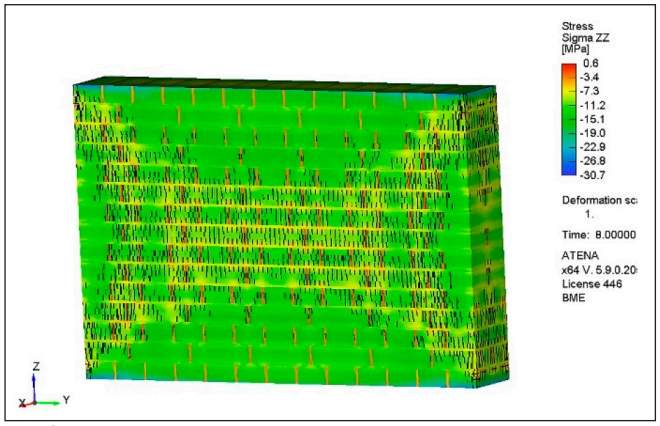
Ezt követően vizsgáltuk a modell tönkremenetelét a harmadolópontokban elhelyezett két darab koncentrált függőleges teher hatására. A numerikus terhelést eltolódásteherként definiáltuk, mely 0,5 mm-es teherlépcsőkben történt. Általánosságban elmondható, hogy a numerikus számítás eredményei jellegükben jól tükrözik a valós viselkedést. A deformációból látszik, hogy a nyomás hatására kialakul a harántkontrakció (15. ábra). A függőleges irányban értelmezett normálfeszültség eloszlása a fal keresztmetszete mentén közel konstans, a függőleges fugák mentén a teher nem adódik át, az ott mért feszültségek gyakorlatilag nulla értékűek.



14. ábra: Vizsgált függőleges terhelési esetek



15. ábra: Feszültségeloszlás, repedéskép és deformált alak a tönkremenetel helyén függőleges falterhelés esetén

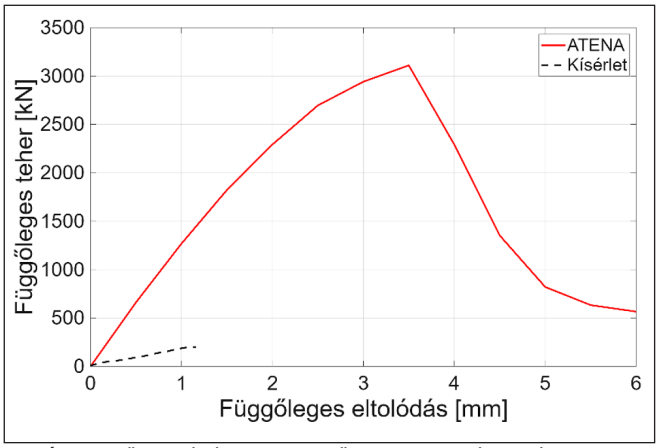


16. ábra: Repedéskép és feszültségeloszlás, 4 mm függőleges eltolódás mellett

A teherbírási csúcs elérése előtt csak kismértékű repedésképződés figyelhető meg, döntően a habarcsban. A téglában a teherbírási csúcs közelében indul meg a repedések kialakulása, majd a csúcs után ezek száma hirtelen megnő. Ezeket a repedéseket a 16. ábra mutatja be a tönkremenetel utáni állapotban, 4 mm-es függőleges eltolódás mellett. A téglában létrejövő repedések egymáshoz közel helyezkednek el és jellemzően függőleges irányúak, mely megfelel a nyomási tönkremenetel esetén várható repedéseknek.

A függőlegesen terhelt falazat erő-eltolódás görbéjét összehasonlítottuk a kísérleti eredménnyel (17. ábra), ahol a téglafalazatot a teherbírásnál jelentősen kisebb, mindösszesen 200 kN monoton növekvő terhelésnek vetették alá (Fódi, 2011). Ebben a tartományban a szerkezet viselkedése még lineárisan rugalmasnak tekinthető.

Összehasonlítottuk a numerikus modellből kapott, és az EN 1996-1-1 szabvány alapján végzett kézi számításból kapott



17. ábra: Erő–eltolódás görbe függőleges falterhelés esetén

teherbírási értékeket (1. táblázat), melyből az derült ki, hogy a numerikus számítás alapján a szerkezet a szabványos értéknél lényegesen nagyobb teherbírással rendelkezik, és lényegesen merevebb viselkedést mutat. Ez következhet a numerikus modell pontatlanságából, mely adódhat az anyagi paraméterek nem megfelelő felvételéből, a modell idealizálásából (pl. tökéletes tapadás, anyaghibák és az elemek heterogenitásának elhanyagolása), valamint abból, hogy a teherelosztó lemezek és a falazat között tökéletes kapcsolatot feltételez a modell. Ez utóbbi teljes mértékben gátolja a fal deformációját a támasz mentén.

Emellett a szabványos makro-szintű vizsgálat pontatlansága is hozzájárulhat az eltéréshez.

A valós viselkedés pontosabb leképezése érdekében szükség lenne az említett hatások részletes vizsgálatára.

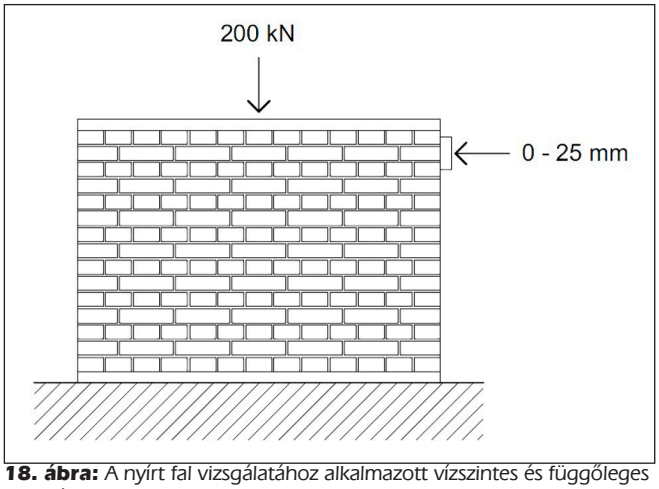
1. táblázat: Nyomási teherbírás értékek – az EN 1996-1-1 szabvány és numerikus számítás alapján (viszonyítási alap a szabvány szerinti érték)

Számítási módszer	Falazat teherbírása nyomásra [kN]	Eltérés [%]
EN 1996-1-1	2147	-
Numerikus	3111	44,9

A falazat nyírási viselkedését is vizsgáltuk 200 kN állandó függőleges teher mellett (18. ábra). A vízszintes terhet a jobb felső sarokban a fal síkjával párhuzamosan működtettük.

Az eredményül kapott vízszintes erő-eltolódás görbén (19. ábra) megfigyelhető, hogy a görbe kezdeti szakasza lineáris, majd kb. 135 kN nagyságú vízszintes erő fölött jelennek meg repedések.

A numerikus modellezéssel kapott deformációs ábrák



18. ábra: *A nyírt fal vizsgálatához alkalmazott vízszintes és függőleges terhelés*

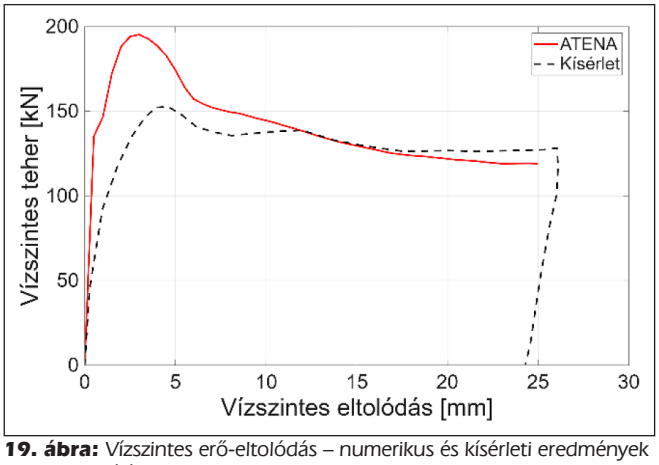
alapján megállapítható, hogy a kezdeti szakasz – a teherbírási maximumig – kvázi lineáris, majd ezt követően a falban fokozatosan alakulnak ki az átlós irányultságú repedések (20. ábra). A legnagyobb vízszintes erőhöz tartozó eltolódás kb. 3 mm, ekkor a vízszintes teher értéke 195 kN. Ezt követően a repedések száma és megnyílása fokozott ütemben növekszik. A fal felső terhelt része a vízszintes fúgákkal párhuzamosan megcsúszik (21. ábra). A modell viselkedését összehasonlítva a kísérleti görbével (19. ábra) megállapítható, hogy a numerikus görbe jellege megegyezik a kísérleti eredmények jellegével. A detektált és számított eltolódások és megváltozásuk jellege nagyon jó egyezést mutat. Számottevő eltérés a legnagyobb felvett erő nagyságában látható. A numerikus modell a fal által felvett legnagyobb nyíróerőt kissé túlbecsüli (21 %) és a kezdeti szakaszban kissé merevebb viselkedést mutat. Erre a magyarázat feltehetőleg összefüggésben van a nyomott falnál is említett érvekkel, tehát a numerikus modell ideális szerkezetet feltételez, nem veszi figyelembe az anyagi és geometriai imperfekciókat, illetve a kivitelezési hibákat.

A repedések jellemzően a tégla-habarcs kapcsolat mentén alakulnak ki, ahogyan az a kísérletek során is történt. A 2. táblázatban összehasonlítottuk a kísérleti, a numerikus modell és az EN 1996-1-1 szabvány alapján végzett kézi számítás során kapott teherbírási értékeket, a nyírt falazatra vonatkozóan. A numerikus modell kissé túlbecsüli a falazat nyírási teherbírását (195 kN), akárcsak az EN 1996-1-1 szabvány, amely 164 kN-t ad meg, a ténylegesen mért nyírási teherbírást (154 kN) helyett. Az eltéréseket vélhetően a ténylegesen beépített anyagok (falazóelem, habarcs) alacsonyabb anyagjellemzői és a falazás kissé gyengébb minősége okozhatja. A falazat numerikus modelljében alkalmazott anyagjellemzők az egyedi laborvizsgálatok alapján lettek felvéve, mert azok álltak rendelkezésre.

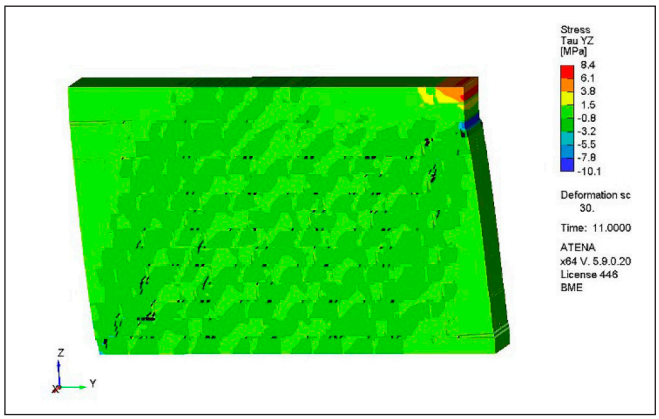
2. táblázat: *Nyírási teherbírás értékek – EN 1996-1-1 szabvány, kísérlet és numerikus számítás alapján (viszonyítási alap a kísérleti érték)*

Számítási módszer	Falazat teherbírása nyírásra [kN]	Eltérés [%]
Kísérleti	154	-
EN 1996-1-1	164	6,1
Numerikus	195	21,0

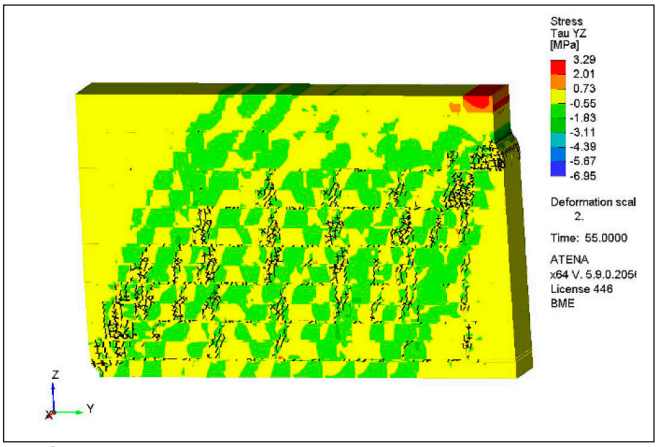
A numerikus modell viselkedése, így a nyírási repedések kialakulása és terjedése, a szerkezet deformációi, valamint a tönkremenetelhez tartozó vízszintes erő utáni merevségcsökkenés jó egyezést mutat a kísérleti megfigyelésekkel.



19. ábra: *Vízszintes erő-eltolódás – numerikus és kísérleti eredmények összehasonlítása*



20. ábra: *Nyírási deformáció és feszültségeloszlás a nyírt fal tönkremenetelénél*



21. ábra: *A fal deformációja és feszültségeloszlása a nyírási tönkremenetel után*

4. KONKLÚZIÓK

Jelen kézirat egy a falazott szerkezetek összetett viselkedésének numerikus modellezését célzó kutatás első lépéseként kerül publikálásra. A kutatás kezdeti fázisának célja annak bemutatása, hogy az eredetileg beton modellezésére kidolgozott anyagmodellek alkalmassá tehetők téglaszerkezetek vizsgálatára, illetve a komplex viselkedés és tönkremenetel műszakilag jó közelítésére. Nemlineáris végeselemmódszer (VEM) segítségével, ATENA szoftverkörnyezetben vizsgáltunk egy laboratóriumi körülmények között korábban vizsgált falazatot, illetve annak alkotóelemeit. A kapott numerikus eredményeket összehasonlítottuk a rendelkezésre álló laboratóriumi kísérletek eredményeivel. Az egyedi téglaelem és habarcs próbatestek numerikus modelljei műszaki szempontból jól közelítik a valós viselkedést,

különösen a feszültség-alakváltozás görbék jellege és a deformációk mutatnak jó egyezést a kísérleti eredményekkel, az eltérés kisebb, mint 10%. Az ún. reprezentatív térfogatnál nagyobb méretű falazat esetében a szerkezet globális válasza, detektált eltolódásai és a kialakult repedések jellege jól tükrözik a kísérleti eredményeket. Az eltérések szintén kisebbek, mint 10%. A numerikus modell kissé ugyan túlbecsüli (~19%) a vizsgált falazat merevségét és nyírási teherbírását, azonban ezt a ténylegesen beépített anyagok (falazóelem, habarcs) alacsonyabb anyagjellemzői és a falazás kissé gyengébb minősége okozhatja. A falazat numerikus modelljében alkalmazott anyagjellemzők az egyedi laborvizsgálatok alapján lettek felvéve, mert azok álltak rendelkezésre. További részletes és a pontosabb anyagjellemzők leírását célzó laborvizsgálatok elvégzésére van szükség, melyek a kutatási folyamat következő lépésében történnek meg tervezetten. Az eredmények alapján ugyanakkor egyértelműen megállapítható, hogy az alkalmazott anyagmodellek a falazott szerkezetek még pontosabb numerikus analízisére képessé tehetők. A kutatás jelenlegi fázisa rávilágít arra, hogy a falazatok mikro-szintű, nemlineáris VEM analízisének legfőbb korlátját a pontos anyagi paraméterek meghatározása jelenti. Célunk a paraméterekre vonatkozó numerikus érzékenységvizsgálatok elvégzése és azok kísérleti alapú meghatározása, majd a kísérleti eredményekkel igazolt, mérnöki szempontból kellően pontos mikro-szintű numerikus modellezés és a makro-szintű szabványos modellezés közötti eltérés felkutatása.

HIVATKOZÁSOK

Červenka, V., Jendele, L., Červenka, J. (2022), „ATENA Program Documentation Part 1, Theory," Červenka Consulting s.r.o.

Fódi A. (2011), „Experimental and numerical investigation of reinforced and plain masonry walls," PhD Disszertáció, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Hordijk, D. A. (1991), „Local Approach to Fatigue of Concrete," Doctor dissertation, Delft University of Technology, The Netherlands.

Mier, J. G. M. van (1986), „Multiaxial strain-softening of concrete," Materials and Structures, vol. 19, pp. 190–200.

Roszevák Zs. (2023), „Numerical and Experimental Analyses of Different cast-in-situ Reinforced Concrete Connections under Spatial Cyclic Loads," PhD Disszertáció, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Eurocode 6 (2005), „Design of Masonry Structures," EN 1996-1-1.

Naciri K., Aalil I., Chaaba A., Al-Mukhtar M. (2022), „Numerical modeling of a masonry arch structure," ICSI 2021 The 4th International Conference on Structural Integrity.

Chen S. (2024), „Discrete element analysis of historic masonry vaults and domes," PhD disszertáció, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Romano A., Grande E. (2008), Masonry barrel vaults: influence of the pattern," in Proc. of the 14th World Conference on Earthquake Engineering.

D. Darwin, D. A. W. Pecknold, (1974) „Inelastic Model for Cyclic Biaxial Loading of Reinforced Concrete, Civil Engineering Studies," University of Illinois, July.

CEB-FIP Model Code 1990, First Draft, Comittee Euro-International du Beton, Bulletin d'information No. 195,196, Mars.

F. J. Vecchio, M. P. Collins, (1986), „Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Beams Subjected to Shear," ACI Journal, Proc. V.83, No. 2, Mar-Apr., pp 219-231.

V. Cervenka, (1985), „Constitutive Model for Cracked Reinforced Concrete," Journal ACI, Proc. V.82, Nov-Dec., No.6,pp. 877-882.

M. A. Crisfield, J. Wills, (1989), „The Analysis of Reinforced Concrete Panels Using Different Concrete Models," Jour. of Engng. Mech., ASCE, Vol 115, No 3, March, pp.578-597.

D'altri A. M., Sarhosis V., Milani G., Rots J., Cattari S., Lagomarsino S., Sacco E., Tralli A., Castellazzi G., Miranda S. D. (2020), Modeling strategies for the computational analysis of unreinforced masonry structures: review and classification," Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 27, pp. 1153-1185.

Farkas Tibor Szilveszter (1997), építészmérnök (2021), szerkezet-építőmérnök MSc (2025), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Hidak és Szerkezetek Tanszék PhD hallgatója. Fő érdeklődési területei: tégla és falazott szerkezetek viselkedésének vizsgálata, illetve numerikus modellezése.

Haris István (1980), okleveles építőmérnök (2004), PhD (2013), egyetemi docens a BME Hidak és Szerkezetek Tanszéken. Fő érdeklődési területei: tégla és vasbeton merevítő elemek, csomópontok viselkedésének vizsgálata, illetve numerikus modellezése földrengés hatásra. A Magyar Mérnöki Kamara tagja. A fib Magyar Tagozat tagja.

Roszevák Zsolt (1991) okleveles építőmérnök MSc. (2016), PhD (2024), egyetemi adjunktus a BME Hidak és Szerkezetek Tanszéken. Fő érdeklődési területei: Fal-födém típusú monolit vasbeton kapcsolatok kísérleti és numerikus vizsgálata. A Magyar Mérnöki Kamara tagja. A fib Magyar Tagozat tagja.

ANALYSIS OF SHEARED MASONRY USING NONLINEAR FINITE ELEMENT CONTINUUM MODEL

Tibor Szilveszter Farkas, István Haris, Zsolt Roszevák

Numerical modelling of masonry is a complex task due to its heterogeneous composition and nonlinear behaviour. The goal of this article is to introduce the micro-level finite element analysis of masonry structures using a three-dimensional nonlinear finite element software originally developed for reinforced concrete structures. The aim is to evaluate whether the provided concrete material model can accurately reproduce the mechanical response of masonry under compressive and shear loading. The numerical results were compared to experimental data, focusing on the deformation, crack patterns and load-bearing capacity. The study highlights the potential of the method and the current limitations of micro-modelling, particularly its high computational demand. The findings support the use of the adapted concrete material model in the analysis of masonry structures and lay the foundation for further improving the method toward practical engineering applications. This study serves as the foundation for our future studies where we intend to analyse how the unique characteristics of the components effect the structural system as well as to formulate recommendations and instructions regarding design and numerical modelling.

ACI–*fib*–RILEM FRC – UHPFRC Workshop

Fibre Reinforced Concrete – From Design to Structural Applications

Budapest, 28–30 September 2026

https://doi.org/10.32969/VB.2026.2.3

The **ACI–fib–RILEM FRC–UHPFRC Workshop**, entitled *Fibre Reinforced Concrete – From Design to Structural Applications*, will be held in Budapest from **28 to 30 September 2026**. The prestigious international event will be hosted by the **Budapest University of Technology and Economics (BME), Faculty of Civil Engineering**, and organized in cooperation with three leading international professional organizations: the **American Concrete Institute (ACI), the Fédération Internationale du Béton (*fib*), and RILEM**.

The workshop will focus on the latest developments in **fibre reinforced concrete (FRC) and ultra-high-performance fibre reinforced concrete (UHPFRC)**, covering their research, design and structural applications. A major objective of the event is to strengthen cooperation among the ACI, *fib* and RILEM technical communities, to promote the harmonization of design rules, and to contribute jointly to the development of future code specifications in this rapidly developing field.

The technical scope of the workshop covers a broad range of current issues related to fibre reinforced concrete. Major topics include **design specifications and standards, enhanced material behaviour and modelling, and enhanced structural behaviour and modelling in reinforced and prestressed concrete members**. Structural applications will include **buildings, bridges, foundations, tunnels, prefabricated structures and concrete industrial floors**. Particular attention will also be given to **sustainability, durability and serviceability**, including life cycle assessment, cracking behaviour and crack widths. Further topics comprise the long-term behaviour of FRC, including shrinkage, creep and fatigue, as well as applications under **fire, impact and blast loading**. The workshop will additionally address **retrofitting and strengthening of existing structures**, and the use of fibres in new types of concrete and **3D-printed concrete structures**.

The Budapest workshop continues a long-standing tradition of international FRC events. Its recent predecessors include the workshops held in **Montreal, Canada (2014), Desenzano, Italy (2018), and Tempe, Arizona, USA (2023)**. These events have provided important forums for bringing together researchers and practitioners working on fibre reinforced concrete, from fundamental material research and structural modelling to design methodologies and practical applications. The history of the series goes back even further: an International Workshop on Advances in Fibre Reinforced Concrete was organized in Bergamo, Italy, in 2004, while an early international conference on fibre reinforced concrete was already held in **Budapest in 1999**, organized by György L. Balázs.

The **Scientific Committee** includes internationally recognized experts in the field, among them **Marco di Prisco, Giovanni Plizzari, Bruno Massicotte, Jean-Philippe Charron, Fausto Minelli and Barzin Mobasher**, together with prominent Hungarian experts **György L. Balázs, Sándor Sólyom and Kálmán Koris**. The broad international participation of researchers and professionals from Europe, North and South America, Asia, Africa and Australia underlines the global character of the workshop and its relevance to the international concrete engineering community.

An important outcome of the workshop will be a **joint publication in the *fib* Proceedings Series**, planned for Scopus indexing, together with an **ACI Special Publication**. A summary of the workshop results will also be prepared for RILEM. In addition, the scientific quality of the contributions will be recognized through awards for the best presentations, to be presented during the closing ceremony.

The venue, the **Budapest University of Technology and Economics**, is Hungary's leading technical university, with a history extending back more than 240 years. Its Faculty of Civil Engineering provides an appropriate academic setting for this international meeting of researchers, designers, manufacturers, contractors and other professionals involved in the development and application of advanced fibre reinforced concrete technologies.

The **ACI–fib–RILEM FRC–UHPFRC Workshop** will provide an excellent opportunity for the international concrete engineering community to exchange knowledge and experience on the rapidly evolving field of fibre reinforced concrete. By bringing together leading researchers, practising engineers, industry representatives and experts involved in codes and standards, the workshop aims to strengthen the link between **research, design and structural applications**, and to contribute to the wider and more effective use of FRC and UHPFRC in future concrete construction.

Further information:
ACI–*fib*–RILEM FRC–UHPFRC Workshop 2026
Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Civil Engineering
Website: https://frcworkshop2026.bme.hu
E-mail: frcworkshop2026@emk.bme.hu

ACI-*fib* -RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest - Tentative Programme		
Time	**Sunday** **27 September**	**Monday** **28 September**
9:00		**Opening Ceremony, 1st floor, room 3 (K.I.3)** - **Opening speech:** *György L. Balázs, Sándor Sólyom, Kálmán Koris (30 min)* - **Awards ceremony:** *Horst Falkner, Bruno Massicotte, Horst Falkner, Antoine E. Naaman, Hans W. Reinhardt (4x10 min)* - **Giovanni Plizzari:** *Presentation of Co-sponsors: ACI, fib and RILEM (20 min)*
9:30		
10:00		
10:30		Coffee break (30 min)
11:00		**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 4x30 min** - **Agnieszka Bigaj van Vliet:** *Empowering Sustainable Concrete Solutions with Future-Oriented Standards* - **Marco di Prisco:** *Fibre Reinforced Concrete: what we know and what we do not know* - **Giovanni A. Plizzari:** *Fiber orientation in FRC: a problem or an opportunity?* - **Barzin Mobasher:** *Key Elements of Efficiency and Toughening in the Serviceability-Based Design of Hybrid FRC Structures*
11:30		
12:00		
12:30		
13:00	Lunch (60 min)	Lunch (60 min)
13:30		
14:00	***fib*** **TG 4.1**	**28.1.A - Structural applications I. 1st floor, room 3. (4x20 min)** Chiara Gaddi, Matteo Colombo, Marco Di Prisco: *Design of post-tensioned SFRC elevated slabs* Luca Facconi, Fausto Minelli, Andrea Pasetto, Giovanni Plizzari: *Behaviour of a precast steel fiber reinforced concrete thin-walled box structure subjected to cyclic loading* Chidchanok Pleesudjai, Martins Suta, Devansh Patel, Xavier Destree, Gregor Daniel Fischer, Barzin Mobasher: *Distributed Fiber Optic Monitoring in Full-Scale Fiber Reinforced Composite Decks* Péter Károly Juhász, **Anna Bencze**, Márton Kispál: *Jointless industrial floor using synthetic macro fibre-reinforced concrete: a Hungarian case study*
14:30		
15:00		
15:30	Coffee break (30 min)	Coffee break (30 min)
16:00	***fib*** **TG 4.1**	**28.2.A - Structural applications II. 1st floor, room 3. (4x20 min)** Simone Niccolaini, **Paolo Martinelli**: *Validation and application of a modified damage plasticity model for fibre-reinforced concrete structures* **Kiran Dabral**, Silvia Ientile, Jean-Claude Renaud, Saint-Ange Billo, Damien Suray-Faure, Philippe Robit, François Toutlemonde: *Shear strength of SFRC hollow bricks without reinforcement: A Review and Preliminary Analysis* **Bruno Rossi**, Sebastien Wolf: *Świnoujście tunnel, the largest diameter steel fibre-reinforced road tunnel in Europe* Eneas Dosantos, **Victoria Olivera**, Sofia Martínez, Luis Segura-Castillo: *Case Study on the Application of ASTM F2322 to Precast FRC Panels in a Detention Facility*
16:30		
17:00		
17:30		
18:00	**Welcome drink**	**Technical excursion: Visit of Puskás Museum and Arena**
18:30		
19:00		
19:30		
20:00		
20:30		
21:00		
21:30		

ACI-fib-RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest - Tentative Programme	
Time	**Monday** **28 September**
9:00 9:30 10:00	**Opening Ceremony, 1st floor, room 3 (K.I.3)** - **Opening speech:** *György L. Balázs, Sándor Sólyom, Kálmán Koris (30 min)* - **Awards ceremony:** *Horst Falkner, Bruno Massicotte, Horst Falkner, Antoine E. Naaman, Hans W. Reinhardt (4x10 min)* - **Giovanni Plizzari:** *Presentation of Co-sponsors: ACI, fib and RILEM (20 min)*
10:30	Coffee break (30 min)
11:00 11:30 12:00 12:30	**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 4x30 min** - **Agnieszka Bigaj van Vliet:** *Empowering Sustainable Concrete Solutions with Future-Oriented Standards* - **Marco di Prisco:** *Fibre Reinforced Concrete: what we know and what we do not know* - **Giovanni A. Plizzari:** *Fiber orientation in FRC: a problem or an opportunity?* - **Barzin Mobasher:** *Key Elements of Efficiency and Toughening in the Serviceability-Based Design of Hybrid FRC Structures*
13:00 13:30	Lunch (60 min)
14:00 14:30 15:00	**28.1.B - Fibres in new types of concretes I. 1st floor, room 95. (4x20 min)** Filippo Medeghini, Ivan Trabucchi, Giulia Brentana, Giuseppe Tiberti, Giovanni Plizzari, Peter Mark: *Optimization of Fiber Orientation in Steel Fiber Reinforced Concrete by Robotic Extrusion* Giulia Brentana, Ivan Trabucchi, **Stefano Guanziroli**, Giuseppe Tiberti, Giovanni Plizzari: *Hybrid Steel Fibre Reinforced Concrete based on calcium sulfoaluminate binder for precast tunnel segment production* Diego Carro-Lopez, Belén González-Fonteboa, Carolina Matínez-García: *Textile waste as reinforcement fiber for construction panels* Shunyang Yao, Min Zhou, Doo-Yeol Yoo, Behzad Nematollahi: *Reducing Cost and Environmental Footprint of 3D-Printed UHPC Using Recycled Tire Steel Fibers*
15:30	Coffee break (30 min)
16:00 16:30 17:00	**28.2.B - Fibres in new types of concretes II. 1st floor, room 95. (4x20 min)** **György L. Balázs**, Wisam K. Tuama, Oscar Pfeffermann, Gábor Kardos, Salem Nehme, Sándor Sólyom: *Fibres with no orientation* **Christian U. Grosse**, Oliver Fischer, Malte A. Peter, Dirk Volkmer: *Additively manufactured carbon short-fiber reinforced concrete – non-destructive testing to investigate deteriorations under fatigue* **Laura Rossi**, Maria Paula Zappitelli, Ravi Patel, Frank Dehn: *Design tool for alkali-activated slag-based concrete incorporating single (3D) and multiple (4D, 5D) hooked-end steel fibres* Ángel De La Rosa Velasco, Gonzalo Ruiz López, Jesús Rodríguez Pérez: *Energy-based evaluation of ductility and toughness in fibre-reinforced self-compacting natural hydraulic lime concrete*
17:30	
18:00 18:30 19:00 19:30	**Technical excursion: Visit of Puskás Museum and Arena**
20:00 20:30 21:00 21:30	

ACI-fib-RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest – Tentative Programme	
Time	**Monday** **28 September**
9:00 9:30 10:00	**Opening Ceremony, 1st floor, room 3 (K.I.3)** - **Opening speech:** *György L. Balázs, Sándor Sólyom, Kálmán Koris (30 min)* - **Awards ceremony:** *Horst Falkner, Bruno Massicotte, Horst Falkner, Antoine E. Naaman, Hans W. Reinhardt (4x10 min)* - **Giovanni Plizzari:** *Presentation of Co-sponsors: ACI, fib and RILEM (20 min)*
10:30	Coffee break (30 min)
11:00 11:30 12:00 12:30	**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 4x30 min** - **Agnieszka Bigaj van Vliet:** *Empowering Sustainable Concrete Solutions with Future-Oriented Standards* - **Marco di Prisco:** *Fibre Reinforced Concrete: what we know and what we do not know* - **Giovanni A. Plizzari:** *Fiber orientation in FRC: a problem or an opportunity?* - **Barzin Mobasher:** *Key Elements of Efficiency and Toughening in the Serviceability-Based Design of Hybrid FRC Structures*
13:00 13:30	Lunch (60 min)
14:00 14:30 15:00	**28.1.C - Design specifications I. 1st floor, room 87. (4x20 min)** Viktor Gribniak, Aleksandr Sokolov: *Beyond superposition: Rethinking fiber bridging in concrete elements with bar reinforcement* **Simone Spagnuolo**, Alberto Meda, Benoit De Rivaz: *Quality Control of Steel Fibre-Reinforced Concrete: Traditional Method versus Innovative Approach* Mohammad Abu-Ahmad, Yuri Karinski, **Avraham N. Dancygier**: *Fibers distribution in concrete beams with rebars and steel fibers* Ingrid Lande, Guillem Rojas, Terje Kanstad: *Experiences from using Montevideo test for quality control of fibre-reinforced concrete*
15:30	Coffee break (30 min)
16:00 16:30 17:00	**28.2.C - Design specifications II. 1st floor, room 87. (4x20 min)** Malena Thomassen, Ingrid Lande: *Three-Point Bending Test of UHPFRC with Increased Aggregate Size and Variable Fibre Content* **Saeid Mehrpay**, Jelle Billiet, Jan Vorel, Daniele Pelessone, Eskinder Desta Shumuye, Tamon Ueda, Roman Wan-Wendner: *Exploring the potential of explicit steel fiber – lattice matrix coupling in high-fidelity simulation of steel-fiber-reinforced composites* **Benoit de Rivaz**, Nicolas Leclere: *Characterization of fiber-reinforced concretes activated at very early ages* Jiahui Feng, Wenyong Cai, **Lin Wan-Wendner**: *Lattice Discrete Particle Modeling of Steel Reinforced UHPFRC Members under Eccentric Loading*
17:30	
18:00 18:30 19:00 19:30	**Technical excursion: Visit of Puskás Museum and Arena**
20:00 20:30 21:00 21:30	

ACI-fib-RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest - Tentative Programme	
Time	**Tuesday 29 September**
9:00	**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 3x30 min** - **Jean-Philippe Charron**: *UHPFRC strengthening of bridge slabs - Towards a better understanding and prediction of failure mode under shear load* - **Joaquim A. O. Barros:** *fib Bulletin 117 – a contribution for the analysis and design of FRC structures* - **Pierre Clement Rossi**: *Eco-Resilient (ECORE) FRC Constructions*
9:30	
10:00	
10:30	Coffee break (30 min)
11:00	**29.1.A - Design specifications III. 1st floor, room 3. (6x20 min)** Joaquim Barros, Marcilio Filho: *Predictive performance of Eurocode 2 design recommendations for steel-fibre reinforced concrete structures* Bedirhan Enes Kelek, Olcay Gürabi Aydoğan, Duçem Medya Gündoğmuş, **Nilüfer Özyurt**: *Assessing Fiber Orientation and Mechanical Performance in UHPFRC: A Data-Driven Review and Machine Learning Study* Sören Faustmann, Oliver Fischer: *Validity check of punching shear design for steel fiber reinforced flat slabs with shear reinforcement based on new test results* Todd Clarke, Péter Schaul, Des Vlietstra: *Fibre-Reinforced Shotcrete Test Methods: Impact of the Application Process and Analytical–Numerical Correlations* Victoria Olivera, Carlos Aire, **Luis Segura-Castillo**: *Theoretical and Experimental Correlation Between ASTM C1609 and MVD Tests* **Péter Károly Juhász**: *A stochastic mixing model for fibre distribution in fibre-reinforced concrete and its implications*
11:30	
12:00	
12:30	
13:00	Lunch (60 min)
13:30	
14:00	**29.2.A - Structural applications III. 1st floor, room 3. (4x20 min)** Gustavo Parra-Montesinos, Osman Carrillo, Jose A. Pincheira: *Behavior of steel fiber-reinforced concrete structural walls with simplified detailing under reversed cyclic displacements* **Jan L. Vítek**: *Fibre reinforced concrete and UHPC; their application in structures* Efim Griniov, Rewi Sever, Dirk Schlicke: *Material saving potential by using Steel Fibre Reinforced Concrete for Industrial Floors* Wisam Alzweehm, **György L. Balázs**: *Improving punching shear capacity in flat slabs using SIFCON with 3D steel reinforcing elements*
14:30	
15:00	
15:30	Coffee break (30 min)
16:00	**29.3.A - Sustainability, Durability, Serviceability II. 1st floor, room 3. (4x20 min)** György L. Balázs, **Ronny Ramiro Almeida Vasquez**, **Jorge Luis Campoverde Abril**, Imre Kovács, Katalin Kopecskó: *Durability study of existing SFRC beams subjected to outdoor environmental conditions* Sébastien Wolf, Lionel Sofia, Beatrice Malchiodi, Karen Scrivener: *Mechanical and environmental performance of SFRC using fibres made of recycled and renewably produced steel and Limestone Calcined Clay Cement LC3* Muhammad Ali, Olivia Mirza, **Christophe Camille**, Fidelis Mashiri: *Mechanical performance of recycled PET fibre-reinforced concrete for sustainable construction* Guillem Rojas, Reignard Tan, Terje Kanstad: *Extension of the Simplified Modified Tension Chord Model to predict cracking and deformation in fibre reinforced concrete*
16:30	
17:00	
17:30	
18:00	
18:30	
19:00	**Banquet river cruise with dinner on the Danube**
19:30	
20:00	
20:30	
21:00	
21:30	

ACI-fib-RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest - Tentative Programme	
Time	**Tuesday** **29 September**
9:00	**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 3x30 min** - **Jean-Philippe Charron**: *UHPFRC strengthening of bridge slabs - Towards a better understanding and prediction of failure mode under shear load* - **Joaquim A. O. Barros:** *fib Bulletin 117 – a contribution for the analysis and design of FRC structures* - **Pierre Clement Rossi**: *Eco-Resilient (ECORE) FRC Constructions*
9:30	
10:00	
10:30	Coffee break (30 min)
11:00	**29.1.B - Fibres in new types of concretes III. 1st floor, room 95. (6x20 min)** Bojan Poletanovic, Farshad Ameri, Lukas Hausner, Ildikó Merta: *Experimental Investigation of Hemp Fiber-Reinforced Recycled Aggregate Mortar* Peter Czirak, Jaroslav Prokop: *Mechanical Performance of Concrete Reinforced with Recycled Tyre-Cord Fibres* Xiao Zhao, Mehdi Chougan, Ravi Ranade, Behzad Nematollahi: *Elevated temperature performance of 3D-printed low-carbon alkali-activated UHPC* Min Zhou, Maurizio Guadagnini, Behzad Nematollahi: *Reinforcing 3D-Printed Concrete with Sprayed SHCC Overlay: A Post-Printing Reinforcement Method* Mohammad Mohsin Khan, Subhan Ahmad, Faisal Mukhtar, Mohammed A. Al-Osta: *Curing Effect on Compressive Strength of UHPC Incorporating Copper Slag* Sándor Sólyom, Anna Szijártó, György L. Balázs: *Effect of steel fibre geometry and dosage on the mechanical and post-cracking behaviour of UHPFRC*
11:30	
12:00	
12:30	
13:00	Lunch (60 min)
13:30	
14:00	**29.2.B - Sustainability, Durability, Serviceability I. 1st floor, room 95. (4x20 min)** Chidchanok Pleesudjai, Devansh Patel, Barzin Mobasher: *Effect of Residual Tensile Strength on Drying Shrinkage Cracking in Fiber Reinforced Concrete Pavement* **Pierre Rossi**: *Modeling the compressive behavior and cracking process of plain concrete and fiber reinforced concrete* Abdallah Al Abri, Kazi Md Abu Sohel, Sherif El-Gamal, Khalifa Al-Jabri: *Performance of Date Palm Pedicel and Coir Fibre in Natural Fibre Reinforced Concrete for Sustainable Construction* **Krishnaa Subramanian**, Tom Molkens, Rutger Vrijdaghs: *Time-Dependent Deflection and Crack Width in Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams: A Review and Preliminary Experimental Results*
14:30	
15:00	
15:30	Coffee break (30 min)
16:00	**29.3.B - Structural applications IV. 1st floor, room 95. (4x20 min)** **Vellore S. Gopalaratnam**: *Rethinking Wearing Surfaces (WS) for Orthotropic Steel Deck Bridges – SFRC WS for Extending the Bridge Service Life* **Juan Navarro-Gregori**, Yeiner A. Gómez-Velásquez, Juan A. Mateu-Sánchez, Pedro Serna, José R. Martí-Vargas: *Evidence from slender beam tests on prestressed UHPC for lightweight, durable structures* Marco Antonio Carnio, **Viviane Visnardi Vaz**, Isabela Oliveira Duarte: *Fibre-Reinforced Concrete Pile-Supported Foundation Slab for a Building* Carlos Aire, Eneas Dosantos, **Luis Segura-Castillo**: *Behaviour of fibre reinforced concrete in industrial floors: Comparison between the Montevideo test and EN 14651 bending test for an on-site application*
16:30	
17:00	
17:30	
18:00	
18:30	
19:00	**Banquet river cruise with dinner on the Danube**
19:30	
20:00	
20:30	
21:00	
21:30	

ACI-fib-RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest - Tentative Programme	
Time	**Tuesday** **29 September**
9:00	**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 3x30 min** - **Jean-Philippe Charron**: *UHPFRC strengthening of bridge slabs - Towards a better understanding and prediction of failure mode under shear load* - **Joaquim A. O. Barros:** *fib Bulletin 117 – a contribution for the analysis and design of FRC structures* - **Pierre Clement Rossi**: *Eco-Resilient (ECORE) FRC Constructions*
9:30	
10:00	
10:30	Coffee break (30 min)
11:00	**29.1.C - Design aspects for long term and extreme loads I. 1st floor, room 87. (6x20 min)** Sergio Carmona, Giovanni Plizzari, Jorge Barraza: *Long-Term Behavior of FRC with Hybrid Fibers* **Pierre Rossi:** *Development of probabilistic cracking models for fiber reinforced concrete under static and dynamic loadings* Éva Lublóy, András Biró, György L. Balázs, Viktor Hlavička: *Behaviour of Reinforced Concrete Structural Elements Under Fire Exposure – An Integrated Structural Interpretation* **Christophe Camille**, Olivia Mirza, Todd Clarke: *Dual-Approach Verification of Enhanced Fatigue Life in Macro Synthetic Fibre Reinforced Concrete Sleepers* Vitor Monteiro, Rennan Liberato, Iranildo Silva Junior, Flavio Silva: *On the fatigue performance of ultra-high-performance concrete and strain hardening cementitious composites* Ahmed M. Seyam, Rita Nemes: *Thermal Performance of Fibre-Reinforced Concrete with Different Aggregate Types Under Elevated Temperatures*
11:30	
12:00	
12:30	
13:00	Lunch (60 min)
13:30	
14:00	**29.2.C - Design aspects for long term and extreme loads II. 1st floor, room 87. (4x20 min)** Rutger Vrijdaghs, Krishnaa Subramanian: *Enhanced progressive collapse resistance in reinforced concrete frames using polypropylene fibers* **Péter Ludvig**, Anna Szijártó, Bruno Bacelar, Thiago Viana, Salem Nehme: *High temperature behaviour of strain-hardening ultra-high performance fibre reinforced concretes* Gabriele David Bocchino, Nicholas Sergio Burello, Alfredo Alan Flores Gutierrez, Davide Zampini, **Liberato Ferrara**: *Fatigue Behaviour of High-Performance Fibre Reinforced Concrete (HPFRC): from Experimental Investigations to Design Provisions* Nadia Quijano Arteaga, Samantha Hidalgo Astudillo, Débora Martinello Carlesso, Stanislav Aidarov, **Albert De la Fuente**: *Compressive Fatigue Behaviour of Concrete Incorporating Recycled Aggregates and Recycled Glass Fibres from Wind Turbines*
14:30	
15:00	
15:30	Coffee break (30 min)
16:00	
16:30	
17:00	
17:30	
18:00	
18:30	
19:00	**Banquet river cruise with dinner on the Danube**
19:30	
20:00	
20:30	
21:00	
21:30	

ACI-fib-RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest - Tentative Programme	
Time	**Wednesday** **30 September**
9:00	**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 3x30 min** - **Bruno Massicotte**: *Design, validation and construction of a fully precast bridge with UHPFRC connections meeting seismic performances* - **Fausto Minelli:** *HPFRC for the Strengthening of Aging Structures with Flexural and Shear Deficiencies* - **Horst Falkner**: *Structural application of FRC*
9:30	
10:00	
10:30	Coffee break (30 min)
11:00	**30.1.A - Design specifications IV. 1st floor, room 3. (6x20 min)** **Maximilian Kronau**, Roman Wan-Wendner, Oliver Fischer: *Direct Tensile Tests on Drilled Cores with Different Fiber Orientation: Test Setup and σ-w-Relationships* Jiri Kovar, Jan Červenka: *Blind prediction of steel fiber-reinforced slab punching resistance based on lessons learned from previous contests* Naser S. Alimrani, Jian Zhan, Shao Yi: *Simultaneous Optimization of Fiber Scheme and Structural Design for UHPC Structures* **Nadia Quijano Arteaga**, Natividad García Troncoso, Samantha Hidalgo Astudilllo, Stanislav Aidarov, Albert De la Fuente: *Statistical approach to quality control of steel fibre reinforced concrete using inductive measurements based on experimental data* Ahmed Hamed, Mário Pimentel: *Effect of fibre orientation and hook type on the tensile response of FRC* Veronica Bertolli, Tommaso D'Antino, Christian Carloni: *Influence of dispersed PVA fibers in the GFRP bar-concrete bond behavior*
11:30	
12:00	
12:30	
13:00	Lunch (60 min)
13:30	
14:00	**30.2.A - Design aspects for long term and extreme loads III. 1st floor, room 3. (5x20 min)** Thiago Viana, **Péter Ludvig**, Bruno Bacelar, Isabela Coelho: *Investigation of different polypropylene fiber contents in ultra-high-performance concretes under temperature increase* **Viktor Hlavička**: *Effect of Polymer-Fibre-Containing Recycled Concrete Aggregate on the High -Temperature Resistance of Recycled Concrete* **Sheila Bisika**, Humaira Fataar: *Comparative Fatigue Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete under Flexural and Traffic-Type Loading* Ángel De La Rosa Velasco, Gonzalo Ruiz, Vaibhav W. Masih, Riccardo Zanon: *Fatigue in compression and indirect tension in a high-tech steel-fiber reinforced concrete* M. Mirza Abdillah Pratama, Ravi Ranade, Doo-Yeol Yoo, Behzad Nematollahi: *Flexural Performance of Low-Carbon UHPCs Exposed to Elevated Temperatures*
14:30	
15:00	
15:30	Coffee break (20 min)
16:00	**Closing Ceremony** **– Round table discussion** **– Closing speeches**
16:30	
17:00	
17:30	
18:00	
18:30	
19:00	
19:30	
20:00	
20:30	
21:00	
21:30	

ACI-fib-RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest - Tentative Programme	
Time	**Wednesday 30 September**
9:00 9:30 10:00	**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 3x30 min** - **Bruno Massicotte**: *Design, validation and construction of a fully precast bridge with UHPFRC connections meeting seismic performances* - **Fausto Minelli:** *HPFRC for the Strengthening of Aging Structures with Flexural and Shear Deficiencies* - **Horst Falkner**: *Structural application of FRC*
10:30	Coffee break (30 min)
11:00 11:30 12:00 12:30	**30.1.B - Sustainability, Durability, Serviceability III. 1st floor, room 95. (6x20 min)** **Pierre Rossi**: *Eco-Resilient (ECORE) FRC Constructions* Ray Hudd, Ralf Winterberg: *Ultra-High-Performance Concrete (UHPC) as a Sustainable Alternative* **Yuri S. Karinski**, Avraham N. Dancygier: *Evaluation of cracking localization and its effect on load and displacement capacities of R/SFRC beams* **Klaus Holschemacher**: *Recycling of steel fiber reinforced concrete* Jaroslav Prokop, Petr Frantík, Ivan Hollý: *Fracture model double-K - Concrete with a dose of recycled and industrially produced steel fibers* **Alessandro P. Fantilli**, Andrea Garda: *The role of recycled steel fibers in the sustainability of cementitious composites*
13:00 13:30	Lunch (60 min)
14:00 14:30 15:00	**30.2.B - Structural applications V. 1st floor, room 95. (3x20 min)** **Luis Alberto Leonardo Nolasco**, Abraham Hidalgo Bermúdez, Claudio Parada Ibanez, Jesus Munoz Perez, Péter Károly Juhász: *Finite element analysis of synthetic macro fibre reinforced concrete jointless industrial floors in Latin-America* **Alexandru Trandafir**: *Hybrid Fibre-Reinforced Concrete Shear Walls for Seismic-Resilient Structures* Alhussain Yousef, Panagiotis Spyridis: *Mechanical Performance and Redundancy of Direct Fastenings in Fiber-Reinforced Concrete: An Experimental Evaluation*
15:30	Coffee break (20 min)
16:00 16:30 17:00	**Closing Ceremony** **– Round table discussion** **– Closing speeches**
17:30 18:00 18:30 19:00 19:30 20:00 20:30 21:00 21:30	

ACI-fib-RILEM FRC-UHPFRC Workshop 2026 Budapest - Tentative Programme	
Time	**Wednesday 30 September**
9:00	**Keynote Presentations, 1st floor, room 3 (K.I.3) - 3x30 min** - **Bruno Massicotte**: *Design, validation and construction of a fully precast bridge with UHPFRC connections meeting seismic performances* - **Fausto Minelli:** *HPFRC for the Strengthening of Aging Structures with Flexural and Shear Deficiencies* - **Horst Falkner**: *Structural application of FRC*
9:30	
10:00	
10:30	Coffee break (30 min)
11:00	**30.1.C - Retrofitting and strengthening 1st floor, room 87. (6x20 min)** Ivan Beltracchi, Adriano Reggia, Giovanni Metelli, Giovanni Plizzari: *Fiber orientation effects in thin layers of HPFRC jacketing: a critical discussion of Model Code 2020 provisions* Jean-Philippe Charron, Espoir Kahama, Martin Pharand: *UHPFRC strengthening of bridge slabs - Towards a better understanding and prediction of failure mode under shear load* **Anna Bontempi**, Nico Di Stefano, Giulio Morandini, Giuseppe Melcangi, Luca Albertario, Fausto Minelli: *Enhancing the Service Life of Historical Bridge Structures: Experimental Assessment of a CFRP–FRM Retrofit System* Xiujiang Shen, Tamás Mészöly, Norbert Randl, Yilin Li: *Tensile Behavior of Fe-SMA Reinforced UHPFRC under Different Activation Methods* **Elisa Carleschi**: *Numerical Study on the Strengthening of Pitting-Corroded Reinforced Concrete Dapped-End Beams* Numa Bertola, Célia Küpfer, Eugen Brühwiler: *Systemizing UHPFRC intervention for existing bridges: environmental and economic benefits at the network scale*
11:30	
12:00	
12:30	
13:00	Lunch (60 min)
13:30	
14:00	**30.2.C - Design specifications V. 1st floor, room 87. (3x20 min)** Giovanni Plizzari, Matteo Draconte, Luca Torelli *Performance optimisation of Hybrid Fiber Reinforced Concrete with macro-synthetic and steel fibers* Devansh Patel, Chidchanok Pleesudjai, Barzin Mobasher: *Simplified Flexural Design of FRC Based on Integrated Residual Tensile Stress from Standard Beam Tests* Norbert Vita, Akanshu Sharma: *Performance-Based Design approach for anchorages in Steel Fiber Reinforced Concrete considering concrete related failure modes*
14:30	
15:00	
15:30	Coffee break (20 min)
16:00	**Closing Ceremony** **– Round table discussion** **– Closing speeches**
16:30	
17:00	
17:30	
18:00	
18:30	
19:00	
19:30	
20:00	
20:30	
21:00	
21:30	

NAGY LÁSZLÓ 1948–2026



Életének 78. évében elhunyt Nagy László építőmérnök, a szlovák és a magyar mérnökközösség meghatározó alakja.

Nagy László 1948. augusztus 23-án Pozsonypüspökiben született és itt élt haláláig. Iskolás korától fogva érdeklődött a mérnöki szakma iránt. Elmondása szerint pályaválasztását 1960 nyarán, egy négynapos budapesti kirándulás határozta meg (ekkor épült az Erzsébet-híd). A losonci Építőipari Technikum után a pozsonyi Szlovák Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán 1972-ben szerzett diplomát.

Több mint fél évszázados pályafutását a Vítkovicei Vasmű tervezési irodájában kezdte, ahol többek között a pozsonyi Kikötői hidat, valamint a Szlovák Rádió ikonikus, piramis alakú épületét tervezte.

Később a kivitelezésben tevékenykedett tovább, 1990-ben az Agromont állami építővállalat igazgatójává nevezték ki. 2004-ben, a pozsonyi Apollo híd terveinek készítésével tért vissza a hidas szakmához: a híd ekkor nyerte el jellegzetes íves alakját. Mérnöki munkájának csúcsa az új komáromi Duna-híd, a Monostori híd, melynek szlovák oldali főtervezője volt. E híd a világháború utáni első újonnan épült átkelő a Duna szlovák-magyar határszakaszán.

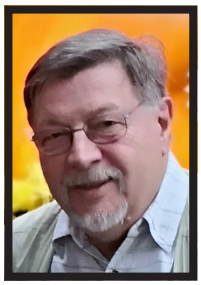
Kiemelkedő munkái mellett számos egyéb projekt fűződik nevéhez: a trencséni közúti Vág- híd, a Hernád folyó felett átívelő három új vasúti híd, illetve Lengyelországban megvalósult autópálya hidak. Munkásságát Pozsony megye Samuel Zoch-díjjal ismerte el. Magyarországon 2018-ban Feketeházy János-díjjal, 2023-ban Clark Ádám Életműdíjjal tüntették ki.

Nagy László nem csak kiváló mérnök volt, hanem közösségi ember is. Saját bevallása szerint két hivatása volt: a családja és a munkája. Magyarságát büszkén vállalva gyakran emlegette öt unokája kapcsán: „nem az az igazi magyar, akinek a nagyapja magyar, hanem akinek még az unokája is tud magyarul”.

A család mellett aktív tagja volt a pozsonypüspöki közösségnek, a helyi iskolában még nyugdíjasként is sakk szakkört vezetett.

Nagy László, határon túli mérnökként nem csak terveivel, hanem személyiségével is hidakat épített a két ország között.

ZSÖMBÖLY SÁNDOR 1946–2026



Budapesten született 1946. október 2-án. Hat testvérével a Duna partján, az Alsó-Vízivárosban nőtt fel. Középiskolai tanulmányait a Budapesti Piarista Gimnáziumban végezte, ahol 1965-ben érettségizett. Egyetemi tanulmányait egyéves Csongrádon eltöltött katonáskodás után az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetemen kezdte, majd a Budapesti Műszaki Egyetemen fejezte be 1971-ben és megkapta a szerkezetépítő mérnöki diplomáját. Néhány évvel később szakmérnöki képzésen vett részt a Budapesti Műszaki Egyetemen és ezt elvégezve 1979-ben kézhez vette a vasbetonépítési szakmérnöki diplomáját is.

Első munkahelye az UVATERV volt, ahol a Híd és szerkezettervező osztályon kezdett dolgozni. Alkalma volt részt venni a M3 autópálya Budapest–Gödöllő szakaszán a hidak terveinek elkészítésében. Változatosságot jelentett 1973-ban az NDK megrendelésére készített ipari acélszerkezetek és távvezetékek szerkezeteinek tervezése. Nagy feladat volt 1976-80 között a Hejőcsabai Cementmű 6,5 km-es, hidakon vezetett szállítószalag rendszerének tervezése. Ezt a Bélapátfalvi Cementmű szalaghídjainak tervezése követte. Ebben az időben készültek a Budapesten a Kerepesi út és a Gyömrői út fölötti acélszerkezetű gyalogos hidak.

Nagy változást hozott az életében, hogy ő is tagja lett annak a mérnökcsapatnak, amely feladatul kapta egy nyugat algériai mérnöki tervezőiroda beindítását Oránban. 1980 márciusában családdal, három kis gyerekkel indult neki a nagy kalandnak, átutazva fél Európán és Marseille-ben behajózva, Afrika földjére lépett.

Az oráni tevékenysége a nyugat algériai régió közútfejlesztési programjában való közreműködést jelentette. A munka a terep bejárásával kezdődött és a kiviteli tervek elkészítésével fejeződött be. Kétévi tervezési munka után a Tiaret-i repülőtér építésén műszaki ellenőrzést végző csapat tagja lett. Izgalmas feladat volt a francia kivitelező által megvalósított, rendkívül szerteágazó projekt követése, amely egyúttal sok tanulsággal, tapasztalattal is szolgált.

1984-ben néhány hónapos itthonlét után újból útra kelt, és ezzel megkezdődött Algériai kiküldetése második szakasza. Annaba kikötőváros mellett levő El Hadjar-i vasmű üzemfejlesztési főosztályán kapott feladatot, mint tervező. Ez nem korlátozódott a szerkezetekre, hanem a mérnöki tudományok számos területére kiterjedt. Az ott eltöltött négy év alatt acél- és vasbetonszerkezet tervezésén kívül feladata volt felújítani és ellenőrizni a vasmű területének geodéziai hálózatát, kiegészíteni a vasúti hálózatot új vágánykapcsolatokkal, utat, hidat és vízelvezetést tervezni. Még egy kisebb, 200 lakásos lakópark tervezése is feladatát képezte, az úthálózat, a vízelvezetés megoldásával együtt. A munka élesben folyt, a terveket azonnal meg is valósították.

Az 1988-ban, közel nyolc év külszolgálat után hazaköltözött. Újból az UVATERV-ben, a Hídirodán dolgozott, előbb szakosztályvezetőként, majd osztályvezetőként. Ekkor készültek az általa vezetett osztályon az M0, M1, M3, M5 és az M15 autópályák tervei. Az M1 autópálya Győrt elkerülő szakaszán a hidak tervezését létesítményi főmérnökként irányította és részt vett a kivitelezés során a tervezői művezetésben.

A Galváni úti Duna-híd létesítésére kiírt 1992-es tervpályázaton Reiner Gáborral és Kisbán Sándorral készített pályamunkája III. díjat nyert.

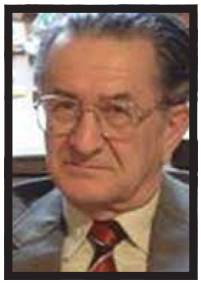
A rendszerváltoztatás utáni mozgalmas időszakban, 1994-ben az UVATERV-ből kilépve társaival megalapította a Pont-TERV Kft-t, amely 1998-ban részvénytársasággá alakult és mind a mai napig a hazai hídtervezés élvonalában tevékenykedik. Létrejötte óta számos jelentős műtárgy, Duna- és Tisza-híd tervei készültek el a cég irodájában. Az új cég ügyvezetőjeként, majd kereskedelmi igazgatójaként sajnos az alkotás örömét egyre kevésbé élvezhette, de helyette a munkák előkészítése, a közbeszerzési pályázatokon való részvétel irányítása mellett számos projekt vezetése volt a feladata, amelyek közül példaként kiragadva néhány: az M7 autópálya Budapest–Siófok szakasz hídjainak felújítása, az Ipoly-hidak tervezése (Pösztyénpuszta, Őrhalom, Rárópuszta, Hugyag, Drégelypalánk, Ipolydamásd) az M0 autópálya keleti szektor hídjainak tervezése és a Piliscsaba–Esztergom vasútvonal hídjainak tervezése. Pályafutása alatt számos cikket írt az aktuális hídtervezésekről és rendszeresen tartott előadást hidász konferenciákon. A tervezésen túl fontosnak tartotta a szakértői tevékenységet, amelynek keretében agyon sok kisebb-nagyobb híd fővizsgálatát végezte. Meggyőződése volt, hogy a tervező számára a legfontosabb tanulság a műtárgyak utóéletének követése.

Tagja volt a KTE-nek, a Magyar Mérnöki Kamarának. A fib Magyar Tagozatának alapítása (2000) óta volt tagja. 2006-2022 között elnöke volt a Palotás László-díj kuratóriumának.

Az aktív pályafutását befejezve 51 évi munka után 2022-től élvezte a nyugdíjasok mozgalmas életét.

2026. június - Zsömböly Sándor önéletrajza alapján összeállította: Mátyássy László

DULÁCSKA ENDRE 1930–2026



Búcsúzunk a szakma doyenjétől, Dr. Dulácska Endre professzortól, a kiváló mérnöktől, tudóstól és oktatótól, akit a hazai építész- és tartószerkezet-tervező szakmában szinte mindenki ismert.

Életútja

Dr. Dulácska Endre rubindiplomás okleveles építészmérnök 1930-ban született, diplomáját 1956-ban szerezte.

1950 és 1982 között a BUVÁTI-ban járta végig a szakmai ranglétra csaknem minden fokát. 1982 és 1992 között a Tervezésfejlesztési és Technikai Építészeti Intézet (TTI) statikus mérnöke, szakági főmérnöke, majd a Vállalati Tanács elnöke volt. 1991-től a BME Építészmérnöki Kar Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára, 2000-től ugyanitt professzor emeritus volt. Mindemellett a Sámson Építész-Statikai Kft. igazgatójaként is dolgozott.

Műszaki doktori fokozatát 1965-ben, a műszaki tudomány kandidátusa címet 1975-ben, a műszaki tudomány doktora címet pedig 1983-ban szerezte meg.

Tudományos munkásságának gazdagságát húsz könyve és 313 publikációja is jelzi. Első, a vasbeton gerendák nyírásvizsgálatával foglalkozó cikkei még egyetemi hallgató korában jelentek meg.

Szakmai életművéhez mintegy 150 épület statikai terve kapcsolódik – többek között a Sugár Áruház, a Szegedi Áruház és a Szeged Városi Könyvtár terve –, emellett mintegy 70 épület felújítási tervét és több mint 200 statikai szakvéleményt készített, számos esetben kirendelt bírósági szakértőként. Irányításával, az általa kidolgozott módszer alapján készült a budapesti metróvonalak felett álló mintegy 500 épület kármegelőző szakvéleménye.

Számos tervezési és méretezési szabvány kidolgozása, illetve megfogalmazása fűződik a nevéhez.

Kitüntetései és szakmai elismerései

Tudományos és szakmai munkáját számtalan díjjal ismerték el. 1957-ben, 1959-ben és 1961-ben tudományos munkájáért MTA-prémiumot kapott. 1967-ben elnyerte az ÉVM Legjobb lakóház nívódíját. 1984-ben a Budapesti Műszaki Egyetem címzetes egyetemi tanára lett. 1986-ban Magyar Építőipar Emlékplakettet kapott. 1987-ben Kiváló munkáért jelvénnyel tüntették ki. 1990-ben Eötvös-díjat,

1994-ben Akadémiai Díjat, 1995-ben Csonka-emlékérmet, 1998-ban pedig Széchenyi-díjat kapott. 2003-ban az MTA Eötvös József-koszorúval ismerte el tudományos életművét. 2007-ben megkapta a Magyar Mérnöki Kamara Zielinski Szilárd-díját, majd a Kardos Andor-díjat, 2011-ben pedig a Hollán Ernő-díjat. Ugyancsak 2011-ben a fib – Nemzetközi Betonszövetség – Magyar Tagozatától Palotás László-díjat kapott. 2014-ben a Magyar Mérnöki Kamara „Év Mérnöke" Kamarai Aranygyűrű díjával tüntették ki. 2015-ben megkapta a Magyar Érdemrend középkeresztje polgári tagozata kitüntetést.

Oktatói munkássága

1985-től az általa alapított Tartószerkezetek mesteriskolája keretében többek között héjszerkezeteket, alapozást, stabilitástant, szálerősítésű vasbeton szerkezeteket, faszerkezeteket, falazott szerkezeteket és épületrekonstrukciót oktatott.

Tartószerkezet-tervezőként és kutatóként eltöltött több évtizedes ipari pályafutás után vált egyetemi oktatóvá. 1991-ben, nehéz időszakban lett a BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszékének vezetője. A tanszéken a Szilárdságtan I. és II., Vasbetonszerkezetek, Héjszerkezetek, Épületszerkezetek dinamikája, valamint a Tartószerkezetek diagnosztikája és rekonstrukciója tárgyak oktatásában vett részt, több mint harminc éven át formálva mérnökgenerációk tudását és szemléletét.

Kutatói munkássága

Több, egymástól jelentősen eltérő szakterületen végzett eredményes és nemzetközileg is elismert kutatómunkát.

A héjszerkezetek területén több általa tervezett és megvalósult szerkezethez dolgozott ki jól alkalmazható számítási eljárásokat. Több új héjalak és héjforma kialakítása is a nevéhez fűződik. Különösen jelentős volt a vasbeton héjszerkezetek

stabilitásvizsgálatára kidolgozott elmélete, amely az IASS, a Nemzetközi Héjszerkezeti Egyesület nemzetközi ajánlásának alapjává is vált. Az épületek talajmozgások okozta süllyedéséből származó károsodásai, különösen a repedéskárok vizsgálata terén ugyancsak jelentős kutatómunkát végzett. Az általa kidolgozott számítási eljárásokat a metróépítésekből eredő károk csökkentése érdekében több száz budapesti épület esetében alkalmazták.

A földrengéskárok megelőzéséhez kapcsolódóan, a képlékeny anyagú szerkezetek dinamikája területén elméleti és kísérleti kutatásokat folytatott. Vizsgálatai során egy széles körben alkalmazott földrengés elleni méretezési eljárás olyan hiányosságára mutatott rá, amelynek a szerkezetek biztonságára nézve súlyos következményei lehetnek. Eredményeit és javaslatait Földrengésmérnöki Világkonferencián is bemutatta.

Foglalkozott az acélszálerősítésű betonszerkezetek elméletével is. Olyan, a hagyományos vasbeton szerkezetek méretezéséhez hasonló módszert dolgozott ki, amely lehetővé tette az acélszálerősítésű betonszerkezetek gyors és egyszerű tervezését. Az elmélet helyességét kísérletekkel is igazolták.

Kidolgozta továbbá a súrlódás Coulomb-féle tételének korrekcióját. Elmélete szerint az összeszorító erő bizonyos értékének elérése után a súrlódási tényező nem növekszik tovább az összeszorító erővel, hanem a törőérték eléréséig csökken. Elméletét több száz betonkísérlettel igazolta.

Tudományos és szakmai közéleti szerepvállalása

Aktívan részt vett a hazai és nemzetközi tudományos közéletben.

Tagja volt több nemzetközi szakmai szervezetnek, így az EAEE (European Association for Earthquake Engineering), az IAEE (International Association for Earthquake Engineering). az IASS (International Association for Shell and Spatial Structures) és az IABSE (International Association for Bridge and Structural Engineering) nemzetközi egyesületeknek.

Jelentős tisztségeket töltött be több hazai tudományos és szakmai szervezetben is. Elnöke volt az MTA EAEE és IAEE Magyar Nemzeti Földrengés Bizottságának.

2000-ig a BME Építéstudomány doktori programjának vezetője, a Kari Habilitációs Bizottság és Doktori Tanács elnöke, később pedig tagja volt.

Tagja volt az MTA Szilárd Testek Mechanikája Bizottságának és az MTA Komplex Akusztikai Bizottságának. 1996 és 2000 között az MTA közgyűlésének doktorképviselője volt.

2020-tól a Szent István Tudományos Akadémia rendes tagja volt.

A szakmai közéletben is évtizedeken át aktívan dolgozott. Tagja volt az ÉTE-nek, ahol húsz éven át szakosztályi vezetőségi tagként is tevékenykedett; a Magyar Mérnöki Kamara választmányának és a Budapesti Mérnöki Kamara elnökségének. A Tartószerkezeti Tagozat alapító elnöke, majd elnökségi tagként dolgozott, később a Tartószerkezeti Tanács elnöki tisztét is betöltötte, és tagja volt a tagozat Minősítő Bizottságának.

Azoknak, akik személyesen ismerték

Példa és mérce volt a „statikus” szakmában és az építészmérnökök oktatásában.

Az építész- és tartószerkezet-tervező szakmában szinte mindenki ismerte – vagy legalább ismert valakit, aki tudta, ki volt Duli, és mennyit tett a hazai tartószerkezet-tervezésért az oktatás, a kutatás és a tervezés területén.

Hetven évvel ezelőtt kezdődött áldozatokat nem nélkülöző, odaadást, energiát és szeretetet igénylő szakmai pályája.

Első cikke még egyetemistaként, több mint hetven éve jelent meg. Attól kezdve megszakítás nélkül publikált. Írásainak témagazdagsága jól mutatja az érdeklődő, kíváncsi, játékos embert, ugyanakkor azt a mérnököt is, aki a mindennapi, akár legegyszerűbb feladatokat is komolyan vette, és mindig magas szakmai színvonalon oldotta meg őket.

Kutatási tevékenységét itthon és külföldön egyaránt elismerték; eredményeit ma is használja a szakma.

A legbonyolultabb kérdésre is képes volt néhány mondattal, egy rajzzal vagy egy gyors számítással érthető választ adni. Mi pedig, akik ismertük, értettük a választ, és elégedetten köszöntük meg – azzal az „aha”-élménnyel együtt, amelyet szinte mindig kaptunk mellé.

Többek között ezért is volt sok építészmérnök-hallgató kedvenc oktatója. Olyan tanár volt, akit elsősorban az érdekelt, mit tud a hallgató, és hogy gondolkodásában megjelenik-e az a fajta szintézis, amely az építészmérnököt – és őt magát is – jellemezte: a szándék szabadsága, a megértés igénye, valamint a fizikai törvények ismerete és tisztelete.

A közreműködésével kidolgozott méretezési szabványokban ugyanez a többrétegű mérnöki szemlélet jelent meg. Az egyszerűbb és a bonyolultabb feladatokhoz egyaránt kínáltak gyorsan alkalmazható módszereket, ugyanakkor mindig lehetőséget adtak a precízebb, pontosabb modellek használatára is. Ezek a szabványok igényelték a mérnök tudását: nem pusztán képletgyűjtemények és módszerleírások voltak, hanem gondolkodásra késztető mérnöki eszközök.

Folyamatosan lépést tartott a szakma fejlődésével. Megismerte az új eredményeket, beépítette őket az oktatásba, és a szakmai közéletben is szorgalmazta megismertetésüket, alkalmazásukat. Kísérletezett és kutatott azért, hogy a „statikus” szakma végül kiforrott, könnyen érthető és gyorsan alkalmazható módszereket kapjon.

Nem elégedett meg azzal, amit a szakirodalomban olvasott. Utánajárt a kérdéseknek. Megkereste, hol vannak egy eljárás hiányosságai, miért gazdaságtalan egy megoldás, és hogyan lehetne pontosabbá vagy éppen gazdaságosabbá tenni.

Talán inkább csak sejtettük, mint tudtuk, mi motiválta és mi vezérelte. Nem az egyénben, hanem a közösségben gondolkodott. Nem az egyéni, hanem a közösségi érdek lebegett a szeme előtt akkor is, amikor cikkeiben, előadásaiban vagy szakmai vitákban megszólalt.

Reméljük, hogy cikkei és könyvei még hosszú időn át példát, támogatást és segítséget adnak mindannyiunknak.

Öröm és megtiszteltetés volt ismerni őt, megtapasztalni szakmai és emberi nagyságát. Egyedülálló mérnöki tudása, tapasztalata és életteli személyisége felejthetetlenné tette a vele való munkát és a tőle való tanulást. Szakmai kíváncsisága és a mérnöki gondolkodás iránti lelkesedése élete végéig elkísérte.

Könyveit, tervezési segédleteit továbbra is haszonnal forgathatjuk – és mindazt, amit tőle tanultunk, továbbadhatjuk.

Most, hogy elment, érezzük igazán: hiánya nem pótolható.

fib BULLETIN NO. 116 TITLE: FIBRE REINFORCED SPRAYED CONCRETE IN TUNNELS AND UNDERGROUND SPACES

TECHNICAL REPORT

Year: 2025
Pages: 67
Format approx. DIN A4 (210x297 mm)
ISBN: 978-2-88394-193-9

Abstract:
This document aims to support Designers, Contractors and Clients with guidance for the use of structural fibre reinforced concrete, known as FRC, in tunnels and underground spaces, constructed using sprayed concrete lining methods (even if some of the presented principles can also be adopted for FRC cast in situ). These construction methods include the New Austrian Tunnelling Method (NATM), Sprayed Concrete Lining Method (SCL) or Sequential Excavation Method (SEM), and whilst the design principles for these three approaches have some similarities, they are underpinned by different design philosophies. For the structural design of the lining itself however, these differences are not important.

The term "structural fibre" may relate to a range of materials. The performance of the fibre in the short and long-term (including strain and thermal compatibility with the host material matrix) shall be clearly defined by the Designer and shall be verified as part of the pre-construction test programme.

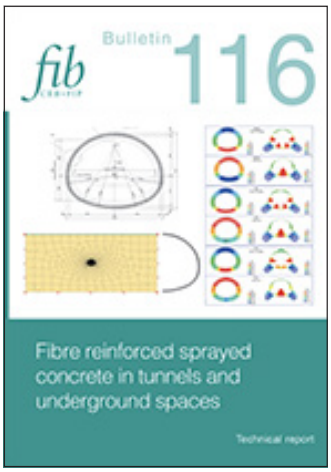
Fibre-Reinforced Concrete (FRC) is a composite material characterised by a cement matrix and discrete discontinuous fibres. The matrix is made of either concrete or mortar. Fibres can be manufactured of steel, polymers, carbon, glass or natural materials of different types and different sizes of fibres can also be used. These are commonly known as hybrid fibre reinforced concrete. Fi bre reinforced sprayed concrete may also be combined with bar or mesh reinforcement systems (Steel or GFRP for instance) but significant care must be taken in the detailing and spraying of such systems to ensure proper encapsulation of the bar reinforcement.

The document is intended to complement the fib Model Code 2010 (MC 2010) which presents a section on the design of fibre reinforced concrete, with the Model Code 2010 being considered as the reference basis for the design of sprayed fibre reinforced concrete linings.

It applies to tunnels constructed in both soft ground and rock and is relevant to temporary and permanent linings and primary and secondary linings. Whilst it is envisaged that wet sprayed methods of construction will be primarily used, dry sprayed methods are not prohibited, but these will be governed by the same performance criteria as wet sprayed concrete.

The document is mainly focused on the permanent FRC used as the primary lining, but the design philosophy can also be applied for FRC secondary lining.

Guidance given in this document is based on the experience of the authors from several sprayed concrete tunnelling projects which have used structural fibre reinforced concrete and is intended to support the implementation of the design of steel fibre reinforced linings. The guidance is however not intended to be prescriptive, and the designers should use appropriate skill and judgment in the design, considering the particular requirements and conditions of the project under consideration.



fib BULLETIN NO. 117 TITLE: FEM-BASED APPROACHES FOR THE DESIGN OF FRC STRUCTURES

STATE-OF-THE-ART REPORT

Year: 2025
Pages: 268
Format approx. DIN A4 (210x297 mm)
ISBN: 978-2-88394-196-0
DOI: doi.org/10.35789/fib.BULL.0117

Abstract:
Fibre Reinforced Concrete (FRC) has emerged as a key material innovation in structural engineering, offering enhanced performance in terms of post-cracking capacity, durability, and serviceability. The addition of discrete fibres to cementitious materials enables the development of structures with improved residual strength, reduced crack widths, and, in some cases, the partial or total replacement of conventional reinforcement, with both technical and economic advantages.

Within fib Commission 2 (COM2) Analysis & Design, which is dedicated to advancing analysis and design methods for structures, Working Party 2.4.1 "Modelling of fibre reinforced concrete structures" aims to address the challenges and opportunities that fibre reinforcement introduces into structural analysis and design. As analysis gains increasing importance in structural engineering, particularly through the use of refined models with strong theoretical basis, this document aligns with COM2's mission to provide comprehensive, reliable models and procedures for both new and existing structures. It does so in support of serviceability and ultimate limit state verifications.

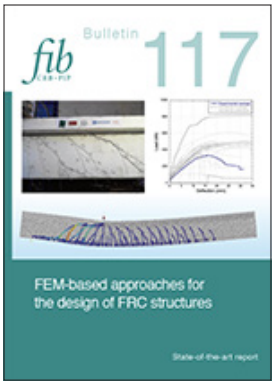
Traditional design methods for reinforced concrete, which neglect the tensile capacity of concrete, are inadequate for FRC. Fibre reinforcement mechanisms act primarily after crack initiation, and the structural benefit is closely tied to the post-cracking tensile behaviour of the material. As a result, fibre reinforcement must be considered in the design of structural members subjected to flexure, shear, torsion, punching, and serviceability limit states such as deflection and crack width.

This document presents a state-of-the-art overview of numerical models for simulating FRC behaviour at both the material and structural levels. Emphasis is placed on the application of Finite Element Method (FEM)-based approaches, especially nonlinear finite element analysis (NLFEA), which are essential for capturing crack formation, crack propagation and the fibre bridging effects. Both Explicit Fibre Reinforcement Approaches (EFRA), where fibres are modelled individually, and Implicit Fibre Reinforcement Approaches (IFRA), where their contribution is integrated into the constitutive behaviour of the cracked concrete, are reviewed in detail.

The practical application of these advanced modelling techniques poses challenges for engineers, including the selection of appropriate models, the calibration of model parameters, and the transfer of experimental data to structural design scale modelling. To support engineers in this process, this document discusses model performance on small-scale test simulations and real-world structural applications. In doing so, it contributes to COM2's goal of bridging the gap between detailed analysis and practical design.

Readers are encouraged to consult fib Bulletin 45 Practitioner's guide to finite element modelling of reinforced concrete structures before engaging with this document. Bulletin 45 provides essential background on nonlinear FEM modelling for conventional reinforced concrete, which is assumed as a foundation here. Building on that knowledge, this document focuses on the specificities introduced by fibre reinforcement.

By fostering a deeper understanding of fibre behaviour and its modelling, bulletin 117 aims to support both research and practice in structural engineering, reflecting COM2's commitment to rigorous analysis and applicable design methodologies.



A Déli Körvasút infrastrukturális fejlesztése

Közvágóhíd megállóhely egyedi zsalutechnológiai megoldások





ADATOK

A műtárgyak hossza egyenként 109 méter, szélességük 20 méter, magassága 12 és 19 méter között változik. Tömege külön-külön megközelíti a 2500 tonnát. Az új, azonos kialakítású egynyílású rácsos acél hídak, a Közvágóhíd vasúti megállóhely integrált tartószerkezetét is alkotják.

A FELADAT

- 4,23 és 7,00 méter magasságú, változó keresztmetszetű egyedi geomeriájú vasbeton pillérek zsaluzása, strukturált látszóbeton-felületkialakítással
- robosztus fejgerendák zsaluzása és állványozása változó szintű alapozási, letámasztási síkokon
- bal oldali híd vasbeton felszerkezet zsaluzása, pályalemez alátámasztó állványzata

A MEGOLDÁS

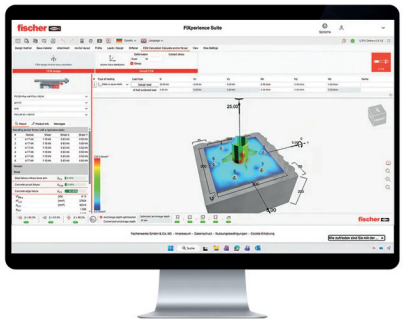
- **Mammut** nagyteherbírású falzsalu elemek közé egyedi, íves fa dobozszerkezet integrálása, a karakteres mintázott betonfelület eléréséhez speciális gumimatrica felragasztása a zsaluhéjra
- **MEP** moduláris nehéz állványrendszer a pályalemez és a fejgerendák alátámasztására
- **AluStar** falzsaluzat a fejgerendák oldalzsaluzására

fischer

FiXperience Online

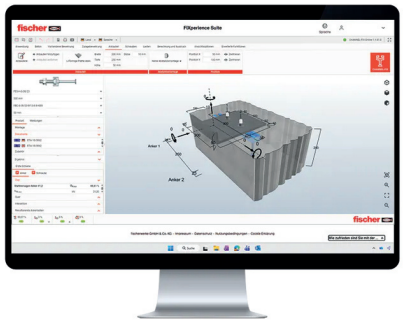
Új, díjmentes szoftvercsomag

Alkalmazott szabványok
és irányelvek:
EN1992-4, ENSO, ACI 440



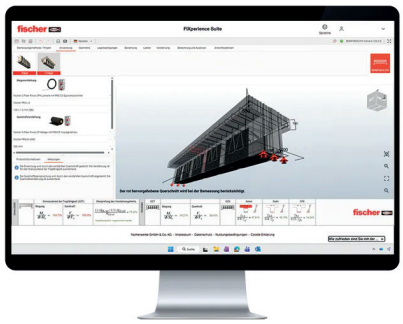
C-FIX

Dübelméretezés



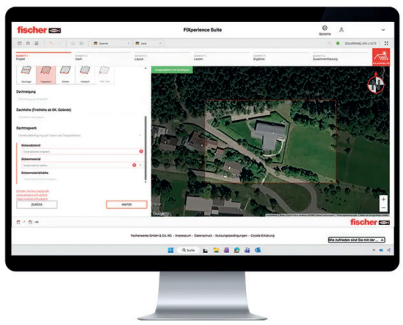
CHANNEL-FIX

Ankersín-méretezés



REINFORCE-FIX

Szénszálas szerkezetmegerősítés



SOLARPANEL-FIX

Napelemtartók méretezése

További információk:
www.fischerhungary.hu

Komár Attila Valentin
+36 20 250 6138