

AZ ÉPÍTÉS AUTOMATIZÁLÁSA, A 3D BETONNYOMTATÁS AKTUALITÁSA



Balogh Tamás

Az építőiparban a digitalizáció az elmúlt években rohamosan fejlődött. Az egyes folyamatok külön-külön is nagy fokú digitalizáltsággal jellemezhetők, de ami fontosabb, hogy a folyamatok közötti kapcsolat, a szoftverek közötti kommunikáció, átjárhatóság, az adatok áramlása is nagymértékben egyszerűsödött. A cél a teljes digitalizáció, nyomon követhetőség, kiszámíthatóság.

Ezzel a digitalizációs folyamattal ellentétben a kivitelezés során a munkaterületen még igen sok esetben hagyományos, 20-30 éve bevált technológiákkal történik az építés. Az építési idők rövidülése, a költségek optimalizálása, az építészeti szabadság iránti igény és a fokozódó szakemberhiány új technológiák megjelenését generálta a piacon. Az új technológiák megjelenésével a kivitelezésben is elindulhat egy folyamat, amelynek eredményeképpen az építkezések egy részén megjelenhetnek a ma még drága, vagy kísérleti fázisban lévő technológiák.

Ez a cikk egy sorozat első része, amely sorozat az építőiparban elterjedő automatizálási technológiák közül a 3D betonnyomtatást, mint additív gyártástechnológiát, történetét, jelenlegi előnyeit, hátrányait mutatja be. Az első rész az építés automatizálásához használt és használható technológiák rövid áttekintésével foglalkozik.

Kulcsszavak: 4. ipari forradalom, építőipari automatizálás, falazó gépek, additív gyártástechnológia, épületnyomtatás, 3D betonnyomtatás, nyomtatás földön kívül

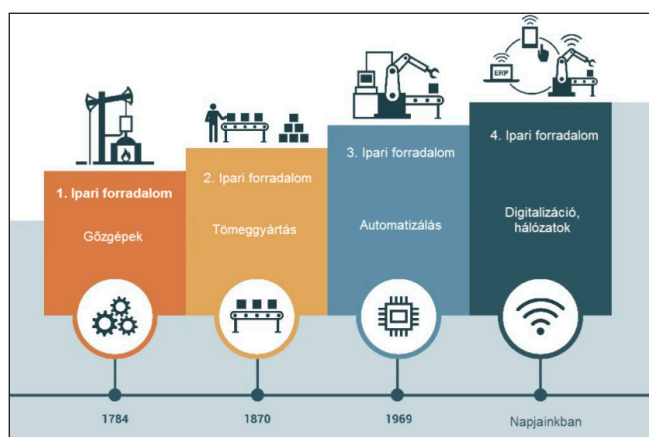
1. BEVEZETÉS, A 3D NYOMTATÁS AKTUALITÁSA AZ ÉPÍTŐIPARBAN

2020-ban is zajlik a 4. ipari forradalom, amely az ipar 4.0 elnevezést kapta. Az Európai Parlament 2016-ban megfogalmazott állásfoglalása szerint:

„Az ipar 4.0 a termelési folyamatok olyan szervezését írja le, melynek keretében az eszközök önállóan kommunikálnak egymással az értéklánc mentén: a jövő egy olyan „okos” gyárát hozva létre ezzel, amelyben a számítógép-vezérelt rendszerek nyomon követik a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai valóság virtuális mását és decentralizált döntéseket hoznak önszervező mechanizmusok alapján.” (Mi az az ipar 4.0?, 2016).

Az első ipari forradalmat a víz és gőz hajtású mechanikus berendezések indították el, a második ipari forradalomban megjelent az elektromos meghajtású, munkamegosztáson alapuló tömeggyártás. A harmadik ipari forradalomban elektronikai és számítástechnikai megoldásokat kezdtek el alkalmazni a gyártás automatizálására és a napjainkban zajló negyedik ipari forradalom alapja a digitalizáció és az adat, az emberek, gépek és a vállalatok folyamatos összeköttetésében lévő hálózata (1. ábra).

Az építőipar lassabban követte a más ágazatokban (pl.: gépgyártás) már évtizedek óta jelen lévő és fejlődő automatizálási technológiákat. Habár az előregyártó üzemek, gyárak folyamatai már automatizáltak, az épületek építéséhez felhasznált anyagok már korszerű gyárakban, vagy korszerű folyamatok eredményeképpen jönnek létre, az épületek nagy része hagyományos technológiával készül el.



1. ábra: Az ipari termelés jelentős lépcsőfokai, az ipari forradalmak (A 4. ipari forradalom, 2017)

A 3D nyomtatási technológia már mindenki számára elérhető, prototípusok, tárgyak, ajándékok elkészítésére, de épület léptékű alkalmazására csak az elmúlt 10 évben került sor. 2014-től kezdve folyamatosan növekszik a különböző nyomtatott épületek, nyomtatási technológiák, épület nyomtató cégek, kutatással foglalkozó egyetemek száma. Az elmúlt 5 évben a technológiai fejlődés felgyorsult a beton 3D nyomtatók esetében, mind az alapanyag, technológia, mind a teljes tervezés-kivitelezés módszertana és folyamata tekintetében.

A 3D nyomtatás ígéretes technológia, viszont az építés automatizálása, a munkaerőigény csökkentése és az építés sebességének gyorsítása érdekében már a 20. század 2. felében megjelent az első erre irányuló találmány.

2. FALAZÓ GÉPEK

Egy korai „robotra” derült fény 2014-ben, amikor a British Pathé Youtube csatornájára egy archív felvételt tölthettek fel. Az 1967-es dátumú felvételen látható egy mechanikus falazó berendezés, amelyről a kommentár azt mondja el, hogy a hagyományos falazási technológiáknál 5-10-szer nagyobb gyorsasággal képes dolgozni. 1967-ben az automatizálást látták a szakemberhiány és a magasabb minőségben elkészülő szerkezetek megoldásának. A gép kezelőszemélyzete egy kőművesből és két segédmunkásból állt.

A Motor Masonhoz hasonló falazó gépet lehet megtalálni egy az USA-ban beadott szabadalomban (Amerikai Egyesült Államok Szabadalom száma: US3325960A), melyben a gép ábrái is megtalálhatóak (2. ábra). Ez az eszköz végül nem terjedt el az építőiparban.

2015-ben a New York-i székhelyű (USA) Construction Robotics bemutatta az új falazó robotját, a SAM100-at (Semi Automated Mason). Hasonlóan működik, mint a Motor Mason, de a két gépet fejlettségi szintben össze sem szabad hasonlítani. A SAM100 fel van szerelve egy szállítószalaggal, robotkarral (3. és 4. ábra), különböző téglakiosztásokkal képes falazni és a folyamatos adatgyűjtésnek köszönhetően a napi teljesítményről jelentést készít. A fő feladatának nem a kőművesek helyettesítését, kiváltását szánták, hanem a szakemberek segítését, ezáltal a termelékenység növelését és a teljes munkaköltség csökkentését.

2020-ban az Egyesült Királyságban, Everingham városában első alkalommal készült olyan épület, melyet falazó robot segítségével építettek fel. A York-i székhelyű Construction Automation Ltd. ABLR (Automated Brick Laying Robot) falazó robotja képes kis- és nagyméretű téglákat, blokkokat habarcsréteggel építeni. Az épület építése 2020. szeptember 28.-án kezdődött el és 4 hét alatt elkészült. A robot irányítása tablet alapú felhasználói felületről történik és a tervek olvasására is alkalmas. A gép 9 méter magas kerete sínpályán mozog (5. ábra), folyamatosan építve a falszakaszt (6. ábra). A működtetéséhez két ember szükséges, akik a gép töltését és a habarcsrétegek simítását végzik el.

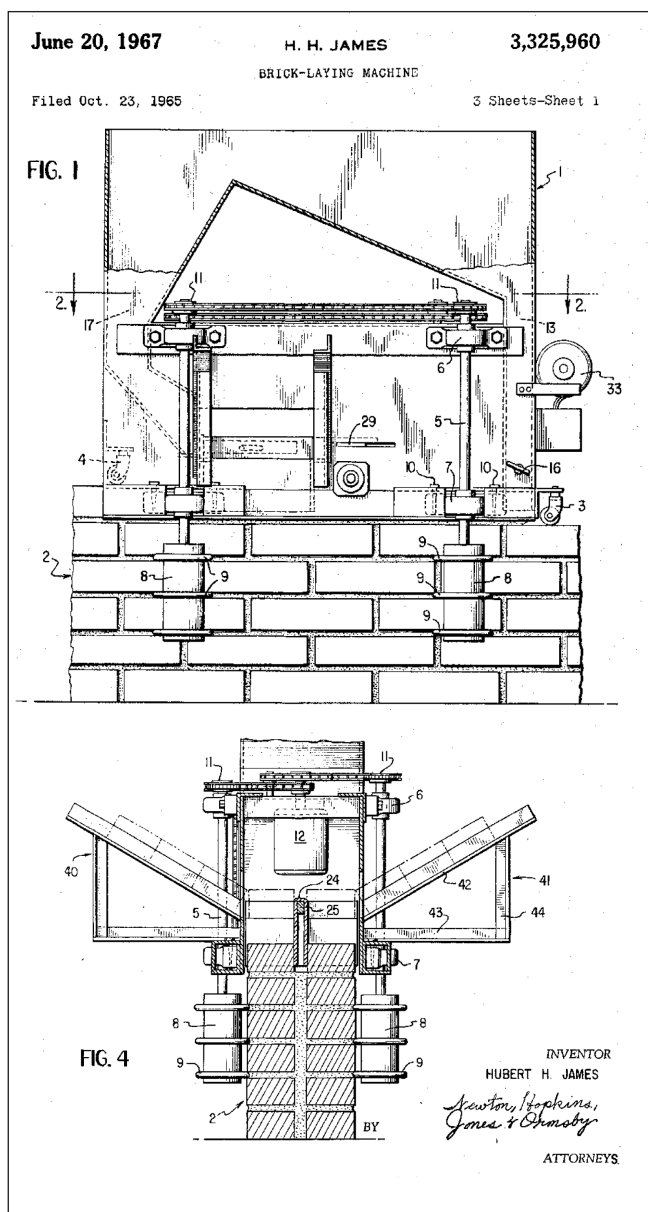
A Hadrian X (7. ábra) elnevezésű falazó robot az ausztrál Fastbrick Robotics (FBR) építőipari cég fejlesztése. A robot automatikusan elvégzi a falazóelemek betöltését, vágását, célba juttatását és elhelyezését, melynek eredményeképpen egy családi ház 3 nap alatt felépíthető. A gép jelenlegi teljesítménye a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően óránként 200 falazóelem, de képes lehet akár 1000 db/óra teljesítményre is a nap 24 órájában, heti 7 napon keresztül.

A falazóelemeket habarcs helyett ipari ragasztóval rögzíti egymáshoz, ezáltal az építési idő rövidül és a habarcs kötését sem kell megvárni. A 30 m gémkinyúlású gép a szélből és egyéb hatásokból adódó vibrációkat kiegyenlíti és maximális pontossággal helyezi el a falazóelemeket (8. ábra).

Míg az előzőekben említett technológiák a falazás automatizálására szolgálnak és ezáltal gyorsítják meg a munkát és segítik a munkásokat, az építőiparban további fejlesztések az emberi test terhelésének csökkentésére és ezáltal a munka hatékonyságának növelésére irányulnak (anyagmozgató liftek, mesterséges külső váz stb.).

3. ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA: A 3D NYOMTATÁS

Az additív gyártástechnológiát alkalmazó folyamat során számítógéppel támogatott tervezéssel (CAD) létrehozott modell alapján, rétegenként készül el a tervezett elem, tárgy.



2. ábra: Falazó gép ábrái az 1965-ben beadott szabadalomban (James, 1965)

Fő részek megnevezése: 1-téglafektető gép, 2-téglafal, 3-a felső téglasoron futó görgősor, 4-a frissen fektetett soron futó görgősor, 5-tengety, 6-felső csapágy, 7-alsó csapágy, 8-gyűrűket elválasztó görgők, 9-habarcsrétegekbe illeszkedő gyűrűk, 10-kivehető csapok, 11-fogaskerék, 12-motor, 13-elülső habarcs adagoló csúszda, 14-elülső adagoló nyílás, 15-szelep, 16-szelep nyitó kar, 17-hátsó habarcs adagoló csúszda, 18-hátsó adagoló nyílás

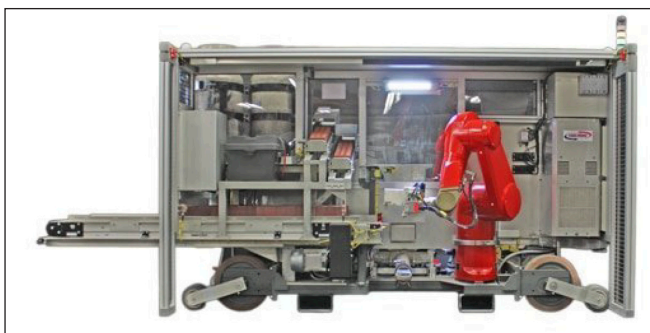
Általánosságban az additív gyártástechnológia fogalmával a 3D nyomtatást azonosítják. Az additív gyártástechnológiák iránti érdeklődés az 1980-as évek óta folyamatosan növekszik. Ezalatt a hagyományos gyártási technológiák kiegészítője lett a légitökeledési- és autóipar, orvosi műszergyártás területén és a prototípusgyártásban.

Az additív gyártási eljárás – 3D nyomtatás folyamatának általános alapelvei:

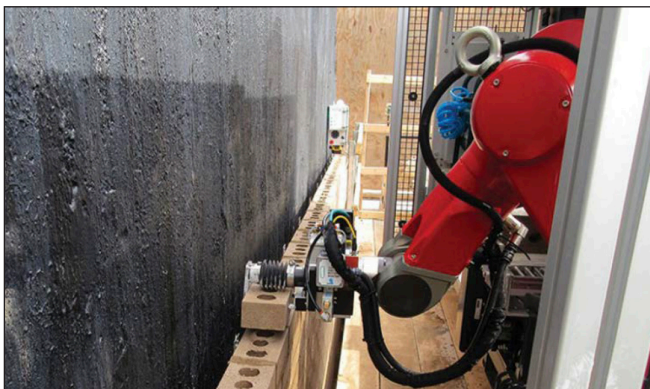
- 3D számítógépes modellek építése
- a nyomtatáshoz szükséges fájl előállítás (ún. szeletelő programmal)
- nyomtatás
- megmunkálás – szükség esetén.

4. 3D BETONNYOMTATÁS AZ ÉPÍTŐIPARBAN

Az építőiparban a 3D nyomtatási technológiák fejlesztése az 1990-es évek közepén kezdődött. Azóta a beton 3D nyomtatást



3. ábra: SAM100 falazó robot (Construction Robotics, 2020)



4. ábra: A SAM100 falazó robot munka közben (Construction Robotics, 2020)

már egyre több területen alkalmazzák és alkalmazták, épületek, építmények, szobrok, egyedi formájú építészeti elemek készültek el és készülnek folyamatosan (9., 10. és 11. ábra). A cikk írása során is folyamatosan gyarapodik az elkészült épületek, induló kutatások és fejlesztések száma.

5. 3D BETONNYOMTATÁS FÖLDÖN KÍVÜL

A technológia emellett alkalmas lehet más bolygókon történő építkezésre is, melyekre a következő kitekintés ad egy rövid összefoglalót.

ANASANIAC (Innovative Advanced Concepts) programja

Behrokh Khoshnevis a NASA-val közös együttműködéssel dolgozik a NASA NIAC programjában, amelynek célja építés a Holdon vagy a Marson a Contour Crafting technológia segítségével (12. ábra). A NASA tervezi, hogy embereket küld 2025-ig a Holdra és 2030-ig a Marsra.

7. ábra: A Hadrian X mobil falazó robot (Designing Buildings Wiki, 2020)



5. ábra: A Construction Automation Ltd. falazó robotja munka közben (Construction Automation, 2020)



6. ábra: Új téglalor építése (Construction Automation, 2020)

MARSHA, 3D nyomtatott épület a Marson

A „MARSHA” (MARS Habitat) projekt a New York-i székhelyű AI spaceFactory projektje, amely második helyezést ért el a NASA 2019-ben rendezett 3D-Printed Habitat Challenge versenyén. A Mars-i körülményekhez alkalmazkodva egy függőleges, tojás alakú épületet terveztek (13. ábra), amely egy potenciális Mars-misszió során kinyomtatható.

Project Olympus

Az ICON 2020. október 1.-én bejelentette, hogy elnyert egy NASA által támogatott kormányzati szerződést és elkezdheti egy űrben is végezhető építési technológiát, amely a Hold további felfedezését segítheti elő (14. ábra). Az ICON egy külön részleget állított fel a feladat elvégzéséhez és a további kutatásokhoz, fejlesztésekhez.

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

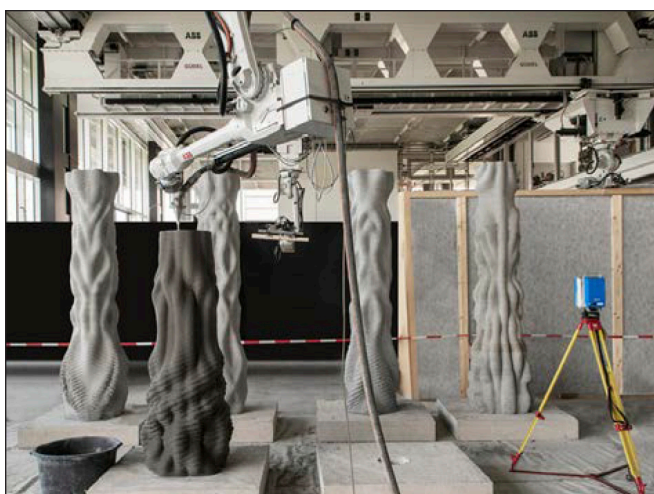
Az építészeti szabadság, egyedi geometriai formák megvalósítása, az optimális anyagfelhasználás, keletkező építési

8. ábra: A robot munkavégzés közben (Redshift, 2019)





9. ábra: Nyomatott betonpadok egyedi felületi megjelenéssel, Tervező: Studio 7.5 / Technológia: XtreeE (XtreeE, 2018)



10. ábra: Egyedi kialakítású, 2,70m magas oszlopok (DFAB, ETH Zürich, 2019)



11. ábra: Elkészült egyszintes lakóépület, Calverton, USA, amely már az ingatlanpiacon is megjelent (SQ4D, 2021)



12. ábra: Dr. Berokh Khoshniev és a Dél-Karolinai Egyetem a NASA-val közösen dolgozik, hogy a Contour Crafting technológiát más égitesteken való építésre lehessen alkalmazni (World Construction Network, 2017)

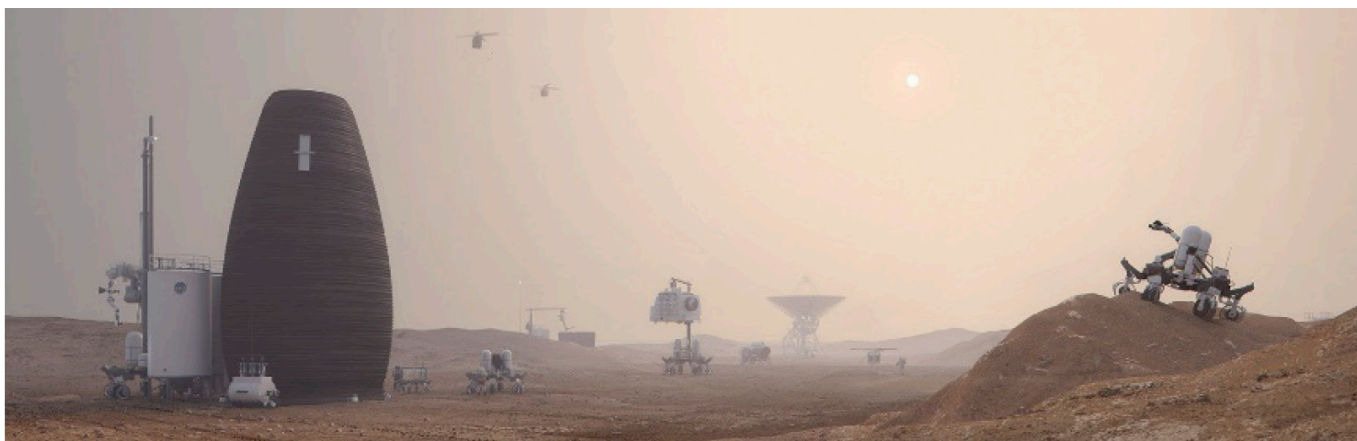
hulladék minimalizálása, valamint az építéshez szükséges idő csökkentése az ipar más területein már bevált technológiák adaptálását igényli.

A bonyolult formák üzemi és helyszíni előregyártásának egyik lehetséges alternatívája lehet a hagyományos technológiák mellett a beton 3D nyomtatás alkalmazása. Az épületek nyomtatásának fejlődése felgyorsult az elmúlt 5 év során és megnőtt az igény a nyomtatott épületek építésére. Ez az új, lehetséges építési alternatíva, amely jelenleg még újdonság, könnyen lehet, hogy az építőiparban teret hódít a hagyományos technológiák használata mellett. Az építőipar rohamos fejlődése, a fokozódó szakember hiány következtében az előregyártás, a moduláris építés egyre több területen jelenik meg. Az építőipar le van maradva az építés automatizálásával, viszont a más területen már fejlett, automatizált gyártási technológiákból tud adaptálni az építőipari környezetbe. Az építőipari 3D nyomtatással kapcsolatos fejlesztések eredményeképpen megvalósult épületek, építmények a 2010-es évek közepétől kezdtek megjelenni. Egyre több ország ismeri fel a fejlesztési, fejlődési lehetőséget az optimalizált anyagfelhasználásban, az egyetemek, ipari szereplők egyedül, vagy egymással partnerkapcsolatban nyomtatókat, új gyártási technológiákat kutatóknak fejlesztenek. A technológia fejlődésének jelenlegi központjai Észak-Amerika, Európa, Kína és az Egyesült Arab Emírátsok.

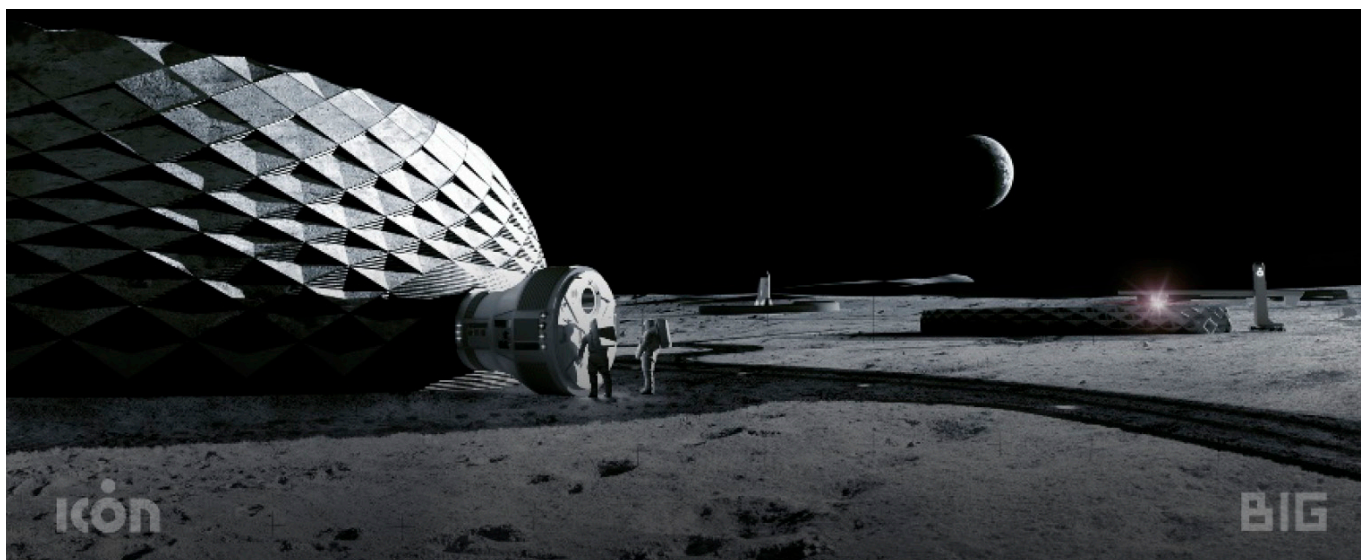
HIVATKOZÁSOK

A 4. Ipari forradalom. (2017. július 26.). Forrás: EPLM Blog: <https://blog.eplm.hu/4-ipari-forradalom/>

- Bot the builder! Robot bricklayer is building a three-bedroom house in East Yorkshire in 'UK first'.* (2020.. október 7.). Forrás: Construction Automation: <https://constructionautomation.co.uk/bot-the-builder/>
- Concrete Choreography.* (2019). Forrás: dbt Digital Building Technologies: https://dbt.arch.ethz.ch/project/concrete-choreography/?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com
- Contour Crafting: construction on Mars or Moon closer than ever.* (2017. március 31.). Forrás: World Construction Network: <https://www.worldconstructionnetwork.com/features/contour-crafting-construction-on-mars-or-moon-closer-than-ever>
- First 3D Printed Home.* (2021). Forrás: SQ4D: <https://www.sq4d.com/portfolio-items/first-3d-printed-home/>
- Hadrian X.* (2020. október 21.). Forrás: Designing Buildings Wiki: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Hadrian_X
- ICON Receives Funding From NASA and Launches "PROJECT OLYMPUS" to Reach for the Stars with Off-world Construction System for the Moon.* (2020. október 1.). Forrás: ICON: <https://www.iconbuild.com/updates/icon-receives-funding-from-nasa-and-launches-project-olympus>
- James, H. H. (1965). *Amerikai Egyesült Államok Szabadalom száma: US3325960A.*
- Mi az az ipar 4.0?.* (2016). Forrás: ipar4.0: <https://www.ipar4.hu/page/ipari-forradalmak-ipar-4-0>
- Motor Mason, the 1960s bricklaying 'robot', discovered in British Pathé archive.* (2015. szeptember 8.). Forrás: Construction Manager: <https://www.constructionmanagermagazine.com/1960s-bricklaying-ro3bot-disco4vered-pathe/>



13. ábra: A MARSHA projekt vertikális épülete (Designboom, 2018)



14. ábra: Építkezés más égitesteken az ICON elképzelésében (ICON, 2020)

NASA-awarded ‚marsha‘, a 3D-printed vertical martian habitat by AI spaceFactory. (2018. július 26.). Forrás: designboom: <https://www.designboom.com/design/nasa-awarded-marsha-vertical-3d-printed-martian-habitat-ai-spacefactory-07-26-2018/>

SAM100. (dátum nélkül). Forrás: Construction Robotics: <https://www.construction-robotics.com/sam100/>

This Bricklaying Robot Is Changing the Future of Construction. (2019. május 23.). Forrás: Redshift: <https://redshift.autodesk.com/bricklaying-robot/>

XtreeE prints concrete 3D printed benches with complex patterns. (2018. szeptember 14.). Forrás: 3Dnatives: <https://www.3dnatives.com/en/xtreee-concrete-bench-3d-printed-benches-patterns-140920184/>

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

AUTOMATION OF CONSTRUCTION, THE TOPICALITY OF 3D PRINTING

Tamás Balogh

In construction industry, digitalization has developed rapidly in the recent years. The individual processes can be characterized by a high degree of digitalization. But more importantly the connection between the processes, the communication between the softwares, the interoperability and the data flow have also been greatly simplified. The goal is the complete digitalization, traceability, predictability.

In contrast to this digitalization process in many cases the work on the construction site is carried out with traditional technologies. Shortening construction times, cost optimization, the need for architectural freedom, and a growing shortage of professionals may lead to the emergence of new technologies on the market.

This article is the first part of a series that presents the history, current advantages and disadvantages of concrete 3D printing as an additive manufacturing technology among the automation technologies prevalent in the construction industry. The first part provides a brief overview of the technologies could be used to automate construction.