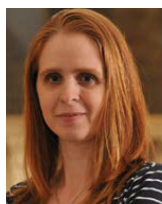


# 3D BETONNYOMTATÁS – KORSZERŰ BETON-ELEMEK ANYAGTUDOMÁNYI FEJLESZTÉSE A BME-N

<https://doi.org/10.32969/VB.2020.4.3>



Dr. Balázs L. György - Dr. Nehme Salem - Dr. Lublós Éva - Dr. Kopecskó Katalin - Balogh Tamás - Kasik Tamás - Dr. Sólyom Sándor

*A 3D nyomtatás a megjelenésétől fogva az érdeklődés középpontjában van. A technológia fejlődésén és sikeres alkalmazásain keresztül életünk részévé vált a legkülönbözőbb területeken.*

*A folyamatok összetettsége révén a betonnyomtatás van talán a többi területhez képest (műanyagnyomtatás és fémnyomtatás) leginkább lemaradva. Szándékunk ezért részletes beszámolók nyújtása egy cikksorozat formájában a 3D betonnyomtatás kihívásainak és eredményeinek bemutatásáról.*

*A BME Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén megkezdődtek az ország felsőoktatásában első 3D betonnyomtató beszerzésére vonatkozó előkészületek. A beszerzésre VKE 2018-1-3-1\_0003 “Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése” című kutatás fejlesztési pályázaton keresztül kapott kutatási támogatás révén nyílik lehetőség.*

*3D betonnyomtató pályázaton keresztül történő beszerzésén túlmenően annak beüzemelése és lehetőségeinek megismerése a feladatunk.*

*A jelen cikk elsődleges célja a figyelemfelkeltés és az iránymutatás a 3D betonnyomtatás, mint iparosított építési technológia lehetőségeinek felkutatására.*

**Kulcsszavak:** 3D betonnyomtatás, réteg állékonysága, felületképzés, építésiparosítás, digitalizálás, automatizálás, reológia, topológia, nyomtatható épület, nyomtatható híd

## 1. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás kezdeti évtizedei alatt egyre növekvő figyelmet vonzott. A technológia fejlődésén és sikeres alkalmazásain keresztül életünk részévé vált a legkülönbözőbb területeken.

A VKE 2018-1-3-1\_0003 “Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése” című kutatás fejlesztési pályázaton keresztül szeretnénk – a technológiai lehetőségek megvalósításán túl – a célirányos kutatások alapjait lerakni.

A cikksorozattal célunk, hogy az ipari nyomtatás – beleértve a betonnyomtatást is – történeti áttekintésén alapulva részletesen tárgyaljuk a technológiában rejlő pillanatnyi lehetőségeket, és tárgyaljuk az aktuális kérdésekre a lehetséges válaszok megfogalmazását.

A 3D nyomtató típusától és technológiájától függetlenül rétegről rétegre építi fel a gyártandó elemeket egy előre elkészített, számítógépes, 3D modell alapján (Krupa, 2016). A 3D nyomtatás segítségével bonyolult geometriájú, ill. egyedi felépítésű végtermékek is gyárthatók.

A 3D betonnyomtatási technológia, a folyamatok automatizálásával és digitális eszközök alkalmazásával, nagymértékben hozzájárulhat a produktivitás növeléséhez és az élőmunka igényének csökkentéséhez. A technológia nem csak gyorsabbá, de gazdaságosabbá is teheti az építési feladatokat (De Schutter et al., 2018; Mechtcherine et al., 2020). A technológia sajátos-

ságának köszönhetően – a beton rétegeként van elhelyezve – a költséges és időigényes zsaluzási munkálatok is kiválthatók, részben vagy teljesen (Napolitano et al., 2019; Menna et al., 2020).

A betonnyomtatás terén kiemelt jelentőségű többek között a beton anyagának összetétele, az egymás fölé helyezett rétegek együttműködése, a keletkezett anyag szilárdsági tulajdonságai és porozitása, reológiai tulajdonságok, topológiai kérdések, vasalási és egyéb szerkezeti kérdések (Gebhard et al., 2020).

A kutatások eredményeként és a technológia sikeres el-sajátításán keresztül szeretnénk eljutni az anyagszerkezeti viselkedés teljes megértéséhez és lehetséges alkalmazások kifejlesztéséhez.

Az *Anyagtudomány építőmérnököknek c. MSc tantárgy* keretében 2016-ban a tananyagba is beillesztettük, a hallgatóknak lehetőségük volt a 3D betonnyomtatással kapcsolatos ismereteiket házi feladataik formájában is elmélyíteni.

Az *Új anyagok és technológiák c. MSc tantárgy* keretében 2021. óta a technológia sajátosságait ismertetjük.

Fontos megemlítenünk, hogy Tanszékünk társkonzulensként, dr. Nehme Salem laborvezető személyében TDK dolgozat került benyújtásra a BME Gépészmérnöki Kar Gyártástechnológia szekciójában, aminek eredményeként a munka az OTDK-n is szerepelt (Krepler és Takács, 2020).



1. ábra: A világ első 3D betonnyomtatással készült irodaépülete Dubaiban (UAE), megnyílt: 2016. május 23-án

## 2. EGY SIKERES PÉLDA – A VILÁG ELSŐ 3D BETONNYOMTATÁSSAL KÉSZÜLT IRODA ÉPÜLETE

Vegyük most előre egy jól ismert példát a betonnyomtatás sikeres alkalmazásáról, amibe szerencsénk volt részletes betekintést nyerni.

A világ első 3D betonnyomtatással készült iroda épülete Dubaiban (Egyesült Arab Emírségek) 2016. május 23-án nyitotta meg kapuját (1. ábra). Az épület a 3D nyomtatás építőipari stratégiai terv részét képezte, amelynek célja volt annak megteremtése, hogy 3D nyomtatással készüljenek az Egyesült Arab Emírségekben az épületek 25%-ában 2030-ig.

A betonnyomtatással készült iroda egy nyugodt munkavégzést biztosító belső teremből és kiszolgáló részekből áll. A felirat tanulsága szerint „a bent tartózkodók korlátozás nélkül használhatják az ottani étkezési és egyéb lehetőségeket is”, pl. az elkészített modelleket kinyomtathatják 3D (polimer) nyomtatóval (1. ábra).

A 2. ábra mutatja az ülésteremet és a kiszolgáló egységet a dubai irodaépületben. Látható, hogy kellő méretű hely biztosítható a kis csoportos megbeszélésekhez. A hagyományos nyomtató mellett egy 3D (polimer) nyomtató (jobb oldalon) is a kísérletező kedvű kollégák rendelkezésére áll.

A világ első, 3D betonnyomtatással készült irodaépületét Dubai központjában, egy toronyházak közötti parkban helyezték

el, ezzel is felhívva a figyelmet a műszaki megoldás fontosságára (3. ábra).

A külső szemlélő elől igyekeztek elrejtetni a 3D betonnyomtatás jellegzetességeit: mind a külső, mind pedig a belső felület kiegyenlítő réteget kapott (2. ábra). A jellegzetesen réteges kialakítás viszont a bejárat közelében megfigyelhető volt (4. ábra).

## 3. EGY SIKERES PÉLDA – A VILÁG JELENLEG LEGHOSSZABB, 3D BETONNYOMTATÁSSAL KÉSZÜLT HÍDJA

A Tsinghua Egyetem kutatói vezetésével elkészítettek a 3D betonnyomtatási technológia alkalmazásával egy 26,3 m hosszú ívhídat (5 és 6. ábrák), ami – adatközlésük alapján – a kategóriájában elkészültek (2019) a leghosszabb volt a világon.

A hidat gyalogos forgalomra tervezték, szélessége 3,6 m, Sanghaj (Kína) Baoshan kerületében található. A híd 176 betonelemből épül fel, amelyeket két robotkaros 3D betonnyomtatóval készítettek el kevesebb, mint 450 óra alatt. A közreműködők közlése szerint megközelítőleg 33%-os költségcsökkenést értek el, a hagyományom módszerrel készült változathoz képest.

A híd szerkezete 44 üreges elemből épül fel, további 68 elemet használtak fel a járófelület kialakítására, míg 64 elem

2. ábra: Tanácsterem és 3D (polimer) nyomtató a világ első 3D betonnyomtatással készült irodaépületében Dubaiban (UAE)





**3. ábra:** A világ első 3D betonnyomtatással készült irodaépületét Dubai központjában toronyházak közötti parkban helyezték el



- a betonnyomtatás technológiai eszközei,
- az extrúder méretének és típusának hatása,
- a rétegek vastagsági és magassági korlátai,
- a rétegek állékonysága,
- a réteges porozitás,
- a nyomtatott beton nyomószilárdsága,
- a nyomtatott beton húzószilárdsága,
- a nyomtatott elem nyírási ellenállása,
- a húzó- és a nyomószilárdság rétegekre merőlegesen,
- nyomtatható betonok, kiindulási követelmények,
- a betonösszetétel: lehetséges adalékanyag, cement, kiegészítő anyagok, adalékszerek, levegőtartalom,
- az adagoló méretének és geometriájának hatása,
- a friss beton bedolgozhatósága,



**4. ábra:** Falképzés a világ első 3D betonnyomtatással készült irodaépületén, Dubaiban

- a friss beton vizsgálati,
- a friss beton korai deformációi és a reológiai tulajdonságok,
- a nyomtatható beton összetételének hatása a reológiai tulajdonságokra,
- a reológiai tulajdonságok befolyásolhatósága,
- a reológiai tulajdonságok szálak esetén,
- a nyomtatott beton tervezhetősége,
- a tervezési és használati határállapotok teljesülése,
- a lokális hatásokra való ellenállóképesség,
- a szintmagasság, emeletek száma,
- a vasalási lehetőségek és korlátok,
- a topológia optimalizálás nyomtatott betonszerkezetek esetén,
- a diagnosztika-vizsgálhatóság,
- a tűzállóság,
- az esztétikai tulajdonságok teljesülése,
- a nyomtathatóság teljesítménye,
- a nyomtatás gazdaságossági kérdései,
- a bontás, újrahasznosítás.

a korlátok megépítését szolgálta. Az elemek műanyag szálerősítésű beton felhasználásával készültek (Ravenscroft, 2019).

## 4. ÉPÍTÉSIPAROSÍTÁS, DIGITALIZÁLÁS, AUTOMATIZÁLÁS

A műszaki-technológiai fejlődés folyamatos igényeket támasztott az építőipar és azon belül a betonipar számára is. A digitalizálás és az automatizálás módszereinek fejlődésével váltak, ill. válnak napjainkban lehetővé az épületiparosítás legújabb megoldásai a betonnyomtatáson keresztül.

A 7. ábrán foglaljuk össze a betonnyomtatással készült szerkezetek számának alakulását. Megfigyelhető az exponenciális növekedés, jól illusztrálva a technológiában rejlő potenciált.

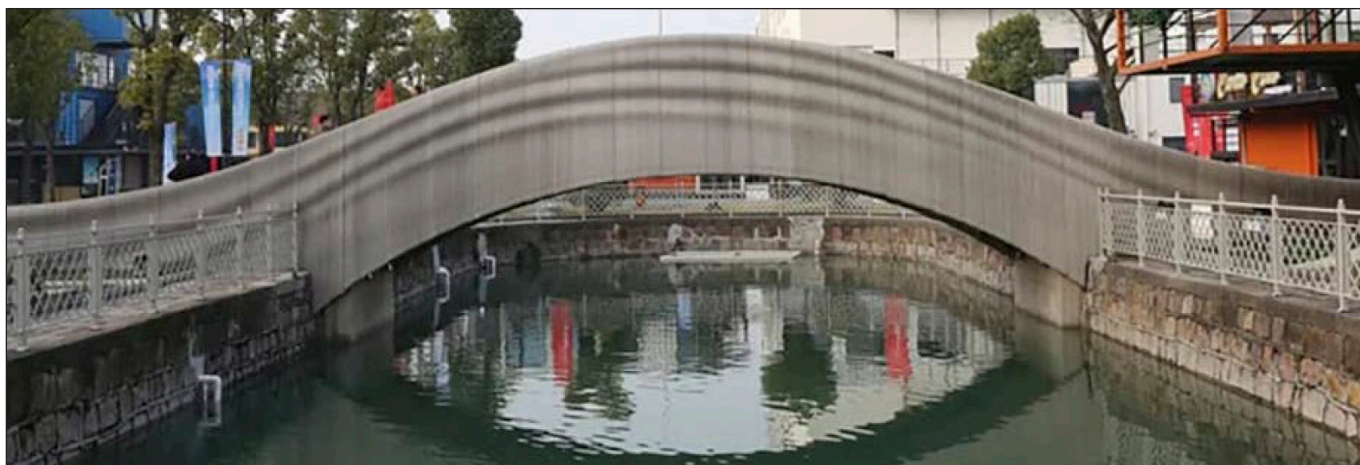
## 5. KUTATÁSI FELADATOK

Ebben a fejezetben ízelítőt szeretnénk adni csupán a makroszkópikus viselkedés és a mikroszerkezet közötti kapcsolat tanulmányozása széles skálájáról a betonnyomtatás terén:

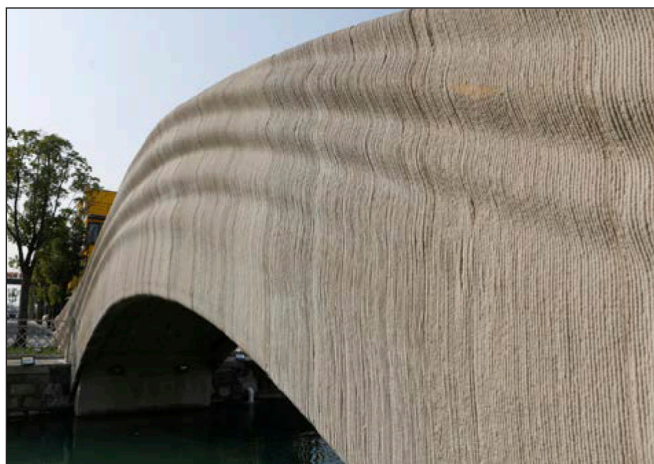
## 6. 3D BETONNYOMTATÓ LEHETŐSÉGES VÁLTOZATAI A BME-N

Több különböző technológiát alkalmaznak a 3D betonnyomtatásban (Buswell et al., 2020; Grasser et al., 2020; Hack and Kloft, 2020), amelyből a két legelterjedtebb: a keretrendszerű és a robotkaros kialakítás (Khan, Sanchez és Zhou, 2020). Mindkét technológia esetében extrúderes megoldással készülnek a betonrétegek. A keretrendszerű technológia főbb előnye skálázhatóság és a nyomtatási tér pontjainak teljes megközelíthetősége (Bos et al., 2016), míg a robotkarosé a komplex nyomtatási feladatok elvégezhetősége, köszönhetően a nyomtatófej hat szabadságfokú mozgásának (Bin Ishak, Fisher és Larochelle, 2016; Gosselin et al., 2016).

A keretrendszerű technológia legnagyobb korlátja az, hogy a beton csak függőleges extrudálás lévén juthat el célzott helyre, így nem tekinthető teljes értékű 3D nyomtatásnak, inkább csak 2,5D-nek. Ez a hátrány kiküszöbölhető, ha nyomtatófej



5. ábra: 3D nyomtatott betonhíd, Sanghaj, Kína (Dixon, 2019)



6. ábra: Felületképzés (Ravenscroft, 2019)

és a keret közé egy robotkart is beépítenek. Az ipari robotok alkalmazása a megfelelő célszoftverekkel lehetővé teszi a robotkar trajektóriák tervezését és kontrollálását, ami komplex formák nyomtathatóságát eredményezi (Khan, Sanchez és Zhou, 2020). Példaként megemlítjük a holland kutatók által nyomtatott, összetett geometriával rendelkező oszlopokat (8. ábra, Bekkering et al., 2020).

A keretrendszerű technológiák közül kiemeljük a dán COBOD és a szlovén Betabram nyomtatókat (9. ábra). A robotkaros nyomtatók közül két holland gyártó termékeit említjük meg: Cybe és Vertico (10. ábra). Laboratóriumi alkalmazásokra a robotkaros kialakítás szolgál több előnyös tulajdonsággal, ezért ilyen nyomtatót tervezünk beszerezni a kutatási célkitűzések megvalósításához.

## 7. TERVEZETT KONFERENCIA

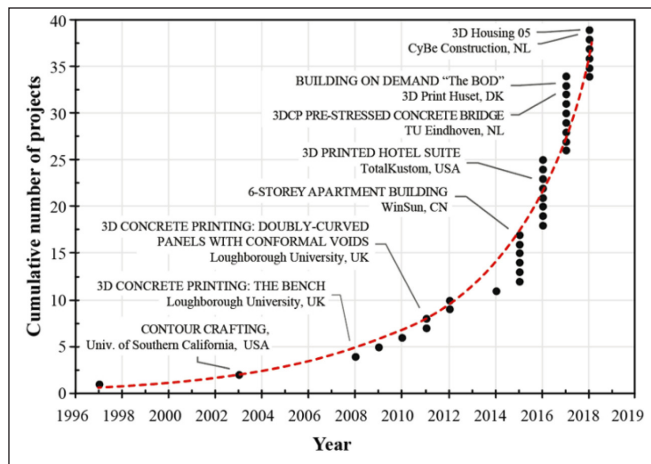
Tisztelettel tájékoztatjuk a lap olvasóközönségét, hogy már szervezés alatt van az első magyarországi konferencia, amelynek előadásai elsődlegesen a 3D betonnyomtatás köré csoportosulnak, néhány általános bevezető példán kívül.

A konferencia 2021. nov. 18-án a BME-n kerül megszervezésre a VKE 2018-1-3-1\_0003 "Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése" című kutatási pályázat keretein belül.

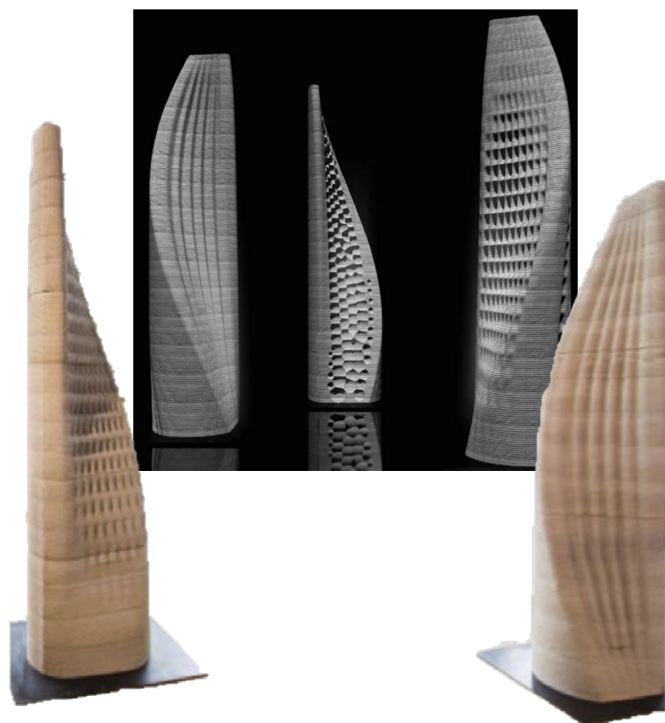
Várunk minden szíves érdeklődőt.

## 8. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A 3D nyomtatás egyre növekvő figyelmet vonz. A technológia fejlődésén és sikeres alkalmazásain keresztül életünk részévé vált. A nyomtatási alapanyag összetettsége révén a betonnyomtatás a többi területhez képest némileg lemaradt. Egy cikksorozat formájában tervezzük ezért a technológia részle-



7. ábra: Betonnyomtatással készült szerkezetek számának alakulása a kezdetektől (Buswell et al., 2018; Silva, 2018)



8. ábra: Parametrikus tervezés eredményeként elkészült, nyomtatott betonoszlopok (Bekkering et al., 2020)

tes bemutatását különböző aspektusokból, kitérve a kutatási irányokra, aktuális kihívásokra és az elkészült szerkezetek bemutatására is.

A 3D betonnyomtatás segítségével lehetőség nyílik az építőipar technológiai továbbfejlesztésére, a folyamatok



9. ábra: COBOD (bal) és Betabram (jobb) betonnyomtatók (COBOD, 2020; Betabram, 2020)



10. ábra: Cybe (bal) és Vertico (jobb) betonnyomtatók (Cybe, 2020; Vertico, 2020)

automatizálásával és digitális eszközök alkalmazásával, nagymértékben hozzájárulva a produktivitás növeléséhez és az élőmunka igényének csökkentéséhez. A technológia nem csak gyorsabbá, de gazdaságosabbá képes tenni egyes építési feladatokat.

A bevető 2. és 3. fejezetekben megvalósult példákkal szemléltettük a lehetőségeket magasépítés és hídépítés területén.

A 4. fejezetben bemutattuk, hogy a technológia alkalmazásával készült szerkezetek száma exponenciális növekedést mutat az utóbbi két évtizedben. Számos megoldandó kérdés van azonban, amint arra az 5. fejezetben rámutattunk. Központi szerepet kap a megfelelő betontechnológia kialakítása, hiszen a nyomtatás sebessége és sikeressége nagymértékben függ a nyomtatandó alapanyag tulajdonságaitól, szilárdulási ütemétől. Feladatunk, hogy részletesen kiismerjük a betonnyomtatás technológiai lehetőségeit és korlátait.

A 6. fejezetben a beszerzés alatt álló 3D betonnyomtatóról adunk hírt.

A 7. fejezetben a 2021 nov. 18-ra tervezett konferenciánkra hívjuk föl a figyelmet.

## 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzői köszönetet mondanak a VKE 2018-1-3-1\_0003 "Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése" című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért, amelyen belül az egyik fő feladatunk a 3D betonnyomtatás megvalósítása.

## 10. HIVATKOZÁSOK

- Bekkering, J. *et al.* (2020) 'Architectonic Explorations of the Possibilities of 3D Concrete Printing: The Historic Building Fragment as Inspiration for New Applications with 3D Concrete Printing in Architecture', in *Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, pp. 1078–1090. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7\\_103](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7_103).
- Betabram (2020). Available at: <https://3dprint.com/4392/3d-house-printer-betabram/>.
- Bos, F. *et al.* (2016) 'Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing', *Virtual and Physical Prototyping*. Taylor & Francis, 11(3), pp. 209–225. doi: <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>.
- Buswell, R. A. *et al.* (2018) '3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research', *Cement and Concrete Research*. Elsevier, 112(June), pp. 37–49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006>.
- Buswell, R. A. *et al.* (2020) 'A process classification framework for defining and describing Digital Fabrication with Concrete', *Cement and Concrete Research*, 134(February). doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106068>.
- COBOD (2020). Available at: <https://cobod.com/bod2/>.
- Cybe (2020). Available at: <https://cybe.eu/technology/3d-printers/>.
- Dixon, E. (2019) *Shanghai opens world's longest 3D-printed concrete bridge*. Available at: <https://edition.cnn.com/style/article/shanghai-3d-printed-bridge-scli-intl/index.html>.
- Gebhard, L. *et al.* (2020) 'Experimental investigation of reinforcement strategies for concrete extrusion 3D printed beams', in Torrenti, J. M. and Gatuingt, F. (eds) *Proceedings of the of the 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, pp. 40–47.
- Gosselin, C. *et al.* (2016) 'Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete - a new processing route for architects and builders', *Materials and Design*. Elsevier Ltd, 100, pp. 102–109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.03.097>.
- Grasser, G. *et al.* (2020) 'Complex Architecture in Printed Concrete: The Case of the Innsbruck University 350th Anniversary Pavilion COHESION',

- in *Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, pp. 1116–1127. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7\\_106](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7_106).
- Hack, N. and Kloft, H. (2020) ‘Shotcrete 3D Printing Technology for the Fabrication of Slender Fully Reinforced Freeform Concrete Elements with High Surface Quality: A Real-Scale Demonstrator’, *Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, pp. 1128–1137. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7\\_107](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7_107).
- Bin Ishak, I., Fisher, J. and Larochelle, P. (2016) ‘Robot arm platform for additive manufacturing using multi-plane toolpaths’, in *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, pp. 1–7. doi: <https://doi.org/10.1115/DETC2016-59438>.
- Khan, M. S., Sanchez, F. and Zhou, H. (2020) ‘3-D printing of concrete: Beyond horizons’, *Cement and Concrete Research*, 133(March). doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106070>.
- Krepler, B. and Takács, P. (2020) ‘Kísérleti 3D betonnyomatató tervezése és vizsgálata’, *BETON*, XXVIII(II).
- Krupa, G. (2016) ‘A 3D nyomtatás otthoni lehetőségei, avagy mire is használható a technológia a mindennapokban?’, *J. of Applied Multimedia 3/ XI/2016*, pp. 35–43.
- Mechtcherine, V. et al. (2020) ‘Extrusion-based additive manufacturing with cement-based materials – Production steps, processes, and their underlying physics: A review’, *Cement and Concrete Research*. Elsevier, 132(March). doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106037>.
- Menna, C. et al. (2020) ‘Opportunities and challenges for structural engineering of digitally fabricated concrete’, *Cement and Concrete Research*. Elsevier, 133(January), p. 106079. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106079>.
- Napolitano, R. et al. (2019) ‘Mechanical Characterization of Layer-by-Layer Interface in Concrete Elements Obtained by Additive Manufacturing’, in Corres, H., Todisco, L., and Five, C. (eds) *International fib Symposium on Conceptual Design of Structures*. Madrid, Spain, pp. 477–483. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7_48).
- Ravenscroft, T. (2019) *World's longest 3D-printed concrete bridge opens in Shanghai*. Available at: <https://www.dezeen.com/2019/02/05/worlds-longest-3d-printed-concrete-bridge-shanghai/>.
- De Schutter, G. et al. (2018) ‘Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials’, *Cement and Concrete Research*. Elsevier, 112 (November 2017), pp. 25–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.001>.
- Silva, W. R. L. da (2018) *What about 3D Concrete Printing?* Available at: <https://medium.com/@wilsonecv/what-about-3d-concrete-printing-d769cc112b6d>.
- Vertico* (2020). Available at: <https://www.linkedin.com/company/vertico3d/?originalSubdomain=il>.

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

**Dr. Nehme Salem** (1963) okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék oktatója. Fő érdeklődési területei: a beton porozitása, a betonok és öntömörödő betonok tartósságának összefüggése

a porozitással, az öntömörödő betonok és acélzásalás öntömörödő betonok alkalmazása a beton és vasbeton megerősítésében, az öntömörödő betonok tömegbetonként történő alkalmazási problémáinak megszüntetése. A Magyar Mérnöki Kamara (T1-01-9159), a *fib* Magyar Tagozat és a Szilikátipari Tudományos Egyesület tagja és a Beton Szakosztályának elnöke.

**Dr. Lublőy Éva** (1976) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2001), okl. betontechnológus szakmérnök (2011), okl. tűzvédelmi szakmérnök (2011), egyetemi docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén (2008). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkárok mérnöki tanulságai. A *fib* Magyar Tagozat tagja.

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

**Balogh Tamás** (1984) okl. építőmérnök, MSc (2007), betontechnológus szakmérnök (2021). Tanszéki mérnök, majd tanársegéd 2007-től 2015-ig a PTE-MIK Anyagtan, Geotechnika és Közlekedésepítés és az Infrastruktúra és Mérnöki Geoinformatika tanszéken. 2016-tól munkahelyei az IVANKA Factory Zrt, majd a KAV Hungária Kft. Jelenleg saját vállalkozásban tartószerkezeti tervező, valamint tartószerkezeti szakértő. Fő érdeklődési területei a projekt- és időmenedzsment, a 3D modellezés és tervezés, diagnosztikai vizsgálatok, 3D nyomtatás és a VR technológiák. 2011-től a Magyar Mérnöki Kamara tagja.

**Kasik Tamás** BSc (2013) és MSc (2017) diplomákat szerzett a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karán. Munkahelyei: EB Hungary Invest Kft., Ivanka Zrt. 2019 év végétől a Market Zrt. új leányvállalatánál a Prebeton Zrt-nél dolgozik, mint projektkoordinátor és betontechnológus. A betontechnológusi szakmérnöki diplomáját 2021. januárjában szerezte a BME-n. Emellett nagy érdeklődést mutat a 3D nyomtatási és CNC megmunkálási folyamatok, valamint a betontechnológia új irányainak lehetőségei iránt.

**Dr. Sólyom Sándor** okleveles építőmérnök, betontechnológus szakmérnök, PhD, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. Fő érdeklődési területei: szálerősítésű polimer betétek alkalmazása, tapadása és lehorgonyzása betonban; szálak alkalmazása betonban. Tagja a *fib* Magyar Tagozatának és a *fib* TG5.1 munkacsoportnak. Vezetője a *fib* Magyar Tagozat YMG (fiatal mérnökök) csoportjának.

### 3D CONCRETE PRINTING – DEVELOPMENT OF ADVANCED CONCRETE ELEMENTS BASED ON NEW TECHNOLOGIES AT BME

**György L. Balázs – Salem Nehme – Éva Lublőy – Katalin Kopecskó – Tamás Balogh – Tamás Kasik – Sándor Sólyom**

3D printing technology has attracted attention already in the early phases of development. Due to the continuous progress and successful application, 3D printing technology has gained popularity in various industries. Due to the rheological and setting properties of concrete, the 3D printing technology entered into the concrete industry later – compared to others. This paper aims to introduce a series of papers that are focusing in particular, on 3D concrete printing. This paper provides an introduction to the technology, lists two successful applications and highlights the challenges of the technology. Furthermore, the two most common 3D concrete printer type is shown. Authors acknowledge the support by the Hungarian Research Grant VKE 2018-1-3-1\_0003 “Development of advanced concrete elements based on new results of materials’ science”.