

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*

NERVI KIÁLLÍTÁS Budapest

2016. március 21 – május 24.

**PIER LUIGI NERVI –
FORMA ÉS SZERKEZET
SZINTÉZISE**

**DR. BALÁZS L. GYÖRGY:
TALÁLKOZÁSAIM NERVIVEL**

**DR. SAJTOS ISTVÁN:
IL PALAZZO DEL LAVORO**

**DR. BÓDI ISTVÁN:
A ST. MARY KA-TEDRÁLIS –
SAN FRANCISCO**

2

Dr. Kovács Imre – Hajdu Fanni

**A FABETON TULAJDON-
SÁGAINAK ÉS
MECHANIKAI
JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATA**

5

Dr. Koris Kálmán – Dr. Bódi István

**VASBETON-KERÁMIA
KOMPOZIT
FÖDÉMRENDSZER
TARTÓSSÁGÁNAK
ELMÉLETI VIZSGÁLATA**

15

SZEMÉLYI HÍREK

Köszöntések:

Dr. Madaras Gábor 65.

Solymossy Imre 65.

Tápai Antal 75.

Dr. Loykó Miklós 85.

Dr. Szalai Kálmán 85.

Dr. Tassi Géza 90.

21

2015/4

XVII. évfolyam, 4. szám



ÉMI-TÜV

Válassza a biztonságot
Teremtsen értéket

Az ÉMI-TÜV SÜD csapata

műszaki szolgáltatásaival sikerré
kovácsolja munkáját a minőségügy
és a biztonságtechnika területén



Vizsgálat, ellenőrzés, tanúsítás, megfelelőség- értékelés és szakértői tevékenység az alábbi területeken:

- Felvonók, mozgólépcsők, színpadtechnikai berendezések
- Építő-, emelő- és anyagmozgatógépek
- Nyomástartó berendezések, kazánok, gázpalackok
- Hegesztési technológiák, hegesztők, hegesztőüzemek
- Magas- és mélyépítési létesítmények tartószerkezetei, épület- és szakipari szerkezetek
- Építési célú termékek
- Szórakoztatóipari és mutatónyos berendezések
- Játszóterei eszközök
- Fogyasztási termékek (vegyszeranyagok, ruházati cikkek, kozmetikumok, élelmiszerek, építési termékek)
- Irányítási rendszerek, munkabiztonság

Szolgáltatásaink az építőipar területén:

- Meglévő építmények műszaki felülvizsgálata
- Épületdiagnosztika
- Meglévő tartószerkezetek átalakításának tervezése
- Szerkezetmegerősítések tervezése
- Új épületek tervezése a koncepciótervtől a gyártmánytervekig
- Tartószerkezeti, épületszerkezeti szakértés
- Kiegészítő laboratóriumi vizsgálatok
- MSZ EN szabványok szerinti felülvizsgálat
- Üzemi gyártásellenőrzés, termék tanúsítás

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Dr. Träger Herbert

Szerkesztőbizottság:

Dr. Bódi István

Dr. Csíki Béla

Dr. Erdélyi Attila

Dr. Farkas György

Kolozsi Gyula

Dr. Kopecskó Katalin

Dr. Kovács Károly

Lakatos Ervin

Dr. Lublós Éva

Madaras Botond

Mátyássy László

Polgár László

Dr. Salem G. Nehme

Telekiné Királyföldi Antonia

Dr. Tóth László

Vörös József

Wellner Péter

Lektorai testület:

Dr. Dulácska Endre

Királyföldi Lajosné

Dr. Knébel Jenő

Dr. Lenkei Péter

Dr. Loykó Miklós

Dr. Madaras Gábor

Dr. Orosz Árpád

Dr. Szalai Kálmán

Dr. Tassi Géza

Dr. Tóth Ernő

(Kéziratok lektorálására más
kollégák is felkérést kaphatnak.)

Alapító: a *fib* Magyar Tagozata

Kiadó: a *fib* Magyar Tagozata

(*fib* = Nemzetközi Betonszövetség)

Szerkesztőség: BME Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Tel: 463 4068 Fax: 463 3450

E-mail: fib@eik.bme.hu

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

Az internet verzió

technikai szerkesztője: Czoboly Olivér

Tervezőszerkesztő: Halmai Csaba

Nyomdai kivitelezés: Navigar Kft.

Egy példány ára: 1275 Ft

Előfizetési díj egy évre: 5100 Ft

Megjelenik negyedévenként

1000 példányban.

© a *fib* Magyar Tagozata

ISSN 1419-6441 online ISSN: 1586-0361

Hirdetések:

Külső borító: 220 000 Ft+áfa

belső borító: 180 000 Ft+áfa

A hirdetések felvétele:

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

Címlapfotó: Palazzo dello sport
Fotót készítette: Dr. Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

- 2 PIER LUIGI NERVI –
FORMA ÉS SZERKEZET SZINTÉZISE
DR. BALÁZS L. GYÖRGY:
TALÁLKOZÁSAIM NERVIVEL
DR. SAJTOS ISTVÁN:
IL PALAZZO DEL LAVORO
DR. BÓDI ISTVÁN:
A ST. MARY KATEDRÁLIS – SAN FRANCISCO**
- 5 Dr. Kovács Imre – Hajdu Fanni
A FABETON TULAJDONSÁGAINAK ÉS
MECHANIKAI JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATA**
- 15 Dr. Koris Kálmán – Dr. Bódi István
VASBETON-KERÁMIA KOMPOZIT
FÖDÉMRENDSZER TARTÓSSÁGÁNAK
ELMÉLETI VIZSGÁLATA**
- 21 SZEMÉLYI HÍREK
Köszöntések:
Dr. Madaras Gábor 65.
Solymossy Imre 65.
Tápai Antal 75.
Dr. Loykó Miklós 85.
Dr. Szalai Kálmán 85.
Dr. Tassi Géza 90.**

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

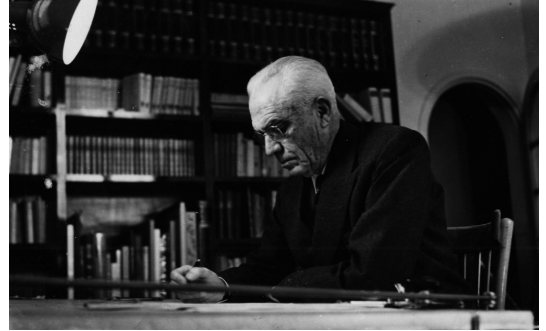
PIER LUIGI NERVI – FORMA ÉS SZERKEZET SZINTÉZISE

Pier Luigi Nervi (1891-1979), a huszadik század egyik legjelentősebb és leginvenziózusabb szerkezettervezőjét, a korszak egyik ikonikus alakját 45 éve avatta díszdoktorává a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Ebből az alkalomból, az Építészmérnök és Építőmérnöki Kar összefogásával Budapesten is bemutatkozik a Nervi életét és munkásságát bemutató, 'Pier Luigi Nervi – Art and Science of Building' című vándorkiállítás, mely 2009 óta sikerrel mutatkozott be több helyszínen Európában és azon kívül is.

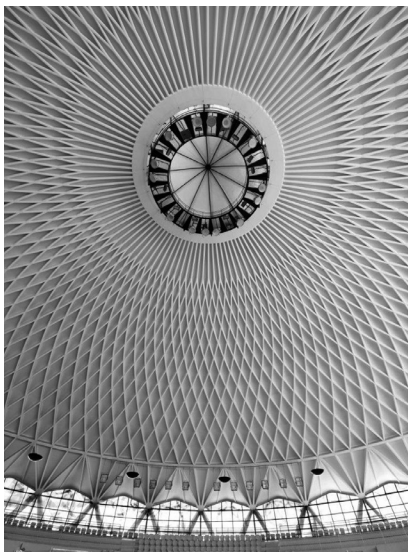
Nervi széles körben publikált munkásságát hazánkban is kiemelt figyelem kísérte. Formai és szerkezeti bravúrokat ötvöző, egyszerre expresszív és mégis gazdaságos megoldásai több mérnök- és építészgeneráció példaképévé tették. Szerkezetei sok szempontból ma sem veszítettek aktualitásukból, ezért a kiállítás fontos küldetése, hogy a Nervi halálát követő időszakban egyre inkább feledésbe merülő életműről átfogó képet adjon, sok szempontból releváns üzenetét újból ismertté tegye.

A kiállított anyag Nervi jelentős épületeire fókuszálva tervezői és kivitelezői pályafutásának ismertetésén túl a korszak kulturális, gazdasági és politikai hátterét is bemutatja. Nervi munkájának ilyen alapos elemzése és kritikai értékelése reményeink szerint új szempontokkal gazdagíthatja a formai találmányosság szerkezettervezésben betöltött szerepéről napjainkban is zajló vitát. Ezzel is elősegítve az építészet és a szerkezettervezés közötti párbeszéd újbóli erősödését.



DR. BALÁZS L. GYÖRGY: TALÁLKOZÁSAIM NERVIVEL

Újra és újra lenyűgöz az a könnyedség, amivel Pier Luigi Nervi a betont, mint szerkezeti anyagot használta. Számára a beton egy határtalanul formázható anyag volt, amivel képes volt álmai megvalósítására. Erről olvashatjuk saját hitvallását Pier Luigi Nervirol a Zanichelli kiadó gondozásában megjelent könyvben, amit akkor vásároltam, amikor fél éves kutatási ösztöndíjat kaptam a Politecnico di Milano-ra (1986-ban). A könyvben található információk alapján hétvégi kirándulásokat szerveztem magamnak kimondottan azért, hogy megnézhessem és megcsodálhassam Nervi Olaszországban föllelhető alkotásait.



Nervi lenyűgözött *anyagválasztásával*. Kiválóan demonstrálta, hogy a beton tulajdonságaival és alkalmazástechnológiájával hogyan tudja a szerkezet megvalósítását elősegíteni. Lenyűgözött a *szerkezeti rendszer megválasztásával*. Tiszta, és jól követhető szerkezeti rendszereket alkalmazott. Lenyűgözött továbbá *formai kialakításaival*. A formai (esztétikai) megjelenésre minden alkotásában kiemelt hangsúlyt helyezett. Mind a teljes megjelenés, mind pedig a részletek vonatkozásában törekedett az anyag, a szerkezet és a forma egyensúlyának megvalósítására.

Nervit a mérnökök mérnöknek tekintik. Nervit az építészek építésznek tekintik. Nervit az anyagtanosok anyagtudósnak

tekintik. Nervit a szerkezetesek szerkezettervezőnek tekintik. Igen. Ez mind igaz. Mindezek benne megvoltak külön-külön is.

Ha ki kellene emelnem Nervi alkotásai közül egyet, akkor nehéz helyzetben lennék. Mindenesetre a *Palazetto dello sport*-ot választanám Rómában. Ez egy kis ékszerdoboz betonból. Tökéletes harmóniát sugároz az erőjáték, a térformálás és az anyagtulajdonságok optimális kihasználása szempontjából.

Önvallomásként azzal fejezhetem be, hogy Nervi bátorsága az anyagválasztásban és a szerkezeti rendszer megválasztásában komoly inspiráció volt egész oktatói-kutatói pályafutásom során.

DR. SAJTOS ISTVÁN: IL PALAZZO DEL LAVORO

A hatalmas, 25 000 m²-es épület egyike a mester azon néhány alkotásának, ahol nem csak a vasbeton, hanem az acél is lényeges tartószerkezeti anyag. Főként a rövid építési idő eredménye az anyag és szerkezetválasztás. Az épület 4x4 db, 38x38 m alaprajzi méretű, 25 m magas vasbeton oszloppal alátámasztott, acélszerkezetű födémszakaszból áll, közöttük bevilágító üvegsávokkal. A mérnöki munka mindhárom területének, „*Scientia – Techné – Praxis*”, művelője, értője tudta csak alig több mint egy év alatt megépíteni ezt az épületet.

Átadása után kritizálták és dicsérték. Le Corbusier képeslapján ez állt: „*magnifique palais*”.

Kívülről az épület zárt, üvegfüggönyfal homlokzatának bordaosztás ritmusa, egyszerűsége



nyugalmat sugároz. Menjünk be. A födémmezők között, mindkét irányban végigfutó üvegsávok felfelé is kinyitják az épületet. Természetes fény mindenütt! Ortogonális és radiális elemekből kirajzolódó minta felettünk. Egyszerre zavaró és nyugalmat sugárzó. A hatalmas méretek ellenére jó bent lenni.

Mérnök vagyok. Értem az oszlop és gerenda változó méreteinek az igénybevételekkel összefüggő logikáját. Meglepő, hogy a radiálisan elhelyezett konzoloknak milyen kiegyenlített a terhe. Biztonságban érzem magam.

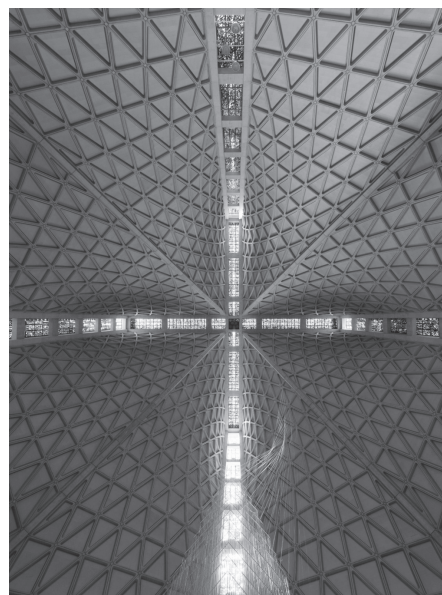
Hogy szép-e a ház? Azt nem tudom. Nyugodt, hallgatag, békés, mint egy bölcs öregember.

Szeretném egyszer átélni azt, amit a fényképek alapján elképzeltem!

DR. BÓDI ISTVÁN: A ST. MARY KATEDRÁLIS – SAN FRANCISCO

A katedrális formai jegyei egyáltalán nem tükrözik a más templomokon oly szokásos templomi díszítést, pompát, térhatásában mégis egyszerűségében méltóságteljes, szerkezeti kialakítása – a négy egymás felé fordított, álló helyzetű torznégyszög héj együttese – is ezt hangsúlyozza. Homlokzatán a sima felületű vasbetonhéjak – majdnem teljes zártága – irányítja a szemlélő figyelmét, az egyetlen lényeges motívumra a műremek tetején elhelyezett óriási arany keresztre. A katedrális belsejében a vasbeton héjak kétirányú, szigorú szabályos háromszögekben készített bordázása növeli hiperbolikus paraboloid héjak merevségeit, ugyanakkor

mintegy vezeti a szemet a mennyezeten elhelyezkedő, kereszt alakot képező felső ablaksorra. Az ablaksor a négy végén függőleges ablak-oszlopokká válva vezetnek vissza, le a földre, egyúttal kijelölik a vasbeton héjak peremtartóinak erőteljes vonalát és megadják azoknak szerkezeti




szükséges merevségét. A katedrális belsejében, ahogy szemünk is visszatér az emberi világba, a földre, itt P. L. Nervi újabb szerkezeti bravúrja vár, a hatalmas tetőt alkotó héjegyüttes szinte lebeg a térben: csupán négy sarokpontján támaszkodik a teljes szerkezet, elrejtve az erőteljes vasbeton peremtartókat is, újra-meg újra az ég felé fordítva a szemlélődő elkóborló tekintetét. Letisztult szerkezeti formák nyugalma uralja a belső teret, a St. Mary Katedrális új értelmet adott a *modern szerkezet* fogalmának 1971 óta, már csaknem fél évszázada.

Pier Luigi NERVI kiállítás – *Pier Luigi NERVI Exhibition*

2016. március 21 – május 24., Budapest, Hungary

A Nervi kiállítás látogatása mindegyik helyszínen ingyenes - *Free entrance to the Nervi exhibition at all places*
Áttekintő program a Pier Luigi Nervi kiállítással kapcsolatos rendezvényekről
Overview of programmes related to the Pier Luigi Nervi Exhibition

BME, 2016. márc. 21, 9.00 - 2016 márc. 25, 16.00 <u>NERVI Kállítás és Workshop – NERVI Exhibition and Workshop</u> hétfő-csüt. 9.00-19.00, péntek: 9.00-16.00		
2016. márc. 21, 9.00-13.30 BME K Díszterem	NERVI WORKSHOP (lásd külön program)	NERVI WORKSHOP (see separate programme)
2016. márc. 21, 15.15-16.15 BME Aula	A NERVI KIÁLLÍTÁS MEGNYITÓJA (lásd külön program)	OPENING CEREMONY OF THE NERVI EXHIBITION (see separate programme)
2016. márc. 24, 14.15-18.00 BME K 185 + BME Aula	<i>fib</i> (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatának Ankétja (lásd külön program)	Meeting of the Hungarian Group of <i>fib</i> (see separate programme)
2016. márc. 25, 14.15-16.00 BME Aula	Fotókiállítás eredményhirdetése 	Photo competition
2016. márc. 25, 16.00 BME Aula	Kiállítás áttelepül Aulából K 320 terembe	Exhibition moves from BME Aula to Room 320
BME 2016. márc. 29, 9.00 - 2016 április 29, 16.00 NERVI Kállítás – NERVI Exhibition - BME K 320 hétfő-péntek: 9.00-16.00		
2016. márc. 29 – ápr. 29. BME K 320	Nervi Kiállítás	Nervi Exhibition
2016. ápr. 29, 14.15-16.00 BME 320	Modellkészítés eredményhirdetése	Model competition
2016. márc. 30, 16.00 BME 320	Kiállítás áttelepül a BME K 320-ból a FUGA Építészeti Központba	Exhibition moves from BME K 320 to FUGA Architectural Centre

MEGNYITÓ - OPENING CEREMONY

2016. márc. 21, 15.15 - BME Aula, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.


15.15-16.15	Prof. BALÁZS L. György	Díszvendégek üdvözlése és bemutatása. A kiállítás rövid története. Köszönet a támogatóknak.	Presentation of Chief Guests. History of Nervi exhibition. Thanks for the Sponsors.
	Prof. JÓZSA János	Rektori köszöntő	Welcome by the Rector of BME
	Őexc., Her Exc. Maria Assunta Accili SABBATINI	Köszöntő beszéd	Welcome by the Ambassador of Italy
	Assoc. Prof. SAJTOS István	Nervi, mérnök és építész	Nervi, engineer and architect
	Ph.D. Arch. Cristiana CHIORINO	A Nervi kiállítás: felépítés és célok	The Nervi exhibition: structure and goals
	Dr. Eng. Marco NERVI, President of Pier Luigi Nervi Project Association	Pier Luigi Szövetség elnökének köszöntője	Welcome by the President of Pier Luigi Nervi Project Association
Prof. Mario A. CHIORINO	Az olasz mérnökök és építészek köszöntője	Welcome by Italian engineers and architects	

A rendezvény a budapesti Olasz Kultúrintézzel együttműködésben valósult meg. The event is supported by the Italian Cultural Institute in Budapest.

DÍSZVENDÉGEK A KIÁLLÍTÁS MEGNYITÓJÁN:

Prof. JÓZSA János, BME, rektor, Rector
 Prof. LASZLÓ Krisztina, BME, nemzetközi rektorhelyettes, Vice-Rector of International Affairs
 Prof. DUNAI László, BME, dékán, Építőmérnöki Kar, Dean of Faculty of Civil Engineering
 Prof. MOLNÁR Csaba, BME, dékán, Építészmérnöki Kar, Dean of Faculty of Architecture
 Őexc., Her. Exc. Maria Assunta Accili SABBATINI, Olaszország Nagykövete, Ambassador of Italy in Budapest
 Dr. Gian Luca BORGHESE, kulturális attasé, Olasz Kultúrintézet, Istituto Italiano Di Cultura Budapest
 Dr. Eng. Marco NERVI, elnök, Pier Luigi Nervi Projekt Szövetség, President Pier Luigi Nervi Project Association
 Ph.D. Arch. Cristiana CHIORINO, Curator of the International exhibition „Pier Luigi Nervi: Art and Science in Building”, PLN Pier Luigi Nervi Project Association and Comunicarch Associates

Prof. Mario A. CHIORINO, prof. emeritus, Politecnico di Torino
 Assoc. Prof. SAJTOS István, BME, tanszékvezető, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, Department of Mechanics, Materials and Structures
 Mrs. GÁSPÁR Orsolya, BME, tanársegéd, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, Department of Mechanics, Materials and Structures
 Assoc. Prof. BÓDI István, BME, Hidak és Szerkezetek Tanszék, Department of Structural Engineering
 Mr. SZARKANDI János, elnök-vezérigazgató, Chairman-General Manager, Duna-Dráva Cement Kft, Heidelberg CEMENT Group
 Prof. BALÁZS L. György, BME, fővédnök, tanszékvezető, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, chief patron, Department of Construction Materials and Technologies

 BME, 2016. márc. 21 (Monday), 9.00 to 13.45 NERVI Workshop – BME K Díszterem, 1111 Budapest, Műgyetem rkp 3.			
9.00-9.30	Prof György L. BALÁZS, fővédnök, chief patron	Anyag – szerkezet – forma egységének megvalósulása Nervi munkáiban	Harmony of material, structural and aesthetical aspects in Nervi's works
9.30-10.00	Prof. Mario A. CHIORINO, Professor Emeritus of Structural Analysis, Politecnico di Torino	Pier Luigi Nervi szerkezetépítési művészete: dialógus a mérnökség és az építészet között	Pier Luigi Nervi's structural art: a dialogue between engineering and architecture
10.00-10.30	Ph.D. Arch. Cristiana CHIORINO, Curator of the International exhibition „Pier Luigi Nervi: Art and Science in Building”, PLN Pier Luigi Nervi Project Association and Comunicarch Associates	A Pier Luigi Nervi hagyaték megőrzésével kapcsolatos stratégiák és nehézségek	Problems and strategies for the conservation of Pier Luigi Nervi's heritage
10.30-11.00	Dr. Eng. Marco NERVI, President Pier Luigi Nervi Project Association	A Pier Luigi Nervi Szövetség missziója és szerepei	Mission and roles of the Pier Luigi Nervi Association
11.00-11.15 Kávészünet - Coffee break			
11.15-11.45	Assoc. Prof. István SAJTOS	Épület, mint tárgy és tér	Building, as object and space
11.45-12.15	Assoc. Prof. István BÓDI	P.L.N. a szerkezeti beton szobrásza	P.L.N. the true sculptor of structural concrete
12.15-12.45	Orsolya GÁSPÁR Assitent to Prof.	Magyar héjépítészlet meghatározó alakjai	People who defined Hungarian shell architecture
12.45-13.00	SZKIBA Veronika MSc hallgató	Két sóraktár	Two salt warehouses
13.00-13.30	POLGÁR László ASA Ltd.	Nervi hatása alatt dolgozni 50 éven át	Working for 50 years under the influence of Nervi
13.30 – 13.45		Kérdések és hozzászólások	Discussion

A kiállítás főtámogatója:

DUNA-DRÁVA CEMENT
HEIDELBERGCEMENT Group

Támogatók:



Szakmai partnerek:



A FABETON TULAJDONSÁGAINAK ÉS MECHANIKAI JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATA



Dr. Kovács Imre – Hajdu Fanni

Napjaink építményei egyre inkább a környezettudatos szemlélet alapján valósulnak meg. Az épületek teljesítőképességével szemben támasztott egyre fokozódó és folyamatosan változó igények egyre nagyobb követelményeket támasztanak a felhasznált anyagokkal szemben is. A nem megújuló energiaforrások kimerülőben vannak, ennél fogva törekedni kell a minél kisebb energiafelhasználású épületek létrehozására. A jövő építőanyagai között a hagyományosnak tekinthető szerkezeti anyagok mellett, a majd egy évszázados múltra visszatekintő, számos előnyös tulajdonsággal rendelkező építőanyag, a fabeton (wood-chip concrete) is fontos szerephez juthat (Merlet, 1995), (Blache, 1995). A fabeton, egy faapríték adalékanyaggal készülő cementkötésű könnyűbeton „féleség”, mely egyesíti a fa, mint az egyik legősibb építőanyag kiváló tulajdonságait, a beton szilárdságával és tartósságával. Ezen sajátos kompozit anyag előnyös tulajdonságai tették lehetővé, hogy a fabeton az utóbbi közel négy évtized során egy sokrétűen felhasználható, világszerte elterjedt, kiváló hő- és hangszigetelő képességű építőanyaggá váljon (Pimienta, 1995). Az utóbbi időszakban kedvező tulajdonságainak kihasználása mellett felmerült tartószerkezetekben történő közvetlen felhasználásának lehetősége is (Hajdu, 2014). A szerkezettani viselkedés elemzéséhez és modellezéséhez szükséges anyagjellemzők meghatározására kísérleti programot terveztünk. A kísérleti program állandóit és paramétereit úgy határoztuk meg, hogy abban az anyagjellemzők meghatározása mellett (nyomószilárdság, hajlító-húzó szilárdság, rugalmassági modulus) nagy hangsúlyt essen a fabeton anyagú szerkezeti elemek viselkedésének (nyomófeszültség-fajlagos összenyomódás diagram, terhelőerő-lehajlás diagram) megismerésére, meghatározására.

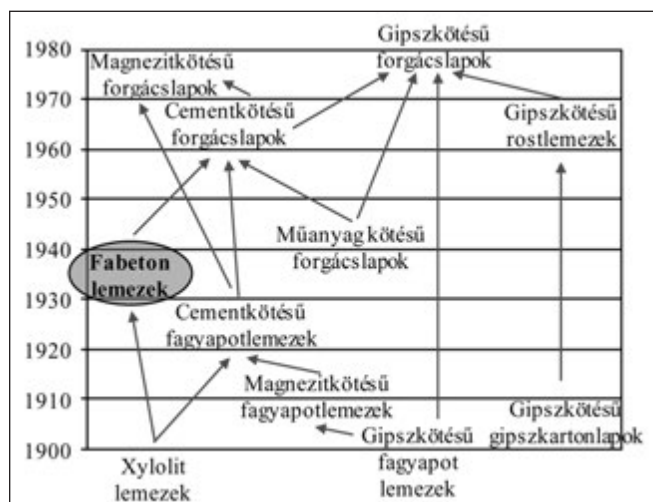
Kulcsszavak: lignocellulóz alapú építőanyagok, cementkötésű lignocellulóz alapú építőanyagok, fabeton, ásványosítás, könnyűbeton

1. BEVEZETÉS

1.1 Történeti áttekintés

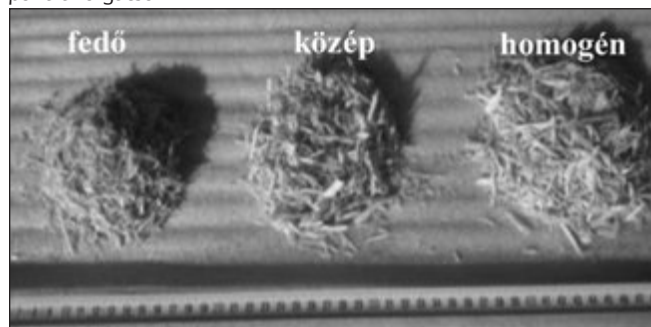
Az első cementkötésű faalapú kompozit termékek 1895-ben jelentek meg XYLOLIT néven, fűrészpor és magnéziacemnt

1. ábra: Lignocellulóz alapú építőanyagok fejlődése (Takács, 2007 alapján)



(Sorel-cement) felhasználásával. A 160 mm × 160 mm, 1000 mm × 1000 mm és 1520 mm × 900 mm lapméretű és 12-17 mm vastagságú lemezek viszonylag nagy testsűrűséggel (~1550 kg/m³) és nyomószilárdsággal (~22,5 N/mm²) rendelkeztek. A gyártás során égetett magnezitet keverték magnézium-klorid tömény vizes oldatához, az így keletkezett pépszerű anyag két térfogategységéhez egy térfogategység fűrészport adagoltak. A habarcsszerű anyag 16-20 óra alatt keménnyé, ún. Sorel-cemenné merevedett, melyet lényegében magnézium-hidroxid (Mg(OH)₂) alkotott. A magnézium-klorid (MgCl₂) a víz magnézium-oxidhoz (MgO) való kötését katalizálta, ezáltal kötégysorítóként funkcionált (Takács, 2007). Az első alkal-

1. fénykép: Fabeton keverékekben alkalmazott különböző méretű puhafa forgácsok



1. táblázat: Cementkötésű lignocellulóz kompozit termékek fejlődéstörténete (Takács, 2007 alapján)

Cementkötésű lignocellulóz kompozit termékek	Első fejlesztések, szabadalmak	Gyártó cég, kutatóintézet, ország	Név	Felhasználási terület
Fagyapot lemezek	R. Schäfer (Bécs, 1908)	Radentheimi Magnezit Gyár (Ausztria, 1914)	HERAKLITH	hőszigetelés
	1950-es évek (HU)	(Magyarország)	„MAGORLEMEZ”	
	1940-es évek (USA)	„Northwest Magnesite Co.”	THERMAX ABSORBEX	akusztika, dekoráció
	1932	KNAUF INSULATION (Németország)	HERATEKTA	hő-szigetelés
Faapriték lemezek, falazó blokkok	1956	VELOX (Ausztria)	VELOX lapok	jó hő- és hang-szigetelés
	1938	DURISOL (Svájc)	DURISOL falazó blokk DURISOL nagyméretű apríték-cement blokk	
Cementkötésű forgácslapok	A Elmendorf (USA, 1966)	Finnország Szingapur	ECOPANEL FIBRECON	építőanyag, hanggátlás
	1938	DURISOL (Svájc)	DURIPANEL	
	1976	BISON (Németország)	BISON	
	1977	FALCO-Szombathely (Magyarország)	BETONYP	
Cementkötésű rostlemez és formatestek	R.S.P Coutts	Ausztrália	-	burkolat, tételválasztás
	WKI	Braunschweig	-	
	K. L. Biryokovich	BRE	KEVLAR 49	

mazások óta számos kutatás és fejlesztés történt a szerves kötésű kompozit termékek területén, az 1. ábra és az 1. táblázat áttekintést ad a hasonló anyagok több mint egy évszázados múltra visszatekintő fejlődéstörténetéről (Takács, 2007).

Az 1930-as években megjelenő fabeton termékeket – a hagyományos betonokhoz hasonlóan – jellemzően kötőanyag, adalékanyag, adalékszerek és víz keveréke alkotta. Kötőanyaga napjainkban is portlandcement, adalékanyaga ásványosított faforgács, ill. faapriték, mely összetevők vízzel alkotott keveréke egy könnyűbeton „léleség”-et eredményez, egyesítve a fa és a könnyűbeton olyan kedvező tulajdonságait, mint például az alacsony testsűrűség továbbá a kiváló hő- és hangszigetelő képesség.

1.2 Az adalékanyagról

A fabeton készítéséhez különböző méretű puhafa aprítékot – elsősorban különböző fenyőfajtákat (jegenye, luc, erdeifenyő) – használnak, de előfordul bükk és jávor alkalmazása is (a tölgy például csersavtartalma miatt nem alkalmazható). A felhasznált alapanyag faipari hulladék, különböző méretű és különböző típusú faforgács, amelyet további aprítással a fabeton gyártásához alkalmas szemcseméretűre alakítanak (Roux, 1995). Az így keletkezett forgácsnak két fajtája különböztethető meg, az apríték és a lapos forgács. Az apríték 30-40 mm hosszúságú, melyet fűrészipari hulladék, erdei vágástéri, ill. tisztítási vékony fa (30-50 mm vastagságú) hasznosításával állítják elő. Méretük alapján háromféle forgács típus különböztethető meg (1. fénykép):

- o *fedőforgács* (0,15-0,20 mm vastagság, 19-25 mm hossz)
- o *középforgács* (0,35-0,40 mm vastagság, 25-32 mm hossz)
- o *homogén forgács* (0,30-0,35 mm vastagság, 23-28 mm hossz)

Az egységes és szabályozott forgács-szemcseszerkezet elérése céljából a lapos forgácsot zúzó- vagy törő eljárással utánaprítják. A zúzó- és/vagy törőgépek mindegyikén azt a teret, amelyben az aprítás végbemegy, szitalemez zárja le. A szita lyukméretétől, a lyukak formájától függ az utánaprított forgács halmaz szemcseszerkezete (Lugosi, 1976).

A faanyag ingadozó nedvességtartalmára való tekintettel az állandó szemcseszerkezet elérése érdekében szárított vagy légszáraz állapotú utánaprítást alkalmaznak. A száraz (jellemzően „légszáraz”) állapotban utánaprított forgács szemcseszerkezete a 2. táblázatban összefoglalt tájékoztató jellegű frakciók szerint oszlik meg.

Köztudott, hogy az ember már az ősidők óta használ fát építkezéseinek zsuzóanyagként. Ezt azzal lehet magyarázni, hogy a mindenkor alkalmazott szerves kötőanyagok (pl.: a sár, az agyag, a cement stb.) kismértékben, vagy egyáltalán nem kötnek a fához. A jelenség magyarázatát tudományos alapossággal a XX. század második felében tárták fel. Megállapították, hogy a fában lévő vízzeloldható anyagok az ún. „cementmérgek” gátolják a cement fához történő kötését (Takács, 2007).

A faanyagban található különböző cukrok (2. ábra), poliózok, tanninok adszorbeálódnak a trikálcium-szilikát felületén és meggátolják a cement hidratációját. Például: 1 % hemicellulóz vagy 1% cukor 50% szilárdagscsökkenéshez vezet. Éppen ezért a maximálisan megengedett mennyiség cukrok esetében 0,5%, tannin esetében 0,4% (Alpár, 2000). A cement és a szerves farostok közötti tapadás kialakulását a szerves adalékanyagok előkezelésével „ásványosításával” – másként „kövesítésével” biztosíthatjuk, mely egyben a szerves adalékanyag konzerválását is eredményezi. Az előkezelés többek között mészsoldatba, cementtejbe, vízüveg oldatba kalcium-klorid vagy magnézium-fluát bitumenes oldatba való merítéssel történhet (Palotás-Balázs, 1980). Ezen kívül másféle

technológiákat is kidolgoztak, hidrolizált sókat felhasználva, például magnézium-kloriddal vagy alumínium-szulfáttal.

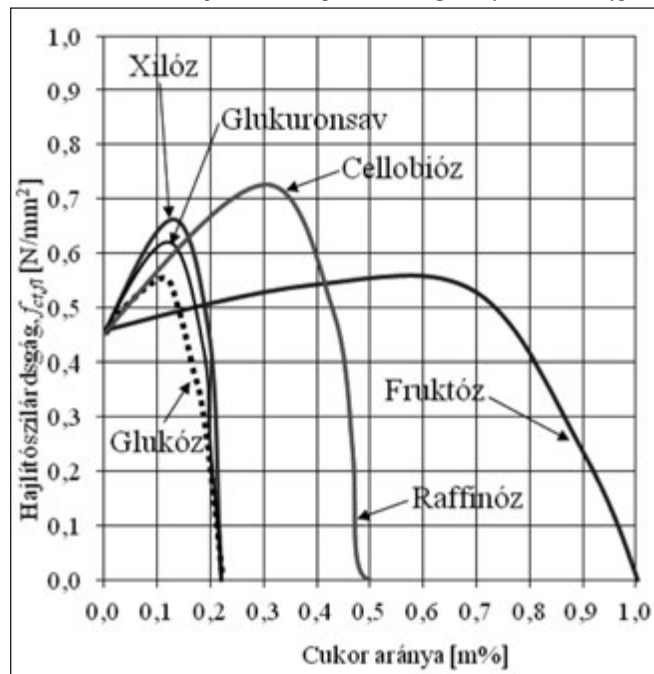
2. táblázat: Tájékoztató adatok különböző szálátmérő szerinti szemmegoszlásokról (Takács, 2007 alapján)

Finomabb szemmegoszlás		Durvább szemmegoszlás	
Szálátmérő	Szemmegoszlás	Szálátmérő	Szemmegoszlás
2,5 mm	5,0 %	> 3,5 mm	80 %
2,5 – 1 mm	30,6 %	3,5-1,8 mm	15 %
1 – 0,4 mm	36,3 %	0,8-1,8 mm	3 %
0,4 – 0,25 mm	14,6 %	< 0,8 mm	2 %
0,25 mm	13,5 %	-	-

1.3 A keverővízről

A fabeton vízigényének elemzésénél szem előtt kell tartanunk a könnyű adalékanyag betonokra vonatkozó alapvető sajátosságokat. A keverővíz jelentős részét a könnyű szerves adalékanyag felszívja (ez az ún. *szemcsenedvesség*). A felszívott vízmennyiség annak is függvénye, hogy a keverés és a bedolgozás között mennyi idő telik el. A keverővízigény megállapításakor általában 30 perces vagy 1 órás vízfelvételt szoktunk figyelembe venni. Az összes keverővíz-mennyiség egyrészt abból a vízmennyiségből tevődik össze, ami a cement kötéséhez, illetve a cementpép kialakulásához szükséges, másrészt abból a vízmennyiségből, amit a szerves adalékanyag adszorbeálni képes. A keverővíz mennyiségének megállapításakor technológiától függően figyelembe kell vennünk a keverés és a bedolgozás közötti párolgási veszteséget is. A könnyűbetonokat az ún. *hatékony vízmennyiség* – az összes vízmennyiségből levonva a szemcsenedvességet és esetlegesen elpárolgó vizet – jellemzi. A könnyűbetonba adagolt víz mennyisége függ az alkalmazott bedolgozási módtól és a megkívánt testsűrűségtől. Adott bedolgozási mód esetén, adott cementtartalom mellett, a különböző testsűrűségeket eltérő hatékony vízmennyiséggel érhetjük el. Ha a víztartalom ennél kevesebb, a tömörítés kedvezőtlen, a testsűrűség és vele együtt a szilárdság csökken (*Palotás-Balázs, 1980*).

2. ábra: A cukorarány hatása a hajlítoszilárdságra (Alpár, 2000 alapján)



1.4 A kötőanyagról és a kötési mechanizmusról

A fabeton kötőanyag általában portlandcement, melynek mennyisége 1 m³ anyagösszetételre vonatkoztatva jellemzően 200-400 kg. Kedvezőbb szilárdsági jellemzők elérése érdekében a cementtartalom növelhető. A cementkötésű kompozit anyagokkal kapcsolatban is elmondható, hogy minél kisebb a vázszerkezetet alkotó komponens, annál nagyobb térfogat-egységben kell alkalmazni a szerves kötőanyagot, ill. minél nagyobb a szemcsék fajlagos felülete, annál több cementpép szükséges a szemcsfelület bevonásához.

A cementkötésű kompozitok előállításánál a fizikai-mechanikai tulajdonságokat döntően befolyásolja a felhasznált cement-alapanyag összetétele, amely szoros kapcsolatban áll a kötés során felszabaduló hidratációs hővel. A gyártástechnológia hatékonysága és kialakítása szempontjából döntő jelentőséggel bír a megszilárdulás időbeni lefolyása, a megfelelő végszilárdság a felhasználás és alkalmazhatóság szempontjából alapvető fontosságú (*Rubaud, 1995*).

A fabetonnal vagy más cementkötésű szerves kompozittal alacsonyabb szilárdsági értékeket lehet elérni, mint a vele egyező mennyiségű és minőségű kötőanyagból készített szerves kötésű építőanyagokkal. Ezt a jelenséget azaz lehet magyarázni, hogy a faanyag *hemicellulóz* és *inkrusztáló* anyag tartalma lassítja a kötési folyamatot úgy, hogy gátolja az ásványi kötőanyag részecskéket (klinkerszemcsék) felületi adszorpció hatását, továbbá a komponensek nagymértékben eltérő *elasztomechanikus* tulajdonsága mellett eltérő *duzzadási-zsugorodási* hajlam is (*Rubaud, 1995*).

A legtöbb kutatóintézet által végzett differenciál kaloriméteres (DSC) és hidratációs hő mérésekből, valamint cementkötésű fa-alapú kompozit keverékek szilárdsági vizsgálatából kitűnt, hogy a fa nedvességtartalma a hidratációs hőfejlődést jobban befolyásolja, mint a cementpépnek a fa extraktumos vízzel történő keverése. Magát a fát alkotó részek extrakciójának, netán az esetenként alkalmazott adalékszereinek a hatása is jelentős (*Rubaud, 1995*).

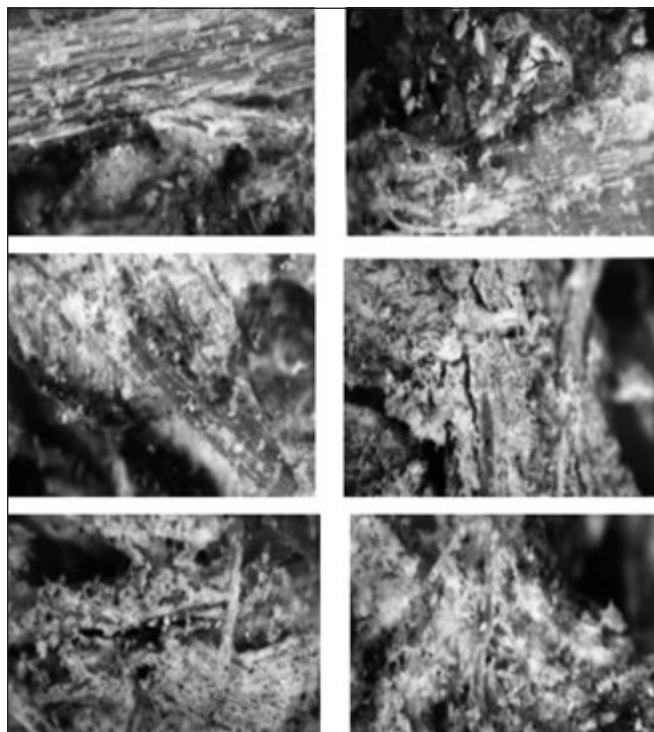
A fa-cement kapcsolat minden bizonnyal *elsősorban* tisztán mechanikai, melyet az adalékanyag egyenetlenségének, a kristályos szerkezet és az esetlegesen kialakuló Van der Waals-erők kialakulásával lehet magyarázni. Mikroszkópos vizsgálatokkal az ún. mechanikai blokkolás jelenségét is megfigyelték, melynek során a cementpép a fa pórusaiba és kapillárisaiba bejutva kikristályosodik (*Rubaud, 1995*). A jelenséget magába foglaló saját vizsgálati felvételeinket a **2. fényképsorozat** foglalja össze.

A kapcsolat mechanizmusa *másodsorban* valószínűleg fizikokémiai reakció, melyben hidrogénkötések és hidroxil hidak jelennek meg a C(OH) hidroxil, a fenol (lignin), az alkohol (cellulóz) és a Ca(OH), Si(OH), Al(OH) hidroxil csoportjai között, ezzel előidézve a cement hidratációját (*Rubaud, 1995*).

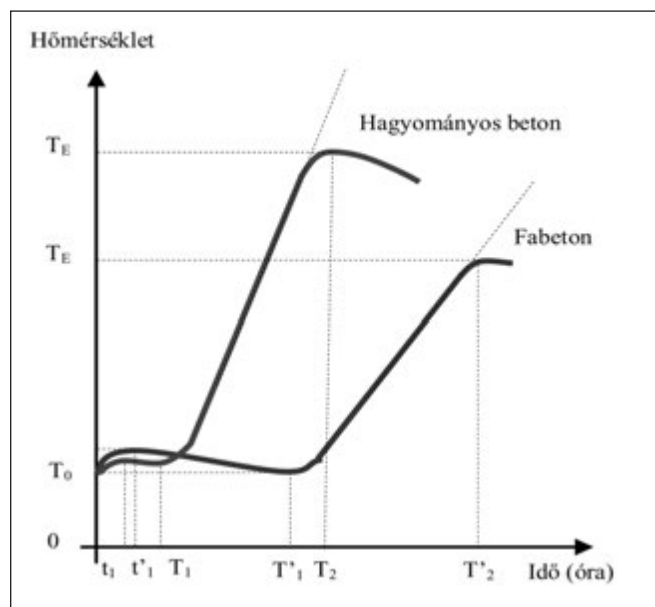
A fabeton hidratációjának kinetikája különbözik a hagyományos betonokétól, emellett a faanyagtól és a faanyag technológiai kezelésétől függően változik. A **3. ábra** jól mutatja a hagyományos beton és fabeton közötti különbséget (*Dutruel, 1995*). Különböző cementkötésű kompozit termékek hidratációjával hazai kutatók is foglalkoztak (*Takács, Bejő, Vass, 2004, Takács, Bejő, Vass, 2005*).

2. A FABETON JELLEMZŐ KEVERÉSI ARÁNYAI, KEVERÉSE ÉS BEDOLGOZÁSA

A kötőanyag és a fa adalékanyag *keverési aránya* – az összetevők térfogatarányától függően – a keverék felhasználási igénye szerint általában 1:2 – 1:4 között változhat (**3. táblázat**).



2. fénykép: Mikroszkópikus felvételek a fabetonban megfigyelhető fa-cement kapcsolatról



3. ábra: A hidratációs folyamat alatt keletkező hő változása egy fabeton és egy hagyományos beton esetében (Dutruel, 1995)

3. táblázat: Az általában jó hő- és hangszigetelő képességű fabeton elemekre jellemző anyagösszetétel (Takács, 2007 alapján)

Anyagösszetétel [m ³]		
Faanyag	[kg]	200-300
Kötőanyag	[kg]	200-300
Adalékszer	[kg]	5-10
Víz	[l]	150-300

Egy adott fabeton keverék adalékanyagát képező faforgács adalékanyag tervezett szemmegoszlása a végtermék funkcionális felhasználásától függ (pl. zajvédő falak, zsaluzóelem stb.).

Az elvégzett saját kísérletek azt a feltételezést erősítik meg, hogy a túl apró szemcseméret esetén, az 1-2 mm alatti (porszerű) szemcsék kedvezőtlenül befolyásolják a fabetonból készült elemek szilárdságát, mivel rontják a nagyobb szemcsék és a cementközötti tapadást, továbbá növelik az adalékanyag fajlagos felületét. A nagyobb szemcseméret megfelelő cement-

tartalom mellett kedvező szilárdsági értékeket eredményez, de bedolgozása sokkal nehezebb és nagyobb odafigyelést igényel, mint közepes vagy apró szemcseméret esetén. Tapasztalataink alapján a finom porszerű anyagok kiszűrése mellett érdemes közepes szemszerkezetet alkalmazni.

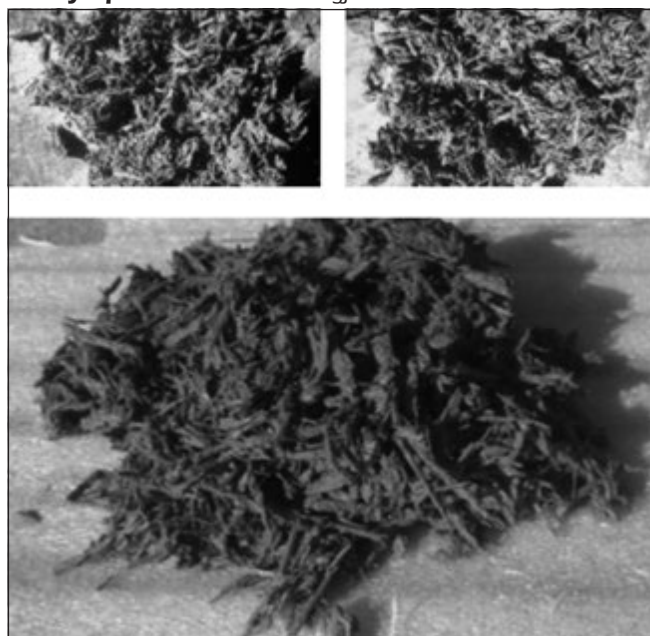
A szemmegoszlás megfelelő megválasztása mellett korlátozni kell az adalékanyag kéregtartalmát, ami általában nem haladhatja meg a 2-4 %-ot. A túl magas kéregtartalom hátrányosan hat a mechanikai tulajdonságokra, a szilárdság csökkenését eredményezi.

A fabeton összetevők általános keverési sorrendje az alábbi: *fa adalékanyag + előnedvesítő víz (+ásványosító anyag) + cement + esetleges adalékszerek + kiegészítő víz.*

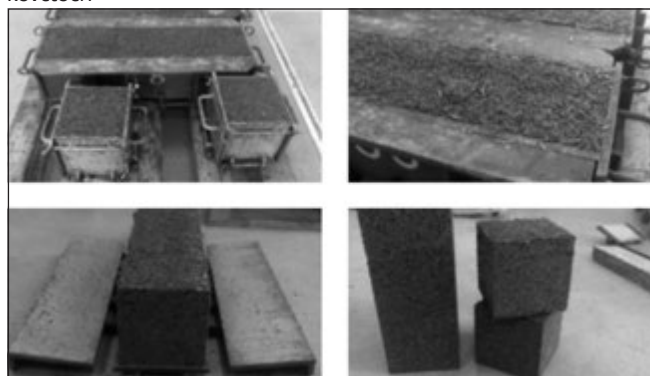
A gyártósablonok elkészítése a hagyományos betonokhoz képest nem igényel külön eljárást. A gyártósablonok elhasználódása, kopása kisebb, mint a hagyományos adalékanyagok esetén. A sablonok töltése hosszabb-rövidebb ideig tart, a bedolgozott elemeket kis mértékben lehet vibrálni. A technológiától, a gyártott elemektől függően általában gépi préseléses eljárással dolgoznak (Dutruel, 1995).

A nagy nedvességtartalom a kioldható anyagtartalmat fokozza, ezáltal blokkolja a cementmátrix kialakulását. Ez a negatív hatás csökkenthető, ha az alapanyagot legalább három hónapig tároljuk, melynek következtében a faanyag fajtától függő hemicellulóz-, ill. gyantatartalma lebomlik vagy kikristályosodva vízben oldhatatlan amorf anyaggá alakul, lecsökkentve, sok esetben teljesen meg is szüntette az ún. „cementmérgek” hatását. A cellulóz alapú vázszerkezet mennyiségét ugyanakkor egy jól dimenzionálható fa-cement

3. fénykép: A fabeton keverék megjelenése



4. fénykép: Fabeton próbatestek a bedolgozást és a kiszaluzást követően



arányal, vagy másként fa-cement tényezővel jellemezhetjük. A különböző gyártó cégek más-más fa-cement aránnyal állítanak elő termékeket, melyekről a 4. táblázat ad áttekintő képet (Takács, 2007).

4. táblázat: A fa-cement arány különböző termékekben (Takács, 2007 alapján)

Gyártmány típusa	Gyártó cég	Fa-cement arány
Magnezit, ill. portlandcement kötésű fagyapot lemezek	HERAKLITH	0,5-0,6
Portlandcement kötésű faapríték lemezek	VELOX, DURISOL	0,8-1,0
Portlandcement kötésű forgácslapok	DURIPANEL, BETONYP, CENTURY BOARD	0,3-0,35
Magnezitcement kötésű forgácslapok	ILVES MINERAL	0,6-0,8
Portlandcement kötésű rostlemezek	HARDFLEX, COMPRESSED SHEET II.	0,1-0,15
Fabeton lapok, idomok	FIBRECON, ECOPANEL	0,25-0,34

2.1 A fabeton általános jellemzői

A *testsűrűség* a fabeton esetében is, mint általában a könnyűbetonok tárgyalásakor az egyik legfontosabb jellemző. A fabetont száraz testsűrűsége viszonylag alacsony, általában ~450-1200 kg/m³. Cikkünkben a ~450-800 kg/m³ körüli száraz testsűrűségű fabeton keverékek mechanikai tulajdonságait vizsgáltuk.

A különböző testsűrűségű fabetonok *hőtechnikai tulajdonságai* jelentős eltérést mutatnak. Minél nagyobb a testsűrűség, annál nagyobb az anyag hővezetési tényezője, tehát csökken az anyag hőszigetelő és hangelnyelő képessége. A különböző testsűrűségű fabetonok hővezetési tényezője jellemzően ~0,1-0,3 W/mK.

A fabeton pórusos anyagszerkezete miatt kiváló *hangelnyelő*. Elsődleges felhasználási területe ebből a tulajdonságából adódik. Kültéri alkalmazás esetén akár 13 dB hangelnyelésre is képes akusztikai elemek készülhetnek felhasználásával.

A betonokat általában *nyomószilárdságuk* alapján jellemezzük. A nyomószilárdság nagymértékben függ a *testsűrűségétől*, a *bedolgozástól* és az *utókezeléstől*. A napjaink fabeton termékeit jellemző 450-800 kg/m³ száraz testsűrűségű fabetonok átlagosan 2,5-4 N/mm² körüli nyomószilárdsággal rendelkeznek. Ez a szilárdsági érték – az alacsony testsűrűségnek köszönhető kedvező tulajdonságok megőrzése mellett – az eddigi tartószerkezeti alkalmazásokban általában elegendő a teherbírás követelmények kielégítéséhez.

A fabeton, mint építőanyag szálszerkezetében, keverési receptúrájában, színezésében alapvetően eltér az egyéb könnyűbetonoktól. Jellemzője a kétlépcsős aprítási műveletnek köszönhető ún. törtszálas szerkezet. A magában is kedvező hőtechnikai paraméterekkel rendelkező fabeton kiválóan kombinálható kavicsbetonnal, jó hővezetési tulajdonsággal rendelkező szigetelőanyagokkal (pl. ásványgyapot, polisztirol táblák stb.).

Ezekkel a kiegészítőkkel és a rugalmas gyártási sajátosságokkal egyazon szerkezetben egyesíthetőek olyan jellemzők, mint a nagyfokú hangelnyelés és hanggátlás vagy a fokozott hőszigetelés. A fabetonból készülő épületszerkezeti elemek sajátossága, hogy a tartószerkezeti és az épületfizikai jellem-

zőket biztosító szerkezeti részek jól elkülöníthetőek, így külön méretezhetőek.

A természetes alapanyagoknak köszönhetően környezetbarát gyártástechnológia valósítható meg. A gyártásnál felhasznált puhafa aprítékot a farönkök feldolgozása során keletkezett kéreg nélküli fűrészipari hulladékból állítják elő.

Tűzálló, fagyálló és kiváló páraáteresztő. Az aprítékszálak ásványosítása a fabeton tűzzel szembeni ellenállását növeli, amit tovább javít a szálas cementbevonata. Nyitott pórusú szerkezetéből adódóan a fagy nem károsítja, ezért a szabadban is tárolható. A szálas fabeton páradiffúziós ellenállása kicsi, így páraáteresztő képessége magas. Mindezen tulajdonságai hozzájárulnak a kiváló lakóklíma kialakulásához.

Kiváló hő- és hangszigetelő. A belőle készült szerkezetek általában többrétegűek. A tartószerkezetet biztosító kitöltő beton viszonylag nagy felületet eredményez, amely jelentős hőtároló képességet kölcsönöz a szerkezetnek.

Ellenáll penészesedésnek, gombásodásnak és állati kártevőknek, nem szívja magába és nem tárolja a vizet, ezzel nem rontja a hőszigetelő képességet. Az ásványosítás szerves anyag mentessé teszi a fát.

Alacsony testsűrűségű, hiszen a fabeton testsűrűsége cca. 1/3-a a hagyományos építőanyagoknak, így a nagyméretű rakatok is gazdaságossá teszik a szállítást. A kis elemsúly miatt a beépítés helyszínén az elemek mozgatása és a falazás nem jelent nehéz fizikai munkát.

Könnyen megmunkálható. Egyszerű famegmunkáló szerzőkkel, nagy pontossággal fűrészelvek, fűrhatóak, darabolhatóak.

3. KÍSÉRLETI PROGRAM

Mint láhattuk, a fabeton tulajdonságai elsősorban az *alkalmazott cementtől*, a *faanyagfajtájától*, a *szálösszetételétől*, a *keverék összetételétől*, a *bedolgozás* minőségétől, a megszilárdult fabeton *utókezelésétől* függenek, ennél fogva azok a normál betonhoz képest sokkal változóbbak.

Vizsgálatainkat – a testsűrűség, mint elsődleges paraméter szem előtt tartásával – különböző testsűrűségű fabeton összeteleken végeztük el, mely eltérő testsűrűségeket a cementtartalom változtatásával értük el. 300 kg/m³-es cementtartalomból kiindulva 20 kg/m³-es lépcsőkben növelve a cementadagolást 300 kg/m³, 320 kg/m³, 340 kg/m³ és 360 kg/m³ cementtartalmú keverékeket vizsgáltunk (5. táblázat).

A technológiából eredő hatások figyelembe vétele érdekében az egyes, összetételben azonos keverékek mintavételénél elsődleges szempont volt, hogy inkább több különböző időpontban és gyártási napon, készüljenek a próbatetek (3. *fénykép*). A vizsgálatok során a különböző cementtartalmú próbatetekből típusonként (kocka, hasáb) legalább 15-15-öt mintát vettünk (4. *fénykép*).

A fabeton speciális ismereteket igénylő bedolgozása 30-40 mm-es rétegekben, kézi tömörítéssel történt. A próbateteket egy napos korban zsaluztuk ki. Az utókezelést ezt követően azonnal megkezdtük, ami többségében 7 napos víz alatti vegyes tárolást jelentett, de vizsgáltunk nem utókezelt és 28 napig vízben tárolt mintákat is.

A nyomószilárdság és hajlító-húzó szilárdság vizsgálatokat egy 100 kN teherbírású erővezérelt (0,1 kN/min.) és egy 500 kN teherbírású alakváltozás vezérelt (0,1 mm/min.) terhelő berendezéssel hajtottuk végre. Az erővezérelt berendezés esetén a nyomófeszültség-fajlagos összenyomódás, ill. a terhelőerő-alakváltozás összefüggését egy 20 kN teherbírású erőmérő cella és egy W30-as útdó jelsorozatából állítottuk

5. táblázat: A mechanikai jellemzők vizsgálata során előforduló kísérleti paraméterek

Cementtartalom	300 kg/m ³ 320 kg/m ³ 340 kg/m ³ 360 kg/m ³
Szálméret	fedő (apró) közép (közepes) homogén (nagy)
Utókezelés	utókezelés nélkül 7 nap vízben 28 nap vízben
Testsűrűség	száraz nedves
Víztartalom	töréskor mért

elő. Az előbbi diagramokat az alakváltozás vezérelés esetén a berendezés vezérlő számítógépe által rögzített terhelőerő-keresztthíd elmozdulás összefüggéséből számítottuk ki.

Kísérleti programunkban 150 mm × 150 mm × 150 mm élhosszúságú szabványos kockákban *nyomószilárdság* vizsgálatokat, 150 mm × 150 mm × 700 mm, ill. 150 mm × 150 mm × 500 mm méretű hasábokon *hajlító-húzó szilárdság* vizsgálatokat végeztünk. A hajlító-húzó szilárdság vizsgálat során a gerendák 450 mm fesztávolságúak és középpontos terhelésűek voltak.

A mintavételhez szükséges alapanyagokat és a fabeton keveréket a Nádép-Fabeton Kft., a mintavételi sablonokat, a tömeg- és víztartalommérő eszközöket, valamint a törőberendezéseket a Debreceni Egyetem Építőmérnöki Tanszéke biztosította.

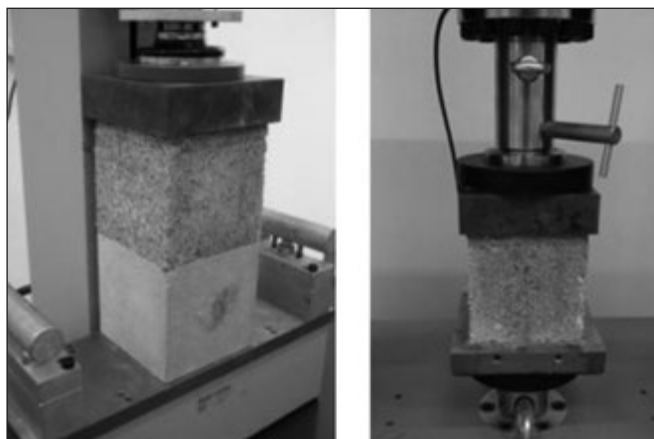
3.1 Nyomószilárdság

Az erő- és alakváltozás vezérelt berendezésekkel végrehajtott nyomószilárdság-vizsgálatok kísérleti elrendezését az 5. *fénykép* mutatja be, egy jellemző próbatest törési mechanizmusát a 6. *fénykép* ábrázolja.

Az egyes keverékekből levett 150×150×150 mm élhosszúságú szabványos próbakockák nyomószilárdság vizsgálatának eredményeit a 4. *táblázat* foglalja össze.

Az egyes próbatesteken – összesen 62 ockán – mért egyedi nyomószilárdsági értékeket a száraz testsűrűség függvényében ábrázolja a 4. *ábra*. A mérési eredmények (egyedi értékek) feldolgozásával, lineáris regressziót alkalmazva előállítottuk a nyomószilárdság egyedi értékei-száraz testsűrűség összefüggésének függvénykapcsolatát:

5. fénykép: Nyomószilárdság vizsgálat erő- és alakváltozás vezérelt berendezéssel végrehajtva



$$f_{c,cube} [N/mm^2] = 0,0078 \cdot \rho_d [kg/m^3] - 1,7736$$

6. táblázat: Különböző cementtartalmú fabeton keverékek nyomószilárdság vizsgálatainak eredményei

				ρ_f	ρ_d	$f_{c,cube}$
				[kg/m ³]	[kg/m ³]	[N/mm ²]
jellemezően 7 nap víz alatti tárolás	300 kg/m ³	17 db	max.	977,51	724,89	3,50
			min.	698,91	518,94	2,06
			átlag	851,05	590,78	2,71
			szórás	86,50	56,80	0,42
	320 kg/m ³	15 db	max.	1055,79	712,26	3,79
			min.	783,47	582,31	2,64
			átlag	883,41	639,23	3,14
			szórás	77,14	37,21	0,41
	340 kg/m ³	15 db	max.	1133,53	769,45	5,01
			min.	754,46	597,35	2,72
			átlag	895,80	680,70	3,65
			szórás	145,50	57,92	0,77
360 kg/m ³	15 db	max.	1006,16	756,68	4,91	
		min.	792,14	658,02	3,15	
		átlag	869,81	706,13	3,84	
		szórás	68,73	30,35	0,50	

A könnyűbetonokra általánosan jellemző tapasztalatokhoz hasonlóan a fabeton esetén is megállapítottuk, hogy a száraz testsűrűség növekedésével a nyomószilárdság is kedvezően alakul. Fenti függvénykapcsolat, valamint a 4. *ábra* alapján a vizsgálatainkban szereplő, változó cementtartalmak hatására kialakult 450-800 kg/m³ száraz testsűrűségű fabeton keverékek nyomószilárdsági értékei 2-5 N/mm² között változtak. A nyomószilárdság értékek szórása (legalább 15 minta eredménye alapján) az egyes eltérő cementtartalmú keverékek esetén 0,41-0,77 N/mm² (a nyomószilárdság várható értékéhez viszonyítva 15-20%) között alakult.

A kapott összefüggéssel becsülhetővé vált a különböző száraz testsűrűségű fabeton keverékek nyomószilárdságainak várható értéke, mely összetartozó értékpárokat tájékoztató jelleggel az 5. *táblázatban* foglaltuk össze.

5. táblázat: A nyomószilárdság becsült várható értéke a száraz testsűrűség függvényében

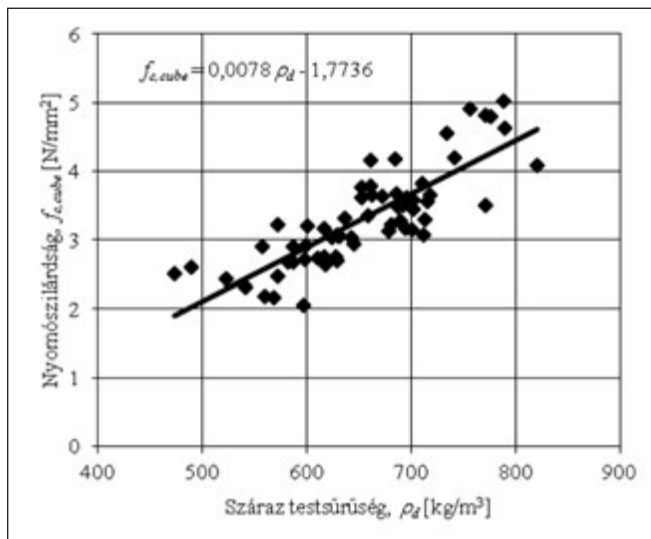
ρ_d [kg/m ³]	450	500	550	600	650	700	750	800
$f_{cm,cube}$ [N/mm ²]	1,4	1,9	2,3	2,8	3,2	3,7	4,1	4,6

3.2 Hajlító-húzó szilárdság

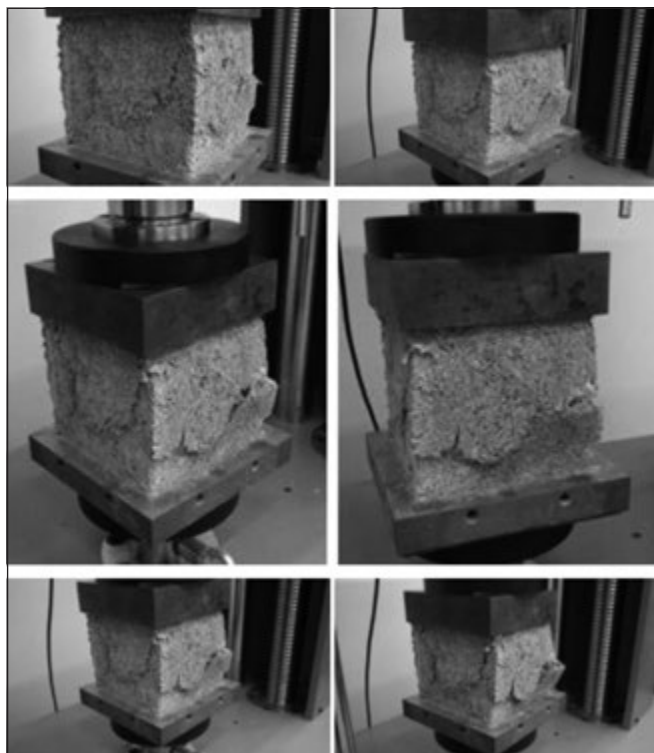
A hasáb próbatestek hajlító-húzó szilárdság vizsgálatait – a nyomószilárdság vizsgálatoknál ismertetett – erő- és alakváltozás vezérelt berendezésekkel hajtottuk végre, a vizsgálatok jellemző kísérleti elrendezését a 7. *fénykép*, néhány próbatest törésképét a 8. *fénykép* mutatja be.

A 150×150×500 mm valamint 150×150×700 mm élhosszúságú szabványos hasábokon meghatározott hajlító-húzó szilárdsági eredményeit (támaszköz: 450 mm) a 6. *táblázat* foglalja össze.

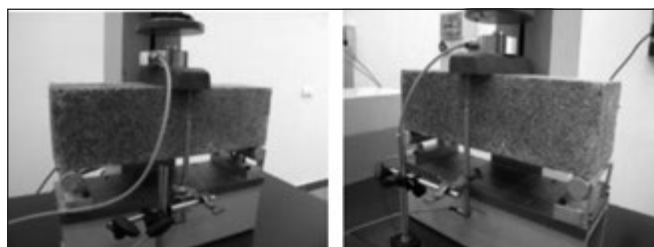
Az egyes gerendákon – összesen 61 db gerendán – meghatározott hajlító-húzó szilárdság értékeket a száraz testsűrűség függvényében a 5. *ábra* ismerteti. A száraz testsűrűség-nyomószilárdság összefüggéséhez hasonlóan lineáris regressziót



4. ábra: A kockán mért nyomószilárdság ($f_{c,cube}$) alakulása a száraz testsűrűség (ρ_d) függvényében, 62 próbatest vizsgálata alapján



6. fénykép: Egy jellemző próbatest törési mechanizmusa



7. fénykép: Hajlító-húzó szilárdság vizsgálat kísérleti elrendezése erő- és alakváltozás vezérelt berendezések esetén

alkalmazva összefüggést állítottunk fel a száraz testsűrűség és a hajlító-húzó szilárdság között:

$$f_{ct,fl} [N/mm^2] = 0,0053 \cdot \rho_d [kg/m^3] - 0,404$$

A mért eredmények továbbá a felállított függvénykapcsolat (5. ábra) alapján a vizsgálatainkban szereplő, változó cementtartalmak hatására kialakult 450-800 kg/m³ száraz testsűrűségű fabeton keverékek hajlító-húzó szilárdsági értékei jellemzően 2-4 N/mm² között alakultak. A hajlító-húzó szilárdsági érté-

6. táblázat: Különböző cementtartalmú fabeton keverékek hajlító-húzó szilárdság vizsgálatának eredményei

				ρ_f [kg/m ³]	ρ_d [kg/m ³]	$f_{ct,fl}$ [N/mm ²]
jellemzően 7 nap víz alatti tárolás	300 kg/ m ³	16 db	max.	966,59	579,67	2,64
			min.	689,38	488,55	1,83
			átlag	825,62	534,89	2,27
			szórás	79,92	31,68	0,23
	320 kg/ m ³	15 db	max.	1019,91	651,91	3,63
			min.	791,33	553,93	2,44
			átlag	894,07	595,86	2,78
			szórás	71,03	28,30	0,38
	340 kg/ m ³	15 db	max.	1113,18	734,27	4,01
			min.	763,73	536,33	2,22
			átlag	899,39	603,66	2,79
			szórás	110,06	53,73	0,50
360 kg/ m ³	15 db	max.	1059,50	702,33	3,68	
		min.	840,39	624,33	2,49	
		átlag	930,33	653,86	2,98	
		szórás	67,80	23,82	0,30	

kek szórása (legalább 15 minta eredménye alapján) az egyes eltérő cementtartalmú keverékek esetén 0,23-0,50 N/mm² (a hajlító-húzó szilárdság várható értékéhez viszonyítva 10-18%) között alakult.

A kapott összefüggéssel megbecsülve különböző száraz testsűrűségű fabeton keverékek hajlító-húzó szilárdságainak értékeit, az összetartozó értékpárokat tájékoztató jelleggel az 7. táblázatban foglaltuk össze.

A száraz testsűrűség és a mért szilárdsági jellemzők közötti összefüggések alapján kifejeztük a nyomószilárdság-hajlító-húzó szilárdság, valamint a hajlító-húzó szilárdság-nyomószilárdság közötti függvénykapcsolatot is:

$$f_{ct,fl} [N/mm^2] = 0,679 \cdot f_{c,cube} [N/mm^2] + 0,801$$

$$f_{c,cube} [N/mm^2] = 1,473 \cdot f_{ct,fl} [N/mm^2] - 1,179$$

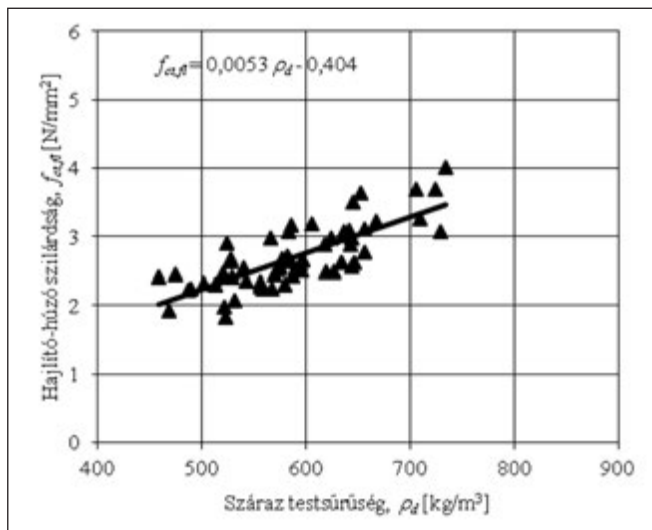
7. táblázat: A hajlító-húzó szilárdság becsült várható értéke a száraz testsűrűség függvényében

ρ_d [kg/m ³]	450	500	550	600	650	700	750	800
$f_{ct,fl}$ [N/mm ²]	2,0	2,2	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6	3,8

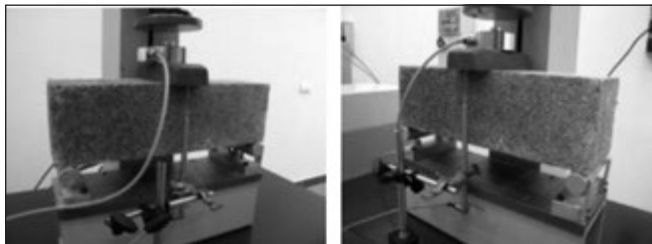
3.3 Rugalmassági modulus

A rendelkezésre álló nagyszámú kísérleti eredmény alapján meghatároztuk a megszilárdult fabeton keverékek rugalmassági modulusát. A rugalmassági modulus meghatározásához az erő- és alakváltozás vezérelt nyomó és hajlító vizsgálatok során rögzített erő-alakváltozás és erő-lehajlás diagramokat használtuk fel. A kocka nyomóvizsgálatok esetében az erő-alakváltozás összefüggésekből nyert σ - ϵ (7. ábra), a gerenda hajlító vizsgálat esetében a közvetlenül kapott F-w diagramok (8. ábra) rugalmas tartományainak elemzésével a rugalmassági modulusot a szilárdság, ill. a törőteher értékének 30% és 70%-ához rendelt mérési pontok által meghatározott egyenes (húr) iránytangenseként értelmeztük (6. ábra).

A kapott E_c egyedi értékeket a vonatkozó nyomószilárdság (9. ábra) és hajlító-húzó szilárdság (10. ábra) függvényében ábrázoltuk, lineáris regressziót alkalmazva a függvénykapcsolatok az alábbiak szerint alakultak:



5. ábra: A hajlító-húzó szilárdság ($f_{ct,fl}$) alakulása a száraz testsűrűség (ρ_d) függvényében, 61 próbatest vizsgálata alapján



7. fénykép: Hasábok törésképei a hajlító-húzó szilárdság vizsgálatot követően

$$E_c \text{ [N/mm}^2\text{]} = 98,22 \cdot f_{c,cube} \text{ [N/mm}^2\text{]} + 132,93$$

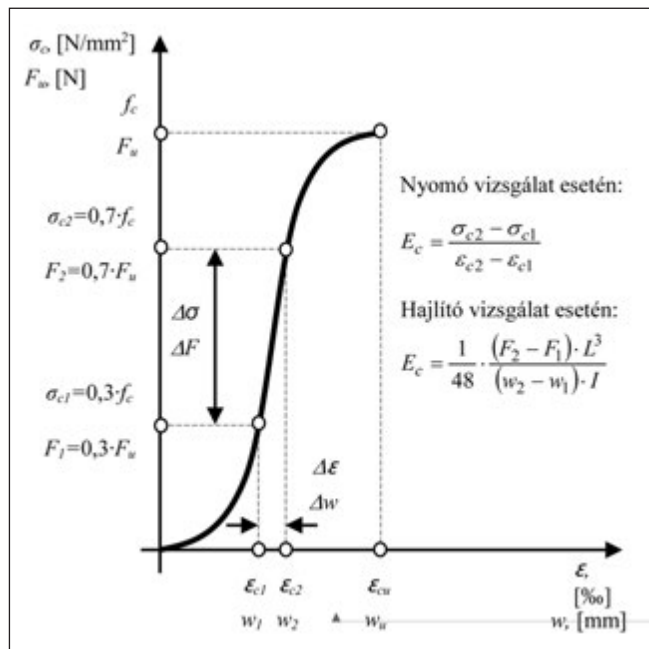
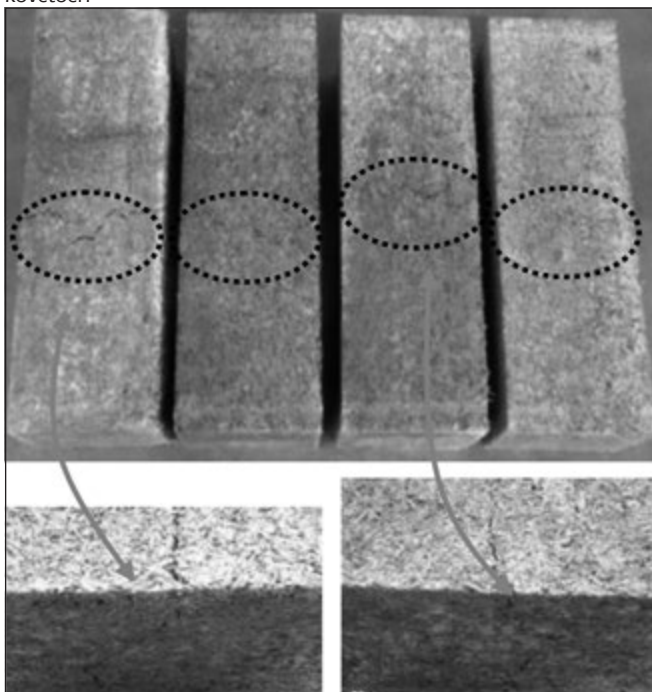
$$E_c \text{ [N/mm}^2\text{]} = 127,86 \cdot f_{ct,fl} \text{ [N/mm}^2\text{]} - 169,75$$

Fenti két összefüggés alapján – a rugalmassági modulusok kísérleti úton történő meghatározásán alapulva – ismételtén kifejeztük a nyomószilárdság-hajlító-húzó szilárdság, valamint a hajlító-húzó szilárdság-nyomószilárdság közötti függvénykapcsolatot:

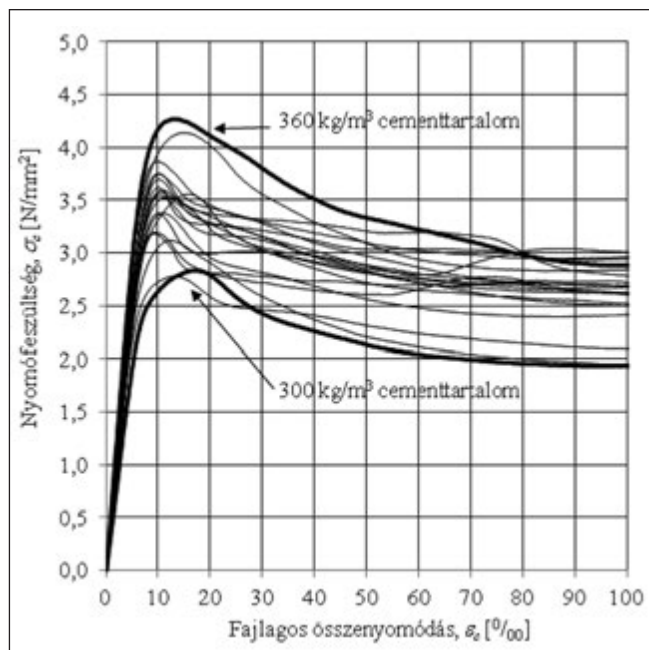
$$f_{ct,fl} \text{ [N/mm}^2\text{]} = 0,768 \cdot f_{c,cube} \text{ [N/mm}^2\text{]} + 2,367$$

$$f_{c,cube} \text{ [N/mm}^2\text{]} = 1,302 \cdot f_{ct,fl} \text{ [N/mm}^2\text{]} - 3,082$$

8. fénykép: Hasábok törésképei a hajlító-húzó szilárdság vizsgálatot követően



6. ábra: Fabeton keverékek rugalmassági modulusának meghatározása nyomó- és hajlító vizsgálat alapján



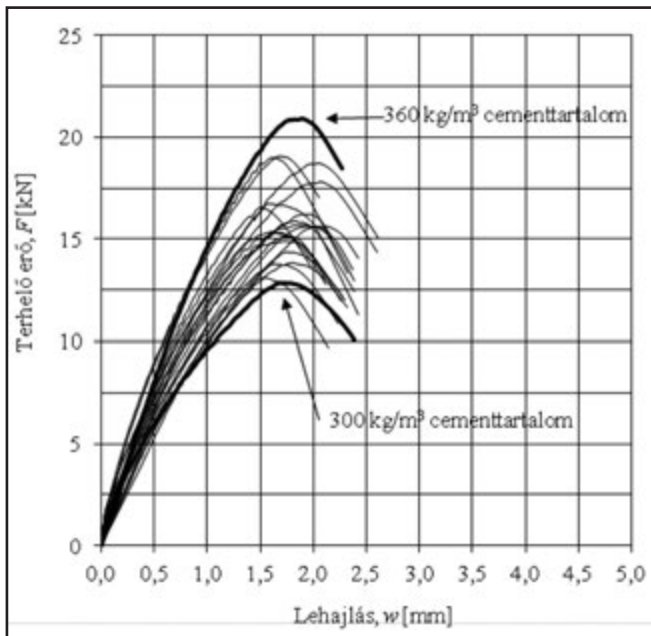
7. ábra: Fabeton keverékek 150×150×150 mm-es kockán alakváltozás vezérelt (0,10 mm/min.) nyomószilárdság vizsgálatnál rögzített σ_c - ϵ_c diagramjai (23 db vizsgálat alapján)

E két szilárdsági jellemző közötti összefüggés jellemzésére így két, egymástól független, egyrészt a száraz testsűrűség, másrészt a rugalmassági modulus meghatározásán alapuló függvénykapcsolat áll rendelkezésünkre, melyekkel a kapott eredmények pontosíthatóak (11. ábra, 12. ábra):

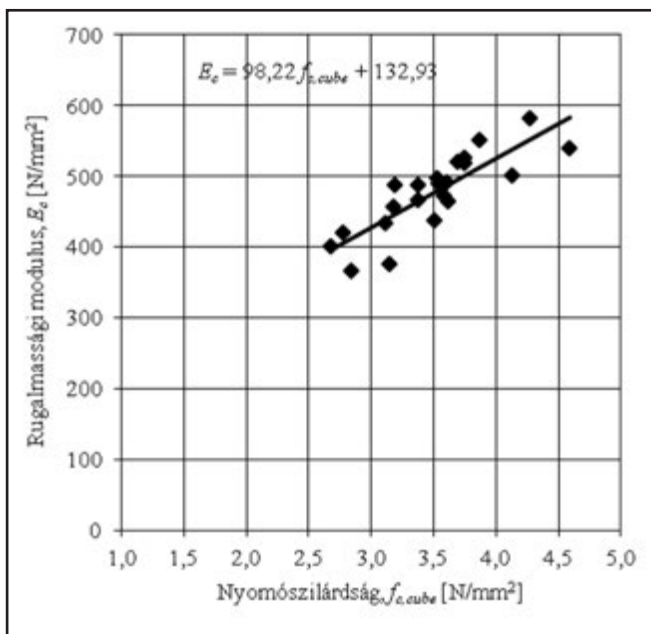
$$f_{ct,fl} \text{ [N/mm}^2\text{]} = 0,724 \cdot f_{c,cube} \text{ [N/mm}^2\text{]} + 1,584$$

$$f_{c,cube} \text{ [N/mm}^2\text{]} = 1,388 \cdot f_{ct,fl} \text{ [N/mm}^2\text{]} - 2,131$$

Fenti összefüggések egymásba helyettesítésével – a száraz testsűrűség függvényében – megbecsültük a különböző száraz testsűrűségű fabeton keverékek rugalmassági modulus értékeit, az összetartozó értékpárokat tájékoztató jelleggel a 8. táblázatban foglaltuk össze.



8. ábra: Fabeton keverékek 150×150×500 mm-es hasábon erővezérelt (0,10 kN/min.) hajlító vizsgálattal rögzített F–w diagramjai (23 db vizsgálat alapján)



9. ábra: Fabeton keverékek rugalmassági modulusa a nyomószilárdság függvényében (23 vizsgálat alapján)

8. táblázat: A rugalmassági modulus (E_c) becsült várható értéke a száraz testsűrűség (ρ_d) függvényében

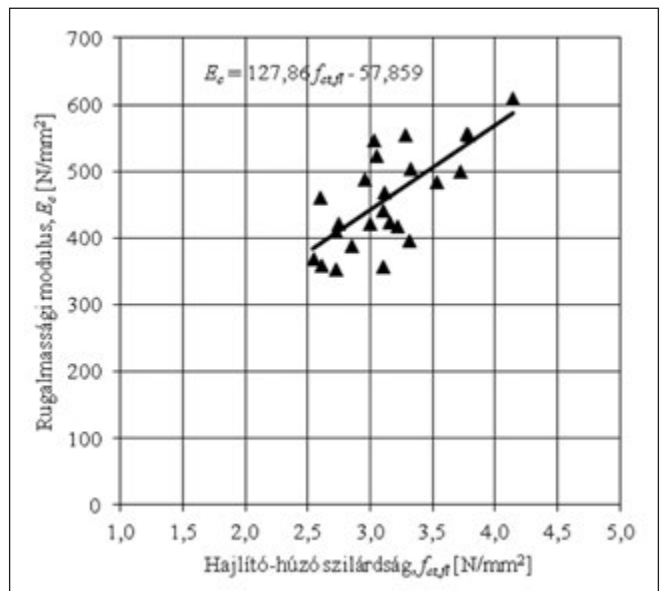
ρ_d [kg/m ³]	450	500	550	600	650	700	750	800
E_c [N/mm ²]	370	420	470	520	570	620	670	720

4. ÖSSZEFOGLALÁS

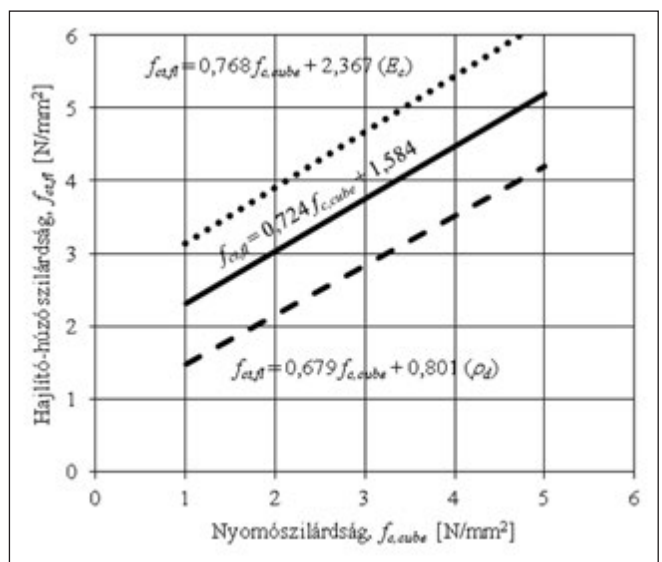
A Debreceni Egyetem Építőmérnöki Tanszékének Anyag- és Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában kísérleteket végeztünk különböző cementtartalmú fabeton keverékekből készített próbatesteken.

Vizsgálataink során paraméternek tekintettük az egyes eltérő összetételű keverékek cementtartalmát, így 300 kg/m³, 320 kg/m³, 340 kg/m³ és 360 kg/m³ cementtartalmat alkalmaztunk.

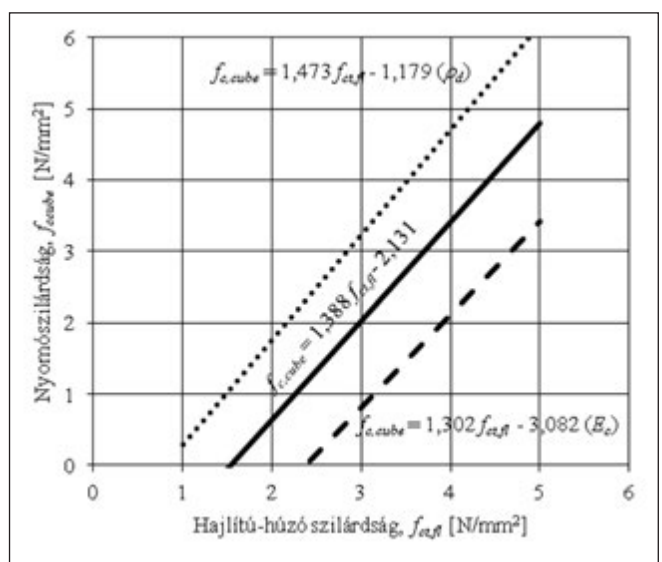
Az egyes keverékekből nyomószilárdság vizsgálat céljából összesen 62 db 150×150×150 mm méretű próbakockát, központos hajlító-húzó szilárdság vizsgálatok céljából összesen



10. ábra: Fabeton keverékek rugalmassági modulusa a hajlító-húzó szilárdság függvényében (23 db vizsgálat alapján)



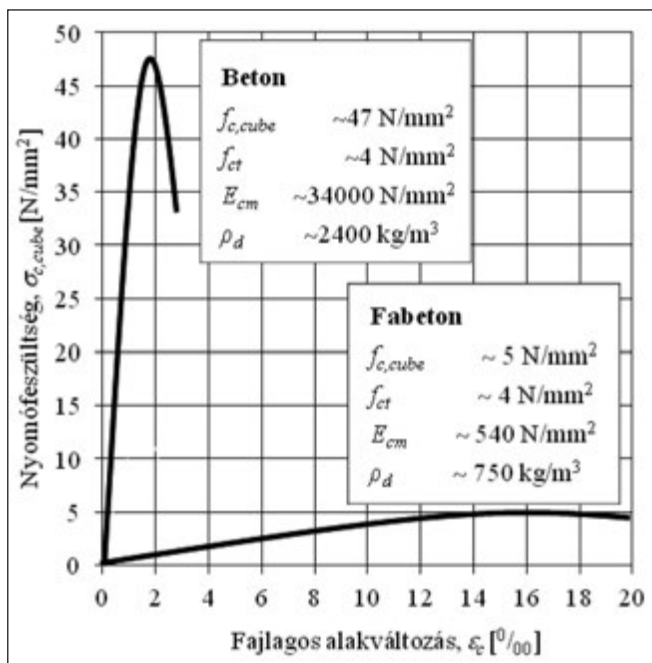
11. ábra: 400-800 kg/m³ között változó testsűrűségű fabeton keverékek hajlító-húzó szilárdsága a nyomószilárdság függvényében



12. ábra: 400-800 kg/m³ között változó testsűrűségű fabeton keverékek nyomószilárdsága a hajlító-húzó szilárdság függvényében

61 db 150×150×500(700) mm méretű gerenda próbatestet készítettünk.

Az egyes próbatestek geometriai és tömeg adatai alapján



13. ábra: A hagyományos értelemben vett beton és a fabeton jellemző nyomófeszültség-fajlagos alakváltozás ($\sigma_c - \epsilon_c$) diagramjai

meghatároztuk a száraz testsűrűség értékeit is.

A nyomószilárdság vizsgálatok során rögzített erő-összesnyomódás ($F - w$) összefüggés alapján meghatározott feszültség-fajlagos alakváltozás ($s - e$) diagramok, valamint a hajlító-húzó szilárdság vizsgálatok alatt felvett erő-lehajlás ($F - w$) függvények alapján meghatároztuk a fabeton rugalmassági modulusát.

A mért és számított mennyiségek alapján felírt függvénykapcsolatok segítségével a száraz testsűrűség függvényében becslést adtunk a fabeton rugalmassági modulusára ($r_d - E_c$). Cikkünkben rövid áttekintést kívántunk adni a beton mellett kevésbé tárgyalt, de széles körben alkalmazott fabeton alapvető tulajdonságairól (13. ábra).

Vizsgálataink rámutattak a különböző összetételű fabeton keverékek egyes mechanikai jellemzői között fennálló összefüggésekre, megalapozva ezzel a vizsgált összetételű fabeton struktúrák további műszaki alkalmazásokban történő felhasználását.

A bemutatott kísérleti program további részleteit, szerkezeti alkalmazásokkal összefüggő vizsgálatainkat és azok eredményeit cikkünk további fejezeteiben kívánjuk a *Vasbetonépítés* érdeklődő olvasói elé tárni.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzői a rendelkezésre bocsájtott fabeton keverékek előállításához szükséges alapanyagokért, valamint az üzemi körülmények között biztosított mintavétel lehetőségéért köszönetet mondanak a Nádép-Fabeton Kft.-nek, személy szerint Zsiros János ügyvezető igazgató úrnak. A kísérletek során alkalmazott berendezések a Debreceni Egyetem és a Nagyváradai Egyetem közös SMARTMAT HURO/1101/191/2.2.1 "Hungarian-Roumanian Research Platform for Smart Materials Research Projects Support" c. projektje keretében kerültek a

Debreceni Egyetem Építőmérnöki Tanszékére, melyért ezúton is köszönetet mondunk.

6. HIVATKOZÁSOK

- Alpár, T. (2000) „Kötésgyorsítási módszerek a cementkötésű forgácslapok gyártásánál. Doktori disszertáció, NyME, Sopron. 157 old.
- Blache, B. (1995) „Applications des bétons de bois” CSTB Magazine / Janvier-Février, 1995
- Dutruel, F. (1995) „Fabrication des bétons de granulats de bois” CSTB Magazine / Janvier-Février, 1995
- Hajdu, F. (2014) „A fabeton tulajdonságai, alkalmazása és betontechnológiai kérdései” Diplomamunka, Budapest, 2014
- Lugosi, A. (1976) „Faipari kézikönyv” Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976
- Merlet, J.-D. (1995) „Le béton de bois, un matériel pas si nouveau” CSTB Magazine / Janvier-Février, 1995
- Pimienta, P. (1995) „Des propriétés intéressantes mais...” CSTB Magazine / Janvier-Février, 1995
- Palotás-Balázs (1980) „Mérnöki Szerkezetek anyagtana 3. – Beton-Habarcserámia-Műanyagok”, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1980
- Roux, M.-L. (1995) „Le traitement des granulats de bois” CSTB Magazine / Janvier-Février, 1995
- Rubaud, M. (1995) „Ciment et bois: la compatibilité entre les composants” CSTB Magazine / Janvier-Février, 1995
- Takács, P. (2007) „Szervetlen kötésű kompozitok”, Szaktudás Kiadó Ház Kft., Budapest, 2007
- Takács P., Bejő L., Vass N. (2004) „Különböző fa- és adalékanyagok hatása a cement hidratációjára cementkötésű kompozit termékekben. I. rész: Elméleti háttér” Faipar / LII. évf. 2004/4.
- Takács P., Bejő L., Vass N. (2005) „Különböző fa- és adalékanyagok hatása a cement hidratációjára cementkötésű kompozit termékekben II. rész: a kísérletek leírása” Faipar / LIII. évf. 2005/1.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE MATERIAL AND STRUCTURAL BEHAVIOUR OF WOOD-CHIP CONCRETE

Imre Kovács - Fanni Hajdu

Nowadays, structures are generally realized on the basis of environmental awareness. Requirements for buildings and structures increasing rapidly resulting more demands against the structural materials are used. The non-renewable energy sources are getting depleted, therefore design methods and construction technologies should be based on the use of low-energy materials. In addition to, among the construction materials of the future such a traditional structural materials with more than hundred years different applications like the wood-chip concrete can also play an important role (Merlet, 1995), (Blache, 1995). Wood-chip concrete is a light weight type concrete made of cement-bonded wood chip additives which combines the high qualities of wood as one of the oldest building material with the strength and durability properties of structural concrete. Special advantageous properties such as excellent thermal and acoustic abilities of the presented composite material made it possible worldwide over the past nearly four decades that wood-chip concrete become a construction material (Pimienta, 1995). Due to the advantageous properties of such a composite material, possibilities of direct use of wood-chip concrete for load bearing structures were encountered in the last period. To determine the material properties of wood-chip concrete for structural applications an experimental pilot program was designed.

Kovács Imre (1971) okl. építőmérnök, 1996-ban a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán szerzett szerkezet-építőmérnöki szakirányon diplomát. 2000 óta a Debreceni Egyetem munkatársa. Doktori (PhD) értekezését a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán 2005-ben védte meg. A Debreceni Egyetem Építőmérnöki Tanszékének főiskolai tanára, tanszékvezető, az EMAKOM Mérnöki Szolgáltató Kft. ügyvezetője.

Hajdu Fanni (1987) építőmérnök, 2010-ben a Debreceni Egyetem Műszaki Karán magasépítési szakirányon szerezte meg építőmérnök diplomáját. 2010-től az DE-MK Építőmérnöki Tanszékének meghívott előadója. 2011-től a Nádép-Fabeton Kft. munkatársa. 2014-ben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán szerzett Betontechnológus szakmérnöki diplomát.

VASBETON-KERÁMIA KOMPOZIT FÖDÉMRENDSZER TARTÓSSÁGÁNAK ELMÉLETI VIZSGÁLATA



Dr. Koris Kálmán – Dr. Bódi István

A Wienerberger Zrt. a közelmúltban új kialakítású kerámia béléstesteket vezetett be az európai és magyarországi piacon régóta gyártott Porotherm födémrendszeréhez. Az új födembéléstestek magyarországi bevezetése kapcsán a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszékén elvégeztük az új béléstestek, valamint a teljes vasbeton-kerámia kompozit födémrendszer erőtani vizsgálatát az Eurocode szabványrendszer figyelembevételével. Az elvégzett erőtani vizsgálatok magukban foglalták az új béléstestek kísérleti analizisét, valamint a födémrendszer teherbírásának, tartósságának és tűzállóságának kísérleti, illetve elméleti elemzését. A jelen cikkben a Porotherm födémrendszer tartósságával kapcsolatosan elvégzett kutatás elméleti hátterét és az elvégzett vizsgálatok fontosabb eredményeit mutatjuk be.

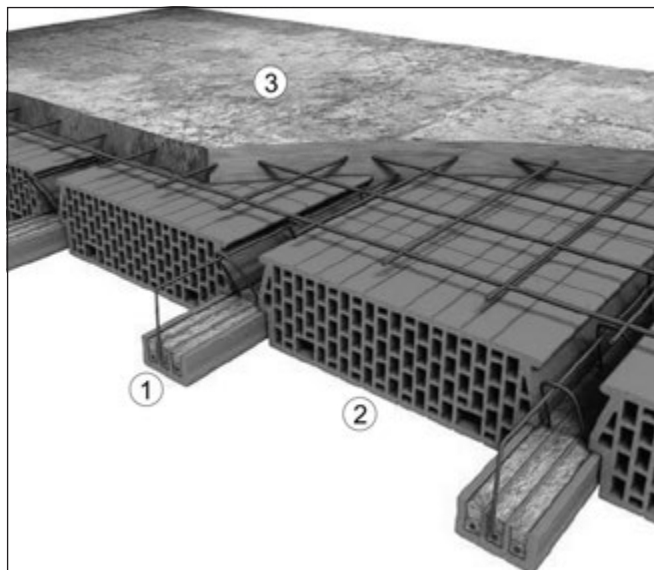
Kulcsszavak: előregyártás, vasbeton-kerámia kompozit födém, előfeszített beton, tartósság, valószínűségelmélet

1. BEVEZETÉS

A Porotherm födémrendszerben – hasonlóan más vázkerámias födémrendszerekhez – az előregyártott, kerámiaelem-kérgű vasbeton gerendák közé vékonyfalú, üreges kerámia béléstesteket helyeznek el. A túlemelt alátámasztásokon, szárazon összerakott födém egy helyszíni, vasalt felbeton réteg kialakításával nyeri el a végleges formáját (lásd 1. ábra). Ezeknek a – jellemzően 2-8 m közötti fesztávolságú – födémeknek a monolit vasbeton födémhez képes számos előnye van: gyorsabb és gazdaságosabb a kivitelezése, kisebb a kész födém önsúlya, kedvezőbb hang- és hőszigetelési tulajdonságokkal bír, továbbá jobb a tűzállósága a kerámia elemek hőszigetelő hatásának köszönhetően.

Az utóbbi években – az Eurocode szabványrendszer beve-

1. ábra: A Porotherm födém kialakítása az előregyártott, kerámiaelem-kérgű feszített vasbeton gerendákkal (1), kerámia béléstestekkel (2) és vasalt helyszíni felbeton réteggel (3)



zetésével párhuzamosan – a szerkezetek tartósságával kapcsolatos kérdések vizsgálata egyre jelentősebb szerepet kap a tervezői munka során (Balázs 2008). A jelentős mennyiségben beépülő Porotherm födémrendszer elemeinek kapcsán is fontos célkitűzés volt, hogy a megvalósítási költségeken túl – a megfelelő tartósság biztosítása révén – minimalizálni lehessen a fenntartásra fordítandó költségeket. A fenntartási költségek egy része a nem megfelelő alkalmazás, illetve nem rendeltetésszerű használat során bekövetkező állagromlás miatt jelentkezik. Megfelelő tervezéssel és kivitelezéssel az előbbi problémák kiküszöbölhetőek, ugyanakkor az utóbbi véletlen események következményeit igen nehéz előre megjósolni. A tartószerkezet anyagában, a környezeti hatások következtében végbemenő reológiai folyamatok azonban modellezhetőek, és ezek a változások a tervezés során figyelembe vehetőek. A tartószerkezet tetszőleges időpontban számítható teherbírását, és a tartóra ható, adott időpontban várható terhelés nagyságát összevetve lehetőség nyílik olyan födém tervezésére, amely erőtani szempontból megfelel a teljes tervezett élettartam alatt. Ezen módszer alkalmazásával a várható állagromlásból eredő szerkezeti károsodások elkerülhetőek, illetve pontosabban tervezhető a szükséges fenntartási munkák időpontja. Az Eurocode előírásai tartalmaznak irányelveket a tartósságra való méretezéssel kapcsolatban, ezek a módszerek azonban csak a szerkezeti típus, a várható környezeti hatások és az anyagjellemzők általános osztályozásán alapulnak. A bemenő adatok értékének pontosabb felvételével történő direkt valószínűségi méretezési eljárás alkalmazásával pontosabban nyomon követhetjük a teherbírás, illetve a födém megfelelőségének időbeli alakulását, és végső soron gazdaságilag kedvezőbb födém kialakítást érhetünk el. Az alábbiakban bemutatjuk a Porotherm födémrendszer vizsgálatához alkalmazott tartóssági tervezési eljárást, valamint az elvégzett vizsgálatok fontosabb eredményeit.

2. AZ ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZER

2.1. Tartóssági tervezés valószínűségelméleti alapon

A vizsgált födémrendszer tartóssága megfelelőnek tekinthető, ha tönkremeneteli valószínűsége nem halad meg egy adott értéket a teljes tervezett élettartama során. A födém tönkremenetelét különböző határállapotokkal jellemezhetjük, mint például a teherbírási, vagy használhatósági határállapotok. A Porotherm födémrendszer tartósságának vizsgálatát a teherbírási határállapotok (hajlítási és nyírási tönkremenetel) figyelembevételével végeztük el. Ezen határállapot elérésének, azaz a födém szilárdsági tönkremenetelének a valószínűsége különböző, időben változó valószínűségi változók függvénye. A vizsgálatok során ezeknek a valószínűségi változóknak, illetve az ezekből számítható tönkremeneteli valószínűségnek a tetszőleges időpontban történő meghatározásával foglalkoztunk. A födém megfelelősége a kiszámított tönkremeneteli valószínűségi szint és egy előre definiált, optimális kockázati szint összehasonlításával dönthető el. Az optimális kockázati szint értékét – a teherbírási határállapot vizsgálatára való tekintettel – az Eurocode előírásainak megfelelően 10^{-4} értékre vettük föl (ez egyébként egyezik a korábbi Magyar Szabványban meghatározott optimális kockázati szinttel).

2.2. A födém tönkremeneteli valószínűségének meghatározása

Egy tetszőleges épületszerkezet teherbírását az ellenállás (R) és a terhelés (S) különbségéből képzett, ún. teljesítményfüggvény (G) segítségével vizsgálhatjuk. Az ellenállás és a terhelés jellemzően valószínűségi változókból determinisztikus összefüggések segítségével képzett értékek, így a teljesítményfüggvény is valószínűségi változó lesz. Amennyiben feltételezzük, hogy ismertek a teljesítményfüggvény valószínűségi eloszlásának paraméterei, a szerkezet tönkremeneteli valószínűsége az alábbi módon számítható:

$$p_G = \int_{-\infty}^0 f(G) dG = P[G < 0] = \Phi\left(\frac{0 - M_G}{s_G}\right) = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (1)$$

ahol M_G és s_G a G teljesítményfüggvény várható értéke és szórása, β pedig az ún. megbízhatósági index, ami gyakorlatilag a G függvény által (a valószínűségi változók által kifizített többdimenziós térben) leírt hiperfelület origótól való legkisebb távolságát jelenti (Lawrence 1989). A fenti elv alkalmazása azért nehézkes a gyakorlatban, mert a teljesítményfüggvény rendszerint több valószínűségi változó nemlineáris függvénye, így eloszlásának paramétereit nem tudjuk analitikus úton meghatározni. A Porotherm födém tartóssági vizsgálata során azt a – tartószerkezetek valószínűségelméleti alapon történő méretezésekor szokásos – közelítést alkalmaztuk, hogy a G függvény által leírt hiperfelületet linearizáltuk a legnagyobb tönkremeneteli valószínűséghez tartozó pontban. A födém tönkremeneteli valószínűsége ekkor a következőképpen definiálható:

$$p_G \approx 1 - \Phi(\beta) \quad (2)$$

ahol a β megbízhatósági index az M_G / s_G hányados elsőrendű

becsléseként adható meg. Az M_G és s_G paraméterek értékeit a hiperfelület sorbafejtésével határozhatjuk meg, a legnagyobb tönkremeneteli valószínűséghez tartozó pontban. A vizsgált födém hajlítási és nyírási ellenállásának várható értékét és szórását az ún. sztochasztikus végelelemmódszerrel határoztunk meg az idő függvényében, míg a terhelés statisztikai jellemzőit irodalmi adatok alapján vettük fel (Mistéth 2001).

2.3. A födém teherbírás várható értékének meghatározása

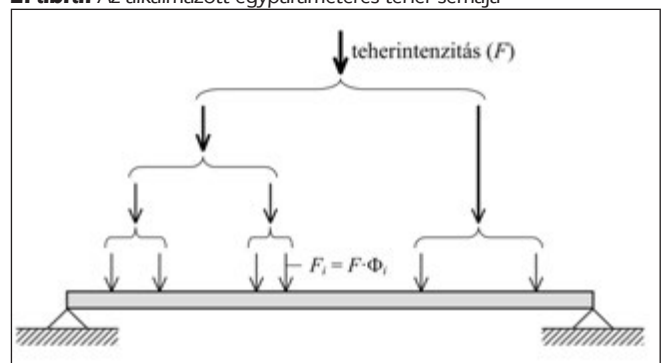
A vizsgált födém teherbírásának várható értékét végelelemmódszer (Bojtár és Gáspár 2003) segítségével határoztuk meg. A Porotherm födémrendszerre jellemző, hogy kisebb, vagy közepes feszítávolságok esetén gyakran nem a hajlítási, hanem a nyírási tönkremenetel a mértékadó. Erre való tekintettel szükség volt a nyírási alakváltozások figyelembevételére, így a végelelemes számításokhoz a Timoshenko-féle gerenda modellt alkalmaztuk. A Timoshenko-féle gerenda modell használatával lehetőség volt arra, hogy független változóként kezeljük a lehajlásfüggvényt és a keresztmetszetek nyírási elfordulását leíró függvényt. A fizikai egyenletek felírásakor figyelembe vettük a beton és a feszítópázmák képlékeny viselkedését az Eurocode 2 által megadott rugalmas-képlékeny anyagmodellek felhasználása révén. A számításokhoz a födém geometriai- és anyagjellemzőinek várható értékeit használtuk. Az egyes bemenő adatok számszerű értékének meghatározási módjáról a 2.5. fejezetben lesz bővebben szó. A végelelemes futtatás során egyparaméteres terhelést alkalmaztunk (a tartóra helyezett teher egy F teherintenzitás és egy Φ tehereloszlásvektor szorzata, lásd 2. ábra), melyet lépcsőkben vittük fel a födémre, és minden egyes teherlépcső esetén meghatároztuk a szerkezet húrmerevségi mátrixát. A szerkezet tönkremenetelét a megfelelő (hajlítási vagy nyírási) tönkremeneteli állapothoz tartozó merevségi mátrix sajátértékének, és az adott teherlépcsőhöz tartozó merevségi mátrix sajátértékének az összehasonlításával állapítottuk meg.

2.4. A födémteherbírás szórásának meghatározása

A vizsgált födém teherbírásának szórását az ún. sztochasztikus végelelemmódszerrel (Belytschko at al. 1986) határoztuk meg. Az anyagjellemzők és geometriai méretek egy várható érték (M_x) körül ingadoznak az anyagok inhomogenitása, gyártási pontatlanságok és egyéb véletlen hatások miatt. Ezek a fluktuációk egy folytonos valószínűségi változóval írhatók le. Egy adott bemenő paraméter (x) szóródása egy folytonos $\alpha(\zeta)$ valószínűségi változóval kifejezve az alábbi módon írható:

$$x = M_x \cdot [1 + \alpha(\zeta)] \quad (3)$$

2. ábra: Az alkalmazott egyparaméteres teher sémája



Az $\alpha(\zeta)$ folytonos valószínűségi változót a sztochasztikus végelemmódszer segítségével diszkrétizálhatjuk az egyes véges elemek mentén (lásd 3. ábra). A függvény közelítő értéke tetszőleges véges elemre megadható az interpolációs függvények (N_i) segítségével:

$$\alpha^{(k)} = \sum_{i=1}^n N_i(\xi) \cdot \alpha_i^{(k)}, \quad 0 \leq \xi \leq 1 \quad (4)$$

A számítások során az egyes véges elemeken belül konstans $\alpha^{(k)}$ függvényt tételeztünk fel ($N_i(\xi) = 1$), így a szerkezet valószínűségi szabadságfoka – egy adott valószínűségi változóra vonatkozólag – a véges elemek számával egyezett.

A sztochasztikus végelemmódszer segítségével a szerkezeti ellenállás kovarianciája kifejezhető a bemenő adatok kovarianciáiból. Egy adott, véletlen jellegű bemenő paraméter (x) kovariancia mátrixa (\underline{C}_x) az alábbi formában fejezhető ki:

$$\underline{C}_x = \underline{s}_x \cdot \underline{C}_\rho \cdot \underline{s}_x^T \quad (5)$$

ahol az \underline{s}_x mátrix az x bemenő paraméter szórásait tartalmazza a főátlója mentén, míg \underline{C}_ρ a korrelációs mátrix. Az egyes véges elemek közötti korrelációt a köztük lévő távolsággal exponenciálisan csökkenő függvénnyel írhatjuk le. Az i -edik és j -edik elem közti korrelációs együttható a következőképpen írható fel:

$$\rho_{i,j} = e^{-\frac{\Delta\zeta_{i,j}}{\lambda}} \quad (6)$$

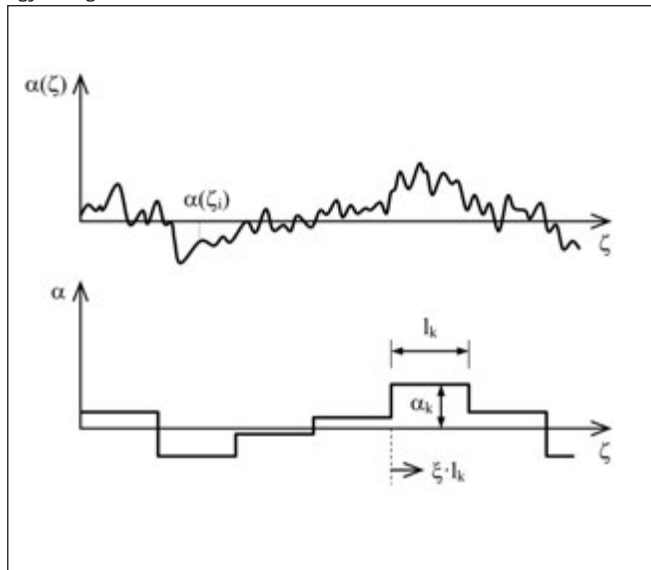
ahol $\Delta\zeta_{i,j}$ a két vizsgált véges elem középpontja közötti távolság és λ a korrelációs hossz. Az elvégzett számítások során azt feltételeztük, hogy a fődém teherbírását befolyásoló valószínűségi változók a fődém fesztávolsága mentén korreláltak, azaz a korrelációs hosszat a fesztávolsággal vettük egyenlőnek.

Abban az esetben, ha a külső terhek q vektora egy s_x szórással rendelkező valószínűségi változó (x) függvénye, akkor a szórását közelítőleg a Taylor-sorának első tagjával fejezhetjük ki:

$$\underline{s}_q = \frac{\partial q}{\partial x} \cdot s_x \quad (7)$$

A (7) egyenletet az (5) egyenletbe helyettesítve a tehervektor kovariancia mátrixára a következő összefüggést kapjuk:

3. ábra: Egy folytonos $\alpha(\zeta)$ valószínűségi változó diszkrétizálása az egyes véges elemeken belül



$$\underline{C}_q = \frac{\partial q}{\partial x} \cdot \underline{C}_x \cdot \frac{\partial q^T}{\partial x} \quad (8)$$

Abban az esetben, ha a fenti kovariancia értéket a szerkezet tönkremenetele nélkül elérhető legnagyobb terhelés esetén írjuk fel, akkor gyakorlatilag a szerkezeti ellenállás kovarianciáját kapjuk. Ebben az esetben az ellenállás szórása a \underline{C}_q kovariancia mátrix főátlójában lévő elemek négyzetgyökeként adódik.

Determinisztikus végelemmódszer alkalmazása esetén a szerkezet alakváltozásait az alábbi, jól ismert egyenletből határozhatjuk meg:

$$\underline{K} \underline{u} = \underline{q} \quad (9)$$

ahol \underline{K} a szerkezet merevségi mátrixa, \underline{q} a szerkezetre ható külső terhek vektora és \underline{u} az ismeretlen csomóponti elmozdulások vektora. Amennyiben a csomóponti elmozdulások számításakor figyelembe vesszük a merevségi jellemzők és a terhek szóródását, akkor a végelemmódszer alapegyenlete az alábbi formában írható fel, a vonatkozó várható értékek és szórások figyelembevételével:

$$(\underline{K} + \delta \underline{K}) \cdot (\underline{u} + \delta \underline{u}) = (\underline{q} + \delta \underline{q}) \quad (10)$$

A fenti összefüggésben a szorzásokat elvégezve kapjuk a következő egyenletet:

$$\underline{K} \cdot \underline{u} + \underline{K} \cdot \delta \underline{u} + \delta \underline{K} \cdot \underline{u} + \delta \underline{K} \cdot \delta \underline{u} = \underline{q} + \delta \underline{q} \quad (11)$$

Az egyenletben szereplő $\delta \underline{K} \cdot \delta \underline{u}$ szorzatot elhanyagolhatjuk, mivel a többi taghoz képest ez kicsi és nem befolyásolja jelentősen az eredményeket. A fenti összefüggés ekkor két független egyenletrendszerre bontható szét: a korábban felírt (9) egyenletrendszerre, illetve a paraméterek szóródását kifejező tagokat tartalmazó egyenletrendszerre:

$$\delta \underline{K} \cdot \underline{u} = \delta \underline{q} - \underline{K} \cdot \delta \underline{u} \quad (12)$$

Feltételeztük, hogy abban az i csomópontban, ahol a szerkezet éppen eléri a teherbírasi határállapotot, a lehajlás szóródása (δu_i) zérusnak tekinthető, így a (12) jelű egyenletrendszer az alábbi alakba hozható:

$$\delta \underline{K} \cdot \underline{u} = -\tilde{\underline{K}} \cdot \delta \underline{q} = - \begin{bmatrix} k_{1,1} & \dots & k_{1,i-1} & -\Phi_1 & k_{1,i+1} & \dots & k_{1,n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_{i-1,1} & \dots & k_{i-1,i-1} & -\Phi_{i-1} & k_{i-1,i+1} & \dots & k_{i-1,n} \\ k_{i,1} & \dots & k_{i,i-1} & -\Phi_i & k_{i,i+1} & \dots & k_{i,n} \\ k_{i+1,1} & \dots & k_{i+1,i-1} & -\Phi_{i+1} & k_{i+1,i+1} & \dots & k_{i+1,n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_{n,1} & \dots & k_{n,i-1} & -\Phi_n & k_{n,i+1} & \dots & k_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u_1 \\ \vdots \\ \delta u_{i-1} \\ \delta F \\ \delta u_{i+1} \\ \vdots \\ \delta u_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

A fenti összefüggésben a merevségi mátrix i -edik oszlopában található elemeket a tehereloszlás vektor megfelelő elemeivel helyettesítettük, míg a $\delta \underline{u}$ vektor i -edik sorába a teherintenzitás szórása (δF) került, mely értéket egyelőre nem ismerünk. A (13) összefüggés átrendezésével az alábbi kifejezést nyerhetjük:

$$\delta \underline{q} = -\tilde{\underline{K}}^{-1} \cdot \delta \underline{K} \cdot \underline{u} \quad (14)$$

A (8) és (14) egyenletek felhasználásával kifejezhető a tehervektor kovarianciája, melyből teherbírasi határállapotban meghatározhatjuk a teherbírás szórását:

$$\underline{\underline{C}}_{\underline{\underline{q}}} = \delta \underline{\underline{q}} \cdot \delta \underline{\underline{q}}^T = \underline{\underline{K}}^{-1} \cdot \frac{\partial \underline{\underline{K}}}{\partial \underline{\underline{\alpha}}} \cdot \underline{\underline{u}} \cdot \delta \underline{\underline{\alpha}} \cdot \underline{\underline{C}}_{\underline{\underline{p}}} \cdot \delta \underline{\underline{\alpha}}^T \cdot \underline{\underline{u}}^T \cdot \frac{\partial \underline{\underline{K}}^T}{\partial \underline{\underline{\alpha}}} \cdot \underline{\underline{K}}^{-T} \quad (15)$$

ahol $\underline{\underline{K}}$ a szerkezet merevségi mátrixa, $\underline{\underline{u}}$ a csomóponti elmozdulások vektora, $\underline{\underline{C}}_{\underline{\underline{p}}}$ a korrelációs mátrix, $\delta \underline{\underline{\alpha}}$ a bemenő adatok szórásait tartalmazó mátrix és $\underline{\underline{K}}$ a merevségi mátrixból és a tehereloszlási vektorból összeállított mátrix. A számítások során meghatároztuk a teherbírás $\underline{\underline{C}}_{\underline{\underline{q}}}$ kovariancia mátrixát a mértékadó teherbírási határállapotban, a teherbírás szórását pedig ezen kovariancia mátrix átlójában lévő elemek négyzetgyökeként nyertük. A teherbírás fenti módon számított szórása magában foglalja a geometriai adatok és anyagjellemzők teljes szerkezetre vonatkozó (teljes tartóhossz mentén korrelált) valószínűségi értékeit. A fenti egyenlet kapcsán érdemes még megjegyezni, hogy a $\underline{\underline{K}}$ merevségi mátrix szórását Taylor-sorba fejtéssel határoztuk meg. Amennyiben a merevségi mátrix egy valamely α valószínűségi változó függvénye, akkor a $\delta \underline{\underline{K}}$ szórása az előzőekben elmondottakhoz hasonlóan Taylor-sorának első tagjával kifejezve közelítőleg az alábbi alakban írható fel:

$$\delta \underline{\underline{K}} = \frac{\partial \underline{\underline{K}}}{\partial \alpha} \delta \alpha \quad (16)$$

ahol $\delta \alpha$ az α valószínűségi változó szórása. A Taylor-sor magasabb rendű tagjainak elhanyagolása elfogadható közelítés, amennyiben a merevségi mátrix szórása nem haladja meg a 15%-ot. Esetünkben a merevségi mátrix szórása kevesebbre adódott ennél az értéknél, így elfogadtuk a fenti közelítést. A merevségi mátrix elsőrendű parciális deriváltját a számítások során numerikus úton határoztuk meg az alábbi közelítéssel élve:

$$\frac{\partial \underline{\underline{K}}}{\partial \alpha} \approx \frac{\Delta \underline{\underline{K}}}{\Delta \alpha} \quad (17)$$

2.5. A bemenő adatok kezdeti értékeinek meghatározása

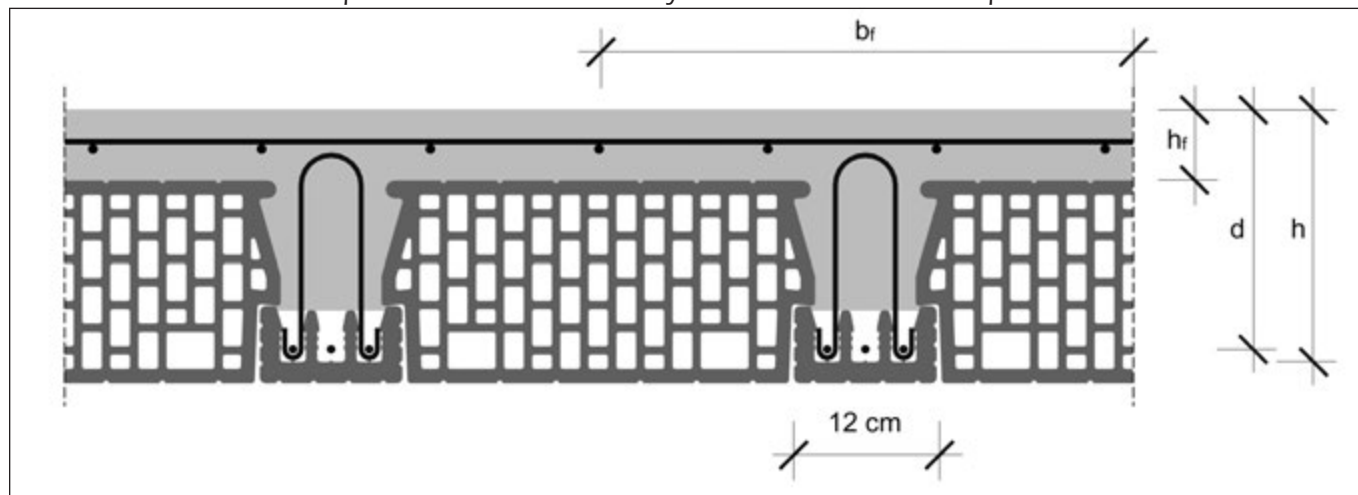
A födém valószínűségi alapon történő méretezéséhez szükséges bemenő geometriai adatokat és anyagjellemzőket mérési eredmények alapján vettük fel. A Porotherm födémek nyírási teherbírásával kapcsolatos kísérleti vizsgálatokhoz (Bódi és Koris 2013) összesen 18 különböző kialakítású födém próbatest készült, amelyeken a főbb szerkezeti méretek mérésével (4. ábra) és statisztikai feldolgozásával kaptuk meg a tartóssági számításokhoz szükséges geometriai paraméterek (felső öv szélesség és vastagság, keresztmetszet magassága, a feszítőpásmák hasznos magassága és a feszítávolság) várható értékét és relatív szórását.

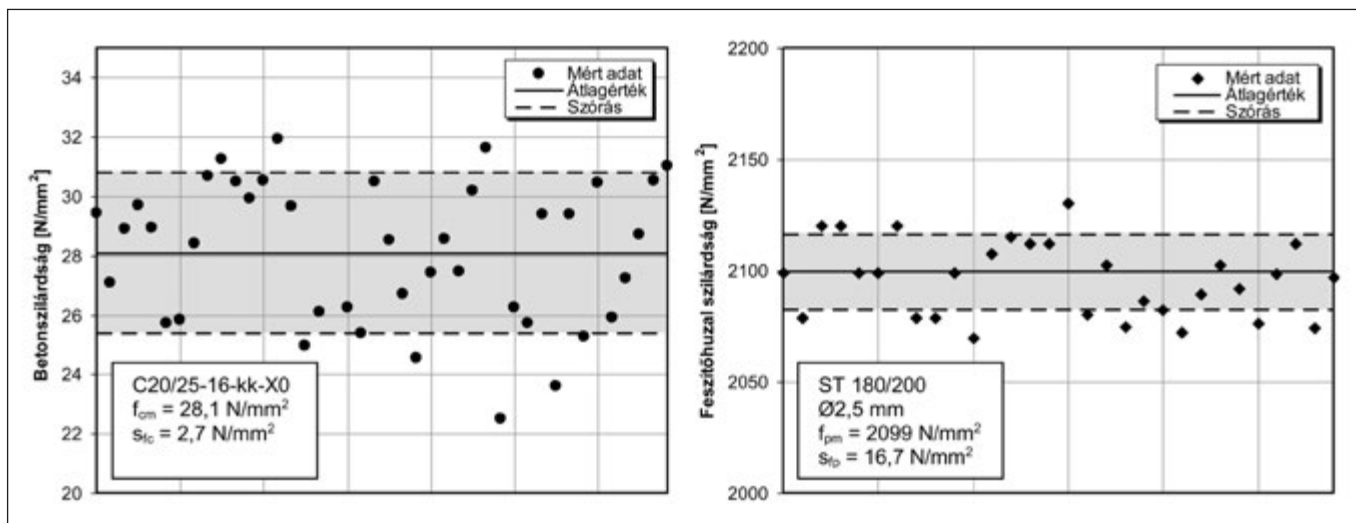
Az előregyártott gerendák T250 jelű, $f_k = 40 \text{ N/mm}^2$ szilárdságú kerámia kéregelemek kibetonozásával készültek, C30/37-XC3-8-F6 minőségű beton felhasználásával. A betonszilárdság tekintetében azonban a helyszínen készítő, C20/25-16-kk-X0 minőségű transzportbeton réteg szilárdsági jellemzőire volt szükség, mivel – a feszítőhuzalok szilárdsága mellett – alapvetően ez befolyásolja mind a hajlítási, mind a nyírási teherbírás értékét. A betonszilárdság statisztikai jellemzőit a födém próbatestek gyártása során felhasznált betonból készített, 150 mm élhosszúságú kocka próbatestek törökísérleti eredményei alapján számítottuk. Az összesen 50 betonkockán elvégzett törökísérlet eredménye, illetve az ezekből számított betonszilárdság várható értéke és a szórásértékek az 5. ábrán láthatók. Az előregyártott födémgerendák hosszvasalása St 180/200 minőségű, hidegen húzott sima $\varnothing 2,5 \text{ mm}$ átmérőjű feszítőhuzalokból áll. A tartóssági vizsgálat tárgyát képező F-375 jelű (375 cm hosszúságú) gerendákban kilenc feszítőhuzal található. A gyártó által kiadott minőségi tanúsítvány alapján a huzalok rugalmassági modulusa $E_p = 184 \text{ kN/mm}^2$, az 1%-os egyezményes folyáshatárhoz tartozó feszültség értéke $f_{p0,1k} = 1220 \text{ N/mm}^2$, a határnyúlás karakterisztikus értéke pedig $\epsilon_{puk} = 40\%$. A huzalok esetében a gyártó által alkalmazott kezdeti feszítési feszültség $\sigma_{p0} = 1359 \text{ N/mm}^2$ volt. A feszítőhuzalok szilárdságának átlagértékét és szórását 30 huzalon elvégzett szakítókísérlet eredményei alapján határoztuk meg (5. ábra). Az előregyártott Porotherm gerendák végein sima felületű, BHS 55.50 minőségű, $\varnothing 4,2 \text{ mm}$ átmérőjű acélhuzalból készült kengyelek is találhatóak, melyeket a helyszíni betonozás előtt 45° -ban ki kell hajtani, hogy az előregyártott és a helyszíni beton együttműködését biztosítsák. Ezen kengyelek mennyisége azonban nem éri el az Eurocode 2 szerkesztési szabályai által előírt minimális nyírási vasalás mennyiségét, így a nyírási teherbírás számításakor nem vettük őket figyelembe.

2.6. A bemenő adatok időbeli változásának követése

A számításokhoz szükséges bemenő adatok (anyagok szilárdsága és a födém geometriai méretei) kezdeti értékét az előző pontban említett módon, mérési, illetve törővizsgálati eredmények alapján határoztuk meg. A különböző környezeti hatások miatt ezen adatok értékei időben nem feltétlenül lesznek állandók. A számítás során meghatároztuk az anyagszilárdságok és a geometriai méretek statisztikai jellemzőinek időbeli változását, a födém lassú alakváltozásait (zsugorodás, kúszás, relaxáció), a beton karbonátosodása által okozott feszítőhuzal korróziót, valamint a terhelés időbeli változását is. Az előregyártott ge-

4. ábra: A Porotherm födém tipikus keresztmetszete néhány fontosabb keresztmetszeti paraméter feltüntetésével



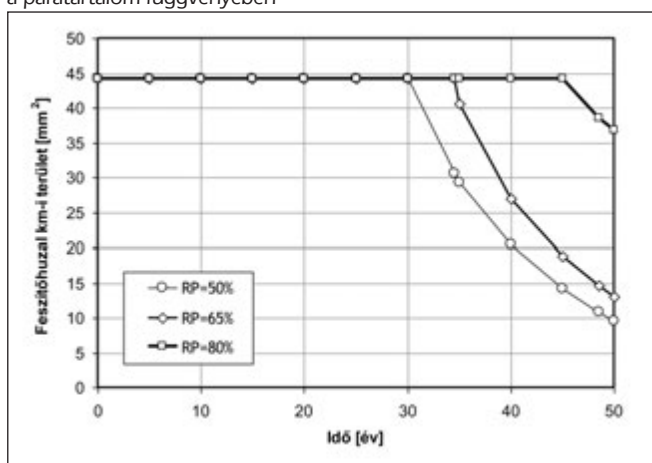


5. ábra: A mért beton- és feszítőhuzal szilárdság értékek a számított átlagokkal és szórásokkal

rendák alsó részén kerámia kéregelem található. A kéregelemek közötti illesztésekbe gyártáskor a kéregelem teljes vastagságában befolyik a beton, így a karbonátosodás mélységének vizsgálatok a feszítőhuzalok alsó betonfedésnek értékebe a kéregelem vastagságát is beleszámoltuk. A Porotherm födémeket jellemzően lakóépületekbe építik be, ahol a födém sem alulról, sem felülről nincs agresszív környezeti hatásoknak kitéve, így egyéb károsodási lehetőségeket – mint például klorid korrózió – nem modelleztünk. A feszítőhuzalok korróziójának hatását a huzalok keresztmetszeti területének időbeli csökkenésével vettük figyelembe a Zhao és Fan (2007) által leírt korróziós modell segítségével. A 6. ábra a feszítőhuzalok keresztmetszeti területének időbeli csökkenését szemlélteti különböző relatív páratartalmú (RP) környezeti viszonyok esetén.

A fenti diagramból jól látszik, hogy különböző relatív páratartalom értékek mellett mikor éri el a karbonátosodott réteg a huzalokat, azaz mikor kezdenek korrodálni (például 65% relatív környezeti páratartalom esetén ez az érték 34,5 év). Nagyobb páratartalom mellett a karbonátosodás folyamata jóval lassabban megy végbe, ugyanakkor a korrózió folyamata – amennyiben már beindult – gyorsabb lesz. A korróziós folyamat követése azért is fontos, mert amint későbbiekben látható lesz, a huzalok keresztmetszeti területének csökkenése van a legnagyobb hatással a födém tönkremeneteli valószínűségének csökkenésére. A feszítőhuzalok korróziójának számításakor vakolatlan alsó födémfelületet feltételeztünk, a valóságban azonban vakolni szokták a födémeket, ami lassíthatja a karbonátosodást, illetve ezáltal a korrózió folyamatát is. A karbonátosodási mélységek számítására a *fib* bulletin 34 (2006) által javasolt modellt alkalmaztuk. A beton zsu-

6. ábra: A feszítőhuzalok keresztmetszeti területének időbeli változása a páratartalom függvényében

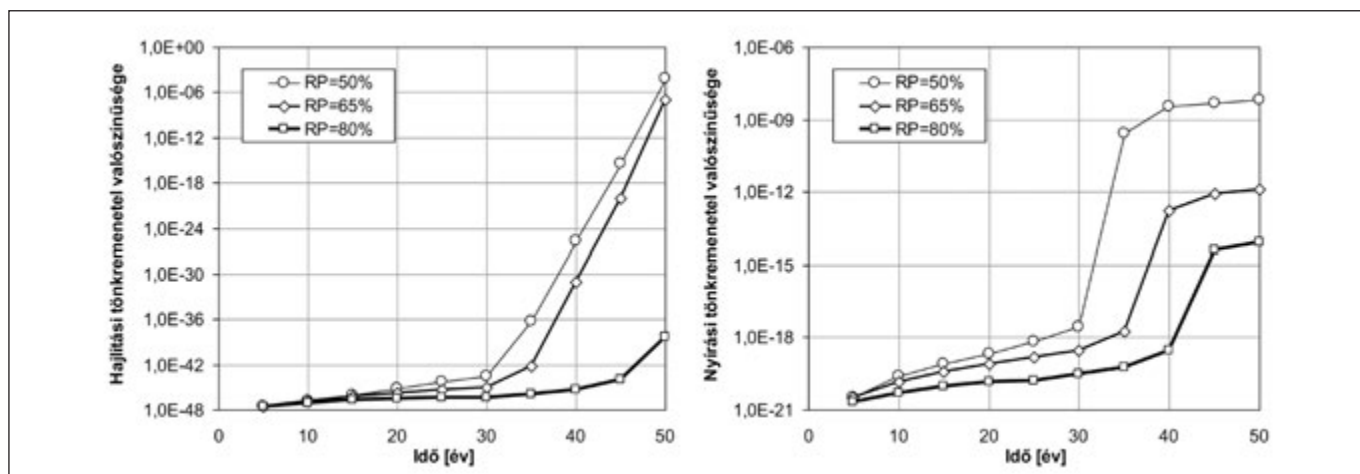


gorodását és kúszását, a feszítőhuzalok relaxációját, illetve a feszítési feszültség csökkenését az Eurocode 2 előírásai alapján számítottuk. Az anyagszilárdságok szórásának, illetve az alkalmazott egyenletesen megoszló terhelés várható értékének és szórásának időbeli változását Mistéth (2001) javaslatai alapján vettük figyelembe.

3. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

Az előzőekben leírt számítási modell figyelembevételével elvégeztük egy egyszeres kiosztású F-375 jelű Porotherm födémgerendákból, 17 cm magas béltestestekből, 4 cm vastag C20/25 tervezett minőségű felbeton réteggel készült födémszerkezet tartóssági ellenőrzését. A számítást három különböző környezeti relatív páratartalom érték esetére (RP = 50%, 65% és 80%) végeztük el, 50 éves várható élettartam figyelembevétele mellett. A feltételezett gyártási időpont után 5 évenként meghatároztuk a födém hajlítási, illetve nyírési tönkremenetelének valószínűségét, és az eredményeket diagramban ábrázoltuk (7. ábra).

Amint a fenti diagramokból látszik, az idő előrehaladtával nő mind a hajlítási, mind a nyírési tönkremenetel valószínűsége, azonban az 50 éves tervezett élettartam alatt minden esetben az Eurocode által – teherbírasi határállapotokra – megállapított $p_{opt} = 10^{-4}$ határérték alatt marad annak a valószínűsége, hogy a szerkezet szilárdságilag tönkre megy. Ezt azt jelenti, hogy a vizsgált födém teherbírása kellő biztonsággal megfelel a teljes élettartam alatt. Az eltérő páratartalom következtében különböző lesz a lassú alakváltozások, a karbonátosodás és a pázsma korróziójának mértéke, ami természetesen a tönkremeneteli valószínűségi diagramok különbözőségében is megmutatkozik. Jól látható mind a hajlítási, mind a nyírési teherbírásra vonatkozó ábra esetében a huzalok korróziójának jelentős hatása. A korrózió megindulása után – mivel a huzalok keresztmetszeti területétől jelentősen függ a hajlítási teherbírás – gyorsabb ütemben nő a hajlítási tönkremenetel valószínűsége. Érdekes módon a magasabb relatív páratartalom értékek esetén – a lassabb karbonátosodási folyamatnak köszönhetően – jóval nagyobb biztonság adódik amiatt, hogy a huzalok korróziója jóval később indul meg. Ez természetesen csak repedésmentes gerendák esetén igaz, mivel a repedések megjelenése már jóval korábban beindíthatja az acélok korróziójának folyamatát. Normál terhelési szint mellett azonban a feszített gerendák alkalmazása jó eséllyel biztosítja a repedésmentes állapotot. Nyírési tönkremenetel esetén – a csapathas csökkenése révén – szintén egy ugrás látható a valószínűségi görbében, azonban amikor a csapathas mértéke már nem jelentős a beton nyírasi



7. ábra: A vizsgált Porotherm födém hajlítási és nyírási tönkremenetelének időbeli változása különböző relatív páratartalom értékek mellett

teherbírásához képest, akkor ismét kisebb mereedségű lesz a görbe. A fenti számítási eredményeket összehasonlítottuk az Eurocode 2 előírásai alapján számítható teherbírás értékekkel. Megállapítható, hogy a teljes tervezési élettartamot figyelembe véve, a bemutatott, valószínűségi elven alapuló számítási módszerrel mintegy 9%-kal magasabb teherbírás mutatható ki az Eurocode 2 szerint számolt értékhez képest. Ez egyebek mellett azt is jelenti, hogy a bemutatott módszer alkalmazása gazdaságosabb szerkezeti kialakítására ad lehetőséget (pl. nagyobb tartóra helyezhető teher, vagy kisebb szükséges keresztmetszeti méretek alkalmazása változatlan teherszint mellett).

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszéke a Wienerberger Zrt-vel való együttműködés során elvégezte a Porotherm födémrendszer erőtani vizsgálatát (Bódi és Koris 2012), beleértve a bevezetett új födembéltestek kísérleti analízisét, valamint a födémrendszer teherbírásának, tartósságának és tűzállóságának kísérleti, illetve elméleti elemzését. A födémrendszer tartósságának megállapítása érdekében valószínűségelméleti alapon történő méretezési eljárást alkalmaztunk, amely figyelembe veszi a bemenő paraméterek statisztikai jellemzőinek időbeli változását, a tartó lassú alakváltozásait, valamint a feszítőhuzalok – a beton karbonátosodása által létrejövő – korrózióját. A cikkben bemutatott eljárás segítségével meg tudtuk becsülni a vizsgált, 375 cm hosszú, előregyártott Porotherm elemekből készülő födém tönkremeneteli valószínűségét a gyártás óta eltelt idő függvényében. A tönkremenetel szempontjából csak a teherbírasi határállapotokat (hajlítási és nyírási) vizsgáltuk. A pontosabb számítás érdekében a födém geometriai adatait és anyagjellemzőit mérések, illetve törővizsgálatok alapján megállapított valószínűségi jellemzőkkel (várható érték, szórás) adtuk meg. A számítási eredmények alapján a födém teherbírása kellő biztonsággal megfelel a teljes 50 éves élettartam alatt. Megállapítottuk, hogy a bemutatott, valószínűségi elven alapuló számítási módszer alkalmazásával mintegy 9%-kal magasabb teherbírás mutatható ki az Eurocode 2 szerint számolt értékhez képest. Ez azt is jelenti, hogy a bemutatott módszer alkalmazása gazdaságosabb szerkezeti kialakítására ad lehetőséget a szabvány szerinti méretezéshez képest.

5. HIVATKOZÁSOK

- Augusti G. – Baratta A. – Casciati F. (1984), "Probabilistic Methods in Structural Engineering" Taylor & Francis.
- Balázs Gy. (2008), "A tartósság fogalma és növelésének módszerei" *Betonszerkezetek tartóssága*. (Szerkesztők, Balázs Gy., Balázs L. Gy.) Műegyetemi Kiadó, Budapest, pp. 7-19.
- Belytschko T. – Liu W. K. – Mani A. (1986), "Random Field Finite Ele-

- ments" *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 23, pp. 1831-1845.
- Bódi I. – Koris K. (2012) „Porotherm födémgerendák MSZ EN 1992-1-1 szerinti teherbírása” a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék kutatási jelentése.
- Bódi I. – Koris K. (2012) „Wienerberger PTH födémrendszer égetett kerámia béltesteinek mechanikai ellenálló képesség vizsgálata” a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék kutatási jelentése.
- Bódi I. – Koris K. (2012) „Porotherm födém keresztbordáinak teherelosztó hatása PTH 45/10 és PTH 60/10 béltestek alkalmazása esetén” a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék kutatási jelentése.
- Bódi I. – Koris K. (2013) „Wienerberger Porotherm födémrendszer nyírási teherbírásának kísérleti vizsgálata” a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék kutatási jelentése.
- Bojtár I. – Gáspár Zs. (2003), "Végeselem módszer építőmérnököknek" *TERC Kft*, Budapest.
- Eibl, J. – Schmidt-Hurtienne B. (1996), "Grundlagen für ein neues Sicherheitskonzept", *Bautechnik* 72(8), pp. 501-506.
- fib bulletin 34 (2006), "Model Code for Service Life Design", Sprint-Digital-Druck, Stuttgart.
- Koris, K. (1996), "Safety of reinforced concrete beams subjected to combined stress" *Proceedings of the 1st International PhD Symposium*, (Ed. Balázs, Gy. L.) Budapest, pp. 7-11.
- Koris, K. (2004), "Durability-design of reinforced concrete traffic infrastructure" *Proceedings of the Second International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation*, (Ed. Zingoni A.) Capetown, South Africa, 5-7 July, pp. 182-186.
- Koris, K. (2007), "Durability-design of pre-cast concrete members" *Proceedings of the 3rd Central European Congress of Concrete Engineering "Innovative materials and technologies for concrete structures"*, (Eds. Balázs, Gy. L., Nehme, S. G.) Visegrád, Hungary 16-18 September, pp. 407-412.
- Koris, K. – Bódi, I. (2009) „Probabilistic approach for the durability design of prefabricated concrete members" *Concrete Structures* Vol. 10, pp. 41-48.
- Lawrence, M. (1989), "An Introduction to Reliability Methods" *Computational Mechanics of Probabilistic and Reliability Analysis*, edited by Belytschko T. and Liu W.K., Department of Mechanical Engineering, Northwestern University, Elmpress International, Evanston.
- Mistéth E. (2001), "Méretezéselmélet" *Akadémiai kiadó*, Budapest.
- Zhao D. – Fan L. (2007), "Numerical analysis of carrying capacity deterioration and repair demand of existing reinforced concrete bridge" *Proceedings of the fifth international conference on current and future trends in bridge design, construction and maintenance*, Beijing, 17-18 September, pp. 173-179.

Dr. Koris Kálmán (1970) okleveles építőmérnök, 1993-ban végzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán, PhD, egyetemi adjunktus a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén. Kutatási területek: vasbeton szerkezeti elemek megbízhatóságának vizsgálata, előregyártott, előfeszített vasbeton szerkezetek analízise, szerkezetek megerősítése. A „NAD MSZ ENV 1992 Eurocode 2, Vasbeton szerkezetek tervezése” szabványügyi albizottság, a *fib* Magyar Tagozata és a Magyar Mérnöki Kamara tagja.

Dr. Bódi István (1954) építőmérnök, matematikus szakmérnök, PhD, egyetemi docens a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén. Kutatási területek: Vasbetonszerkezetek és hagyományos épületszerkezetek rekonstrukciója és megerősítése, faszerkezetek csomópontjainak modellezése. Az ACI (American Concrete Institute), az ACI 423-as számú albizottság „Előfeszített beton”, a *fib* Magyar Tagozata és a Magyar Mérnöki Kamara tagja. Az „Eurocode 5 - MSZ NAD (Faszerkezetek)” szabványügyi bizottság elnöke. A „Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz” tagja.

DR. MADARAS GÁBOR 65. SZÜLETÉSNAJÁRA



1950. december 11-én született Budapesten. 1975-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen építőmérnöki szerzett diplomát. Szakmérnöki oklevelét 1980-ban kapta vasbetonszerkezeti szakon. Ugyanebben az évben védte meg egyetemi doktori értekezését is vasbeton gerendák nyírás-elméletéből.

1975-78 között a Mélyépterv tervező mérnökeként dolgozott, főleg közművek és kisműtárgyak terezési munkáin.

1978-79-ben a Beton- és Vasbetonipari Művek gyártmány-fejlesztője, majd mélyépítési csoportvezetője volt.

1980-86-ban az Építéstudományi Intézet tudományos munkatársa, szakosztályvezetője volt a vasbetonszerkezeti tagozaton. Fő feladata a friss kutatási eredmények gyakorlati tervezési-alkalmazástechnikai feltételeinek kidolgozása volt, emellett részt vett az Intézet hagyományos kutatásfejlesztési munkáiban, fő érdeklődési köre ekkor a vasbeton lemezek átszűrődési elmélete volt. Az Intézet munkatársaként bekapcsolódott be a CEB (Comité Euro-international du Béton) munkájába, mint a magyar nemzeti tagozat tagja, és részt vett több szabvány és műszaki normatív dokumentum kidolgozásában.

1987. január 1-től az Építésügyi Minőségellenőrző Intézet tudományos munkatársa lett a Tartószerkezeti Tudományos Osztályon. Feladata tartószerkezetek szakértői vizsgálata, építőipari alkalmassági vizsgálatok végzése, kisebb mennyiségben kutatás, szabályozás volt. Munkái fókuszában vasbeton, könnyűbeton és feszített beton szerkezetek voltak, jelentős szerepe volt a sejtített könnyűbeton szerkezetek hazai bevezetésében, a szabadkábeles utófeszítési technológiák meghonosításában és több tízezer m² IMS szerkezet megerősítésében.

1992. június 1-jétől lett az Intézet (1996. január 1-jétől teljes körű jogutódként Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Rt.) tudományos igazgatója. Ebben a beosztásban bizonyos aktív szakmai tevékenység mellett feladata volt az Rt. valamennyi szaktevékenységének irányítása, koordinálása, szakmai kapcsolattartás hazai és külföldi szakintézményekkel, felsőoktatási szervezetekkel (CIB, CSTB stb.)

1998. július 1. óta az ÉMI-TÜV SÜD (azelőtt ÉMI- TÜV Bayern) Kft. ügyvezető igazgatója, emellett 2011. óta a TÜV SÜD AG. Real Estate Divíziójának kelet-középeurópai szak-

mai koordinátora. Mint a TÜV delegáltja mintegy tíz éven keresztül vett részt az ISO TC 178 munkájában, ahol felvonó biztonságtechnikai szabályozási feladatokon dolgozott.

Ösztöndíjasként 1985-ben Dániában, 1991-ben Dél-Koreában dolgozott, illetve vett részt tanulmányúton.

A CEB Magyar Nemzeti Tagozatának delegátusa és a CEB IV/1 (Quality Assurance Systems) munkabizottságának tagja volt. Részt vett a CIB és a FIP tevékenységében. A CEB+FIP=**fib** megalakulása óta a Magyar Nemzeti Tagozat alelnöke és delegáltja. A **fib** szervezetén belül munkabizottsági és bizottsági tagként 15 éven keresztül foglalkozott minőségbiztosítási és tartóssági kérdésekkel. A Com. 5, majd TG5.8 munkájában Steen Rostam meghívására 1998. óta vett részt, 2013-ig mint aktív bizottsági tag, 2013 óta mint corresponding member.

A **fib** Magyar Tagozatának 1998. óta alelnöke és a Palotás László-díj kuratórium tagja.

A pécsi Janus Pannonius Tudományegyetemen 2001. június 30-ig szóló kinevezése volt az Anyagvizsgáló és Minőségbiztosítási Tanszék vezetésére, mint má. főiskolai docens.

Megalakulása óta a Nemzeti Akkreditáló Testület elnökhelyettese, 2000-2004 között elnöke volt.

Oktatói tevékenységet 1991-94 között a BME idegen nyelvű képzésében és szakmérnöki képzésében vállalt, ezen kívül számos esetben tartott hazai és külföldi hallgatóság részére előadást aktuális szakmai kérdésekről.

2001. óta a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén Betontechnológiai szakmérnöki oktatásban minőségbiztosítási előadásokat tart.

Szűkebb szakterülete a tartószerkezetek vizsgálata, fejlesztése, ezen belül a vasbetonszerkezetek, a feszített vasbetonszerkezetek és a könnyűbeton szerkezetek témája.

A Mérnöki Kamara alapító tagjaként a kezdetektől részt vett a Kamara szervezésében, több vezető tervezői és szakértői jogosultsággal rendelkezik. 1998. óta a Magyar Mérnökakadémia rendes tagja.

Nős, négy fia és hat unokája van. Munkája mellett fő érdeklődési területei az irodalom, a filozófia és az utazás, kedvenc sportbeli elfoglaltsága a golf.

A **fib** Magyar Tagozat nevében kívánunk jó egészséget és további sok sikert.

Dr. Balázs L. György

SOLYMOSSY IMRE 65. SZÜLETÉSNAJÁRA



1950. június 11-én született Budapesten. 1973-tól az Uvaterv munkatársa, 1980-ig szerkesztő technikus. Mérnöki diplomáját 1980-ban szerezte a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán. Továbbra is az Uvaterv munkatársa okleveles építőmérnökként, 1987-ig tervező mérnök, majd 1989-ig irányító tervező. 1988-ban elvégezte a BME Mérnök-továbbképző Intézet „Beton- és

vb. szerkezetek javítása” c. szaktanfolyamát. 1989 és 1996 között, az Uvaterv-től történt távozásáig a Híd-2 osztály osztályvezető-helyettese. 1996-tól az MSc Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft. munkatársa, résztulajdonosa, műszaki igazgatója.

A szakmát az Uvatervben sajátította el, végigjárva a tervezői ranglétrát, megismerve a tervezés különböző fázisait. Az Uvatervben végzett jelentősebb tervezési munkái: közreműködőként a TS vasúti uszályhidak, a budapesti Erzsébet híd felújítása, járdaszerkezetének átépítése; U-30 jelű nagysebességű vasúti hídprovizórium, bajai Duna-híd konzolos szélesítése, bajai Duna-híd kísérleti közös közúti-vasúti pályaszerkezete, líbiai vasúttervezés műtárgyai, tiszai közös közúti-vasúti Tisza-híd felújítása, régi kunszentmártoni Körös-híd felújítása, budapesti Szerémi úti vasúti híd, stb. Az esztergomi Duna-híd Hídbizottságának tagja.

Az MSc Kft-ben egyrészt műszaki igazgatóként irányítja és felügyeli a tervezési folyamatokat, másrészt saját maga is tervez igen jelentős létesítményeket. Közvetlen irányítása alatt készült főbb tervezési munkák: Budapesti Ferdinánd híd

szélesítése, Erzsébet híd budai lehajtójának felújítása, Hungária krt. feletti vasúti felüljárók felújítása, Kunszentmártoni vasúti Körös-híd mederszerkezeteinek átépítése, Tárnok-Székesfehérvár vasútvonal velencei közúti aluljárója, Szolnok városi Tisza-híd felújítása, Budapesti Északi vasúti Duna-híd átépítése stb. Tanulmánytervi szinten: Álomsziget (Óbudai-sziget) Árpád hídi kapcsolata, budapesti rakpartok gyalogos kapcsolati műtárgyai, Szeged-Makó elővárosi közösségi közlekedésének fejlesztéséhez vasúti és közúti Tisza-hidak.

Pályafutása alatt tervezett közúti és vasúti hidat, acél és vasbeton szerkezetet, egyéb ipari szerkezetet, de a szíve közepén a vasúti hidak, főleg az acélhidak vannak. Ezen a területen a szakma meghatározó egyénisége. Szívügye a meglévő szerkezetekkel való törődés, gondoskodás, azok élettartamának meghosszabbítása. Tevékenyen részt vett és részt vesz a szakmai szabványok előkészítésében, megalkotásában. Ezen belül az egyik legjelentősebb a MÁV H.4./2000 utasításának kidolgozása, mely a meglévő vasúti acélhidak teherbírásának és tartósságának megállapításával foglalkozik. A Magyar Mérnöki Kamara alapító tagja.

Tevékenyen részt vesz a szakmai közéletben, a Vasúti Hidak Alapítvány kurátora. Tagja a KTE Mérnöki Szerkezetek Szakosztályának és a **fib** magyar tagozatának. A szakmai fórumokon számos előadáson ismertette jelentős szakmai tapasztalatát, megfogalmazva kételyeit is a tervezési szabályozással kapcsolatban. Ez utóbbi különösen érdeklí és tevékenyen keresi a modern tervezési módszerekkel szinkron megoldásokat. A vasúti hidak tervezésében nyújtott kiemelkedő tevékenységéért 2008-ban a Vasúti Hidak Alapítvány Korányi Imre díjjal részesítette.

Az utánpótlással kiemelten foglalkozik. Szigorú, igényes oktató, aki az eredményeket igen nagyra értékeli.

1985-óta dolgozunk együtt a legnagyobb egyetértésben, mondhatni barátságban. Szakmai tudására, széles látókörére, emberségére mindig lehet számítani. Munkatársai nevében is szívből gratulálok születésnapja alkalmából és kívánom, hogy még sokáig jó egészségben erősítse a hídtervezők taborát.

Isten éltesse 65. születésnapod alkalmából.

Földi András

TÁPAI ANTAL 75. SZÜLETÉSNAPIJÁRA



Megbecsült tagtársunk Szegeden született 1940. október 16-án. Mérnöki oklevelét 1964-ben, majd vasbetonépítési szakmérnöki oklevelét 1974-ben szerezte a BME Építőmérnöki Karán. Több más szakképzettségre is szert tett.

Kiváló képességeit hallgató korától napjainkig a vasbeton előregyártásnak szentelte. Munkáját művezetőként kezdte a BVM-nél, 1984-től volt főmérnök,

1995-től műszaki igazgató, 2003-tól műszaki vezérigazgató.

Nagyszámú kiemelkedő munkája volt: Tübbinggyártás a budapesti metró és külföldi létesítmények számára, EHGT, UB és UH-típusú hídgerendák, előregyártott víztornyok, vázpaneles szerkezetek, ipari csarnokszerkezetek és sok más szerkezeti elem.

Oktató munkát végzett meghívott előadóként az Ybl Miklós Műszaki Főiskolán.

Több kutatási-fejlesztési témában dolgozott: a betonacél-

megmunkálás, új típusú útátjáró, előfeszített vasbeton tartószerkezetek fejlesztése stb.

Szakmai közéleti tevékenysége: Az ÉTE előregyártási szakosztály elnöke, a MÉASZ elnökségi tagja, a **fib** MT tagja, a Palotás László-díj kuratóriumának tagja. 2004-2008-ig a Magyar Betonszövetség elnöke, a Magyar Betonelemgyártó Szövetség elnöke.

Számos kitüntetésben részesült: Alpár-érem, kiváló feltaláló (arany fokozat), BVM 2008 nívódíj, ÉVM kiváló munkáért, Budapestért kitüntetés, miniszteri elismerés, a Magyar Betonszövetségért érdemérem.

A **fib** Magyar Tagozata nagyra értékeli tagtársunk munkáját, amelyet nyugállományba vonulása óta is folytat.

Szakmai tudása, embersége, áldozatkészsége példamutató a felnövekvő néprönmegzedékek számára.

Kívánjuk, hogy jó egészségben gyarapítsa a hazai vasbeton előregyártás és az egész építőipar sikereit.

Tassi Géza

DR. LOYKÓ MIKLÓS 85. SZÜLETÉSNAPIJÁRA



Örömmel köszöntjük a **fib** MT mindannyiunk által tisztelt tagját jubiláris születésnapján. Korábbi kiadványainkban más-más alkalomból – kerek évfordulóin, kitüntetésekor (2008/1 szám) – beszámoltunk szakmai munkája jelentős eredményeiről. Ezúttal a gazdag életpálya fő állomásait idézzük fel.

Pécsett született 1930. december 15-én. 1953-ban szerzett mérnöki oklevelét,

1959 óta okl. gazdasági mérnök, és 1971-ben avatták műszaki doktorrá. Életpályája szinte egészét a vasbeton hídépítés töltötte ki. A Hídépítő Vállalat és az Uvaterm munkatársa volt más-más időpontban. Később a Pannon-Freyssinet Kft-nél kamatoztatta magas felkészültségét. Volt építésvezető, irányító tervező, irodavezető, vezérigazgató-helyettes.

Fő érdeme, hogy tevékenysége során hozzájárult ahhoz, hogy a magyar hídépítés világszínvonalra emelkedjék. Ennek jelentős területe a helyszíni és üzemi előregyártás, a szabad szerelés, szabad betonozás és szakaszos előretolás volt. Korszerű alépítményi rendszerek bevezetésében is meghatározó szerepet töltött be. A tervezés és gyakorlati építés terén elért tudását széles körben terjesztette. A BME c. egyetemi docenseként előadásai, konzulensi tevékenységével, jegyzeteivel, vizsgabizottságokban vezette be a színvonalas ipari tevékenységet a fiatalabb nemzedékek szakmai fejlesztésébe. Részt vett a szabványalkotásban, szakmai tudományos egyesületek és a Mérnöki Kamara munkájában.

A **fib** jogelődjei életébe az 1962. évi FIP kongresszus alkalmával kapcsolódott be, és dolgozott a CEB keretei között is. A **fib** MT sok téren gazdagodott Loykó Miklós

tapasztalataival bizottsági munkákban, külföldi kapcsolatok ápolásában, folyóirataink segítségével. A Palotás László-díj kuratóriuma elnökeként hosszú ideig meghatározó funkciót töltött be.

Nagyvállalatoknál végzett munkáját követő nyugdíjazása után, mint említettük, tovább dolgozott, s a Pannon-Freyssinet Kft. égisze alatt jelentős létesítményeket tervezett. Tanácsadóként napjainkig szolgálja a hazai építést. Hosszú időn át végzett munkáját számos elismerés kísérte, ezek között szerepelt a Palotás László-díj.

Amikor tisztelt tagtársunk mostani jubileumáról szólunk, szakmai kiválóságán is túlmutató emberi magatartását is hangsúlyoznunk kell. Következetes, igényes, emellett megértő, szerény vezető volt. Küzdött a szakmai korrektségért, de kerülte az oktalan konfliktusokat. Sokan érezték meglepedettséggel jó

barátságát, nagyra értékelték emberségét, puritánságát. Mind hazai, mind nemzetközi téren élvezhette a műszaki társadalom elismerését.

Hazánkban sok építmény hirdeti köbe vésve az alkotó szakember nevét. Már korábban említettük, hogy Pécs kiváló szülöttje, neveltje érdemes arra, hogy reményeink szerinti hosszú életében márványtábla jelezze az 58. sz. út pécsi felüljárójánál a tervező, dr. Loykó Miklós nevét. Bízunk abban, hogy Pécs város hatóságai, társadalmi szervei egy nemes gesztussal demonstrálják lokálpatriotizmusukat.

Egyesületünk tagjai szeretettel és tisztelettel kívánnak a jubilánsnak jó egészséget, kedve és igényei szerinti tevékenységet hosszú ideig, családjá és mindannyiunk örömeire.

Tassi Géza

DR. SZALAI KÁLMÁN KÖSZÖNTÉSE 85. SZÜLETÉSNAJÁN



Dr. Szalai Kálmán (1930) okl. hid- és szerkezetépítő mérnök (1953), a műszaki tudomány kandidátusa MTA (1961), a műszaki tudomány doktora MTA (1975) ny. egyetemi tanár, professor emeritus.

Nevéhez fűződik a csak nyomásnak ellenálló falazat- és beton-, illetve vasbeton keresztmetszet törési feltételét jelentő teherbírási vonal általános elméletének megfogalmazása és gyakorlati alkalmazásának kidolgozása. Elsőnek definiálta a teherbírási vonal befeszülési tartományát, amit dr. Menyhárd István «szalai-hatás»-nak nevezett. A teherbírási vonal elméletére támaszkodva kifejlesztette az oszlop-keresztmetszet optimális méretezésének módszerét, illetve a tapadó betétes, vagy csúszó kábeles feszített vasbeton keresztmetszet törési feltételre vonatkozó méretezési eljárást.

Tudományos munkájának szerves része a méretezés-elmélet kérdéseivel való foglalkozás. A «Méretezés-elmélet» választott szakmérnöki tantárgy művelőjeként és előadójaként a teherhordó szerkezetek statisztikai szemléletet érvényesítő megbízhatósági módszerének első hazai művelője, alkalmazója és propagálója.

Tevékenységének nagy részét töltötte ki a teherhordó szerkezetek tervezési szabványainak továbbfejlesztése, illetve átdolgozása. Ennek során témafelelős volt az MSZ 17020-as sorozat 1971. évi, továbbá a Közúti Hídszabályzat 2000. évi kiadásának. Az 1971 és az 1986 évi Vasbetonszerkezetek szabályzatban és a Közúti Hídszabályzatban megfogalmazott, a vasbeton oszlop kiegészítő külpontosságokra épített pontos és közelítő méretezése alkotó munkájának része. A főszerkesztésében kiadott «Vasbetonhid kézikönyv és tervezési segédlet» könyv és CD-ROM az 1910-1986, illetve 2000 közötti hazai hídszabályzatokat ismerteti részletesen és ismerteti a vonatkozó EC legfontosabb előírásait.

A méretezési eljárások (az „egyetlen biztonsági tényezős eljárások” továbbá, a „parciális, vagy osztott biztonsági tényezős eljárás” és a „globális biztonsági tényezős eljárás”) a mérnökképzés alaptárgyai. A „Méretezés-elmélet” és

a „Vasbeton-szilárdságtan” (1988, 1990, 1995, 1998) tankönyvek méltó tagjai a dr. Mihailich Győző - dr. Schwertner Antal - dr. Gyengő Tibor: „Vasbetonszerkezetek” (1922; 1946) és dr. Palotás László: „Vasbeton-építéstan” (1964) tankönyvsorozatnak. Témavezetőként jelentős szerepe volt a bauxitbeton és az IMS szerkezetek, továbbá a salakbeton házak felülvizsgálati eljárása és a megerősítési módok kidolgozásában.

A vasbetonszerkezetek időállóságának fokozását elősegítően, továbbá a nemzetközi tendenciák követését célzóan határozott célkitűzése és a 90-es évek kutatásainak alapvető témája a nagyszilárdságú/nagy-teljesítőképességű vagy ahogy javasolta nevezni: a szuperbetonra való átállás megvalósítása. Vasbetonépítésünk negatív értékelését a hazai elavult betonkultúrának tulajdonítja. Publikációiban, előadásaiban vallja-hirdeti, hogy betontechnológiai korszakváltásra van szükség. A betontechnológiai korszakváltás téziseit „tízparancsolatban” foglalta össze. Kutatásainak eredményeként hirdeti, hogy az időálló vasbetonszerkezet kulcsa a szuperbetont elállító korszerű betontechnológia.

Legújabb vállalásainak keretében jelentős szerepet vállalt az Eurocode-ok hazai bevezetésének előkészítésében. Munkatársaival együtt publikált dolgozataiban ismerteti az EC szabályzatok előírásait és annak az MSZ-hez és a KH-hoz képesti eltéréseit, az előírt biztonsági szintek közötti különbségeket. Az EC előírások megismerését és az eszerinti tervezést szolgálja a főszerkesztésében kidolgozott Mathcad példatár a „Betonszerkezetek tervezése az Eurocode szerint” CD ROM. Szerzőtársakkal együtt az EC előírásokon alapuló tervezésre való áttérést ajánló tanulmányokat publikál (2009-2010). Az M6 autópálya-alagutak beomlásának okait vizsgáló tanulmányban elemzi a vonatkozó kiviteli tervek megfelelőségét. (2008/9). Legutóbbi vállalása a KÖKI (Kőbánya-Kispest) terminál földmészerkezetének erőtan felülvizsgálata. (2010).

A *fi*b Magyar Tagozat nevében kívánunk további sok sikert és jó egészséget.

Balázs L. György

MEGÜNNEPELTÜK DR. TASSI GÉZA 90. SZÜLETÉSNAJÁT



Folyóiratunk korábbi jubileumok alkalmával a szokásos módon ismertette Tassi Géza professzor sok évtizedes tevékenységét. Az ünnepeltnek az elmúlt öt év se hozott tétlenséget. Mégis – tekintettel a 90 év aurájára – megbontom az immár hagyományos formát, és életrajzi leírás helyett a lezajlott ünneplésekről számolok be. Ez a referátum is tartalmaz számos adatot a jubiléum szakmai életútjáról.

2015. december 4-én, a kerek évforduló napján a jubiléum lakóhelye polgármestere, Kovács Péter, építőmérnök munkatársai kíséretében személyesen kereste fel. A gratulációról a kerületi újságok is beszámoltak. Egyesületünk már korábban készült az alkalomra. Szívesen vállaltam egy magánkiadásban publikált, 400 oldalas ünnepi kiadvány főszerkesztői feladatait. A könyvet a *fib* Magyar Tagozata az interneten is közzétette <http://fib.bme.hu/konyvek.html> linken. A díszes kötetben 37 szakcikk, ill. köszöntés jelent meg, 15 angol, két orosz és 20 magyar nyelven. Az írások 14 országból érkeztek. Már ezek a számok is mutatják Tassi Géza széles körű elismertségét és az iránta tanúsított figyelmet. A kiadvány szervezője, Szlivka József okl. mérnök velem egyetértésben felkérte az ünnepeltet, hogy a kiadvány számára foglalja össze tudományos tevékenységét. Ennek narratív ismertetése a könyvben 45 oldalon, tíz fejezetben szerepel.

Tassi Géza széles körű tevékenységét a könyvben megtalálható honlap tükrözi. Olvashatunk tanulmányairól, munkahelyeiről, beosztásairól, tudományos fokozatairól. Készült egy több, mint 100 tételes lista másodállásban, kivitelező vállalatnál való alkalmazásban, egyetemi szerződéses keretben, magánvállalkozásban végzett munkáiról. Található egy felsorolás kb. 250 szakmai-tudományos publikációról és további 70 írás (ezek között lapunk számára írt recenziók, méltatások, köszöntések és (- miserabile dictu -) nekrológok. Megtalálható az oktatott tárgyak (gyakorlatok és előadások)

listája a tartók statikájától az építőanyagokon át a vasbeton szerkezetek több fejezetéig, beleértve az angol és német nyelvű kurzusokat.

Van egy összeállítás az egyetemi oktatáson kívül tartott előadásokról, előadás-sorozatokról. Ezek száma hazánkban 110 (nagy részét magyarul, itthoni nemzetközi fórumokon idegen nyelven). A külföldi (egyetemen, konferenciákon) előadások száma 139 (kevés kivétellel, így határainkon túl, pl. Csíksomlyón) magyarul, egyébként angol, német vagy orosz nyelven.

A külföldi előadások legnagyobb része FIP, CEB, ill. *fib* rendezvényeken hangzott el. E helyen említem meg, hogy az ünnepeltet milyen erős szálak fűzték e szervezetekhez. Teljességre nem tudok törekedni, csak azt említem meg, hogy részese volt Palotás László és Fritz Leonhardt professzorok mellett a FIP nemzetközi szervezethez való magyar csatlakozásnak, dolgozott több bizottságban, fogadott hazánkban küldöttségeket, szakembereket, diákokat. Kitüntetések között méltán szerepel a FIP Medal nevű ezüstérem, továbbá a Palotás László-díj és az a megtiszteltetés, hogy a *fib* MT örökös tiszteletbeli elnökévé választotta. Jelentős érdeme, hogy sok magyar fiatal mérnököt segített a nemzetközi munkába való bekapcsolódáshoz. Így nem egyszer ültetett be autójába, és vitt el külföldi rendezvényre egy-egy fiatal kollégát. Örült annak, hogy fiatalok gyakran csatlakoztak munkájához társszerzőként. Sorolhatnám tovább Tassi Gézának a magyar építőipar és tudomány, valamint felsőoktatás, elsősorban a vasbetonépítés szolgálatában végzett munkáját.

Ő tudja talán legjobban, hogy az ilyen köszöntések terjedelme véges. Ezért csak az marad, hogy kifejezzük jókívánságainkat: Legyen sok öröme gyermekeiben, unokáiban, dédunokáiban. Reméljük, hogy hű párja segítségével sokáig tartja a kapcsolatait egyesületünkkel.

Balázs L. György

SKALÁR TERV



www.skalar.hu

CONSOLIS
ASA

50 éve az előre gyártott vasbeton szerkezetek fejlesztésének éllovasa

ASA Építőipari Kft.

Minőség és innováció az építésben

1036 Budapest, Lajos u. 78.
www.asa.hu



Utófesztített tartók 2015-ben a Kiss Szilárd síófoki sportcsarnoknál



Hódmezővásárhelyi szaniterárú gyár utófesztített főtartói - feszítő huzalok betolása



Folyó kivitelezés Alsónémediben



Bosch, Maklár - 2015

AXISVM 13

Végelem programrendszer statikusoknak

- Teljeskörű megoldás az építőmérnöki feladatokhoz
- CAD rendszerű grafikus modellépítés és eredmény dokumentálás
- Szerkezetmodellezés egyszerű keretektől komplex épületekig
- Méretezési modulok EUROCODE és más szabványok szerint
- Hó- és szélterhek automatikus generálása Eurocode szerint
 - Gerendák, oszlopok, lemezek, falak vasalásszámítása
 - Homloklemez csavarozott kapcsolatok ellenőrzése
 - Acél rúdelemek szilárdsági és stabilitási ellenőrzése
 - Acél rúdelemek keresztmetszeteinek optimalizálása
 - Faszervezetek szilárdsági és stabilitási ellenőrzése
- Pont- és sávalapok méretezése, geotechnikai ellenőrzése
 - Átszúródás vizsgálat, repedéstágasság számítás
 - Lineáris és nemlineáris statikai és rezgés számítások
- Földrengés vizsgálat, relatív szinteltolódások számítása
 - Általános dinamikai vizsgálatok (időtörténet eljárás)