

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*

DR. ABED MOHAMMED -
DR. NEMES RITA - SZOBY TIVADAR -
POLLÁK ANDRÁS -
NASIOS THEOFANIS -
DR. NEHME SALEM

HULLADÉKFELHASZNÁLÁSÚ, ÖNTÖMÖRÖDŐ, NAGYSZILÁRDSÁGÚ BETONOK FAGYÁLLÓSÁGA

82

SZÖGI TAMÁS

3D BETONNYOMTATÁS - A GAZDASÁGOS HÁZÉPÍTÉS FORRADALMA

88

ROSZEVÁK ZSOLT -
BOGÁR BLANKA -
DR. HARIS ISTVÁN

ELŐREGYÁRTOTT VAS- BETON KERETVÁZ CSOMÓ- PONTJAINAK NUMERIKUS MODELLEZÉSE - I. RÉSZ - KEHELYNYAK

91

SZEMÉLYI HÍREK

KOZMA KÁROLY EMLÉKÉRE
(1922–2021)

103

fib BULLETIN 93, 94

104

2021/4

XXIII. évfolyam, 4. szám



MSC MÉRNÖKI TERVEZŐ ÉS TANÁCSADÓ KFT.

H-1115 Budapest, Sárbogárdi út 16.

Tel: (+36) 20-777-0120

E-mail: msc@mschu.hu Honlap: www.mschu.hu



Tevékenységi kör:

- Acél és vasbeton közúti és vasúti hidak, aluljárók, alagutak tervezése, vizsgálata, rehabilitációja
- Támfalak, zajvédő falak tervezése
- Lebonyolítás, műszaki ellenőrzés
- Ipari és egyéb acélszerkezetek tervezése, vizsgálata, felújítása
- Projekt menedzsment, független mérnöki tevékenység
- Szabványok, műszaki előírások készítése



Fotó: Dr. Domanovszky Sándor

MSC Kft. - HÍD az ötlet és a megvalósulás között

VASBETONÉPÍTÉS

műszaki folyóirat
a *fib* Magyar Tagozat lapja

CONCRETE STRUCTURES
Journal of the Hungarian Group of *fib*

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Dr. Träger Herbert

Szerkesztőbizottság:

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

Lektorai testület:

Dr. Dulácska Endre
Királyföldi Lajosné
Madaras Botond
Dr. Madaras Gábor
Dr. Orosz Árpád
Dr. Szalai Kálmán
Dr. Tóth Ernő
(Kéziratok lektorálására más
kollégák is felkérést kaphatnak.)

Alapító: a *fib* Magyar Tagozata

Kiadó: a *fib* Magyar Tagozata

(*fib* = Nemzetközi Betonszövetség)

Szerkesztőség: BME Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Tel: 463 4068 Fax: 463 3450

E-mail: fib@eik.bme.hu

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

Az internet verzió

technikai szerkesztője:

Bíró András, doktorandusz

Tervezőszerkesztő: Halmai Csaba

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

Cimlapfotó: BME V2 épület bontása

Készítette: Dr. Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

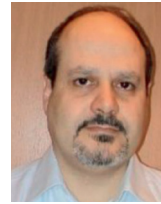
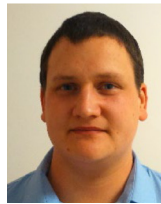
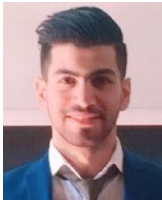
- 82** DR. ABED MOHAMMED - DR. NEMES RITA -
SZOBY TIVADAR - POLLÁK ANDRÁS -
NASIOS THEOFANIS - DR. NEHME SALEM
**HULLADÉKFELHASZNÁLÁSÚ, ÖNTÖMÖRÖDŐ,
NAGYSZILÁRDSÁGÚ BETONOK FAGYÁLLÓSÁGA**
- 88** SZÖGI TAMÁS
**3D BETONNYOMTATÁS -
A GAZDASÁGOS HÁZÉPÍTÉS FORRADALMA**
- 91** ROSZEVÁK ZSOLT - BOGÁR BLANKA - DR. HARIS ISTVÁN
**ELŐREGYÁRTOTT VASBETON KERETVÁZ
CSOMÓPONTJAINAK NUMERIKUS MOD-
ELLEZÉSE - I. RÉSZ - KEHELYNYAK**
- 103** **SZEMÉLYI HÍREK**
KOZMA KÁROLY EMLÉKÉRE (1922–2021)
- 104** *fib* **BULLETIN 93, 94**

A folyóirat támogatói:

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

HULLADÉKFELHASZNÁLÁSÚ, ÖNTÖMÖRÖDŐ, NAGYSZILÁRDSÁGÚ BETONOK FAGYÁLLÓSÁGA

<https://doi.org/10.32969/VB.2021.4.1>



Dr. Abed Mohammed - Dr. Nemes Rita - Szobor Tivadar - Pollák András - Nasios Theofanis - Dr. Nehme Salem

A fenntarthatóság szempontjából rendkívül fontos a károsanyag kibocsátás csökkentése, a meglévő anyagok hosszú időn át tartó használata és az élettartamuk végén az újrahasznosításuk. Egyre jelentősebb a törekvés, hogy a betonok anyagában növeljük a hulladékok és ipari melléktermékek mennyiségét, és csökkentjük a cementtartalmat és a bányászott vagy nagy távolságból szállított összetevőket. Közben a tartósság és a szilárdság is fontos, mert ez az összes felhasznált beton mennyiséget csökkenti. Kísérletsorozatunkban huszonegy öntömörödő betonkeverék (SCHPC) fagyhámlás vizsgálatát végeztük el, ahol az adalékanyag durva frakciójának egy részét újrahasznosított (visszanyert) betonüzalékre cseréltük, illetve három feldolgozás nélküli hulladék alapú poranyagot, erőművi pernyét, hulladék perlitport és hulladék pórusbetonport alkalmaztunk cementhelyettesítő vagy cement kiegészítő anyagként kísérleti jelleggel. A szilárdságokat is vizsgáltuk, de a magyarországi felhasználásokban a legkritikusabb kérdés általában a fagyállóság. A vizsgálatokat 270 napos korban végeztük, hogy a kiegészítőanyagok cementnél lassabban lejátszódó kémiai reakciói is kifejthessék hatásukat. Az eredmények azt mutatták, hogy a betonüzalék alkalmazása nem befolyásolja szignifikánsan az öntömörödő beton fagyhámlással szembeni ellenállását, a cementkőváz összetételének hatása jelentősebb. A cementhelyettesítő anyagként alkalmazott pernye és perlitpor (15%-ig) a beton fagyhámlással szembeni ellenállásának növekedését eredményezték, függetlenül attól, hogy az alkalmazott adalékanyag kizárólag természetes volt vagy betonüzaléket is tartalmazott. A vizsgálatokkal igazoltuk, hogy jelentős hulladékfelhasználás (adalékanyag durva frakciójának 25-50%-os, illetve a cement legfeljebb 15%-os helyettesítése) mellett is a fagyállóság szempontjából tartós betont lehet készíteni.

Kulcsszavak: újrahasznosított betonüzalék (RCA), visszanyert betonüzalék, hulladék alapú poranyagok, pernye, perlit, cementhelyettesítő anyagok (CRM), fagyhámlás, fagyállóság, hosszútávú vizsgálatok

1. BEVEZETÉS

A fenntartható fejlődéssel foglalkozó 1992-es riói konferencia (Agenda, June 1992) megrendezése nem volt hiábavaló, tanúsította a múlt század hatalmas népességnövekedését és a fejlődő országok településeinek gyors városiasodását. A XXI. század elején a fenntartható technológiákra kell helyezni a hangsúlyt. Számos előnye miatt a beton a legszélesebb körben használt építőanyag lett, de a gyártása nagy mennyiségű természeti erőforrást igényel, és nagy mennyiségű széndioxidot bocsát ki a cement előállításában. A beton egy kompozit anyag, amelyet elsősorban adalékanyag (kőanyaghalmoz), cement és víz alkot. A betongyártás kb. 20 milliárd tonna nyersanyagot használ fel évente (Fredonia, 2011). A beton térfogatának kb. 2/3-t teszi ki az adalékanyag, aminek bányászata, kereskedelme, szállítása növeli a széndioxid kibocsátást és az energiafelhasználást (Limbachiya et al., 2012). Az építés és bontás során keletkező hulladékokat (C&D = construction and demoltion) nem lehet a hagyományos módszerekkel kezelni. Ezek a hulladékok lerakókba kerülnek, ahol kedvezőtlen hatást gyakorolnak a környezetre, és ezzel együtt a lehetséges lerakó területek csökkennek az iparosodás és a városiasodás miatt. Az építési és bontási hulladékok mennyiségének és az adalékanyagok beszerzési költségeinek növekedése miatt szükség van a hulladékok

szerkezeti betonokban való felhasználására (Kisku et al., 2017). Ez a fejlesztés lehetővé teszi a betonipar számára a folyamatos növekedést, miközben csökkenti a szénlábnyom (karbonlábnyom) értékét és a környezetre gyakorolt kedvezőtlen hatást. Az újrahasznosított betonüzaléket (RCA = recycled concrete aggregate) a természetes adalékanyag (NA = natural aggregate) durva frakciója helyett dokumentáltan először Angliában a II. világháború alatt használtak járdák építéséhez.

A kutatók a bontási hulladékok újrahasznosításával kapcsolatos vizsgálatok során arra a következtetésre jutottak, hogy ezek az anyagok felhasználhatók a természetes kőanyaghalmozok helyett (Kisku et al. 2017) többszáz betonüzalékkal foglalkozó kutatás alapján arra a következtetésre jutottak, hogy ásványi kiegészítő anyagok alkalmazásával növelhetők az újrahasznosított betonüzalékos betonok anyagjellemzői. További kutatásokat javasoltak a hagyományostól eltérő hulladék alapú cementhelyettesítő anyagok (CRM = cement replacement material) és a betonüzalék adalékanyag hosszú távú hatására mechanikai és tartóssági szempontból. Meyer (2009) számos cementhelyettesítő anyagként használható hulladékot vizsgált és arra a következtetésre jutott, hogy a betonüzalék használata az ipari hulladékok megfelelő százalékban való hozzáadásával igen hasznos lehet. A természetes adalékanyag lecserélését

betonzúzalékra már széles körben vizsgálták, de csak néhány tanulmány foglalkozott az öntömörödő betonban (self-compacting concrete = SCC) való alkalmazással (Rajhans et al., 2018; Abed, 2018). Például egy korábbi munkában a CO₂ kibocsajtást 24%-kal csökkentették a betonzúzalék használatával a referencia keverékhez képest (Yap et al., 2018), de több folyósítószerre volt szükség az öntömörödő képesség eléréséhez (Guo et al., 2018). A szakirodalom szerint - tekintettel az újrahasznosítási trendekre - a jelenlegi irány a betonzúzalékok szokásostól eltérő felhasználása speciális betonokban hulladék alapú poranyagok használatával, mint például az öntömörödő nagy teljesítőképességű betonok készítéséhez is felhasználhatók (Abed, 2019).

2. A FAGYÁLLÓSÁG KÉRDÉSE

Magyarországi környezetben a kültéri szerkezetek tartóssága elsősorban a fagyállóságtól függ. A fagykárosodás a kültéri betonok tönkremenetelének leggyakoribb oka. A víz, amikor megfagy, akkor kb. 9%-kal növekszik a térfogata, ha ez a kapilláris pórusokban megy végbe, akkor a beton megreped és a felülete lehámlik, főleg, ha a beton pórusai telítettek. Porózus adalékanyag (pl. visszanyert betonzúzalék, könnyű adalékanyag, tufa) esetén megnő a teljes keresztmetszet tönkremenetelének valószínűsége is. A tönkremenetel sebessége, az anyagjellemzőkön kívül elsősorban a ciklusszám függvénye, amely éghajlati tényező. Magyarországon az éves ciklusszám nagyon magas, évi 20, akár 25 ciklussal is számolni kell. A téli időszakban gyakori a nappali 0 °C feletti, éjszaka a 0 °C alatti hőmérséklet. Ez jóval hidegebb országokban (pl. Skandináviában) kevesebb, mert a hosszantartó fagy kevesebb fagyás-olvadás ciklussal jár (a tél elején minden megfagy, és majd csak tavasszal kezd el kiolvadni). Melegebb éghajlaton (Dél-Európában vagy a tengerparti országokban) pedig ritkább a fagyponthoz alatti hőmérséklet.

A fagykárosodásnak alapvetően két oka van: a) a nyomószilárdság és a tömeg csökkenésével járó fagykárosodás a betontest belsejében megfagyó víz miatt; b) a beton felületének leválása jellemzően a jégolvasztó sózás következtében.

A fagyhámítás mértékét befolyásolja a beton összetétele, a permeabilitása, a porozitás mértéke és típusa (kapilláris vagy gömb alakú pórusok), a nedvességtartalma, illetve a telítettség, a beton kora, a bedolgozási és tömörítési módja, a környezeti osztálya és az adalékanyag típusa. Visszanyert betonzúzalék újrahasznosított adalékanyagként való alkalmazása esetén a fagyhámítással szembeni ellenállás a visszanyert betonzúzalék minőségétől és a helyettesítési arányától is függ (Zaharieva et al., 2004), (Tuyan et al., 2014). A visszanyert betonzúzalék porózus, ezért várhatóan csökken a fagyhámítással szembeni ellenállás (Šeps et al., 2016), (Hao et al., 2018), (Gokce et al., 2004), amelyet kísérletileg ellenőrizni szükséges.

3. ALKALMAZOTT ANYAGOK ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

3.1 Cement és cementkiegészítő anyagok

A cementkiegészítő anyagok hatását vizsgáltuk CEM I 42,5 N tiszta portlandcement (OPC) alkalmazása mellett, annak tisztázására, hogy az alkalmazott kiegészítőanyagok milyen hatással vannak a beton tulajdonságaira. Három különféle Magyarországon is előforduló, további kémiai vagy fizikai

feldolgozás nélkül is használható, nyers hulladék poranyagot alkalmaztunk a cement részleges helyettesítésére a 1. táblázat szerint. Az alkalmazott anyagok kémiai és fizikai tulajdonságait a 2. táblázat mutatja be. A vizsgálatokat az MSZ EN 196-2:2013 és az MSZ 525 12:2014 szerint végeztük.

1. táblázat: Hulladék alapú kiegészítőanyagok származási helyei

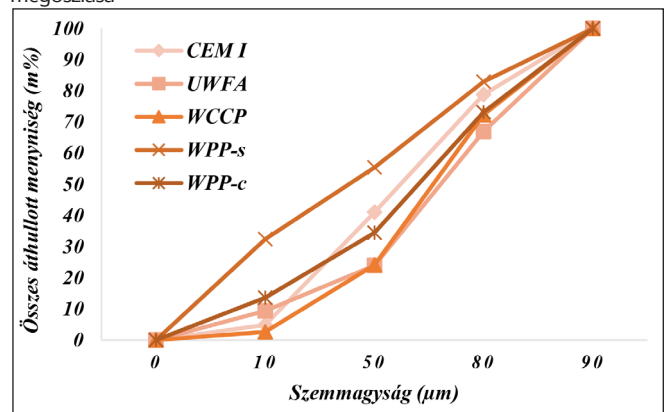
Kiegészítőanyag	Forrás
Feldolgozás nélküli erómi ví pernye (unprocessed waste fly ash = UWFA)	Mátrai Erómi (Visonta) pernyéje, feldolgozás nélküli állapotban
Hulladék perlitpor (waste perlite powder = WPP)	A nyers perlit (Magyarországon nagy mennyiségben előforduló, amorf vulkanikus szilícium- vagy alumínium-oxid tartalmú kőzet) kőzetek vágásakor keletkező hulladék poranyag, két különböző finomságban (fajlagos felülettel) WPP-c és WPP-s változatban.
Hulladék pórusbetonpor (waste cellular concrete powder = WCCP)	A pórusbeton falazóelemek gyártás közbeni vágásakor keletkező hulladék

Az 1. ábra a vizsgálat sorozatban alkalmazott cement és a cementkiegészítő-anyagok szemmegoszlását mutatja. Mint látható, az UWFA, WCCP és WPP-c részecskéi nagyobbak, mint a cementé, míg a WPP-s szemmegoszlása finomabb. A jelen vizsgálatban alkalmazott WPP olyan keverék volt, amely 50% WPP-c és 50% WPP-s kiegészítőanyagot tartalmazott.

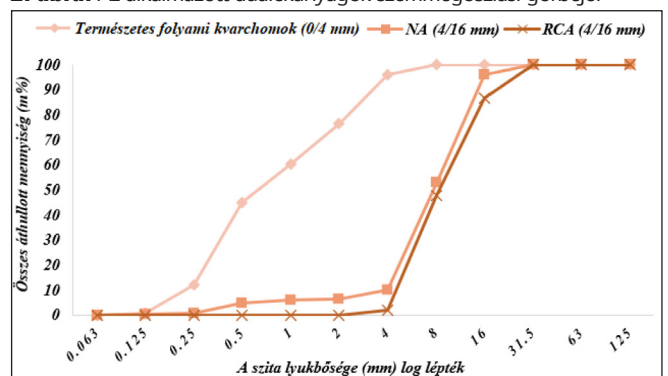
3.2. Adalékanyag

Az adalékanyag finom frakciója (0/4 mm) természetes folyami kvarchomok volt az összes keverékben, az összes adalékanyag mennyiség 45 m%-a volt. A durva adalékanyag (kavicsfrakció:

1. ábra: Az alkalmazott cement és cementkiegészítő-anyagok szemmegoszlása



2. ábra: Az alkalmazott adalékanyagok szemmegoszlási görbéje.



2. táblázat: Az alkalmazott cement és a kiegészítőanyagok alapvető fizikai jellemzői és kémiai összetétele

Vizsgált jellemzők	CEM I	UWFA	WPP-c	WPP-s	WCCP
Sűrűség (g/cm ³)	3.02	2.15	2.33	2.33	1.96
Fajlagos felület (cm ² /g)	3326	4323	843.3	4159	2513
Izzítási veszteség (m%)	3.0	1.95	2.8	1.21	9.25
SiO ₂ (m%)	19.33	43.02	73.8	73.2	54.28
CaO (m%)	63.43	15.07	1.7	1.06	22.81
MgO (m%)	1.45	3.14	0.11	0.2	1.15
Fe ₂ O ₃ (m%)	3.42	14.17	2.57	2.6	2.16
Al ₂ O ₃ (m%)	4.67	15.6	13.8	16.6	5.09
SO ₃ (m%)	2.6	3.56	-	-	4.90
Klorid tartalom (m%)	0.04	0.02	-	-	0.02
Szabad CaO (m%)	0.71	0.37	-	-	-
K ₂ O (m%)	0.78	-	4.01	3.5	-
Na ₂ O (m%)	0.33	-	2.66	1.5	-
TiO ₂ (m%)	-	-	0.083	0.09	-
Híg sósavban oldhatatlan rész (m%)	0.26	49.72	92.07	86.19	33.02

4/16 mm) aránya 55% volt, de kétféle durva adalékanyagot használtunk; természetes folyami kvarckavicsot (normal aggregate = NA) és visszanyert betonzúalékot (recycled concrete aggregate = RCA), amelyeket a laboratóriumban vizsgált betonkockákból állítottunk elő pofás törőben lezúzva, úgy, hogy a legnagyobb szemmagyság 16 mm legyen. A 4 mm alatti szemmagyságot szitálással leválasztottuk, és nem használtuk a kísérletekhez. A visszanyert betonzúalékhoz használt eredeti betonok minden esetben szokványos betonok voltak és átlagos nyomószilárdságuk 28-33 MPa között volt (C16/20-C20/25). A visszanyert betonzúalék Los Angeles értéke (36,1 m%) magasabb volt, mint a természetes kavicsé (26,3 m%), továbbá a visszanyert betonzúaléknak van vízfelvétele (5,6 m%), szemben a tömör kavicsal. A szemmegoszlást a három adalékanyag típusnál (homok, NA és RCA) a 2. ábra mutatja.

4. ÖSSZETÉTEL-TERVEZÉS ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

4.1 Összetétel-tervezés

Huszonegy különböző összetételű keveréket készítettünk (3. táblázat). A keverékek mindegyike megfelelt az öntömörödő beton követelményeinek. A keverékben a referencia kvarckavics és portlandcement mellett visszanyert betonzúalékot és hulladék poranyagokat alkalmaztunk durva adalékanyagként, illetve kiegészítőanyagként a káros környezeti hatások csökkentése érdekében. Az összes adalékanyagot megvizsgáltuk és megfelelt az MSZ EN 12620:2002+A1 követelményeinek.

A vizsgálatokat 7 sorozatra osztottuk. Az egy sorozaton belüli fő különbség a természetes adalékanyag helyettesítésének a mértéke volt. Mindegyik sorozatban három keverék volt, három különféle visszanyert betonzúalék mennyiséggel (0-25-50 m%). A hulladékpórányanyagok helyettesítési arányai (0-15-30 m%) voltak. Az összes keverék egy optimalizációs kísérlet eredményeként adódott; amelyben a legnagyobb lehetséges kiegészítőanyag-tartalmat határoztuk meg (Abed, 2019; Abed, Nemes 2019a). A nagy kötőanyag tartalom (500 kg/m³) és a kis víz-kötőanyag („cement+kiegészítőanyag”) tényező (0,35) állandó volt az összes keverékben. Mivel a

visszanyert betonzúalék porózus, és így van vízfelvétele, biztosítani kellett, hogy a keverés során ne szívja el a vizet a cemenetpéből, ezzel megváltoztatva a pép víz-kötőanyag tényezőjét és konzisztenciáját; ezért a visszanyert betonzúalék vízfelvétele és alkalmazott mennyisége alapján számított vízmennyiséggel többet adagoltunk a keverés során.

Az öntömörödő képesség eléréséhez szükséges nagy finomrész-tartalmat és a kis d_{max} értéket biztosítottuk, a konzisztenciát pedig folyósítószerrel (Sika ViscoCrete-5 Neu) állítottuk be, így minden keverék megfelelt az SCC európai irányelveinek (EFNARC, 2005). Az adalékszer adagolását a cementhelyettesítő anyagok fajtájához kellett igazítani. A szükséges mennyiséget kísérleti úton határoztuk meg (Abed, Nemes 2019b). A keverék rendszerét a 3. táblázatban, míg a keverékek összetételét a 4. táblázatban adjuk meg.

3. táblázat: A kísérletsorozatban vizsgált összetételek rendszere

Sorozatszám	Cement helyettesítés aránya	Természetes kvarckavics (0% betonzúalék)	25% betonzúalékkal való helyettesítés	50% betonzúalékkal való helyettesítés
I.	0%	RA0	RA25	RA50
II.	15% UWFA	F15RA0	F15RA25	F15RA50
III.	30% UWFA	F30RA0	F30RA25	F30RA50
IV.	15% WCCP	C15RA0	C15RA25	C15RA50
V.	30% WCCP	C30RA0	C30RA25	C30RA50
VI.	15% WPP	P15RA0	P15RA25	P15RA50
VII.	30% WPP	P30RA0	P30RA25	P30RA50

A keverékeket kényszerkeverőben készítettük laboratóriumi körülmények között. A teljes keverési idő négy és fél perc volt, három szakaszra osztva. Az első lépésben az adalékanyag(ka)t és a kötőanyag(ka)t kevertük össze, a második lépésben vizet adtunk hozzá, a harmadik lépésben pedig a folyósítószerrel. Az öntömörödő beton konzisztenciáját területtel és a kifolyási idő mérésével vizsgáltuk, szükség esetén további adalékszer adagolással módosítottuk. A próbatesteket másnap zsáultuk ki, majd mésztelített vízbe helyeztük 7 napos korig, ezt követően laborlevegőn tároltuk a vizsgálatig, 90, illetve 270 napos korig.

4. táblázat: Az alkalmazott összetételek

Az összetétel jele	Adagolás [kg/m ³]						Adalékszer	Víz
	CEMI 42,5 N	Kiegészítőanyag	Homok frakció	Kavics frakció				
			term. homok	NA	RCA			
			0/4 mm	4/16 mm				
I. sorozat (0, 25 és 50% RCA adalékanyag helyettesítéssel)								
RA0	500	0	783	939	0	1.5	175	
RA25	500	0	783	704	230	1.5	175	
RA50	500	0	783	470	460	1.5	175	
II. sorozat (pernye kiegészítő anyag 15%-os helyettesítésével és RCA-val)								
F15RA0	425	75	767	920	0	2	175	
F15RA25	425	75	767	690	226	2	175	
F15RA50	425	75	767	460	251	2	175	
III. sorozat (pernye kiegészítő anyag 30%-os helyettesítésével és RCA-val)								
F30RA0	350	150	751	901	0	3	175	
F30RA25	350	150	751	475	221	3	175	
F30RA50	350	150	751	451	442	3	175	
IV. sorozat (pórusbetonpor kiegészítő anyag 15%-os helyettesítésével és RCA-val)								
C15RA0	425	75	766	919	0	1.7	175	
C15RA25	425	75	766	690	225	1.7	175	
C15RA50	425	75	766	459	451	1.7	175	
V. sorozat (pórusbetonpor kiegészítő anyag 30%-os helyettesítésével és RCA-val)								
C30RA0	350	150	750	899	0	3.25	175	
C30RA25	350	150	750	674	220	3.25	175	
C30RA50	350	150	750	451	442	3.25	175	
VI. sorozat (perlitpor kiegészítő anyag 15%-os helyettesítésével és RCA-val)								
P15RA0	425	75	774	928	0	3	175	
P15RA25	425	75	774	697	228	3	175	
P15RA50	425	75	774	464	455	3	175	
VII. sorozat (perlitpor kiegészítő anyag 30%-os helyettesítésével és RCA-val)								
P30RA0	350	150	766	918	0	3.75	175	
P30RA25	350	150	766	688	225	3.75	175	
P30RA50	350	150	766	459	450	3.75	175	

4.2 Vizsgálatok

A bemejtéses vizsgálatokat (MSZ EN 12371) és a fagyhámítás vizsgálatokat (MSZ CEN/TS 12390) minden betonkeverékre elvégeztük 270 nap elteltével. A cement-kiegészítő anyagok hatása később jelenik meg, mint cementeké, ezért ilyen anyagok alkalmazásakor fontos a megfelelő időzítés az alkalmazás során, de 9 hónapos korban már mindenképpen fagyhatásnak lesz kitéve a kültéri szerkezet, és eddigre már a kiegészítő anyagok alkalmazása mellett is véglegesnek tekinthető a szilárdság.

4.2.1. Bemejtéses vizsgálat

A maradó nyomószilárdságot 50 és 150 fagyasztás-olvasztás ciklus után az MSZ EN 12371 alapján, 150 mm élhosszúságú betonkockákon vizsgáltuk. A vizsgálat során kilenc kockát használtunk minden betonkeverékhez. A víztelített próbatesteket ciklusonként 2 óra hűtés és 2 óra -20 °C-on tartást követően +20 °C-os vízben olvasztottuk ki, majd tároltuk 4 órán keresztül. Keverékenként 3 db-on 50 ciklusos fagyasztást, 3 db-on pedig 150 ciklusos fagyasztást végeztünk, további

3 db próbatestet a vizsgálat végéig referenciaként tároltunk és egyidőben vizsgáltuk az összes próbatestet. A nyomószilárdság és a testsűrűség változását mértük.

4.2.2 Fagyhámítás vizsgálat

Vízszintes fagyhatásnak kitett szerkezetnél az MSZ CEN/TS 12390-9 vizsgálat javasolt, amely figyelembe veszi, hogy a beton felületén meg tud állni a víz, sőt jégolvasztó sózás alkalmazása esetén a sóoldat is. A vizsgálat során csak egy vízszintes felületen éri fagyhatás a próbatestet, ahol 3 m%-os NaCl oldatot kell elhelyezni. A vizsgálat általában az 56 ismételt fagyasztás-olvasztás ciklus következtében leváló anyag mennyiségének meghatározását jelenti, de sok esetben a 28 ciklus utáni eredmény is fontos. Mindegyik ciklus 6 órás hűtést, 6 óra -20 °C hőmérsékleten tartást, 6 órás olvasztást és 6 órás +20 °C hőmérsékleten tartást jelent. 7, 14, 28 és 56 ciklus után mértük a lehámított anyagmennyiséget, majd összegeztük. A vizsgálatot keverékenként 4 db 150 mm élhosszúságú kocka vágott felületén végeztük el.

5. EREDMÉNYEK

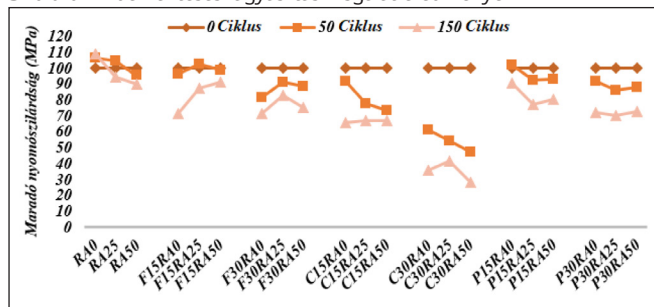
5.1 Betonzúzalék alkalmazásának hatása

A durva adalékanyag frakció (4/16 mm) 25-50%-ának visszanyert betonzúzalékkal való helyettesítése gyakorlatilag nem befolyásolta a fagyállóságot, minden esetben a 15%-on belül volt a szilárdságcsökkenés. A bemeztés vizsgálat esetén a maradó nyomószilárdság csak kissé csökkent (3. ábra), ennek a fő oka a visszanyert betonzúzalék okozta póruseloszlás változása lehet. A fagyhámítás vizsgálat azt mutatta, hogy a visszanyert betonzúzalék alkalmazása csökkentette mind 28, mind 56 ciklus után a lehámlott anyagmennyiséget (4. ábra). Az újrahasznosított betonban az adalékanyag és a régi habarcs, valamint az új és a régi habarcs között erős intertranszmissziós zóna (ITZ) alakul ki (Medina et al. 2013). Ezen esetben a cementkőváznak van a legjelentősebb szerepe, amely a nagy cementtartalom és a kis víz-cement tényező következtében rendkívül jó fagyállóságot biztosít.

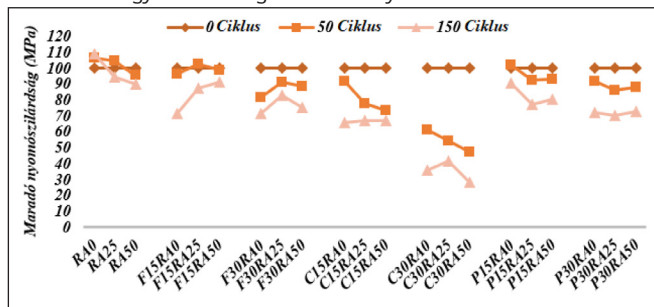
5.2 Cementkiegészítő anyag alkalmazásának hatása

25 és 50% visszanyert betonzúzalék alkalmazása esetén legfeljebb 15% pernye használata cementhelyettesítő-anyagként a fagyállóság növekedését eredményezte. A fagyhámítás vizsgálat esetén a magasabb (30 m%-os) adagolás is kedvező volt. 15 m% perlitpor alkalmazása esetén minden vizsgált kombinációban 1000 g/m² alatt maradt lehámlott érték (XF4 környezeti osztály), de nagyobb mennyiségben alkalmazva már csökkent a fagyhámítással szembeni ellenállás. A pernye és perlitpor hozzájárult a mikroszerkezet finomításához és a pórusok összekapcsolhatóságának csökkentéséhez pozsolános aktivitásuk folytán, ezáltal megnövekedett mennyiségű kalcium-szilikát-hidrát gélt hozva létre, amely kitölti a pórusokat. Korábbi vizsgálatunkban (Gyurkó, Szijártó, Nemes 2019) a pórusbetonpor kedvezőnek bizonyult, jelen kutatás során azt tapasztaltuk, hogy a pórusbetonpor alkalmazása kiegészítőanyagként jelentősen rontotta a fagyállóságot. Ez a hatás annál kedvezőtlenebb, minél tömörebb a cementkőváz

3. ábra: A bemeztéses fagyasztásvizsgálat eredményei



4. ábra: A fagyhámítás vizsgálat eredményei



(Gyurkó, Szijártó, Nemes 2019). A jelen kísérletben vizsgált pórusbetonpor az elemgyártás folyamatában végzett vágás során keletkező hulladék, amelynek szemnagysága nagyobb és fajlagos felülete kisebb, mint a korábban vizsgált, vésés során keletkező pórusbetonporé. Sajnos ez a méret nem megfelelő sem a szilárdság, sem pedig a fagyállóság növelésére, ezért a pórusbeton elemek vágási hulladékporát nem javasoljuk kiegészítőanyagként alkalmazni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Több mint 250 próbatestenen végeztünk vizsgálatokat annak megfigyelésére, hogy az öntömörödő beton fagyállóságára milyen hatással van a durva frakció 25, illetve 50%-ának visszanyert betonzúzalékkal (RCA) cserélése, és mi a hatása három különböző hulladékpor cementkiegészítő-anyagként való alkalmazásának a csak természetes adalékanyagot és a visszanyert betonzúzalékot is tartalmazó összetétel esetén. A három megmunkálás nélküli hulladék por: feldolgozatlan pernye (UWFA), hulladék perlitpor (WPP) és hulladék pórusbetonpor (WCCP) volt. Az összes keveréket azonos kötőanyagtartalom és víz-kötőanyag tényezővel készítettük, 0-25-50% eredetileg C16/20-C25/30 közötti szilárdsági osztályú beton zúzalékával és 0-15-30% kiegészítőanyaggal mindegyik kombinációban. Az eredmények azt mutatták, hogy az öntömörödő beton az egyik kedvező választási lehetőség a hulladékok felhasználására, mert a visszanyert betonzúzalék nem befolyásolta kedvezőtlenül az öntömörödő beton tartóssági tulajdonságait, mivel a cementkőváz hatása sokkal hangsúlyosabb a fagyással szembeni ellenállásra. Az alkalmazott pernyét és perlitport is alkalmasnak találtuk maximum 15%-os helyettesítéssel, különösen, ha visszanyert betonzúzalékot is alkalmazunk az összetételben. A vizsgált pórusbetonport az eredeti gyári vágási hulladék formájában nem szabad fagyálló betonokhoz alkalmazni, mert a szemnagysága nem megfelelő sem a nyomószilárdság, sem a fagyállóság növelésére, sem hagyományos adalékanyag, sem visszanyert betonzúzalék felhasználása esetén.

HIVATKOZÁSOK

- Abed, M. (2018) Self-compacting high-performance concrete in terms of mixing proportions and procedure. *Concrete Structures*, 19. pp. 22-27.
- Abed, M. (2019) Green Self-compacting High-performance Concrete, PhD értekezés, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi egyetem, Építőmérnöki Kar*
- Abed, M. (2019) Green Self-compacting High-performance Concrete, PhD értekezés, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi egyetem, Építőmérnöki Kar*
- Abed, M., Nemes, R. (2019a) Mechanical Properties of Recycled Aggregate Self-Compacting High Strength Concrete Utilizing Waste Fly Ash, Cellular Concrete and Perlite Powders, *Periodica Polytechnica-Civil Engineering* 63 : 1 pp. 266-277.
- Abed, M., Nemes, R. (2019b) Fresh properties of the self-compacting high-performance concrete using recycled concrete aggregate, *Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials* 71 : 1 pp. 18-23.
- Agenda June 1992. the Rio Declaration on Environment and Development, the Statement of Forest Principles, the United Nations Framework Convention on Climate Change and the United Nations Convention on Biological Diversity. *United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*. Rio de Janeiro.
- EFNARC (2005) Specifications and guidelines for self-compacting concrete, *European federation for specialist construction chemicals & concrete systems*.
- Fredonia World Construction Aggregates to 2011– Demand and Sales Forecasts. 2011. *Market Share, Market Size, Market leaders, Industry*.
- Gokce, A., Nagataki, S., Saeki, T. & Hisada, M. (2004) Freezing and thawing resistance of air-entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate: The role of air content in demolished concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 799-806.
- Guo, H., Shi, C., Guan, X., Zhu, J., Ding, Y., Ling, T.-C., Zhang, H. & Wang,

- Y. (2018) Durability of recycled aggregate concrete – A review. *Cement and Concrete Composites*, 89, 251-259.
- Gyurkó, Z. ; Szijártó, A. ; Nemes, R. (2019) Cellular concrete waste as an economical alternative to traditional supplementary cementitious materials *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 138 pp. 947-961.
- Hao, L., Liu, Y., Wang, W., Zhang, J. & Zhang, Y. (2018) Effect of salty freeze-thaw cycles on durability of thermal insulation concrete with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 189, 478-486.
- Kisku, N., Joshi, H., Ansari, M., Panda, S. K., Nayak, S. & Dutta, S. C. 2017. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Construction and Building Materials*, 131, 721-740.
- Limbachiya, M., Meddah, M. S. & Ouchagour, Y. 2012. Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. *Construction and Building Materials*, 27, 439-449.
- Medina, C., Sánchez De Rojas, M. I. & Frías, M. (2013) Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 40, 151-160.
- Meyer, C. 2009. The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31, 601-605.
- MSZ CEN/TS 12390-9:2018 A megszilárdult beton vizsgálata. 9. rész: Fagyállóság jégolvasztó sóval. Lehámlás
- MSZ EN 196-2:2013 Cementvizsgálati módszerek. 2. rész: A cement kémiai elemzése
- MSZ 525-12:2014 Cementek kémiai elemzése. 12. rész: A szabad mésztartalom meghatározása
- MSZ EN 12371:2010 Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A fagyállóság meghatározása
- MSZ EN 12620:2002+A1:2008 Kőanyagalmazatok (adalékanyagok) betonhoz
- Rajhans, P., Panda, S. K. & Nayak, S. 2018. Sustainable self compacting concrete from C&D waste by improving the microstructures of concrete ITZ. *Construction and Building Materials*, 163, 557-570.
- Šeps, K., Fládr, J. & Broukalová, I. (2016) Resistance of Recycled Aggregate Concrete to Freeze-thaw and Deicing Salts. *Procedia Engineering*, 151, 329-336.
- Tuyan, M., Mardani-Aghabaglou, A. & Ramyar, K. (2014) Freeze-thaw resistance, mechanical and transport properties of self-consolidating concrete incorporating coarse recycled concrete aggregate. *Materials & Design*, 53, 983-991.
- Zaharieva, R., Buyle-Bodin, F. & Wirquin, E. (2004) Frost resistance of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 1927-1932.

Dr. Abed Mohammed (1991) okl. építőmérnök, PhD, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. Fő érdeklődési területe: környezetbarát, nagy teljesítőképességű, öntömörödő betonok, hulladékfelhasználás betonokban, cementkiegészítő-anyagok alkalmazása. Roncsolásmentes betonvizsgálatok, tűzállóság, fenntarthatóság. A fib Magyar Tagozat és a fib Member of Young Member Group (YMG) tagja.

Dr. Nemes Rita (1978) okl. építőmérnök, okl. betontechnológus szakmérnök, PhD, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék egyetemi docense, Fő érdeklődési területei: speciális betonok, roncsolásmentes vizsgálatok, tartósság vizsgálatok, építőipari hulladékhasznosítás. A fib Magyar Tagozat és a Szilikátipari Tudományos Egyesület tagja.

Szoby Tivadar Tamás (1994) építőmérnök hallgató a Széchenyi István Egyetem Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Karán, szerkezetépítési szakirányon. 2015-2019 között Szenavis Betonkenu csapattag és a laboratóriumi munkák résztvevője.

Pollák András (1987) építőmérnök, tanszéki mérnök, laboratóriumvezető a Széchenyi István Egyetem Építészeti és Épületszerkezet-tani tanszék Építőanyagvizsgáló és Épületfizikai laboratóriumán. Fő érdeklődési területei: különleges betonok, betonok és szerkezetek műszeres vizsgálatai.

Nasios Theofanis (1990) építőmérnök (BSc) (1990) **építőmérnök** (BSc), a BME ösztöndíjas hallgatója

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

FROST RESISTANCE OF SELF-COMPACTED HIGH-STRENGTH CONCRETE PRODUCED WITH RECYCLED INDUSTRIAL WASTE MATERIAL

Mohammed Abed - Rita Nemes - Tivadar Szoby - András Pollák - Theofanis Nasios - Salem Nehme

Freeze/thaw tests for twenty-one self-compacting high performance concrete (SCHPC) mixtures have been conducted to investigate the impact of using coarse recycled concrete aggregate (RCA) and three other unprocessed waste powder materials: unprocessed waste fly ash (UWFA), waste perlite powder (WPP), and waste cellular concrete powder (WCCP). Internal frost damage and frost scaling tests have been investigated at age of 270 days to figure out the freeze/thaw resistance of the green SCHPC. The results showed that using RCA has no significant effect on the freeze/thaw resistance of SCHPC when used up to 50% for producing SCHPC. Concretes produced using UWFA or WPP as a replacement of cement mass up to 15% showed excellent durability performance regardless if the aggregate used was natural aggregate (NA) or RCA. SCHPC proved it can be produced as a green concrete, where the pozzolanic activity and the amorphous waste powder materials help the concrete resist aggressive environments. Using WCCP is not recommended for the purpose of enhancing the durability of SCHPC, as well as excessive replacement amounts of either WPP or UWFA.

3D BETONNYOMTATÁS – A GAZDASÁGOS HÁZÉPÍTÉS FORRADALMA



Szögi Tamás

<https://doi.org/10.32969/VB.2021.4.2>

Az építőipar területén az innováció és a digitalizáció kiemelten fontos szerepet kap napjainkban, hiszen legtöbbször az egyszerűbb, olcsóbb és gyorsabb megoldásokat keresik a piacon való versenyképesség megtartásához. Az egyik ilyen innováció a 3D betonnyomtatás, mellyel akár szabadabb formavilágú, egyedülálló, íves szerkezeti elemeket is létrehozhatunk. A munkaerőhiány, a növekvő építőanyag árak, valamint a környezetszennyezés mind arra ösztönzik a beruházókat, hogy alternatív, hatékonyabb építésmódokat keressenek. Az automatizált technológiának köszönhetően pontosabb kivitelezés mellett csökkenthető a károsanyag-kibocsátás mértéke is. A 2020-as évben készített TDK kutatásom során a betonnyomtatás gazdasági hatékonyságát elemeztem, majd az iparban jellemző árakat felhasználva összehasonlítottam a monolit vasbetonépítés költségeivel.

Kulcsszavak: 3D betonnyomtatás, innováció, építéstechnológia, gazdaság, TDK

1. BEVEZETÉS

Napjainkban hazai keretek között is tapasztalható probléma, hogy a kínálat, azaz a termelési kapacitás nem tudja utolérni a fokozott keresletet az építőipar területén. A rezsioradíjak az utóbbi 8 évben megduplázódtak (ÉVOSZ weblap), ennek következtében az élő munkaerő foglalkoztatása költségessé vált, ellátása pedig hiányos, azaz a hatékonyság fokozása elengedhetetlen. A kivitelezők nehezen tartanak lépést az elvárt határidőkkel, az esetek 20%-ában túllépik azt, valamint 80%-ában a beruházásra szánt összeget is meghaladják (McKinsey weblap, 2016). Ennek ellenére a cégek általában éves bevételüknek csak 1-2%-át fordítják digitalizációra (Agarwal, 2016). Általában az innováció magas költsége miatt nem, vagy csak keveset fektetnek újításokba és nem látják pontosan, hogy mire tudnák használni a technológiát (Zhang et al., 2019).

2. 3D BETONNYOMTATÁS AZ ÉPÍTŐIPARBAN

2.1 Az innováció szükségessége

A jövőt ma már az építőipar digitalizációjának felgyorsulása, a hatékonyság fokozása és a gyors építési technológiák jelentik. A szerkezetépítés területén az egyik ilyen újítás a 3D betonnyomtatás. Ez egy olyan létező technológia, amellyel akár betonacél erősítés nélkül, rétegről rétegre, a megrendelő igényeinek megfelelően kialakítva teljes lakóházak is megvalósíthatók. Olyan eszköz, amellyel építésznek nagyobb tervezési szabadságot kapnak, ugyanis a szabadabb formavilágú, komplex geometriájú épületek kialakítása sem okoz gondot a nyomtatónak. A vasbetonszerkezetek esetében az íves falak kialakítása az egyeneshez képest extra költséget jelent, sokszor egyedi zsaluzat készítésére is szükség van, melyek felhasználása kevésbé gazdaságos és környezetbarát.

Továbbá a nyomtató esetében több formázási lehetőség is adott, például ívben történő nyomtatásra is alkalmas.

2.2 A betonnyomtatási technológia

A betonnyomtatók több típusát különböztetjük meg, leggyakoribb a robotkaros és a portálnyomtató. Költségelemzésemhez ez utóbbit választottam, mivel a robotkar esetében általában limitált a terület, amelyet egy fix pozícióból képes elérni. Ezzel szemben a modulokból álló állványzat méretét az épület befoglaló méreteihez igazítva akkora területet tudunk lefedni, amekkora szükséges, így időben is gyorsabb lehet a teljes folyamat. Számításaimhoz a dániai COBOD cég által gyártott BOD2 nyomtató (1. ábra) paramétereit és költségeit használtam fel (www.cobod.com), ugyanis ez a gép egyedülálló módon akár az 1 m/s-os sebességével is képes nyomtatni. Az üresjárási idő és a biztonsági tartalékok miatt, valamint az egyenletes anyagáram biztosítása érdekében viszont egy lassabb, 0,3 m/s-os nyomtatási sebességet feltételeztem.

A nyomtató egyik legnagyobb előnye, hogy akár 2 fős, speciális technikusai képesítéssel rendelkező személyzet elegendő az eszköz felállításához, elbontásához, valamint

1. ábra: Építési helyszínen felállított BOD2 nyomtató (Forrás: PERI)



üzemeltetéséhez. A különleges építéstechnika újfajta gondolkodásmódot igényel, ugyanis a folyamatos fejlesztések mellett jelenleg még kevés a piaci alkalmazás során szerzett tapasztalat.

2.3 A nyomtatható beton

A nyomtatás során felhasznált beton összetétele különbözik a legtöbb, monolit vasbetonépítés során használt receptúrától. Általában szálerősítésű, alacsony víz-cement tényezőjű, kiegészítőanyagokat (folyósítószer, kötőgyorsító) tartalmazó betont alkalmaznak annak érdekében, hogy egyaránt könnyen pumpálható, formálható és állékony is legyen. A fokozott figyelmet igénylő anyagtechnológia miatt több gyártó is kínál olyan előregyártott cementkeveréket, amelyhez csak víz adagolása szükséges, ezzel megkönnyítve a kivitelezők feladatát. A nyomtatott beton általános jellemzője a gyors szilárdulás és a nagyobb teherbírás: akár 100 MPa-os nyomószilárdság (Paul et al., 2018).

Emellett a zsaluzott vasbetonnal szemben pontosabb anyaglerakás érhető el, azaz csak oda nyomtatnak betont, ahol az statikai vagy egyéb szempontból szükséges. Ezen felül a betonba újrahasznosított építési hulladék is adagolható, így a lehető legkisebb környezeti terheléssel dolgozhatunk, jobban kihasználva az erőforrásokat. Optimalizált szerkezeti elemek megvalósítása is lehetséges nyomtatással, mellyel tovább csökkenthetjük betonfelhasználást. Az anyagköltség nagymértékben függ a beton összetételétől, ezért egy, a szakirodalomban jellemző receptúrával kalkuláltam.

3. KÖLTSÉGELEMZÉS

3.1 Modellek

A technológia sajátossága, hogy nemcsak épületek, hanem bármilyen kialakítású betonelem nyomtatására alkalmazható, mint például belső térelemek, közműaknák, kerítések, valamint bennmaradó zsaluzatok. A lakóépületek differenciált piacán azonban több egyedi kialakítás lehetséges, amelyekre leginkább a 3D betonnyomtató alkalmas. Kutatásomban ezek összevetéséhez három különböző geometriájú egyszintes nyaralóépületet modelleztem meg, hogy megvizsgáljam az íves geometriából eredő esetleges többletköltség mértékét. Ezek függőleges szerkezeteinek építési költségeit határoztam meg valós, magyar piaci árak segítségével. Költségtényezőnként történő elemzésem során pedig külön vizsgáltam az anyagköltséget, az élőmunka költséget, valamint a gép- és bérleti költségeket.

A 3D betonnyomtatás esetében két különböző technikát is figyelembe vettem, a teljes szerkezeti szélességű- (3-30 cm szélességben), és a Contour Crafting technikával történő nyomtatást. Míg az első esetben a nyomtatófej egyszer halad végig egy adott szakaszon, addig az utóbbinál a több, kisebb szélességű nyomtatott sáv miatt háromszor. Egy ilyen üreges falszerkezet létrehozásával, valamint a nyomtatási vastagság és szélesség optimális megválasztásával anyagot spórolhatunk meg, viszont a nyomtatási folyamat időtartama is megnövekszik.

4. ÖSSZEHASONLÍTÁS

4.1 Monolit vasbetonépítés árai

A hazai építőipari cégek által biztosított piaci árak alapján mindhárom modell esetében referencia költségeket határoztam meg, monolit vasbetonépítési technológiát feltételezve.

Ennek során külön kalkulációt végeztem a zsaluzatállításra vonatkozóan, mely alapján kiderült, hogy kisebb költségvonzata van a zsalu daruval történő mozgatásának, mintha ugyanazt kézi erővel végeznénk, ugyanis így gyorsabban elvégezhető a folyamat, ami végül lényegesen kedvezőbb zsaluzási árat eredményez.

4.2 3D betonnyomtatás költségei

A technológia újdonsága miatt még csak néhány cég rendelkezik hasonló berendezéssel és egyelőre nincs bérelhető állomány. Ezért a megfelelő méretű, moduláris nyomtató beszerzési költségének 10 000 üzemórás amortizációjával számoltam, ez azonban egy adott cégnél stratégiától függően változhat. A vételárba nemcsak a gépezet, hanem minden szükséges kiegészítő elem költségét is beleszámoltam, ami az üzemeltetéshez szükséges. Várhatóan, ahogy a technológia fejlődik egyre szélesebb körben lesz elérhető a kisebb cégek számára is.

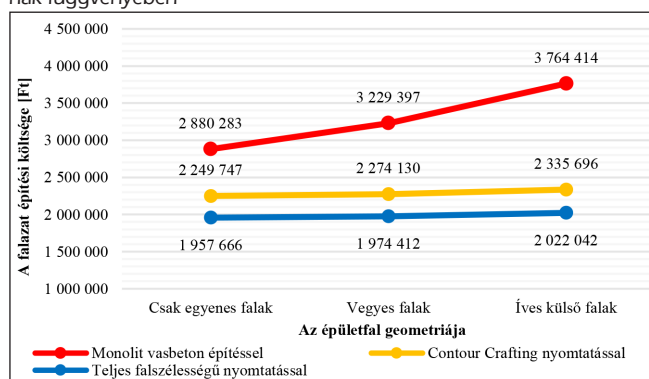
5. EREDMÉNYEK

Megállapítható, hogy a zsaluzat- és vasalásmentes betonozás következtében a monolit vasbetonépítéshez képest kedvezőbb költségű, valamint gyorsabb és pontosabb lesz az építési folyamat. Ennek köszönhetően egy épület függőleges tartószerkezete íves kialakítás esetén 38-47%-kal, míg egyenes falak esetében 22-32%-kal kevesebb összegből valósítható meg 3D betonnyomtatással (2. ábra).

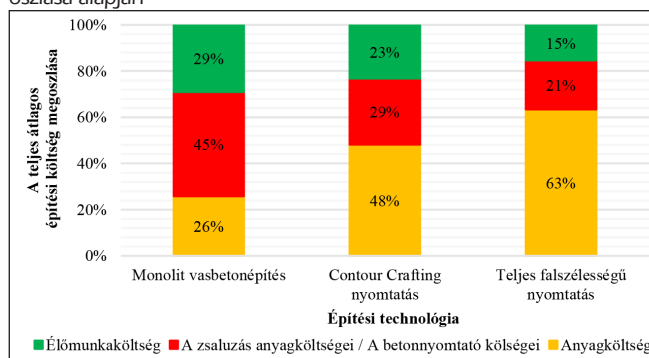
Ezen felül a betonnyomtató alkalmazása geometriától függetlenül több, akár 8-szor gyorsabb megvalósítást tesz lehetővé, azaz akár 24 óra alatt elkészíthetők egy kisebb épület vertikális elemei. A költségtényezőkre bontás alapján a végösszeg legnagyobb részét az anyagköltség teszi ki a speciális tulajdonságú beton miatt (3. ábra).

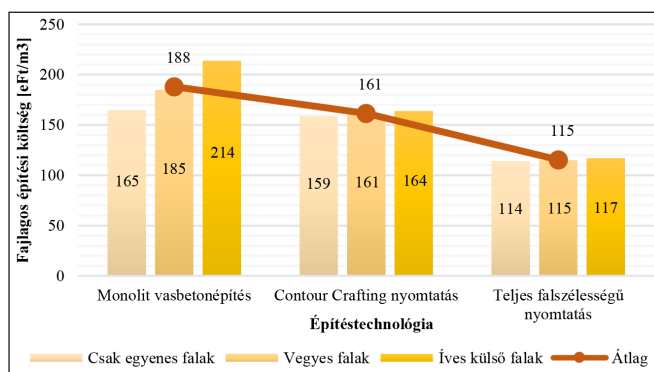
Monolit vasbetonépítési technológiával dolgozva az íves geometriával rendelkező épületek kialakítása többletköltséggel

2. ábra: A becsült építési költségek alakulása a falazat geometriájának függvényében



3. ábra: A modellek becsült építési költsége a tényezők átlagos megoszlása alapján





4. ábra: 1 m³ betontermék fajlagos előállítási költsége technológiák szerint

jár az egyeneshez képest, így fajlagosan megemeli a nettó alapterületre vetített négyzetméterárakat. Ezzel szemben betonnyomtatással dolgozva, azonos beruházási költség mellett, az íves geometriának köszönhetően nagyobb alapterületet vehetünk birtokba. Az 1. ábrán az is látható, hogy a nyomtatott beton épületek mindegyike gazdaságosabb, mint a monolit vasbetonépítéssel készült házak.

Az elemzésből kiderült továbbá, hogy a munkaerőhiányt is képes lehet mérsékelni a technológia elterjedése, ugyanis csak harmadannyi élőmunkaköltség társul a nyomtatáshoz, mint a monolit vasbetonépítéshez. Az egységnyi felhasznált betonmennyiségre vetített fajlagos építési költségek szintén kedvezőbbnek bizonyultak a nyomtatott beton elemek esetében (4. ábra).

Kutatásom során egy általános költségmodell megalkotása mellett, több különböző modellen keresztül sikerült igazolni a kisléptékű 3D betonnyomtatott épületek gazdaságosságát. Feltehetően az ilyen technológiával megvalósuló építmények költségbecslésének kidolgozását is hasonló rendszerben lehet majd elvégezni, mellyel a továbbiakban érdemes részletesebben is foglalkozni.

6. JÖVŐKÉP

6.1 Hazai piac

A technológia adaptálásának szempontjából felmérést végeztem a magyar cégek körében is, hogy átfogó képet alkossak a betonnyomtatás valós piaci terjedésével kapcsolatban.

A dvb Délmagyarországi Vasbetonipari Kft. egy kísérleti 3D betonnyomtató üzembe helyezésével és a teljes mértékben saját fejlesztésű berendezéssel komoly elköteleződést mutat a technológia iránt. 2022-ben már termelni is szeretnének ilyen eszközzel szegedi telephelyükön. A PERI Kft. pedig az első németországi és ausztriai projekteket követően, a következő évben hazánkban is tervezi egy betonnyomtató beszerzését, valamint az ilyen technológiával készült épületek megvalósítását.

6.2 Kihívások

Jelenleg a technológia az alátámasztás nélküli horizontális elemek in-situ nyomtatására nem képes, így főként falak, pillérek, és egyéb függőleges szerkezetek esetében alkalmazható. A 3D betonnyomtatott házak kivitelezésével kapcsolatban kevés információ áll rendelkezésünkre még, így a mérnököknek is újdonságot jelent az ezzel kapcsolatos problémák megoldása. Ennek megfelelően érdemes nagyobb léptékben, ténylegesen megvalósuló épületek esetén is megvizsgálni a technológia sajátosságait, a megvalósítási folyamat elemeit.

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A 3D betonnyomtatás tömeges gyakorlati alkalmazásának egyik kritikus tényezője a piacvezető cégek stratégiai hozzáállása az innovációhoz és a technológiához. Ennek megfelelően a technológia elterjedését nagymértékben befolyásolja a gazdaságossága is. Mivel a technológiát alkalmazó cégek előrejelzéseikben eltérő mértékű költségmegtakarítással számoltak, szerettem volna egy kutatással magyar viszonylatban is felmérni egy 3D betonnyomtató költségének megtérülési lehetőségeit. Több szempont szerint is megvizsgálva az analízisből kiderül, hogy az egyszintes épületek szerkezetét tekintve hatékonyabban építhetők és gazdaságosabban megvalósíthatók betonnyomtatással, mint monolit vasbetonépítési technológiát alkalmazva.

A kiemelkedően rövid átfutási idővel rendelkező építési mód döntő szerepet vállalhat a globális lakhatási krízis megoldásában, a katasztrófa sújtotta területek újjáépítésében, valamint az emberi beavatkozásra alkalmatlan területeken történő munkavégzés esetében is.

A következő években várhatóan tovább fog nőni azon projektek száma, amelyek nyomtatással valósultak meg, ugyanis az élőmunka költség fokozatosan emelkedik, és előtérbe kerülnek a fenntarthatóság szempontjából előnyösebb építési módok.

8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani TDK kutatásom témavezetéséért dr. Vidovszky Istvánnak, valamint az Építéstechnológia és Építésmenedzsment Tanszéknek.

9. HIVATKOZÁSOK

- Agarwal, R. – Sridhar, M. – Chandrasekaran, S. (2016.06.24.), „Imagining construction's digital future” <https://www.mckinsey.com> (2021.11.12.)
- COBOD weblap, <https://cobod.com> (2021.11.12.)
- ÉVOSZ weblap, <https://evosz.hu> (2021.11.12.)
- McKinsey weblap, The Construction Industry is Ripe for Disruption Infographic (2016), <https://www.mckinsey.com> (2021.11.12.)
- Paul, S.C., van Zijl, G.P.A.G., Tan, M.J. and Gibson, I. (2018), „A review of 3D concrete printing systems and materials properties: current status and future research prospects”, Rapid Prototyping Journal, Vol. 24 No. 4, pp. 784-798.
- Zhang, X. – Flood, I. – Zhang, Y. – Moud, H. I. – Hatami, M. (2019), „A Cost Model to Evaluate the Economic Performance of Contour Crafting.”, Computing in Civil Engineering 2019, pp. 618-625.

Szögi Tamás (1999), negyedéves hallgató, aki 2021-ben az OTDK Műszaki Tudományi Szekció Építészet tagozatában Külföldi díjas lett, valamint a 2021/22-es tanévben Nemzeti Felsőoktatási Ösztöndíjban részesült. Emellett a Zielinski Szilárd Építőmérnöki Szakkollégium gazdasági alelnöki pozícióját tölti be. Örömmel foglalkozik betonnal kapcsolatos fejlesztésekkel és innovatív technológiákkal. Kutatását szeretné tovább folytatni diplomamunka keretein belül.

3D CONCRETE PRINTING - REVOLUTION OF THE ECONOMICAL HOUSE BUILDING

Tamás Szögi

In the field of construction, innovation and digitalisation are playing a key role today, as most people are looking for simpler, cheaper, and faster solutions to stay competitive in the marketplace. One such innovation is 3D concrete printing, with which we can even create unique, curved structural elements with a freer design. Labor shortages, rising building material prices, and pollution are all encouraging investors to look for alternative, more efficient construction methods. Thanks to automated technology, emissions can be reduced with more precise design. In my TDK research, conducted in 2020, I analyzed the economic efficiency of concrete printing using industry-specific prices and then compared it to the costs of monolithic reinforced concrete construction.

ELŐREGYÁRTOTT VASBETON KERETVÁZ CSOMÓPONTJAINAK NUMERIKUS MODELLEZÉSE - I. RÉSZ - KEHELYNYAK



Roszevák Zsolt - Bogár Blanka - Dr. Haris István

<https://doi.org/10.32969/VB.2021.4.3>

Napjainkban a tervezett szerkezetek viselkedésének vizsgálata az esetek többségében szoftverek segítségével történik. Fontos, hogy a modellek megfelelően egyszerűek legyenek, de a számított értékek jól közelítsék a szerkezetek valós viselkedését. Munkánk során az ATENA 3D program segítségével egy keretállás előregyártott pillér-kehelynyak befogott alapozási kapcsolatának modellezését és numerikus vizsgálatát végeztük el. A kehelyalapozás modelljeit a magyar építőiparban fellelhető, meghatározó jelentőségű vasbeton előregyártó cégek termékkínálatának felhasználásával készítettük el. A modelleken a kapcsolat általunk meghatározott paramétereinek változtatásával elmozdulás-vezérelt érzékenységvizsgálatot hajtottunk végre. Ezen vizsgálatok során erő-elmozdulás összefüggések alapján rávilágítottunk a lineáris- és a nem-lineáris numerikus módszertan közötti eltérésekre. Annak érdekében, hogy a kehelyalapozási csomópont numerikus viselkedését minél pontosabban írjuk le további három vizsgálatot végeztünk el, ahol a kitöltő habarcs zsugorodásának, a talaj hatásának és az előregyártott elemek bordázott kialakításának hatását is megvizsgáltuk. Végezetül pedig a keretállás gerendájával kibővítettük a kapcsolatot, vizsgálva így a teljes szerkezet viselkedését.

Kulcsszavak: előregyártott vasbeton oszlop-kehelynyak csomópont, nemlineáris végelelemes analízis, ATENA 3D szoftver

1. BEVEZETÉS

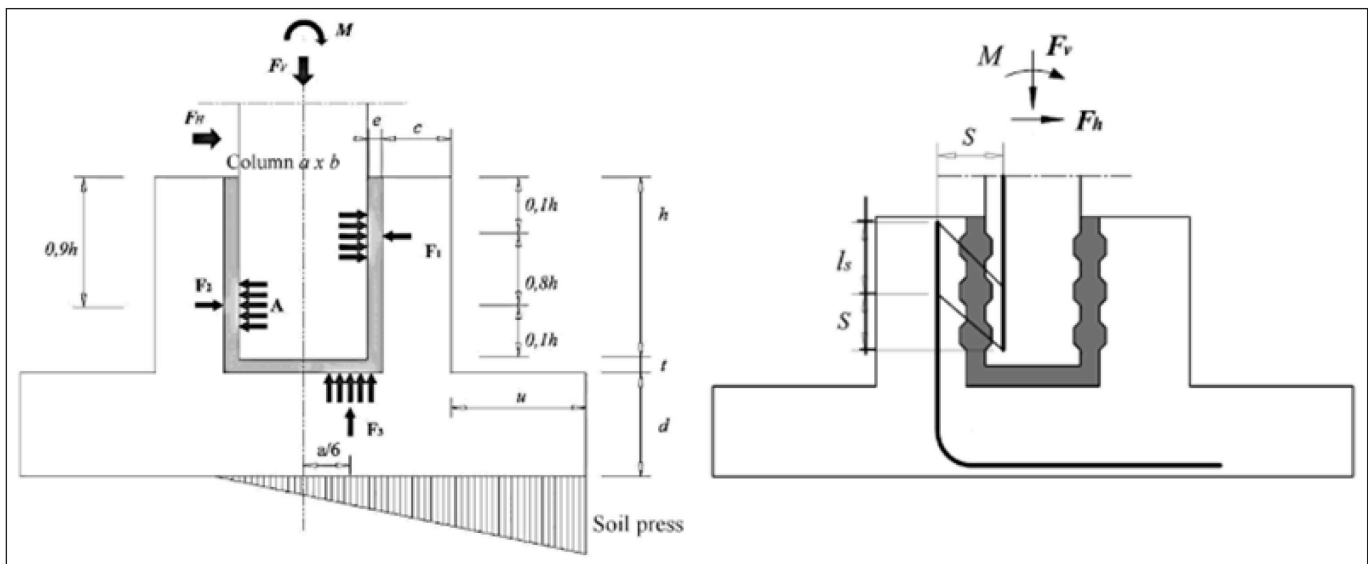
Az iparosodás és a múlt században bekövetkezett gyors fejlődések hatására egyre elterjedtebbé vált az előregyártott vasbetonszerkezetek használata az építőiparban. Mind a szerkezetépítésben, mind az infrastruktúrában meghatározó szerepe lett, ennek oka a minőség megőrzése és javítása mellett, a módszer gyorsasága, gazdaságossága és kis helyszíni munkaerőigénye volt. Hátránya, hogy az előregyártott és a monolit szerkezeti elemek kapcsolatainak tervezése és kivitelezése nagy szaktudást igényel. A helytelen, rosszul konstruált csomóponti megvalósítások komoly szerkezeti problémákat és akár tönkremeneteleket is okozhatnak. Annak érdekében, hogy a csomópontok funkciójuknak megfelelően működjenek, fel kell venniük a terhekből – az állandó, esetleges, és rendkívüli terhekből – származó egyidejű hajlító-, nyíró-, normál-, csavaró igénybevételeit. A terhek felvétele mellett a kapcsolatok fontos feladata a folytonosság, a megfelelő merevség és a szükséges elmozdulások, alakváltozások biztosítása. A csomópontok helyes megtervezése az egyik legfontosabb feladat az előregyártott (és a monolit) vasbetonszerkezetek építése esetén, hiszen a kialakított kapcsolatok rendszerének viselkedésétől függ a teljes szerkezet terhekre adott válasza. Jelen cikkben egy vasbeton alapozási csomópont modellezésével és viselkedésével foglalkozunk. Az ATENA 3D végelelemes programmal egy előregyártott szerkezetek gyártásával foglalkozó cég által gyártott kehelyalapozási kapcsolatot modelleztünk. Ezután az általunk meghatározott paramétereket változtattuk, (melyeket a következőkben fogunk bemutatni)

így vizsgálva a szerkezet viselkedését. Jelen cikk képezi sorozatunk első részét, melynek folytatásában (Roszevák, Blázsán, Haris 2021) a modellt a gerendával bővítjük, illetve megvizsgáljuk a két elem összekapcsolásából adódó modell viselkedését.

2. IRODALOMKUTATÁS

A modellezést és a vizsgálatok elvégzését irodalomkutatás, szakirodalmi áttekintés előzte meg, mely a kapcsolat kialakítását, méretezésének lépéseit, illetve a Magyarországon fellelhető előregyártott alapozási termékkínálatot hivatott bemutatni.

A szakirodalomban csak kevés publikáció foglalkozik az előregyártott oszlop-kehelynyak kapcsolatának vizsgálatával. Az egyik legfrissebb kutatásban az előregyártott vasbeton pillér-kehelynyak/alaptest csomópont viselkedését Tullini és Minghi (2020) vizsgálta. A kutatási program keretein belül laboratóriumban vizsgálták az oszlop toldásának kialakítását, a toldó betonacél szerelvényeket és a kapcsolat teherbírását kvázi-statikuss és ciklikus terhekre is. A laboratóriumi kísérleteken kívül analitikus és numerikus vizsgálatok is megtalálhatók a szakirodalomban, azonban ezek még kevesebb számban elérhetők. A fellelt publikációk között a közelmúltban készített analitikus és numerikus vizsgálatok is megtalálhatók voltak. Analitikus számítási modellekkel vizsgálták az előregyártott kehelynyak-pillér kapcsolatot Prya és tárai (2016), melyben a kapcsolat szeizmikus ellenállását próbálták meghatározni. Hasonló témában készült háromdimenziós végelelemes analízis is, melyet Ashida és Yedhu (2017) készített. Az előregyártott



1. ábra: Belső falak sík, illetve bordázott kialakítással (fib Bulletin 74)

keretekkel kapcsolatosan az oszlop-gerenda kapcsolatra vonatkozó kísérletek sokkal nagyobb számban elérhetők a szakirodalomban (azokat a cikksorozatunk második részében ismertetjük részletesen). Az áttekintett szakirodalomban jellemzően laboratóriumban végzett kísérleteket találtunk, virtuális kísérleteket csak igen kis számban. A numerikus vizsgálatok alapvetően kétdimenziós lineáris végeleemes vizsgálatok, ritkábban nemlineáris vizsgálatok is fellelhetők. A háromdimenziós nemlineáris végeleemes kutatások nagyon kis számban találhatók a szakirodalomban (Hawileh, Rahman, Tabatabai 2010).

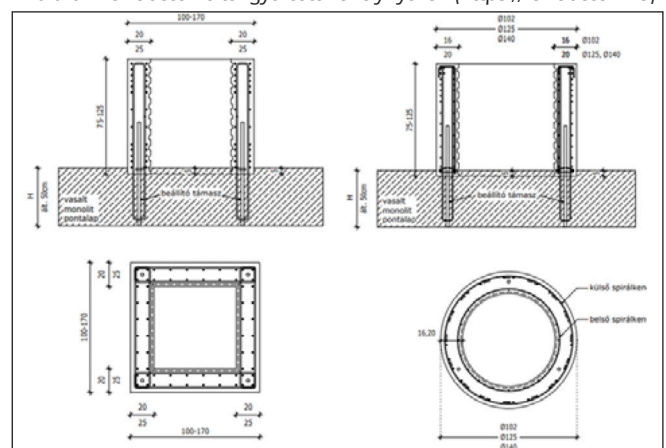
A munkánk keretein belül a vasbeton kehelyalapok viselkedését, pontosabban az előregyártott kehelynyak, a monolit alaptest és előregyártott pillér befogott kapcsolatát fogjuk részletezni és modellezni. Kehelyalapozás alkalmazása előnyös, mert minden talajadottságnál alkalmazható (fib Bulletin 74), gyártásuk üzemen történik, minőségük üzemi körülmények között vizsgált és kivitelezésük gyors. Alkalmazási területeik lehetnek: előregyártott vasbeton vázszerkezetű épületek, előregyártott acél vázszerkezetű épületek, zajvédő falak. Előszeretettel alkalmaznak kehelyalapozást abban az esetben, ha meglehetősen nagy alaptesteket kis alapozási mélységben kívánnak elhelyezni. A kehely kialakításához egy kúpos doboz-zsaluzatot használnak, a monolit alaptest öntésekor. Általában az oszlop és a kehelynyak között minimum 75 mm hézagot kell hagyni a nyak felső pereménél (fib Bulletin 74). Az oszlop alsó szakaszának oldalsó felületei (megfelelő hossz) és a kehelynyak belső falai lehetnek bordázott vagy sík kialakításúak. A belső fal sík kialakítása esetén az erők és a nyomatók nyomóerők formájában adódnak át az oszlopról a hézag betonkitöltésén keresztül az alapozásra (a kehelyre). Méretezésnél különös figyelmet kell szentelni a következőkre: a kehelynyak peremének megfelelő vasalása, az (F_v) nyomóerő továbbítása az oldalfalról az alaptestre, a vasalat rögzítése az oszlopban és a kehelynyakban, az oszlop kellő nyírási ellenállásának biztosítása a nyakon belül, valamint az alaptest átszűrődési ellenállásának megfelelő meghatározása (fib Bulletin 74). A bemélyedésekkel, bordázatokkal kidolgozott belső falnak az oszlopokkal való együttes viselkedése felfogható monolitikusként, ahol a nyomatók átadódásának köszönhetően függőleges nyírások keletkeznek. Az oszlop és az alaptest vasalásának átfedését körültekintően kell kialakítani. Az alaptest átszűrődésével ebben az esetben is tervezni kell. Az előzőekben bemutatott kétféle kialakítás

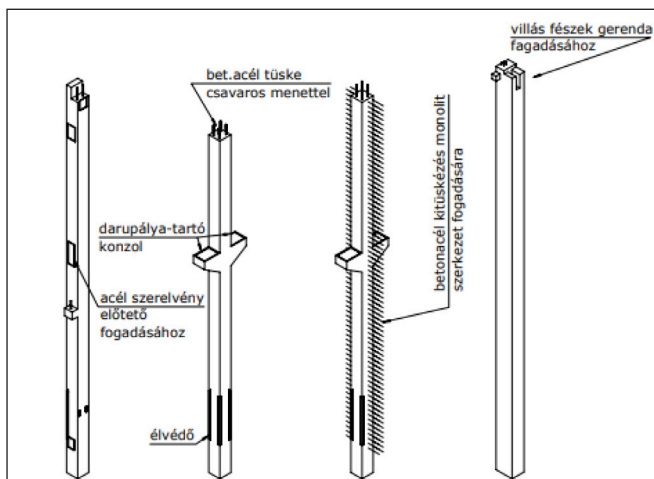
során kialakuló erőjáték, az erők támadáspontjának helye és a vasalás kialakítása az 1. ábrán figyelhető meg.

Magyarországon több cég foglalkozik előregyártott szerkezetek gyártásával illetve szerelésével, annak érdekében, hogy az építőipar minél több szegmensét kiszolgálják. A továbbiakban az egyik legnagyobb magyarországi gyártó (Ferrobeton Zrt.) kehelynyak és pillér termékeit fogjuk bemutatni, melyeket a vizsgálataink során felhasználtunk. A Ferrobeton Zrt. által forgalmazott alapozási elemek között fellelhető kör alakú és szögletes kehelynyak is. Az alkalmazható betonszilárdság mindkét esetben C16/20 - C30/37, illetve az armatúrához használt betonacél B500B osztályú. A betontakarás szögletes kehelynyak esetén 3,5 cm, ahogy a kör alakú kehelynyak külső felületén is, azonban a belső felületén csupán 1,5 cm-t alkalmaznak. A szabványos elemek 30 cm x 30 cm – 60 cm x 60 cm-es oszlopok fogadására alkalmasak. Az előregyártott kehelynyakakat a helyszíni pontalap betonozása előtt kell elhelyezni úgy, hogy a kehelynyakak beépítésekor az előregyártott részből 5 cm a helyszíni betonba ágyazódjon be. A teherbírás növelése érdekében a kehelynyakak belső része és a kehelybe kerülő pillér alsó szakasza (a kehelynyakba kerülő részen) is vízszintesen bordázott. A szögletes és a kör alakú kehelynyakak kialakításait, méreteit és vasalásait lásd a 2. ábrán.

A pillérek mindig az egyedi geometriai és erőtani igényeknek megfelelően készülnek. Lehetőség van 30 cm x 30 cm-es pillérektől kezdődően akár a 80 cm x 120 cm méretéig bármekkora téglalap keresztmetszetű pillér kialakítására. A

2. ábra: Ferrobeton által gyártott kehelynyakak (<https://ferrobeton.hu>)





3. ábra: Tipikus oszlopvég kialakítások (https://ferrobeton.hu)

pillérek kialakíthatók úgy, hogy monolit- vagy előregyártott vasbeton, illetve acél gerendák fogadására egyaránt képesek legyenek, továbbá lehetőség van rövid konzolok kialakítására is (lásd 3. ábrán).

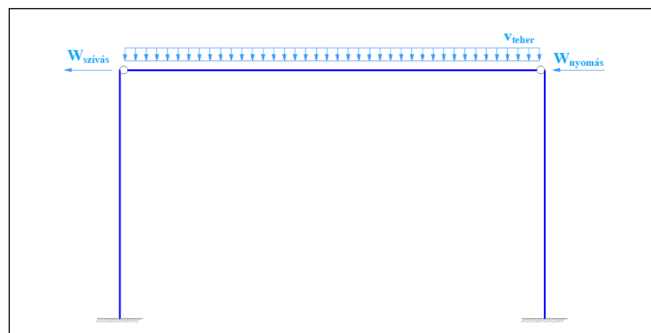
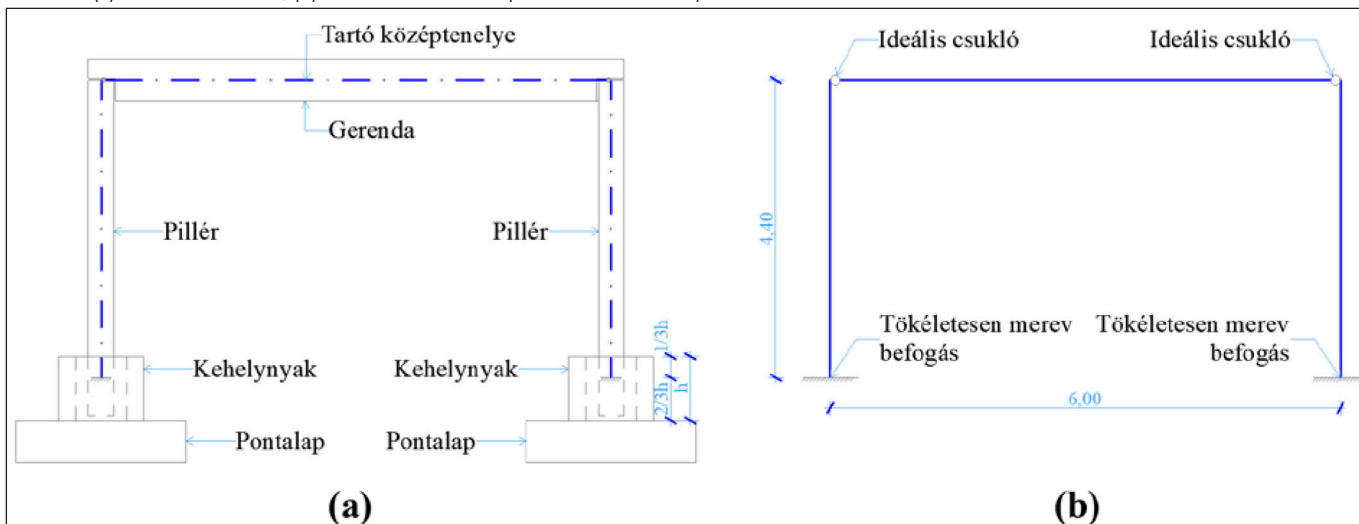
3. A VIZSGÁLAT ISMERTETÉSE

A munkánk során egy egyszerű keretállás befogott alapozási csomópontjának viselkedését vizsgáltuk, különös tekintettel a kapcsolattípusok hatását a keret globális viselkedésére. A vizsgálatokat az AxisVM és az ATENA 3D szoftverekkel végeztük. Megvizsgáltuk, hogy az előregyártott vasbeton keretváz hogyan modellezhető a két eltérő végelelem programban, valamint elemeztük, hogy az AxisVM kétdimenziós lineáris/nemlineáris végelelemes számítások során tett egyszerűsítések és feltételezések megfelelőek-e. Ezen kívül háromdimenziós nemlineáris végelelemes szoftverben vizsgáltuk az egyes csomóponti kialakítások hatását a globális keretszerkezet viselkedésére. Az ATENA 3D-ben végzett magas szintű nemlineáris végelelemes számításokat az általunk kidolgozott modellezési technikával hajtottuk végre (Haris, Roszevák 2017, Roszevák, Haris 2019)

4. NUMERIKUS MODELLEK

Az igénybevételek és deformációk meghatározásához először egy ideális keret került létrehozásra. A kiindulási modellnek tekinthető keretváz fesztávolsága 6,00 m, a magassága 4,40

4. ábra: (a) A keret kialakítása; (b) A keret statikai váza (a méretek méterben)



5. ábra: Terhek a modellen

m. Az oszlop befogása tökéletesen merev és az oszlop-gerenda csatlakozása csuklós (csukló x-z síkban), lásd 4. ábrán. A keretet kétdimenziós rúdelemekből építettük fel, a statikai vázat ez elemek tengelyvonalának összekapcsolásával alakítottuk ki. Az oszlopok megtámasztását a kehelyalap magasságának felső harmadában vettük fel ($2/3 \cdot h = 50\text{cm}$). Annak érdekében, hogy a megtámasztási pont magasságának hatása vizsgálható legyen további két modell verziót is készítettünk, melyeknél a megtámasztás magassága a kehelynyak magasságának alsó harmadában ($1/3 \cdot h = 25\text{cm}$) és a teljes magasságában ($h = 75\text{cm}$) lett felvéve. Az egyes keretállások keretsíkra merőleges távolságát 5,00 m-nek vettük fel.

Három darab különböző AxisVM modellt hoztunk létre, háromféle oszlopméret szerint. A keretekre függőleges és vízszintes irányú, vonalmentén megoszló és koncentrált terheket helyeztünk el. Az állandó teher (6,25 kN/m) és a hőteher (5,00 kN/m) mint függőleges (V_{teher}) teher a gerendára került elhelyezésre. A vízszintes teher esetében csak a szélteher ($W_{\text{nyomás}}$ és $W_{\text{szivás}}$) lett figyelembe véve, melyet az oszlop-gerenda kapcsolatánál koncentrált erőként adtunk meg. A szélteher 2,68 kN (szélnyomás) és 1,14 kN (szélzivás) értékkel került elhelyezésre, lásd 5. ábrán. A megalkotott modellben a beton anyagot lineárisan-rugalmas anyagmodellel vettük figyelembe és lineáris és nemlineáris számításokat is futtattunk. Az AxisVM-mel készített végelelemes modelleket az alábbi 1. táblázatban összegeztük.

A végelelemes modelleket az ATENA 3D nemlineáris végelelemes szoftverben is elkészítettük. A numerikus számítások során a keretváz alapozási csomópontját elkülönített modellen vizsgáltuk. A modellre függőleges (koncentrált konstans teher) és vízszintes (kvázi-statisz monoton növekvő elmozdulás teher) terheket definiáltunk. A háromdimenziós nemlineáris végelelemes számításokkal kapott eredményeket összehasonlítottuk a kétdimenziós

1. táblázat: Az AxisVM modellek paramétere

Modell sorszám	Pillér méretei		Gerenda méretei		Beton szilárdság
	Magasság	Szélesség	Magasság	Szélesség	
	a [cm]	b [cm]	a' [cm]	b' [cm]	
1	30	30	50	30	C30/37
2	40	40	50	40	C30/37
3	45	45	50	45	C30/37

lineáris/nemlineáris végeelemes számítások eredményeivel.

A modellek geometriai kialakítása hasonlóképpen lett definiálva, mint a kétdimenziós számítások során. A pillér-kehelynyak csomópont vizsgálatára összesen 18 darab modellt készítettünk, melyeknél az alábbi paramétereket vizsgáltuk részletesen:

- a kitöltő habarcs magassága,
- a kitöltő habarcs zsurgorodása,
- a pillér és kehelynyak felülete (bordázott vagy sima),
- a nem tökéletesen merev megtámasztás.

A kitöltő habarcs magasságának változtatásával a kehelynyak kitöltöttségének, valamint az esetleges építési hibák, az ideális statikai vázhoz képesti eltéréseit vizsgáltuk. A kitöltő habarcs magasságának vizsgálata azért volt fontos, mert a szerkezet alapvető statikai váza, azaz a befogási pont elhelyezkedése korántsem a tervezőasztal mellett dől el. A pillér kehelynyakba történő elhelyezését követően a hézag kiöntésének módja határozza meg a tényleges szerkezet befogási keresztmetszetének helyzetét, így az építési technológia visszahat a statikai vázra. A bordázat kialakításához összesen 7 darab bemélyedést helyeztünk el 75 cm magasságban (a kehelynyak és kitöltő habarcs magassága), 10 cm-enként kiosztva. A bordák 5 cm magasak, 2 cm szélesek és a ferde felületük 45°-os.

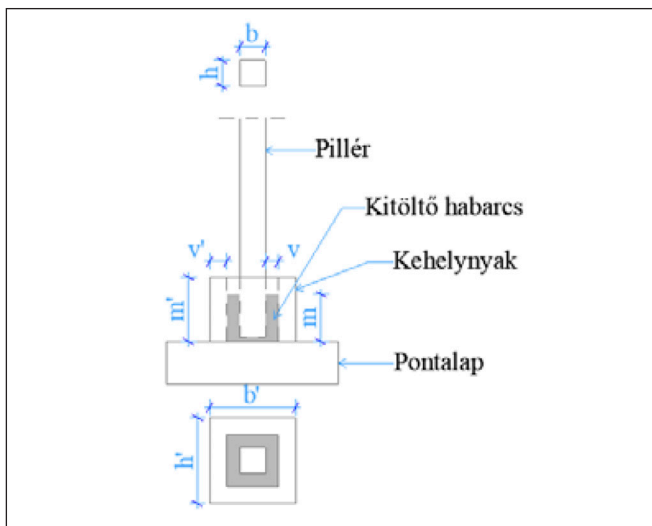
Az elkészített modelleket és azok paramétereit a 2. táblázatban foglaltuk össze, a táblázatban alkalmazott szimbólumok értelmezését lásd 6. ábrán.

Alapvetően elkülönített modelleket készítettünk, azonban a cikksorozatunk második részében végzett oszlop-gerenda kapcsolatok vizsgálatának tapasztalatai és eredményei alapján egy teljes keretmodellt is vizsgáltunk. A kialakított modelleket lásd a 7. ábrán, a szerkezeti elemek vasalási kialakítását lásd a 8. ábrán.

A feladathoz összesen öt darab anyagmodellt definiáltunk, továbbá a szerelőbeton, az alaptest, a kehelynyak és az oszlop, valamint a kitöltő habarcs anyagminőségére ugyanazt az anyagmodellt alkalmaztunk, azokhoz szükséges paraméterekkel (Haris, Roszevák 2017). Első lépésként a különböző betonok szilárdsági osztályát választottuk meg, melyet korábbi vizsgálatainak során paraméteresen vizsgáltunk (Haris, Roszevák 2017) és a vasbeton szerkezetek modellezésére kellően pontosnak ítéltünk. A betonra vonatkozó anyagmodell az elkent repedésmodell (smeared crack) a fix (Červenka 1985, Darwin 1974) és az elfordult (Vecchio 1986, Crisfield 1989) repedésmodell használatára (Cervenka et al. 2014), továbbá kombinálja a húzásra (Rankine törési feltétel) és nyomásra (Menetery-William) megalkotott modelleket. Az általunk alkalmazott anyagmodell a beton nyomás hatására bekövetkező képlékenyedését a Menetery-William törési felülettel írja le, mely három független feszültség invariánssal fejezhető ki (hidrosztatikus feszültség, deviátoros feszültség és deviátoros poláris szög) (Haris, Roszevák 2017). A betonacélok anyagának a lehetséges opciók közül a valós feszültség-alakváltozás karakterisztika alapján felvett anyagmodellt

2. táblázat: A numerikus modellek paramétere

	Pillér méretei	Kehelynyak méretei		Kitöltő habarcs méretei Beton szilárdság		Kitöltő habarcs szilárdság	
	h x b [cm]	v' [cm]	h' x b' x m' [cm]	v [cm]	m' [cm]		
O30-KM75-KA25	30 x 30	20	100 x 100 x 75	15	75	C30/37	C25/30
O40-KM75-KA25	40 x 40	20	100 x 100 x 75	10	75	C30/37	C25/30
O45-KM75-KA25	45 x 45	20	105 x 105 x 75	10	75	C30/37	C25/30
O30-KM50-KA25	30 x 30	20	100 x 100 x 75	15	50	C30/37	C25/30
O40-KM50-KA25	40 x 40	20	100 x 100 x 75	10	50	C30/37	C25/30
O45-KM50-KA25	45 x 45	20	105 x 105 x 75	10	50	C30/37	C25/30
O30-KM25-KA25	30 x 30	20	100 x 100 x 75	15	25	C30/37	C25/30
O40-KM25-KA25	40 x 40	20	100 x 100 x 75	10	25	C30/37	C25/30
O45-KM25-KA25	45 x 45	20	105 x 105 x 75	10	25	C30/37	C25/30
O30-KM75-KA20	30 x 30	20	100 x 100 x 75	15	75	C30/37	C20/25
O40-KM75-KA20	40 x 40	20	100 x 100 x 75	10	75	C30/37	C20/25
O45-KM75-KA20	45 x 45	20	105 x 105 x 75	10	75	C30/37	C20/25
O30-KM50-KA20	30 x 30	20	100 x 100 x 75	15	50	C30/37	C20/25
O40-KM50-KA20	40 x 40	20	100 x 100 x 75	10	50	C30/37	C20/25
O45-KM50-KA20	45 x 45	20	105 x 105 x 75	10	50	C30/37	C20/25
O30-KM25-KA20	30 x 30	20	100 x 100 x 75	15	25	C30/37	C20/25
O40-KM25-KA20	40 x 40	20	100 x 100 x 75	10	25	C30/37	C20/25
O45-KM25-KA20	45 x 45	20	105 x 105 x 75	10	25	C30/37	C20/25



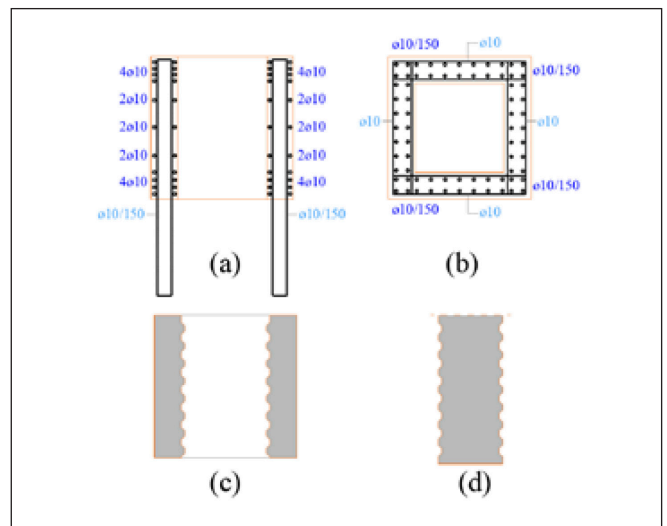
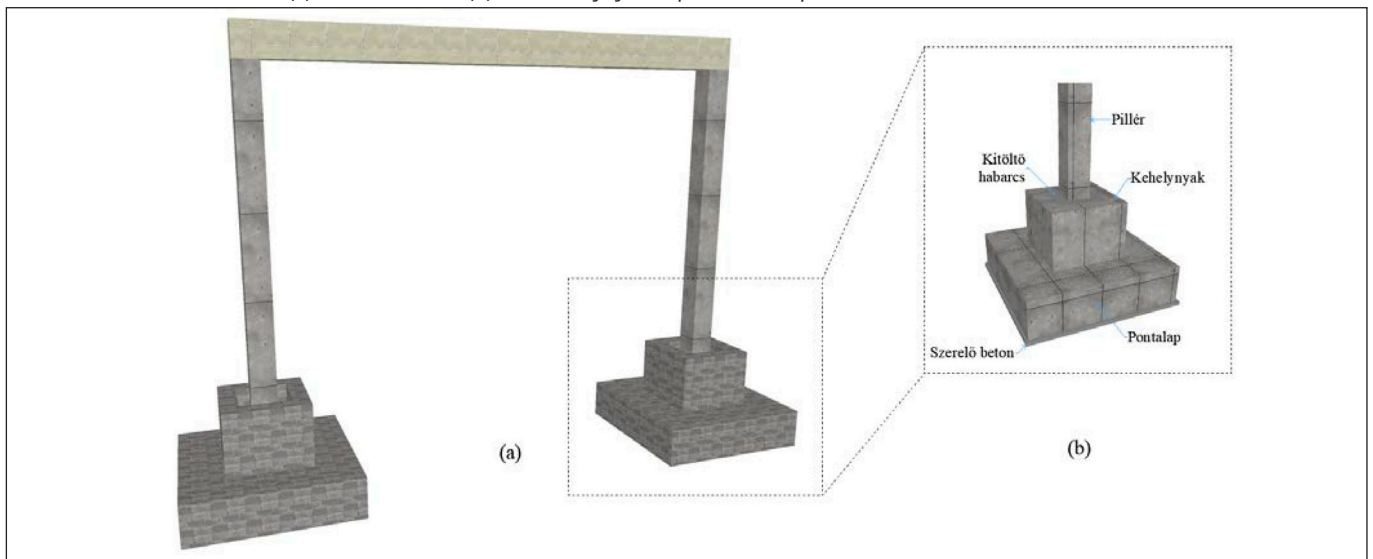
6. ábra: A kapcsolat paraméterei

választottuk (Haris, Roszevák 2017). A beton és a betonacél közötti kapcsolatot a CEB-FIP Model Code (1990) kötete szerint modelleztük (Haris, Roszevák 2017). A beton elemeket a tényleges geometriájukkal, testelemként, a betonacélokat egy dimenziós végelemekkel, a valós átmérőjükkel definiáltuk. A pillérben és a kehelynyakban elhelyezett kengyeleket a valóságtól eltérő (ténylegesen) zárt elemekkel modelleztük.

A modellezés során szükség volt egy acél kapcsolóelemre, melyre a vízszintes koncentrált terhet, a keretsíkkal párhuzamos irányú eltolódást (e [mm]) működtettük. Ennek egy lineárisan rugalmas, izotróp anyagmodellt adtunk meg. Ezen kívül szükség volt egy „3D Interface” anyagmodell definiálására is, mely a szerelőbeton és alaptest közötti kontakt kapcsolatot jellemzi. A keret megfelelő működésének érdekében az alaptest alsó felülete csak nyomást vehet fel, viszont az alsó síkján beállított függőleges irányú megtámasztás ezt nem biztosítja. Emiatt az egyik modellverzióban a szerelőbeton alsó síkján helyeztünk el a megtámasztást és az előbb említett kontaktelemet (szerelőbeton és pontalap közötti kapcsolat) úgy definiáltuk, hogy csak nyomást vegyen fel. A program a zéró értékeket általában nem tudja jól kezelni, ezért egy nullához közeli értéket vettük fel a kontaktelelem erre vonatkozó paramétereinél.

A modellezés során először egy monolit vasbeton alaptestet definiáltunk, alatta 10 cm vastag szerelőbetonnal, amelyre egy, az oszlop anyagminőségével megegyező előregyártott kehelynyak kerül. A szintén előregyártott vasbeton oszlop és kehelynyak között a gyártó által meghatározott anyagminőségű kitöltő

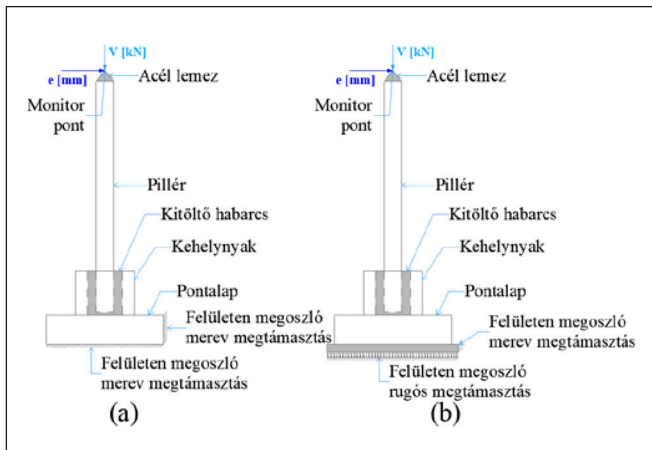
7. ábra: A keretváz kialakítása (a) Globális modell; (b) Pillér-kehelynyak alapozási csomópont



8. ábra: A pillér és a kehelynyak kialakítása (a) vízszintes vasalás; (b) függőleges vasalás; (c) bordázott kehelynyak; (d) bordázott pillér

habarcs került. A terhelés átadására és szétosztására szolgáló acél kontaktelemelem az oszlop felső lapján elhelyezkedő gúla, melynek csúcsában hat a vízszintes (e [mm]) és a függőleges (V [kN]) koncentrált terhelés (a vízszintes eltolódás terhelés, a függőleges a keretállás függőleges terheiből származó nyomóerő). Az így kialakított modell általános rajzát lásd a 9. ábrán.

A csomópont kialakításánál a Ferrobeton Zrt. szögletes kehelynyakai közül a legkisebb méretűt vettük figyelembe, amely 75 cm magas, 100 cm x 100 cm szélességű és a falvastagsága 20 cm, továbbá a beton C30/37 szilárdságú. Az ehhez tartozó vasbeton oszlop 30 cm x 30 cm keresztmetszetű és szintén C30/37 anyagminőségű, így a kitöltő habarcs vastagsága 15 cm. A gyártó által kikötött követelmény, hogy a kitöltő habarcs vastagsága minimum 10 cm, az anyagminősége C25/30 legyen (<https://ferrobeton.hu>). Az alaptest 50 cm magas, alaprajzi mérete 200 cm x 200 cm, továbbá az itt alkalmazott anyagminőség C20/25. Az alaptest alatt elhelyezkedő szerelőbeton 10 cm vastagságú és C16/20 szilárdságú. Az oszlop tényleges hossza 5 méter, melynek felső lapjához kapcsolódik az acél kapcsolóelem. A gerenda 50 cm magasságú, így a gúla alakú kontaktelemelem magassága 25 cm (attól függően, hogy milyen az oszlop-gerenda kapcsolat kialakítása). A vasalás kialakítását a keretállás AxisVM modelljében kapott igénybevételek szerint határoztuk meg. Az oszlopot egyirányú hajlításra ellenőriztük a megszokott módon, a kehelynyak és alaptest számítását pedig az előzőekben

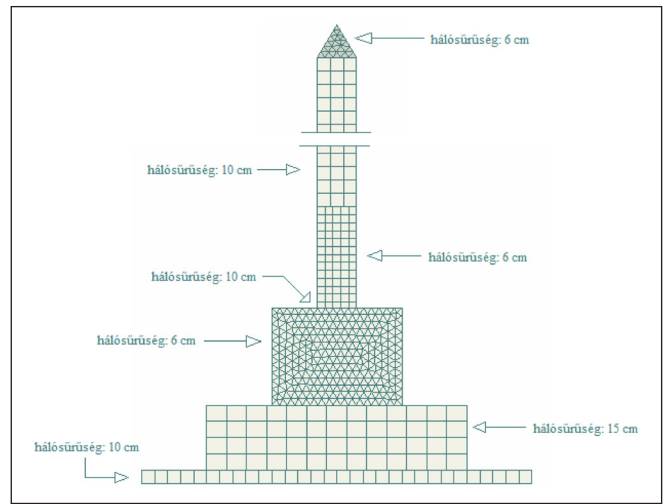


9. ábra: A teherelrendezés (a) pillér-kehelynyak modell (b) nem tökéletesen merev megtámasztás modellezése

bemutatott méretezés szerint hajtottuk végre (fib Bulletin 74). A végeleemes modellben a tényleges betonkeresztmetszeteket és vasalási kialakításokat modelleztük, lásd a 6. ábrán.

A vizsgálataink során az ATENA 3D szoftverben elmozdulás-vezérelt numerikus vizsgálatokat hajtottunk végre. Egy vízszintes eltolódás terhet és egy függőleges nyomóerőt működtettünk az oszlop felső lapján elhelyezkedő gúla alakú teherelosztó elemre, melynek funkciója, hogy szétossza a koncentrált erőt. A gúla csúcspontjában helyeztük el a monitor pontot, melynek eltolódását és az itt ébredő erőket vizsgáltuk a számítás során. A vízszintes irányú monoton növekvő (egyirányú) eltolódást és a függőleges irányú nyomóerőt az AxisVM modellekből kaptuk meg. A függőleges terhet 10, a vízszintes eltolódás terhet pedig 100 teherlépcsőben adtuk meg. Két felületi megtámasztást alkalmaztunk, melyeket a modell megfelelő működése szempontjából a szerelőbetonon helyeztünk el. Egy függőleges (Z) irányú támaszt az alsó felületen és egy vízszintes teherrel ellentétes (X) irányú támaszt az egyik függőleges lapján, ugyanezt az oldalirányú támaszt az alaptestre is definiáltuk, lásd 9. ábrán.

A modellezés során az alaptest hálósűrűségét 15 cm nagyságúra vettük fel (Haris, Roszevák 2017), sűrűbb hálóra ennél a makróelemnél nem volt szükség, mivel a vizsgálat legfőképp a kehelynyak, kitöltő habarcs és oszlop kapcsolatára fókuszál. A szerelőbeton hálósűrűsége 10 cm, a többi elemen pedig 6 cm nagyságú hálót definiáltunk (Haris, Roszevák 2017). Az első modell futtatása során derült fény arra, hogy a kitöltő habarcs hálónagysága nem lehet akkora, mint a kehelynyaké vagy oszlopé (numerikus hibából adódóan). Emiatt ennek az elemnek a hálóját nagyobbra, pontosabban 10 cm-re vettük fel. Továbbá az oszlop a kehelynyak felső síkja fölött 0,6 méterrel ketté lett osztva, azon a szakaszon, ahol a kengyelek sűrítésre kerültek, a felső szakaszon a háló mérete 10 cm nagyságú. Ennek oka, hogy a kehelynyak felett az oszlop esetében már nem volt szükség feleslegesen sűrű végelelemhálóra (Roszevák, Haris 2019). A háló generálásánál az alaptestet, a kehelynyakat, az oszlopot és a kontaktelemet kvadratikuss (bázisfüggvények) elemekként határoztuk meg, a kitöltő habarcsot szintén kvadratikuss interpolációs polinomokkal modelleztük (Haris, Roszevák 2017). Ezen kívül a végelelem háló alakját is eltérő alakokkal választottuk meg. Az oszlop, az alptest és a szerelőbeton téglatest alakú hálót kapott, míg a kehelynyak, a kitöltő habarcs és a kontakteleme tetraéder alakú, lásd a 10. ábrán. A bordázás kialakítása miatt a téglatest hálózással jelentősen sűrűbb hálóval lehetett volna megoldani a kehelynyak hálózását, mellyel a szerkezeti elemek között a végelelem háló méretének aránya nagyságrenddel eltért volna.



10. ábra: A végelelem háló a modellen

5. A NUMERIKUS VIZSGÁLATOK ERDMÉNYEI

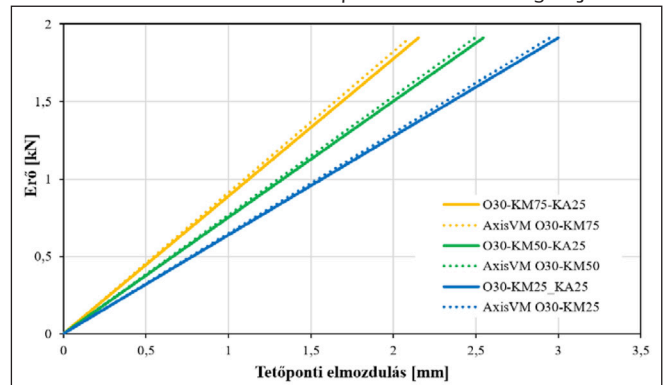
A kutatási programot az AxisVM szoftverben felépített modellek vizsgálatával kezdtük. Lineáris és nemlineáris számításra hajtottunk végre, melyeket erő-elmozdulás diagramon szemléltettünk. Az AxisVM-ben kapott tetőponti eltolódással (lineáris számításból) egyenértékű eltolódás terhet az ATENA 3D modellekre is elhelyeztünk és a kapott eredményeket szintén erő-eltolódás grafikonon ábrázoltuk, lásd a 11. ábrán.

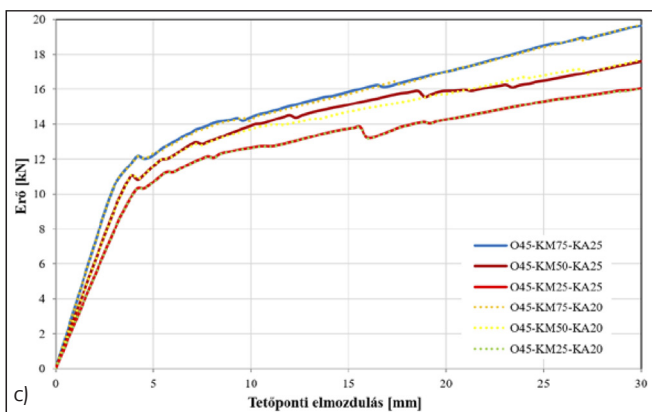
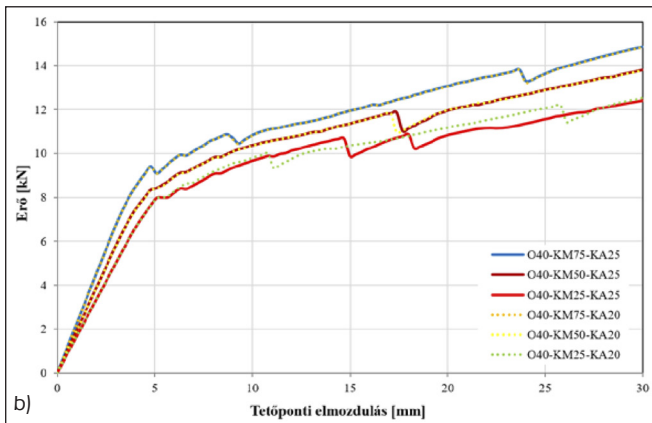
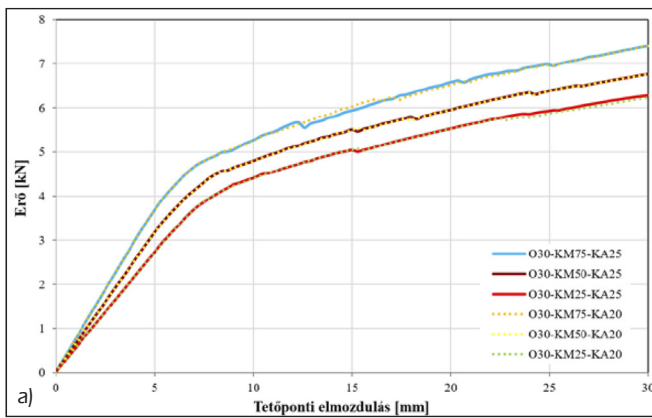
3. táblázat: A 30x30-as oszlopok erő-eltolódás eredményeinek összehasonlítása azonos teher szinten

Modell típus	Erő [kN]	AxisVM nemlineáris	Atena 3D nemlineáris	Eltérés [%]
		Vízszintes tetőponti eltolódás [mm]	Vízszintes tetőponti eltolódás [mm]	
O30-KM75-KA25	1,91	2,098	2,151	2,46
O30-KM50-KA25	1,91	2,493	2,546	2,08
O30-KM25-KA25	1,91	2,948	2,999	1,70

Az eredmények alapján elmondható (3. táblázat), hogy a kitöltő habarcs magassága (ami a három modell közötti különbség) jelentős hatással van a monitorpontban ébredő

11. ábra: A 30 cm x 30 cm-es oszlopok erő-eltolódás diagramjai





12. ábra: A különböző oszlop keresztmetszettel rendelkező modellek erő-eltolódás diagramjai; (a) O30 modellek (b) O40 modellek (c) O45 modellek

vízszintes erő nagyságára. Számszerűen ~28,27 %-os csökkentést okoz a kitöltő habarcs magasságának csökkenése. Azonos teherszinten (1,91 kN) az eltérés 1,70-2,46 % az AxisVM és az ATENA 3D modellekkel kapott eredmények között.

Az első 18 futtatás után mindegyik modellen a relatív vízszintes eltolódás határértékével megegyező ($e = 30$ mm) terhet definiáltunk. Az így elvégzett számítások erő-eltolódás diagramjait először az oszlop keresztmetszet szerint ábrázoljuk (10. ábra). A különböző kitöltő habarcs magassággal rendelkező modellek görbéi jól elkülönülnek egymástól, ellenben az eltérő kitöltő anyagminőségű modellek görbéivel,

4. táblázat: A vízszintes erő értéke 30 mm eltolódás terhelés hatására

Modell	KM75		KM50		KM25	
	KA20	KA25	KA20	KA25	KA20	KA25
O30	7,63 kN	7,63 kN	6,97 kN	6,97 kN	6,42 kN	6,45 kN
O40	15,44 kN	15,45 kN	13,90 kN	13,92 kN	12,68 kN	12,83 kN
O45	20,40 kN	20,40 kN	18,25 kN	18,39 kN	16,45 kN	16,46 kN

melyeknél csak minimális különbségek figyelhetők meg.

Az eredményekből látható, hogy a kitöltő habarcs anyagminőségének változtatása nincs számottevő hatással a modellek monitorpontjában ébredő vízszintes erőre, a legnagyobb különbség ~1% az O40-KM25 modelleknél. Ezzel szemben mind a három oszlopméretnél megfigyelhető, hogy a kitöltő habarcs magasságának csökkenésével a vízszintes erő is csökken közel 15-19%-kal (a KM75 és a KM25 modellek között), lásd 4. táblázatban.

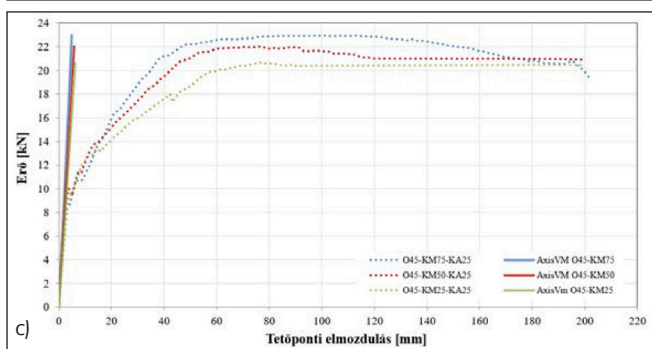
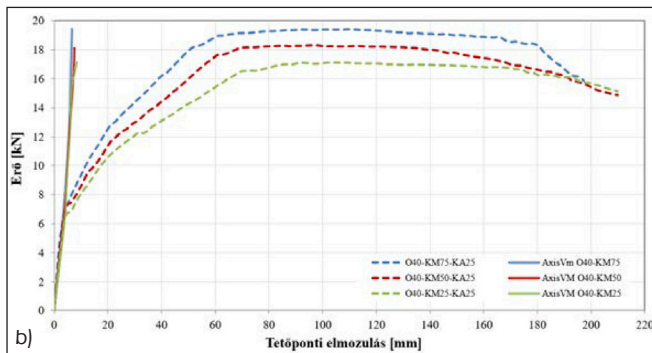
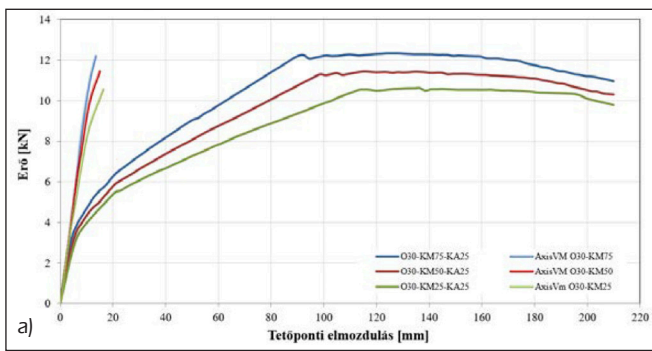
Miután a vízszintes eltolódás határértékével terheltük a 18 modellt, mindegyikre elvégeztünk egy újabb futtatást nagyobb vízszintes terheléssel. Ennek célja az volt, hogy megvizsgáljuk a csomópontok viselkedését a szerkezeti rendszerhez képest nagy alakváltozások esetére is. Az eredmények kiértékelésénél látható, hogy a modell jól követi az ilyen típusú szerkezetekre jellemző viselkedést. Az eddigi vizsgálatokból megfigyelhető volt, hogy a kitöltő habarcs anyagminőségének változtatása nem befolyásolja jelentősen az eredmények alakulását. Ebben a pontban az első 9 modell (ahol a kitöltő habarcs C25/30 anyagminőségű) eredményeit ismertetjük és hasonlítjuk össze. Az összehasonlítást ismét az erő-eltolódás diagramok alapján végezzük, hasonlóan az előzőekhez, szintén oszlopméret szerint csoportosítva (13. ábra).

5. táblázat: Az eredmények összehasonlítása eltérő oszlop keresztmetszet esetén

Modell név		Legnagyobb erő [kN]	Vízszintes tetőponti eltolódás [mm]
O30-	KM75-KA25	12,196	90,30
	KM50-KA25	11,437	117,60
	KM25-KA25	10,542	132,30
O40-	KM75-KA25	19,416	115,50
	KM50-KA25	18,125	98,70
	KM25-KA25	17,117	96,60
O45-	KM75-KA25	22,937	98,70
	KM50-KA25	22,009	76,80
	KM25-KA25	20,623	74,30

Az eredményeket tekintve a legnagyobb felvett erők értéke az egyes pillér keresztmetszeteknél eltérő értékeket adtak, melyek a 75 cm-es kitöltő habarcs magasság esetében 12,19 kN (30*30 cm), 19,42 kN (40*40 cm) és 22,94 kN (45*45 cm) erő értékek. Ugyan ez a tendencia figyelhető meg a kisebb magasságú kitöltő habarccsal vizsgált modellek esetében is.

A kitöltő habarcs magasságának függvényében a legmagasabb és legalacsonyabb kitöltő habarccsal kapott tönkremenetelhez tartozó erők (12,23 kN-10,53 kN; 18,98 kN-170,2 kN; 22,18 kN-19,88 kN) közel 10-14 %-os eltérést mutatnak. A legnagyobb erőhöz tartozó elmozdulások tekintetében már ettől jelentősen eltérő eredményeket kaptunk, melyek az eltérő magasságú kehelynyakak és a pillér keresztmetszetek függvényében 16% és 32 % között

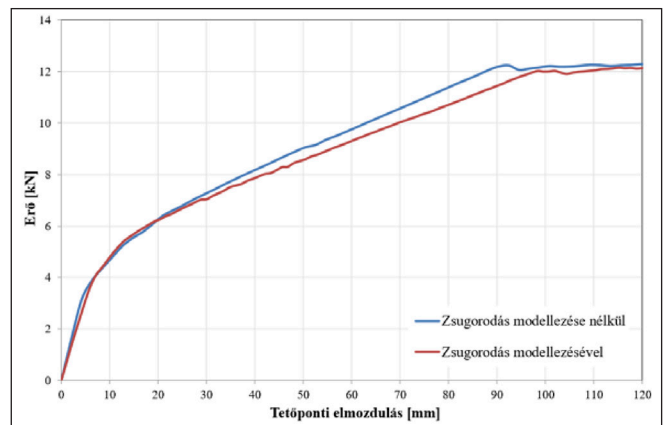


13. ábra: A különböző oszlop keresztmetszettel rendelkező modellek erő-eltolódás diagramjai; (a) O30 modellek; (b) O40 modellek; (c) O45 modellek

mozognak.

Az 5. táblázat alapján megállapítható, hogy a kitöltő habarcs magassága jelentős hatással van a szerkezeti viselkedésre. Elemeztük az AxisVM és az ATENA 3D modellek közötti eltéréseket, ahol jelentős különbség mutatkozik az azonos erőhöz tartozó (legnagyobb erő) elmozdulások tekintetében. Az AxisVM modellek elmozdulásai nagyságrendekkel kisebbek, mint az ATENA 3D modellek esetében kapott eredmények, ezért ezeket szinte össze sem lehet hasonlítani, lásd a 13. ábrán. A létrehozott modellekkel kapott eredmények alapján egy későbbi kutatási program keretein belül lehetőség nyílik a szerkezet csomóponti kialakításának függvényében a felemésztett energia vizsgálatára, a kapacitás görbék meghatározására és elemzésére. Továbbá a kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy az építkezés során a kitöltő habarcs magassága jelentős hatással lehet a szerkezet viselkedésére, ezért a szerkezet tervezésekor akár figyelembe is lehetne venni.

Az általunk modellezett csomópontban az előregyártott pillér és kehelynyak között elhelyezkedő hézagot monolit kitöltő habarccsal töltik ki. A kitöltő habarcs a szilárdulás folyamán zsugorodik, ennek hatását fontos/célszerű figyelembe venni a numerikus vizsgálatok során. A vizsgálat során háromféleképp modelleztük a zsugorodást. Először egy, a programban megtalálható zsugorodási alakváltozást parametrizáltunk, majd ezt a zsugorodási alakváltozást egy hőmérsékleti teherrel helyettesítettük, végül pedig a kitöltő habarcs húzószilárdságát csökkentettük.



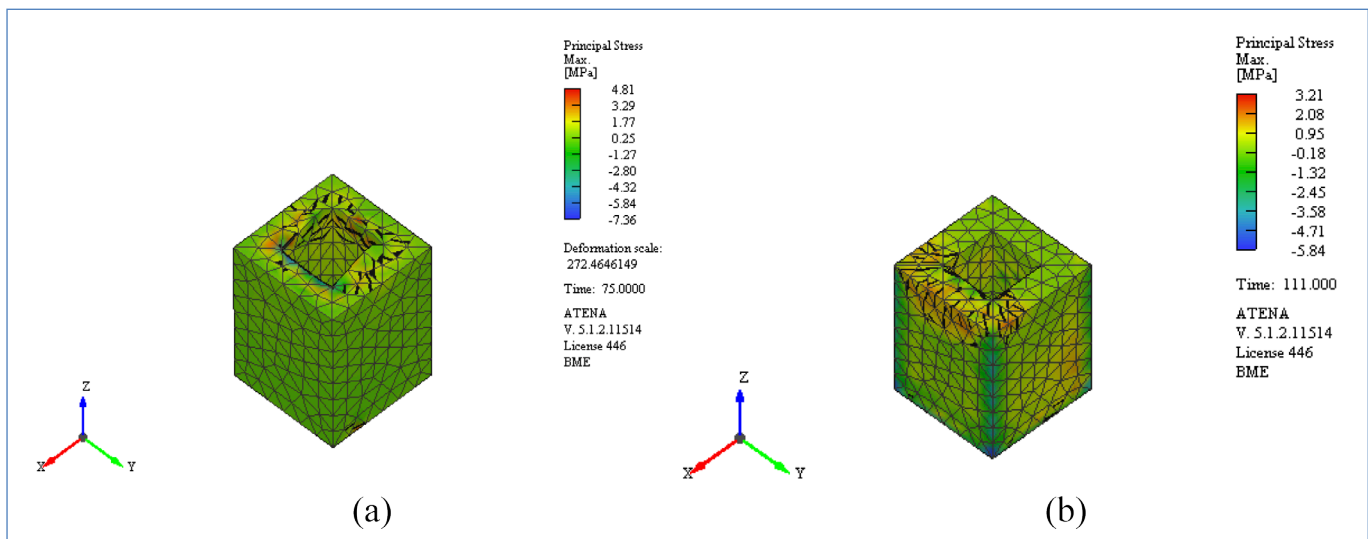
14. ábra: Az „O30-KM75-KA25” modell zsugorodás figyelemvételével és anélkül

A zsugorodási terhet az „O30-KM75-KA25” modellen alkalmaztuk, majd összehasonlítottuk az eredeti modell eredményeivel. A kvázi-statisztikus függőleges normálerő és a vízszintes eltolódás teher előtt egy terhelési lépésben adtuk meg a zsugorodás „terhét”. A hatás megfelelő modellezésének érdekében a kitöltő habarcs függőleges felületeire, vagyis azokra a kontakt elemekre, ahol az oszloppal és a kehelynyakkal érintkezik, szintén egy „3D Interface” kapcsolati anyagmodellt adtunk meg. Az eredményeket ebben az esetben is erő-eltolódás diagramon szemléltettük, lásd a 14. ábrán. A kitöltő habarcs, a pillér és a kehelynyak feszültségeinek változását a zsugorodás hatására (a 110. teherlépcsőben) lásd a 15., 16. és 17. ábrákon. Meg kell jegyezzük, hogy jelen cikk keretein belül bemutatott feszültség ábrákon a húzófeszültség értékek maximális értékei az alkalmazott repedésterjedési modell miatt egyes esetekben fiktív húzófeszültségeket is tartalmaz. A fiktív feszültségek kizárólag egy pontban jelennek meg a repedések csúcspontjaiban, ez az alkalmazott repedés modell (fix) és a számítási eljárás sajátossága.

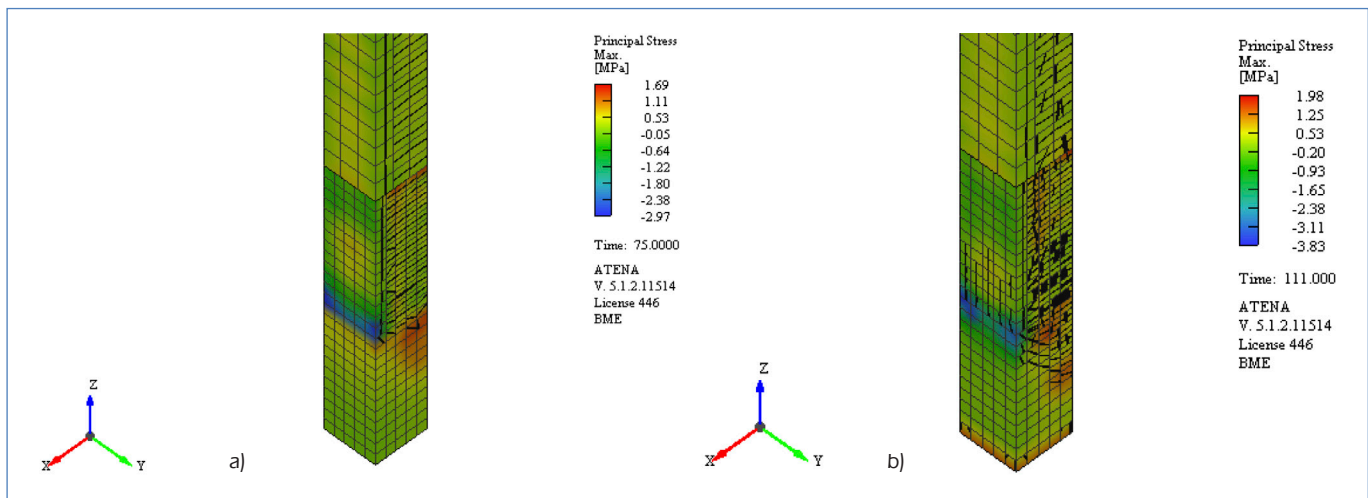
6. táblázat: Az eredmények összehasonlítása az „O30-KM75-KA25” modell esetén

O30-KM75-KA25	Erő [kN]	Tetőponti eltolódás [mm]
zsugorodás nélkül	12,23	92,40
zsugorodás hatására	12,02	98,40

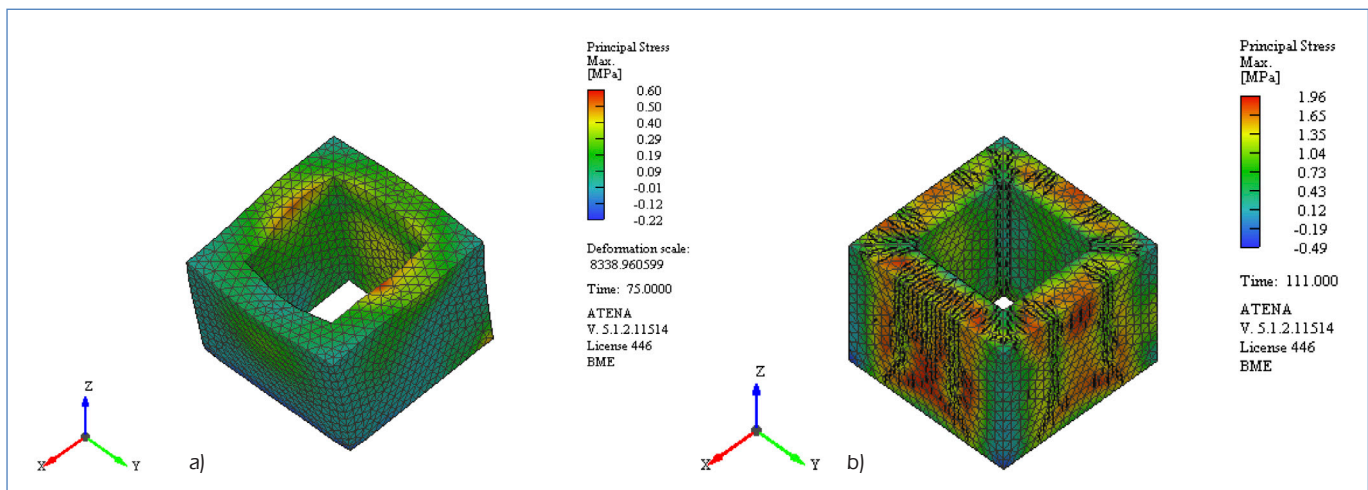
Az 6. táblázat alapján megállapítható, hogy a zsugorodás modellezése zsugorodási alakváltozással hatással van a szerkezet globális viselkedésére. A tönkremenetel közel egyenlő vízszintes erőszintnél következik be (zsugorodás modellezésével: 12,02 kN; zsugorodás modellezése nélkül: 12,23 kN), azonban ezen értékekhez tartozó elmozdulás közel 6,09%-kal megnő (zsugorodás modellezésével: 98,40 mm; zsugorodás modellezés nélkül: 92,40 mm). Ha lokálisan vizsgáljuk a szerkezeti elemeket, akkor megfigyelhető, hogy a zsugorodás hatására a kitöltő habarcs feszültségei csökkennek (~20-30%), míg a pillér és kehelynyak feszültségei növekednek (~15-70%). A zsugorodást helyettesítő hőmérsékleti terhet a zsugorodási alakváltozás végértékéből számítottuk. Az „O30-KM75-KA25” modellben egy helyettesítő hőmérsékleti terhet alkalmaztunk a kitöltő habarcs elemére, ennek értéke -30,2 K volt. A terhet az előző vizsgálathoz hasonlóan definiáltuk. A futtatás során a program numerikus hibát produkált a 21. lépésnél, így ez effajta zsugorodást figyelembe vevő modellezési technikával értékelhető eredményt jelen kutatás keretein belül még nem kaptunk. A zsugorodás



15. ábra: A zsugorodás hatása a kitöltő habarcs feszültségeire; (a) zsugorodás figyelembe vétele nélkül (b) zsugorodás figyelemvételével



16. ábra: A zsugorodás hatása az oszlop feszültségeire; (a) zsugorodás figyelembe vétele nélkül (b) zsugorodás figyelemvételével



17. ábra: A zsugorodás hatása a kehelynyak feszültségeire; (a) zsugorodás figyelembe vétele nélkül (b) zsugorodás figyelemvételével

figyelembevételét egy harmadik technikával is modelleztük úgy, hogy a kitöltő habarcs húzószilárdságát 1/2-re csökkenjünk (Dobromil, Červenka 2014). Ezt a modellezési technikát szintén a 30*30 cm-es pillére („O30-KM75-KA25” modell) vonatkozóan végeztük el. A futtatás után az eredményeket összehasonlítottuk az eredeti modellel kapott eredményekkel. A kapott eredmények a korábbiakkal megegyező mértékben befolyásolták a kehely és a pillér feszültségeit, valamint a felvett legnagyobb erő és a hozzá tartozó tetőponti elmozdulás is közel azonosra adódott.

Az előregyártott pillérek külső, az előregyártott

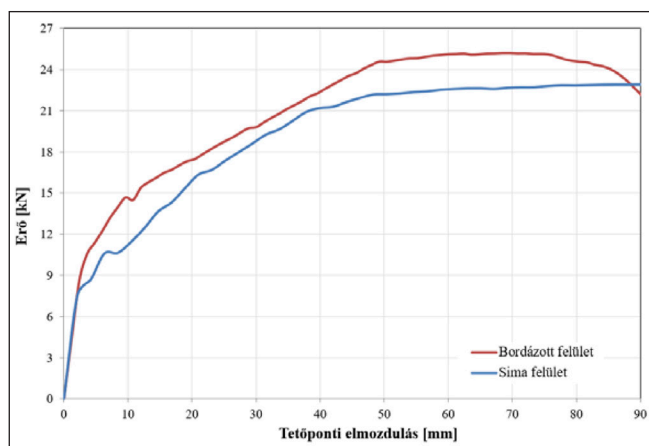
kehelynyakak belső függőleges felületei áttalában bordázattal készülnek, annak érdekében, hogy növeljék a kitöltő habarccsal érintkező együttdolgozó felületek nagyságát és tökéletesítsék a befogott kapcsolatot. Ezzel a kialakítással a pillér a kehelynyak együttdolgozása jelentős mértékben megnövelhető. Az „O45-KM75-KA25” modellben létrehoztunk egy a valóságban is megtalálható bordázatot (<https://ferrobeton.hu/images/upload/content/1498/files/KEHS.pdf>), mind az oszlop alsó szakaszán, mind a kehelynyak falainak belső felületén. Az így elvégzett numerikus számítások eredményeit összevetettük az eredeti „O45-KM75-KA25” modell eredményeivel. A megfelelő

érintkezés érdekében a kitöltő habarcs külső és belső falán az előregyártott elemek bemélyedéseinek komplementerét kellett kialakítanunk. A kapott erő-eltolódás diagram a 18. ábrán látható, a pillér, a kitöltő habarcs és a kehelynyak feszültségeinek változása a bordázott kialakítás hatására (a 110. teherlépcsőben), pedig a 19., 20. és 21. ábrákon.

7. táblázat: Az eredmények összehasonlítása a „O45-KM75-KA25” modell esetén

O45-KM75-KA25	Erő [kN]	Tetőponti eltolódás [mm]
bordázat nélkül	22,18	48,30
bordázott kialakítással	24,56	49,20

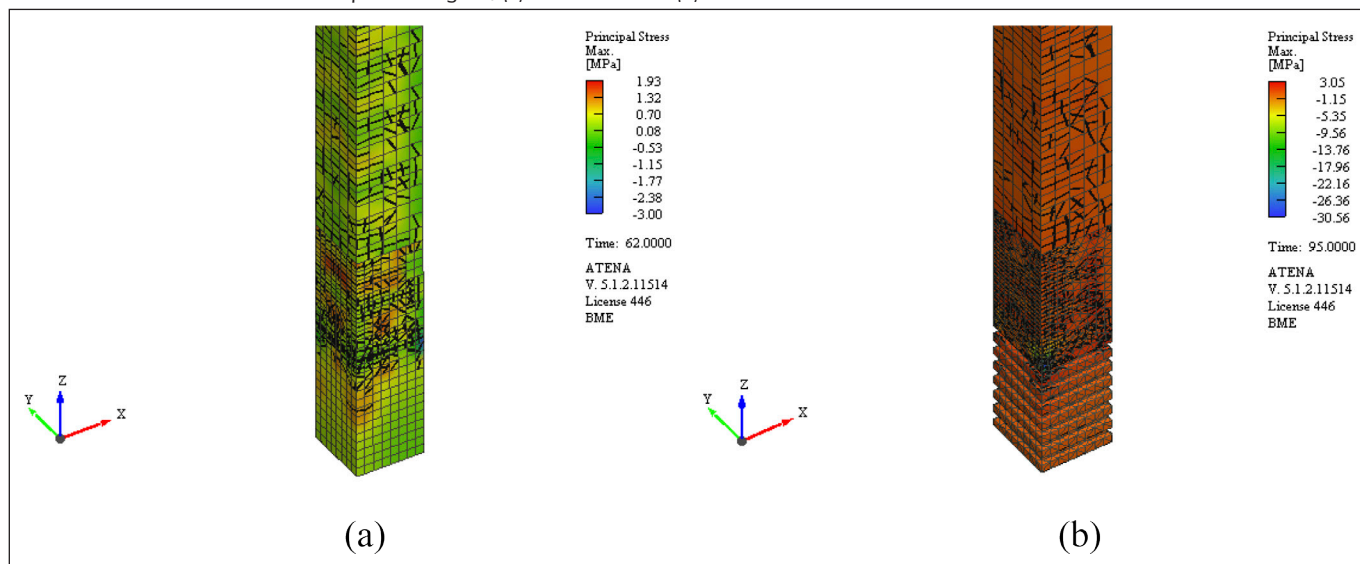
A kehelynyak bordázott kialakításával készült modellek és az eredeti modell erő-eltolódás diagramjának karakterisztikája közel azonos, azonban a legnagyobb felvett erőt vizsgálva a bordázott kehelynyakkal és pillérrel készült modell nagyobb erő felvételére képes. A legnagyobb felvett erőket megvizsgálva nagy eltérést tapasztalunk, mert a bordázott esetben a legnagyobb felvett erő értéke 24,56 kN, a sima kehelyfal esetében 22,18 kN. A legnagyobb erőhöz tartozó eltolódások tekintetében jelentős eltérés nem tapasztalható 49,20 mm (bordázott) és 48,30 mm (sima) tetőponti elmozdulások adódnak. A legnagyobb felvett erőt vizsgálva a



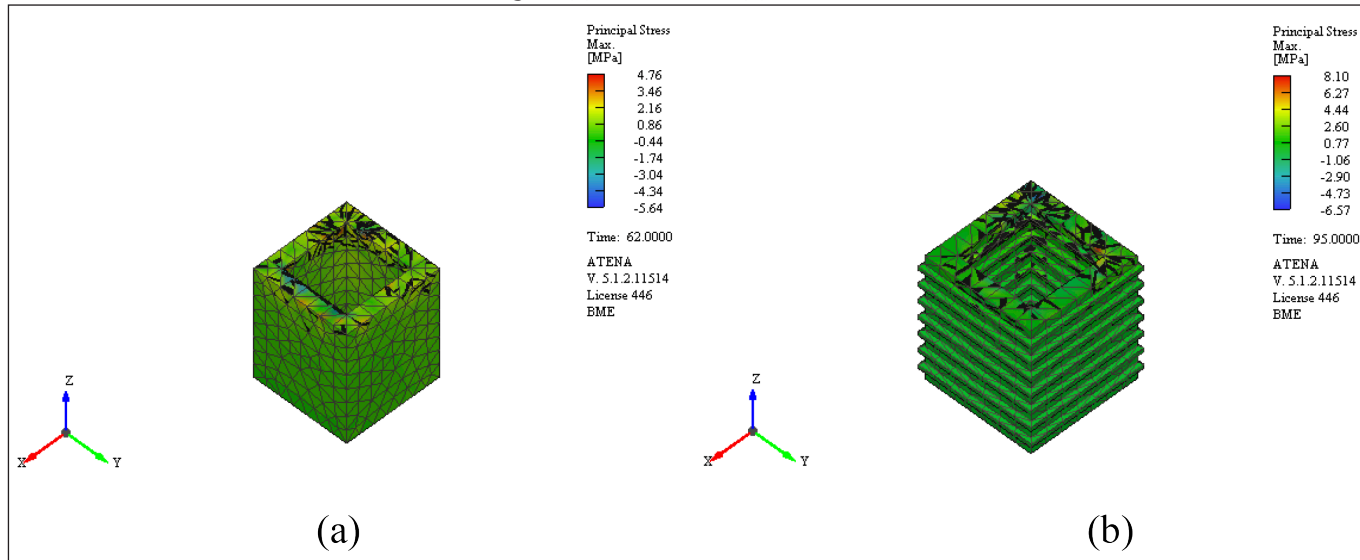
18. ábra: Az „O45-KM75-KA25” modell erő-eltolódás diagramja bordázattal és anélkül

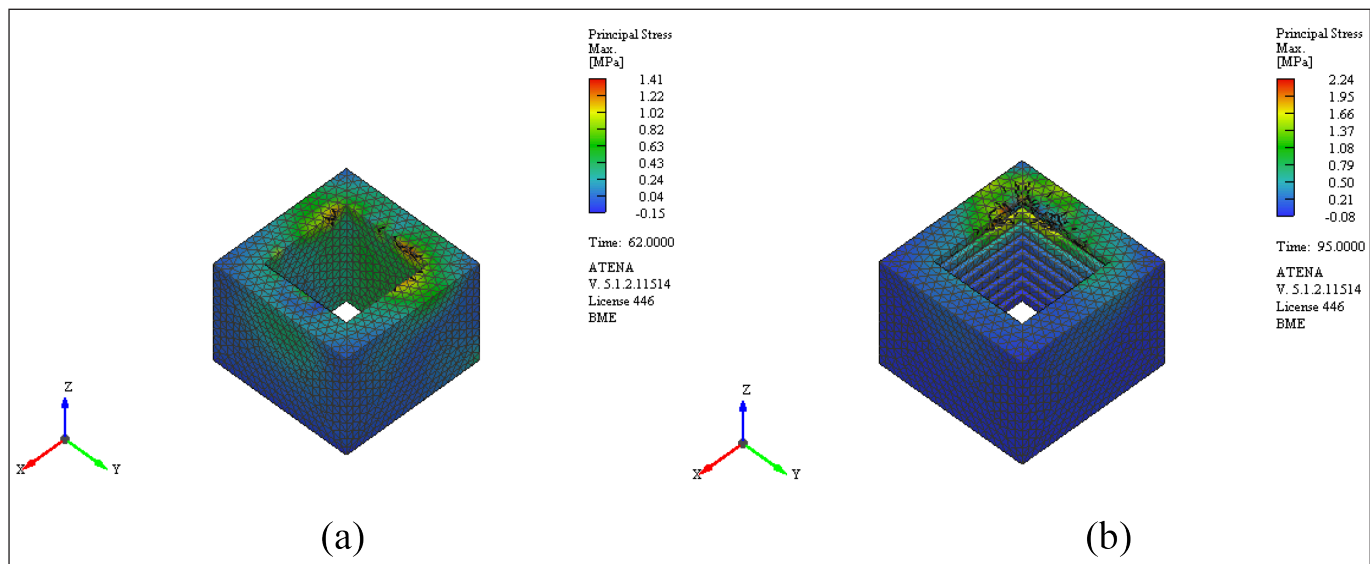
bordázott kialakítással készült modell közel 10 %-kal nagyobb erő felvételére képes úgy, hogy az eltolódások csak ~1,80 %-ot növekednek a sima belső felülettel modellezett kehelynyakkal kapott modellek eredményeihez képest. A 7. táblázatban megadottak alapján megállapítható, hogy a bordázott kialakítás hatással van a szerkezet teherbírására. Ha lokálisan vizsgáljuk a szerkezeti elemeket, akkor megfigyelhető, hogy a bordázat hatására minden elemben megnövekszik mind a húzó- (0,44 MPa-0,81 MPa), mind a nyomófeszültség (-3,00 MPa-30,56

19. ábra: A bordázás hatása az oszlop feszültségeire; (a) bordázat nélkül (b) bordázott kialakítással

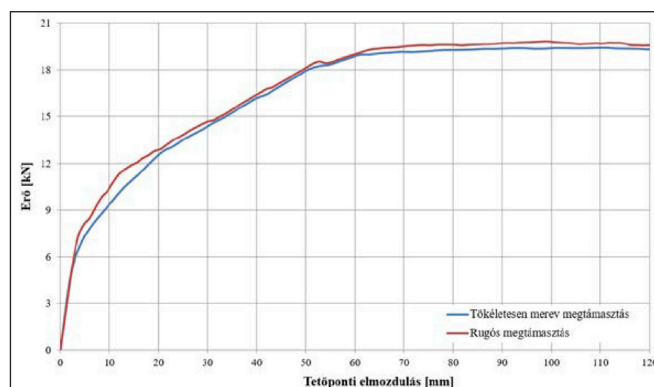


20. ábra: A bordázás hatása a kitöltő habarcs feszültségeire; (a) bordázat nélkül (b) bordázott kialakítással





21. ábra: A bordázás hatása a kehelynyak feszültségeire



22. ábra: Erő-elmozdulás diagram - tökéletesen merev és rugós megtámasztás esetén

MPa).

Egy alapozási csomópont numerikus vizsgálatánál fontos vizsgálni a tényleges talaj megtámasztó hatásának az eredményekre gyakorolt hatását. A vizsgálat során Magyarországra jellemző általános talaj-paramétereket használtunk, majd a talajt egy egyszerű rugóval helyettesítettük. A vizsgálat során kizárólag a felmenő szerkezetet elemeztük, az alaptest talajon történő elfordulását kizártuk, így csak a modellezett szerkezet igénybevételeit és alakváltozásait vizsgáltuk. A rugós megtámasztás definiálása kizárólag abból a célból került definiálásra, hogy azt az esetleges további kutatások során akár pontosabban is figyelembe lehet-e venni, illetve az általunk készített modellezési technikába beilleszthető-e. A vizsgálatunk alapján az ATENA 3D szoftverben a talaj megtámasztó hatása egyszerű rugókkal modellezhető, így a tényleges talajrétegződést figyelembe vevő modellek vizsgálata a későbbi kutatások során elvégezhetővé válik. A számítást kizárólag az „O40-KM75-KA25” modell paramétereivel végeztük el, a kapott erő-eltolódás diagramok a 22. ábrán láthatók.

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

Cikksorozatunk első részében egy egyszerű keretállás befogott alapozási csomópontjának viselkedését vizsgáltuk. A bemutatott kehelyalapozási kapcsolat térbeli modelljének általunk meghatározott paramétereit változtattuk, majd a lineáris- és nemlineáris alapú vizsgálatok során kapott erő-elmozdulás, illetve feszültség eredményeket hasonlítottuk össze, rávilágítva a két módszertan közötti eltérésekre. A

háromdimenziós nemlineáris vizsgálatunkat egy kifejezetten beton- és vasbeton szerkezetek numerikus vizsgálatára kifejlesztett nemlineáris végeleemes szoftverrel (ATENA 3D) végeztük el, melyben az általunk korábban kifejlesztett (Haris, Roszevák 2017; Roszevák, Haris 2019) modellezési eljárást/technikát alkalmaztuk. Továbbá összevetettük a különböző kialakítású modellek eredményeiben tapasztalható különbségeket, figyelembe véve az erő-eltolódás diagramokat, a kialakuló feszültségeloszlásokat, és azok értékeit.

Az általunk elvégzett numerikus vizsgálatokból kapott eredmények alapján az alábbi megállapításokat tesszük:

- Számszerűen ~28,27 %-os csökkentést okoz a kitöltő habarcs magasságának csökkenése. Azonos teherszinten (1,91 kN) az eltérés 1,70-2,46 % az AxisVM és az ATENA 3D modellekkel kapott eredmények között.
- A három különböző oszlopmérettel készült modelleknél megfigyelhető, hogy a kitöltő habarcs magasságának csökkenésével arányosan a vízszintes tetőponti eltoló reakcióerő is csökken közel 15-19%-kal (a KM75 és a KM25 modellek között).
- Az eredményekből látható, hogy a kitöltő habarcs anyagminőségének változtatása nincs számottevő hatással a modellek monitorpontjában ébredő vízszintes erőre, a legnagyobb különbség ~1% az O40-KM25 modelleknél.
- A legnagyobb erőhöz tartozó eltolódások tekintetében nagyobb eltérések tapasztalhatók, melyek 16% és 32% között mozognak az eltérő magasságú kitöltő habarcsok és a pillér keresztmetszetek függvényében.
- A létrehozott modellel kapott eredmények alapján egy későbbi kutatási program keretein belül lehetőség nyílik a szerkezet csomóponti kialakításának függvényében felemészített energia vizsgálatára. Továbbá a kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy az építkezés során a kitöltő habarcs magassága jelentős hatással lehet a szerkezet viselkedésére, ezért a szerkezet kialakításakor figyelembe kell / lehet venni.
- Az általunk elvégzett numerikus vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a zsugorodás modellezése zsugorodási alakváltozással hatással van a szerkezet globális viselkedésére. A tönkremenetel közel egyenlő vízszintes erőszintnél következik be (zsugorodás modellezésével: 12,02 kN; zsugorodás modellezése nélkül: 12,23 kN), azonban az ezen értékekhez tartozó elmozdulás közel 6,09%-kal megnő (zsugorodás modellezésével: 98,40 mm; zsugorodás modellezés nélkül: 92,40 mm).
- A legnagyobb felvett erőt vizsgálva a bordázott kialakítással

készült modell közel 10%-kal nagyobb erő felvételére képes úgy, hogy az alakváltozások csak ~1,80 %-ot növekednek a sima belső felülettel modellezett kehelynyakkal kapott modellek eredményeihez képest.

- A vizsgálataink alapján a talaj megtámasztó hatása egyszerű rugókkal modellezhető az ATENA 3D szoftverben, így a tényleges talajrétegződést (Drosos et al. 2012, Pap, Kollár, 2019) figyelembe vevő modellek vizsgálata a későbbi kutatások során elvégezhető válik.
- A vizsgálataink során kizárólag az előregyártott pillér és az előregyártott kehelynyak és a hozzá kapcsolódó monolit alaptest csomópontjában rejlő viselkedést vizsgáltuk, a talaj egyszerű fiktív rugókkal történő figyelembevételét kizárólag a modellezési eljárásba illeszthetőség szempontjából vizsgáltuk. A szerkezet talajon történő elfordulását kizártuk a vizsgálataink során.
- Az elvégzett vizsgálataink alapján egyértelműen kijelenthető, hogy az ideális és a tényleges szerkezeti kialakítás között akár 28,27 %-os eltérés és kialakulhat (kitöltő habarcs magassága 75 cm és 25 cm).

7. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

A következőkben szeretnénk felsorolni pár kutatási lehetőséget, mellyel az általunk elvégzett vizsgálatok továbbfejleszhetők. Az elvégzett vizsgálatainkban csak a kitöltő habarcs anyagminőségét változtattuk, azonban ezen kívül még számos paramétervizsgálat elvégzésére nyílik lehetőség, melyeket az alábbiakban ismertetünk:

- Az előregyártott oszlop/kehelynyak eltérő betonszilárdságának vizsgálata,
- Az oszlop-gerenda kapcsolat kialakításától (kiharapott tartóvég, rövidkonzol, villás megtámasztás), illetve a gerenda geometriai méreteitől függően változik az oszlop terhelési pontjának helye, így a teher támadáspontjának változásának vizsgálata elvégezhető,
- További részletesebb vizsgálatok végezhetőek az altalaj megtámasztó hatásának modellezésére, egy a tényleges talaj és talajrétegződés figyelembevételéhez definiált modell megalkotásával,
- A bordázat méreteinek és kiosztásának változtatásával és több különféle/új alternatíva megvizsgálásával lehetőség nyílik a bordázat geometriai méreteinek optimalizálására,
- A numerikus vizsgálatokkal kapott eredményeket érdemes lenne laboratóriumban elvégzett kísérletek eredményeivel összehasonlítani, mellyel a kifejezetten az alapozási csomópontra készített numerikus modell validálható.
- Az monolit vasbeton alaptest alatti talaj, illetve talajrétegződés pontosabb/részletesebb figyelembevételével kialakított numerikus modellek készítése, melyekkel az alapozás talajon történő elfordulása, valamint a talaj és a szerkezet közötti kölcsönhatás is vizsgálható.

8. HIVATKOZÁSOK

- Ashida K. M., Yedhu Krishnan, Analytical Study on Seismic Stability of Different Foundation Connection, *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 2017.
- Bogár B., Különböző csomóponti numerikus modellek hatása egyszerű előregyártott vasbeton keretváz igénybevételeire - kehelynyak, *Diplomamunka*, 2019.
- Červenka, V., Jendele, L., Červenka, J. (2014), „ATENA Program Documentation Part 1, Theory” *Cervenka Consulting s.r.o.*, 19. September 2014
- Drosos V., Georgarakos T., Loli M., Anastasopoulos I., Zarzouras O., Gazetas G. (2012), Soil-foundation-Structure Interaction with Mobilization of Bearing Capacity: Experimental Study on Sand, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 138, No. 11. November 1. 20012. pp. 1369-1386., DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000705

- Dobromil Pyl, Jan Červenka: ATENA Program Documentation, Part 11: Troubleshooting Manual, *Cervenka Consulting s.r.o.*, 19. September 2014
- Féd. Int. du Béton: *Planning and design handbook on precast building structures*, Bulletin 74
- fib Model Code for Concrete Structures, 2010, *Wilhelm Ernst & Sohn*, Berlin, 2013
- Haris I., Kis R.: Magasépítési vasbetonszerkezetek – Tervezési segédlet, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*, 2011.
- Haris I, Roszevák Zs., Előregyártott vasbeton gerendák numerikus és kísérletvizsgálata, *Vasbetonépítés: A FIB magyar tagozat lapja: Műszaki folyóirat XLX: (1) pp.* 2-11., 2017.
- Hawileh, R.A., Rahman, A., Tabatabai, H., (2010). Nonlinear finite element analysis and modeling of a precast hybrid beam-column connection subjected to cyclic loads. *Applied Mathematical Modelling*, 34(9), 2562-2583.
- Hoang A. L., Fehling E., Numerical study of circular steel tube confined concrete (STCC) stub columns, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 136, September 2017. pp. 238-255.
- Jiří K., Jakub S., Václav V., Spatial Modeling of Wedge-Splitting Test on Cylindrical Specimens, *Periodica Engineering*, Vol. 190, 2017, pp. 427-432.
- Pap Zs. B., Kollár P. L. (2019), Effect of Resonance in Soil-Structure Interaction for Finite Soil Layers, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(3), pp 1-9, DOI: [10.3311/PPci.11960](https://doi.org/10.3311/PPci.11960)
- Pandey M., Xie W.-Ch., Xu L., Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction Proceedings of an International Conference on Advances in Engineering Structures, MEchanics & Construction, held in Waterloo, Ontario, Canada May 14-17. 2006, *Springer*, 2006.
- Priya et al., Analytical Investigation On The Seismic Behaviour of Precast Pocket Foundation Connection, *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, Vol. VII, Issue I, Jan.-March 2016, pp: 214-218.
- Roszevák Zs., Bodó P. B., Haris I., Vasbeton síklemez egyenértékű kerettel történő helyettesítése vízszintes teherre numerikus vizsgálatok alapján, *XIII. Magyar Mechanikai Konferencia*, Miskolc, 2019.
- Roszevák Zs., Haris I., Monolit vasbeton keretsarok és oszlop gerenda kapcsolatok numerikus és kísérleti vizsgálata, *XIII. Magyar Mechanikai Konferencia*, Miskolc, 2019.
- Roszevák Zs., Haris I. (2019), „Monolit vasbeton keretsarok numerikus vizsgálata - 1. rész Egyirányú monoton növekvő terhelés” *Vasbetonépítés: A FIB magyar tagozat lapja: Műszaki folyóirat XXI: (3) pp.* 78-86., 2019.
- Tullini, N., Minghini, F. (2020). Cyclic test on a precast reinforced concrete column-to-foundation grouted duct connection. *Bull Earthquake Engineering*, 18, 1657–1691. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00766-2> <https://ferrobeton.hu/images/upload/content/1498/files/KEHS.pdf>; letöltés: 2020. november

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

Bogár Blanka (1995) építőmérnök BSc. (2018), okleveles építőmérnök MSc. (2020)

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

NUMERICAL MODELING OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE FRAME JOINTS – I. PART – POCKET FOUNDATION JOINT

Zsolt Roszevák – Blanka Bogár – István Haris

Nowadays, the behaviour of designed structures is mostly studied using numerical software products. It is important that the models are sufficiently simple, but the calculated values approximate well the real behaviour of the structures. In order for a numerical model to realistically describe the structural behaviour, the software used must have material models that are parametrized accordingly. The primary purpose of this article is to create various prefabricated reinforced concrete specific joints in a simply prefabricated RC frame skeleton. Thus, in the present study, we examined prefabricated column-cup foundation connections. The numerical analyses were carried out in the ATENA 3D software, in which the modelling technique we have developed can be used to examine reinforced concrete structures and structural details at a high level. In these studies, we highlight the differences between linear and nonlinear numerical methodologies. During our investigations, we analyze the joints of the examined frame in separate models on which we operate monotonically increasing vertical and horizontal loads. We examine the obtained load-displacement graphs, the failure of the connections, and the behaviour of the elements that make up each connection. Finally, we extended the relationship by modelling the beam of the frame position, pointing out the behaviour of the entire structure.

KOZMA KÁROLY EMLÉKÉRE (1922–2021)



Életének 99. évében, 2021. május 23-án elhunyt Kozma Károly. Budapesten született 1922. november 11-én. 1941-ben érettségizett a Fáy Aladár Gimnáziumban. Ezt követően egyetemi tanulmányait a Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen kezdte meg. 1944 decemberében SAS-behívóval, több mint ezer egyetemi társával, arra kényszerítették, hogy tanulmányait a birodalmi Németországban folytassa. Ennek a rendkívüli állapotnak köszönhető, hogy két mérnöki diplomát is kapott. Az elsőt Hallében, 1945. április 6-ával dr. Nemesdy József aláírásával.

A szerencsés hazaérkezést követően, a műegyetemi diploma 1946-os megszerzését követően, Sávolgy Pál tervezőirodáján kezdte a pályáját, amely előbb az ÁMTI, később az Uvaterv része lett. Innen vonult nyugdíjba 1983 végén. Bár különböző cégnevek alatt, de mégis ugyanazon a munkahelyen töltötte aktív korszakának 37 évét, előbb tervezőmérnökként, később szakosztályvezetőként, végül osztályvezetőként.

A Sávolgy-irodában először a Lánchíd újjáépítésének statikai számításában, alapterveinek elkészítésében vett részt, majd további évtizedeken keresztül dolgozott együtt (ahogy ő nevezte) mesterével.

A Lánchíd után jöttek más Duna-, Tisza-, Rába- és Zala-hidak felújításai, tervezése. Számptalan korszerű közúti és vasúti

acél-, illetve vasbeton szerkezet koncepcionális tervezésében vett részt.

Több jelentős hidexportmunka (egyiptomi Nílus-forgóhidak, indiai, bangladesi, NDK vasúti hidak) acélszerkezetének tervezését irányította. A TS-uszályokból álló közúti-vasúti szükséghidak tervezésében is részt vett. Önálló részfeladata volt az új Erzsébet híd tervezésében is. A közúti és vasúti hidszabályzatok többszöri átdolgozásában, valamint számos műszaki irányelv, típussterv kidolgozásában vett részt. A jelentősebb tervezési munkákról több műszaki folyóiratban jelentek meg írásai. Egyik főszereplője volt a bécsi Reichsbücker katasztrófáját követően Magyarországon is sürgősen beindított Duna-híd-felújítási programnak, amely a Margit híddal kezdve és a Lánchíd felújításával végződve 10 év alatt az összes Duna-hídon lezajlott. UVATERV-es utolsó munkája az Árpád híd szélesítési terveinek koordinálása volt. A fővárosi hidak gazdája, az FKFV vezetése úgy ítélte meg, hogy legendás memóriája, az a tudás és tapasztalat, ami Kozma Károly fejében a Duna-hidak vonatkozásában az évtizedek során felhalmozódott, jól kamatoztatható az üzemeltetői feladatok során is. Így lett nyugdíjasként a fővárosi Duna-hidak gazdája.

A szerény, halk szavú, de mérhetetlen tapasztalattal megáldott mérnök munkája során több magas kitüntetésben részesült, de legbüszkébb volt a műegyetemi arany- (1996), illetve gyémántdiplomára (2006), valamint a Clark Ádám-életműdíjra (2016).

Vörös József

fib BULLETIN NO. 93

TITLE: BIRTH CERTIFICATE AND THROUGH-LIFE MANAGEMENT DOCUMENTATION

Year: 2020
 Pages: 90
 Format approx. DIN A4 (210x297 mm)
 ISBN: 978-2-88394-137-3
 DOI: doi.org/10.35789/fib.BULL.0093

Abstract:

While it is generally accepted by owners and users that vehicles such as airplanes or cars must be subjected to a pre-defined maintenance plan during their lifetime, this is less obvious in public opinion for engineering structures and buildings. This may be related to the general feeling that “moving objects” should be more sensitive to aging and deterioration than “structures anchored in ground”! This may also relate to the fact that detailed maintenance manuals, which are considered obligatory by insurance companies, are generally for aircraft, boats and cars, but not systematically for civil engineering structures, except for iconic or major projects.

The performance-based approach to the durability design and assessment of concrete structures is also becoming increasingly popular in the construction sector. In recent years, numerous studies have been carried out worldwide in order to better assess the expected properties related to the durability of concrete. This has led to the standardization of test protocols, but also to a better understanding of the main parameters impacting the overall durability of concrete. Documentation related to durability indicators will then become increasingly necessary for the accurate implementation of a performance-based approach that enables the promotion of sustainable materials.

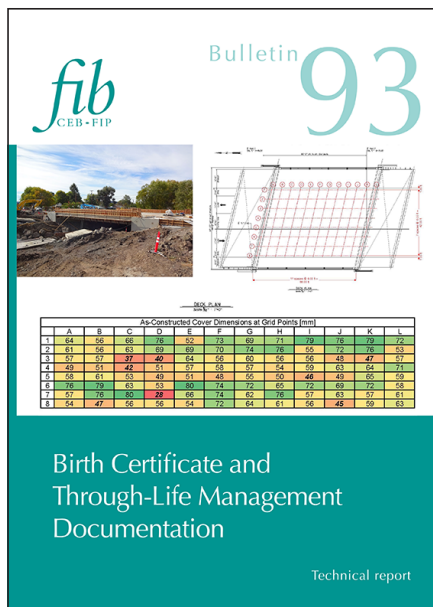
Durability models have a strong need for relevant in-field data feedback in order to define accurate inputs for modelling both during the design process (gathered from previous projects) and during the follow-up process to allow for re-calibration of inputs and re-assessment of durability expectations by the models if judged necessary.

A framework for data collection was therefore considered extremely importance by the fib Commission 8: Durability, and is the objective of this fib Technical report “Birth-certificate and Through-Life Management Documentation”. It is indeed very important to collect relevant data within a comprehensive and standardized format, as now proposed by this fib Bulletin. Thanks to its pre-defined format, compatible with the general fib framework, “Birth-certificate and Through-Life Management Documentation” will definitively be useful to owners for the maintenance plan and intervention strategies of their assets.

This operational technical report will also be very useful for designers, as it should encourage the collection of relevant information in databases to be used for future projects where a realistic assessment of expected properties is considered through largely similar concrete mix designs under given exposure conditions.

The Commission, which deals with durability aspects, hopes that this Bulletin will provide users a valuable tool and perspective on service life management issues.

Lionel Linger
 Commission 8 Durability Chair



fib BULLETIN NO. 94

TITLE: PRECAST CONCRETE BRIDGE CONTINUITY OVER PIERS

Year: 2020
 Pages: 44
 Format approx. DIN A4 (210x297 mm)
 ISBN: 978-2-88394-140-3
 DOI: doi.org/10.35789/fib.BULL.0094

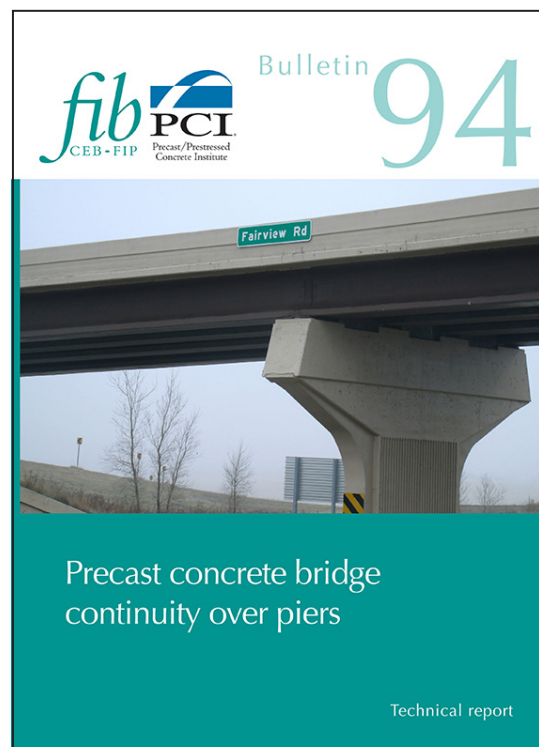
Abstract:

Concrete bridges are an important part of today’s road infrastructure. An important part of those concrete bridges is to a large extent prefabricated. Precast concrete enables all the advantages of an industrialized process to be fully utilized. Contemporary concrete mixtures are used to realize high-strength bridge girders and piers that exactly meet the requirements set, both structurally and aesthetically, with a small ecological footprint. Sustainable and durable! On the construction site, there is no need for complex formwork, the execution time is drastically reduced and where road, water and rail traffic on or under the bridge has to be temporarily interrupted, it is only minimally inconvenienced during the execution of the project.

There is a wide variety of prefabricated bridges. In 2004, the fib commission on prefabrication already published the Bulletin 29 Precast concrete bridges which, in addition to the history of prefabricated bridges, also gave an overview of the different bridge types and structural systems. This document elaborates on one specific structural system: the continuous bridge. Task Group 6.5 “Precast concrete bridges” discusses in detail how to achieve continuity over the piers with precast elements. This bulletin bundles the experiences of experts in the field of bridge design so that less experienced designers would be able to identify the points of attention and make a correct design. In addition to the theoretical considerations, the principles are tested against three realizations in the USA and Europe.

Commission 6 thanks the Co-Convener Maher Tadros and Hugo Corres and all active members of the Task Group for sharing their knowledge and experience and for the successful realization of this bulletin.

Stef Maas: Chair of the Commission 6: Prefabrication and Harry Gleich: Chair of PCI Technical Activities Council



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



AXISVM 30 ÉVE
AZ ÉPÍTŐMÉRNÖKÖK SZOLGÁLATÁBAN



fotó: Ricardo Gomez Angel

Lindt & Sprüngli csokoládégyár, Kilchberg, Svájc, Christ & Gantenbein építésziroda

www.axisvm.hu