

# Helyi alapanyagokra alapozott mobil építészeti megoldás kidolgozása

## Development of mobile architectural solution based on local raw materials

Dr. RÁDICS János Péter<sup>1</sup>, HORVÁTH Barnabás<sup>1</sup> Dr. MÁTHÉ László<sup>2</sup>, Dr. KOTROCZ Krisztián<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sparktech Innováció Kft., 2100 Gödöllő, Ganz Ábrahám u. 2., mernok1@sparktech.hu

<sup>1</sup>Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1., mathe.laszlo@uni-mate.hu

### Abstract

*The article presents part of the development process of an automated, agricultural based solution for agriculture, based on local raw materials and by-products. This project was supported by the National Research, Development and Innovation Office under the number 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00222. In this project a building construction robot for precision material dispensing is being developed and the perfect formula for additive building construction is also being researched. An equipment which mixes the raw materials to create the soil based formula used for the building is also being developed. Both the construction robot and the material mixing equipment are mobile, which means that they can easily be transported to the construction location. The produced agricultural building is multifunctional as it can be used either as a storage or as a livestock building.*

**Keywords:** 3D printing, building printing, soil based print materials, outdoor printer development

### Kivonat

*A cikk egy automatizált, mezőgazdasági alapú, helyi nyersanyagokra és melléktermékekre épülő mezőgazdasági megoldás fejlesztési folyamatának egy részét mutatja be. A projektet a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00222 azonosítószámmal támogatta. A projektben egy precíziós anyagadagolásra alkalmas építőipari rendszer fejlesztése, valamint a talaj alapú additív építőipari nyomtatás receptúrájának kutatása voltak a fő célok. Egy olyan alapanyag előállító berendezés kifejlesztése is folyamatban van, amely megfelelő arányban keveri össze az alapanyagokat az épülethez használt talajalapú nyomtatóanyag létrehozásához. Mind az építőrobot, mind az anyagkeverő berendezés mobil, ami azt jelenti, hogy könnyen az építkezés helyszínére szállítható. Az előállított mezőgazdasági épület többfunkciós, akár raktárként, akár állattartó épületként is használható.*

**Kulcsszavak:** 3D nyomtatás, épületnyomtatás, talaj alapú nyomtatási anyagok, kültéri nyomtató fejlesztés

## 1. Bevezetés

A SPARKTECH Innováció Kft. a 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00222 azonosítójú, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és innovációs Hivatal által támogatott projekt keretén belül mezőgazdasági használatra tervezett, helyi alapanyagokra és melléktermékekre alapozott, mobil építészeti megoldás kidolgozását végzi. A fejlesztés eredménye egy precíziós anyagkijuttatást megvalósító épület építő mobil robot, mely szintén a projekt keretén belül kifejlesztett helyi adottságokra alapozva elkészített anyag segítségével képes lenne mezőgazdasági célú, egyszintes épületek méretkorlát nélküli előállítására. A projekt keretén belül tulajdonképpen az energiatakarékos, ámde mára elavultnak gondolt vályogépítési technológiák (monolit, előregyártott, merevbetétes [1]) modernizálása valósul meg. Ehhez kapcsolódóan része a projektnek az új alapanyag gyártástechnológiájának kifejlesztése, az elkészített alapanyag összetételének kutatása, és az alapanyag minőségének biztosításához szükséges kísérletek elvégzése. Az alapanyaggal szemben támasztott legfőbb követelmény, hogy az építmény stabilitásához szükséges paraméterek (pl.:összetétel, víztartalom) [2] mellett, a nyomtathatósághoz szükséges paraméter előírásoknak (pl.: sűrűség, konzisztencia) is megfeleljen. A helyi alapanyaggal dolgozó épület építő robotokkal ellentétben a beton alapú additív gyártástechnológiával dolgozó 3D nyomtatók szélesebb körben elérhetők, köszönhetően az utóbbi évek fejlesztéseinek, azonban ez a technológia is még mindig kezdeti fázisban van [3]. A beton 3D nyomtatókkal szerzett tapasztalatok azonban

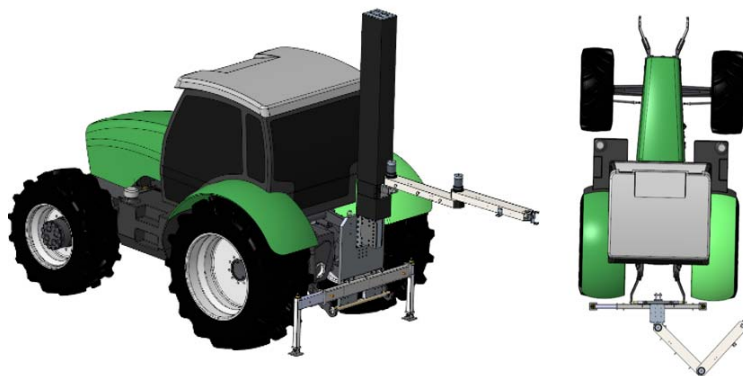
csak korlátozottan használhatók fel a talaj alapú anyagoknál, hiszen azok összetétele és viselkedése jelentősen eltér egymástól [4], így ez a terület még jelentős innovációs potenciállal rendelkezik, mely a közeljövőben az építészet egyik jelentős újításává válhat [5]. A fejlesztett berendezés által elkészített eredménytermék egy költséghatékony, a mezőgazdaság helyi igényeinek megfelelően kialakított multifunkcionális (tároló, állattartó) épület. A tárolóépületek közt megtalálhatók horizontális és vertikális kialakításúak, míg az állattartó épületek legtöbbje hosszanti irányban nyújtott és egyszintes [6]. A projekt keretén belül kifejlesztett építési technológia, valamint a felhasznált alapanyagok sajátosságai miatt egyszintes, hosszúkás mezőgazdasági épület felépítése valósítható meg. A kifejlesztett berendezésnek és helyi alapanyagoknak köszönhetően, minimum 30%-os költségcsökkentés elvárt a jelenlegi gyakorlatban alkalmazott technológiákhoz képest. A költséghatékonyág mellett az egyik legnagyobb előnye az épületnek, hogy a felhasznált anyagok miatt könnyen újrahasznosítható és emellett természetes környezetet biztosít. A kifejlesztett berendezés előnyei közé tartozik a gyorsaság és a mobilitás, azaz a helyszínre kiszállítva minimális előkészülettel, kis humán munkaerő szükséglettel az épület rövid időn belül felépíthető. Az elkészült épület intelligenssé tételével további funkciókkal ruházható fel, mely szintén a projekt részét képezi. Jelen publikációban röviden bemutatjuk a projekt konzorciumának tagjait, illetve kitérünk a különböző fejlesztési koncepciók bemutatására is. A cikk részletesen foglalkozik a vályog alapú anyagokkal folytatott kísérletek eredményeinek ismertetésével.

### 1.1. Konzorciumi tagok bemutatása

A konzorcium vezetője a SPARKTECH Innováció Kft. [7] mely 1994 óta működik, 2019-ben bekövetkezett jelentős bővülése óta 25 fővel. A cég tudásbázisának alapját gépjárművekkel, biztonságtechnikával és kültéri kísérletekkel kapcsolatos kutatás-fejlesztési projektek adják. A cég profiljából adódóan kiemelten fontos számára a környezetvédelem. A projekt konzorciumon belül a SPARKTECH Innováció Kft. feladata a gépészeti, építészeti és anyagkutató feladatok végrehajtása. A Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem [8] konzorciumi partnerként vesz részt a projektben. A projekt szempontjából releváns kutatási területe az alapanyagot és az építési technológiát érintő fejlesztésekhez kapcsolódik. Fejlesztési feladata a projekten belül a laboratóriumi anyagvizsgálatok, mechanikai tesztek és minőségbiztosítási folyamatok kidolgozása.

## 2. Talaj alapú anyag gyártástechnológiája

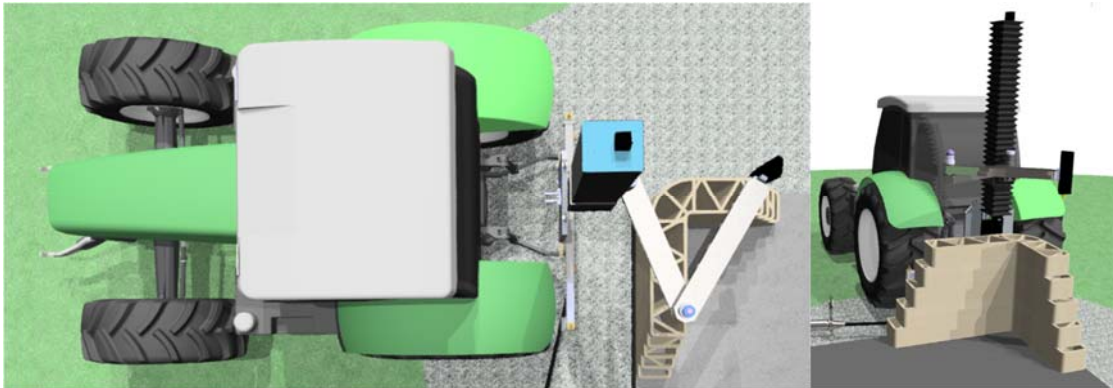
A helyi alapanyagokból előállítandó épület építésére különféle építési koncepciók kerültek kidolgozásra, ennek egyike a vályogfal nyomtatási technológia. A technológia lényege, hogy a helyi alapanyagokból előállított talaj alapú anyagot egy több irányban mozgatható kar végére szerelt extruder rétegekben teríti egymásra, így építve fel a falakat. Az építendő épület ennél a megoldásnál üreges vagy tömör falakkal rendelkezik, a földem pedig nem a falak alapanyagából készül, hanem külön faszervezet segítségével. A technológiát megvalósítani képes 3D nyomtató fejlesztésének fő célja a konstrukció nagy mobilitásúvá alakítása, hogy a helyszínre szállítás és a nyomtatás is gyorsan, rugalmasan elvégezhető legyen.



27. ábra - Traktorra szerelt SCARA robot

A kidolgozott koncepciók közül, a végleges változat egy traktorra szerelhető nyomtató lett, mellyel a falakat több részletben nyomtatva, tetszőleges méretű épület hozható létre. A traktor, a mezőgazdaságban általánosan használt nagy pontosságú helyzetmeghatározást felhasználva, különböző, előre definiált pozíciókból képes felépíteni a falrészleteket. A nyomtató szerkezete egy a traktor hátuljára felszerelt SCARA robot, melynek végére rögzíthető az anyagkijuttatást megvalósító nyomtatófej (27. ábra).

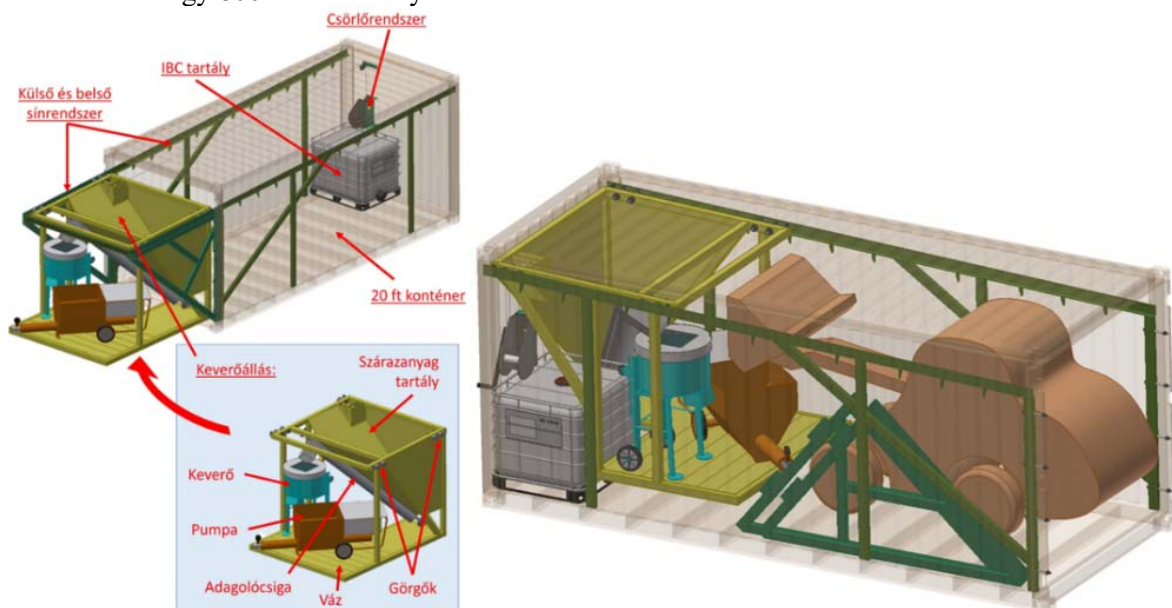
A nyomtatórendszer több részegységből áll, amelyek működésének összehangolása elengedhetetlen a precíz, pontos épületnyomtatáshoz (28. ábra). A fejlesztés során figyelembe vettük, hogy a szilárd alapanyagokat tárolni kell, majd ezek egymással és vízzel történő keverését kell megoldani a megfelelő nyomtatási alapanyag előállításához. Az alapanyag kulcsszerepe abban rejlik, hogy csak megfelelő konzisztenciájú anyag a nyomtatófejhez több tíz méter hosszú csővezetéken keresztül is továbbítható kell legyen, ugyanakkor a kijuttatott anyag megfelelő szilárdsággal rendelkezzen annak érdekében, hogy az egymásra kerülő anyag tömege ne okozzon deformációt az alsó rétegekben. Az anyagkijuttató egység vezérlését össze kell hangolni a nyomtatófejben lévő nyomá szenzor adataival. A nyomtatófej speciálisan ehhez a géprendszerhez fejlesztett, modulokból felépített konstrukció, amelyben egy extrudercsiga végzi az alapanyag kijuttatását. A modulszerű felépítés előnyeként ez a fej később bővíthető további részegységekkel, amelyek újszerű nyomtatási lehetőségeket kínálnak. Például szálerősítéses alapanyag nyomtatása is lehetővé válik ilyen fejlesztéssel.



28. ábra – Kültéri nyomtatás működési elve

### 2.1. Nyomtatási alapanyag előállítása

A mezőgazdasági épület felépítéséhez szükséges nyomtatóanyag helyi alapanyagokból készül el, emiatt az előállítása is az építés helyszínén kell, hogy megtörténjen, azaz az alapanyag előállító berendezésnek szállíthatónak kell lennie. Ez úgy valósítható meg a legegyszerűbben, ha a minden részegység egy szabványos 20 lábás konténerben szállítható, így ezek úgy lettek megtervezve, illetve kiválasztva, hogy utóbbi követelménynek eleget tegyenek. A nyomtatási anyag elkészítéséhez szükség van vízre, helyileg kitermelt föld alapú anyagra, illetve különféle természetes eredetű erősítőként hozzáadott szál as anyagra (pl. szalma, pelyva). A víz a konténerben egy 800 literes tartályban tárolható.

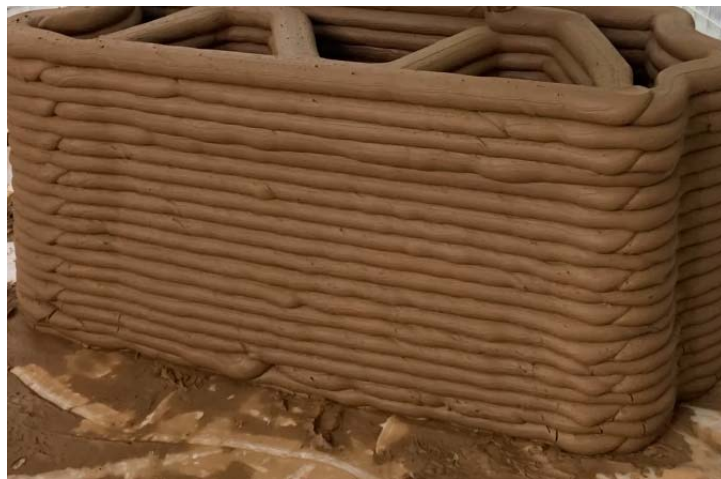


29. ábra - Anyagkeverő géprendszer üzemi és szállítási állapotban [11]

A száraz anyag a különféle adalékokkal, szálás anyagokkal a szárazanyag tartályban keveredik össze, melynek feltöltése egy a konténer méreteit figyelembe véve megválasztott homlokrakodóval történik. A szárazanyag tartályból egy szállítócsigán keresztül az anyag a keverőbe kerül, ahol az adagolt vízzel együtt addig keveredik, míg el nem éri a nyomtatáshoz szükséges konzisztenciát. A keverőből aztán az anyag közvetlenül a szivattyúba kerül, amely egy nagynyomású csövön keresztül juttatja a nyomtatási alapanyagot a nyomtatókar végén található extruderfejbe. A szárazanyag tartály, a keverő és a pumpa egy közös vázszerkezeten foglalnak helyet, mely egy sínes pályán egy csörlő segítségével a konténerből ki-be mozgatható attól függően, hogy a berendezés használatban van-e, vagy éppen szállítják (29. ábra).

### 3. Alapanyag kidolgozása

A nyomtatórendszer kidolgozása mellett, a projekt kiemelt része egy új, talaj alapú anyag receptúrájának megalkotása volt, mely alkalmas 3D nyomtatott épületek alapanyagaként történő felhasználásra. Az alapanyagok a projekt követelményei szerint természetes eredetűek, így a kísérletek agyag és homok, illetve különböző természetes eredetű szálerősítő anyag használatával folytak. A különféle keverékek vizsgálata különböző szempontok szerint zajlott. A vizsgálatok kezdetben alapvetően a nyomtathatóság kérdése körül összpontosultak, azaz a cél olyan anyagok keverése és összeállítása volt, mely alkalmas arra, hogy a pumpán és az extruderen át kijuthasson. Ez kis szemcseméretet kívánt meg, melyre az agyag és homok keveréke volt a megfelelő. További vizsgálatok tárgyát képezte nyomtatás és a szilárdság szempontjából megfelelő konzisztencia meghatározása. A pumpa szempontjából kedvezőbb, ha az anyag hígabb, mivel ez jelentősen könnyebb szivattyúzhatóságot és levegőmentes anyagtovábbítást eredményez. A nedvesebb anyaggal könnyebb a nyomtatást is gyorsítani, azaz az extruderfej gyors mozgása nehezebben okoz szakadásokat az anyagban. Hátránya a túl nedves anyag használatának, hogy a szilárdsága nem megfelelő, azaz a falat egyre magasabbra nyomtatva az alsóbb rétegek az építmény saját súlya alatt összenyomódnak, így a fal kihasasodik. A túl nedves anyagból készült fal stabilitása sem megfelelő, az alsó rétegek deformációja miatt szükséges többretegű, vagy belső merevítésekkel ellátott falat nyomtatni az összedőlés veszélyének elkerülése végett (30. ábra). A nedves anyag legfőbb hátránya, hogy a száradás hosszú időt vesz igénybe, eközben pedig jelentős repedésképződés figyelhető meg a rétegek közt. Ez alkalmatlanná teszi az anyagot arra, hogy falak készüljenek belőle.



30. ábra - Tiszta, nedves agyagból nyomtatott falrészlet

A hozzáadott vízmennyiség csökkentésével a rétegek szilárdsága nő, az alul elhelyezkedő rétegek kevésbé nyomódnak össze a felettük lévő súly alatt, valamint alaktartásuk is jobb lesz, így magasabb fal nyomtatható. Hátránya, hogy minél szilárdabb az anyag, annál nagyobb a veszélye az anyagáram fellevegősödésének, ami szakadásokhoz vezet a nyomtatásban. Ezért célszerű az anyagot a tartályt rezgetve folyamatosan a garat felé terelni. A frissen terített rétegek jóval repedezettebbek, mint a nedvesebb anyaggal nyomtatott rétegeknél látható volt, azonban száradás során ezek a repedések nem terjedtek tovább, így a falrészlet egyben maradt (31. ábra).





31. ábra - Szárazabb, homokkal kevert agyag

Túl nagy arányban hozzáadott homok azonban növeli a száraz anyag porozitását, illetve a rétegek is könnyebben el tudnak válni egymástól száradás után, ami szintén a fal végig repedéséhez vezethet. Repedéscsökkentő és erősítő hatása van a szálanyagok agyagba keverésének. Ilyen természetes eredetű erősítőanyagok a szalma vagy a pelyva. A pelyva a homokos agyagban jól elkeveredik, a nyomtatott rétegekben alig észrevehető, köszönhetően a szálak 10 mm alatti hosszának (32. ábra)



32. ábra - Pelyvával és homokkal kevert agyag

A nyomtatott falrészletek belső kitöltése különféle geometriákkal előnyösen befolyásolja a falszerkezet stabilitását, azaz sokkal magasabb falrészleteket lehet nyomtatni, anélkül, hogy az összedőlné. Megfelelően száraz anyaggal és jól megválasztott belső merevítő struktúrával az extruder fúvóka átmérője csökkenthető, így vékonyabb rétegek készíthetők, ami anyagmegtakarításhoz, illetve tömegcsökkenéshez vezet. A vékonyabb rétegekből felépített fal korábban felsorolt előnyös tulajdonságai mellett esztétikusabb külsővel is rendelkezik, amely bár mezőgazdasági tárolóépületek esetében másodlagos szempont, mégis piacképesebbé teszi a terméket (33. ábra).



33. ábra - Alul 20 mm, felül 16 mm átmérőjű extruderfejjel nyomtatott rétegek

#### 4. Összefoglalás

A projekt jelenlegi eredményeiről összességében elmondható, hogy a talaj alapú alapanyagokból dolgozó mobil épületnyomtató robot, a hozzá kapcsolódó kiegészítő berendezések részegységeinek fejlesztése, valamint a épületnyomtatási technológia kidolgozása megtörtént, a teljes rendszer tesztelése folyamatban van. Az egyes részegységek tesztelése alapján megállapítható, hogy a fejlesztések sikeresek voltak, és egy innovatív, a mezőgazdaságban eddig még sehol nem alkalmazott költséghatékony megoldást nyújthatnak.

A talaj alapú anyagokkal elvégzett nyomtatási vizsgálatok alapján megállapítható, hogy sikerült olyan alapanyag összetételek és alapanyag előállítási technológia kidolgozása, amely a nyomtathatósági kritériumrendszer szerint megfelelő, és a száradás után is biztosítja az épület állékonyágához szükséges szilárdságot. További vizsgálatok alapján a megfelelő falstruktúrával, az épület hőszigetelő képessége jelentősen javítható, a modern épületek követelményrendszerének megfelel.

#### Köszönetnyilvánítás

A jelen publikáció létrejötté a 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00222 számú projekt keretében, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással valósult meg.

#### Irodalmi hivatkozások

- [1] V. Molnár, Vályogépítési módok és szerkezeti megoldások, MAGYAR ÉPÍTŐIPAR, köt. 48, o. 348–350, 1998, online: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/2267283> (Utolsó letöltés: 2023. 02.10.)
- [2] Szűcs Miklós, Föld- és vályogfalú házak építése és felújítása. Építésügyi Tájékoztató Központ Kft., Budapest 2002, online: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/1689017> (Utolsó letöltés: 2023. 02.10.)
- [3] Nematollahi, B., Xia, M., & Sanjayan, J. (2017). Current progress of 3D concrete printing technologies. In ISARC. Proceedings of the international symposium on automation and robotics in construction (Vol. 34). IAARC Publications, Online: [https://www.researchgate.net/profile/Behzad-Nematollahi/publication/318472250\\_Current\\_Progress\\_of\\_3D\\_Concrete\\_Printing\\_Technologies/links/5ec7d2df299b1c09ad30508/Current-Progress-of-3D-Concrete-Printing-Technologies.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Behzad-Nematollahi/publication/318472250_Current_Progress_of_3D_Concrete_Printing_Technologies/links/5ec7d2df299b1c09ad30508/Current-Progress-of-3D-Concrete-Printing-Technologies.pdf) (Utolsó letöltés: 2023. 02.10.)
- [4] Gomaa, Mohamed & Jabi, Wassim & Veliz Reyes, Alejandro & Soebarto, Veronica. (2021). 3D printing system for earth-based construction: Case study of cob. Automation in Construction. 124. 103577. 10.1016/j.autcon.2021.103577., Online: [https://www.researchgate.net/publication/348756167\\_3D\\_printing\\_system\\_for\\_earth-based\\_construction\\_Case\\_study\\_of\\_cob](https://www.researchgate.net/publication/348756167_3D_printing_system_for_earth-based_construction_Case_study_of_cob) (Utolsó letöltés: 2023. 02.10.)
- [5] Thejeel, Marwa & Balázs, György. (2022). 3D printing for earth construction - review. Concrete Structures. 23. 64-67. 10.32970/CS.2022.1.10. Online: [http://www.fib.bme.hu/folyoirat/cs/cs2022/cs2022\\_10.pdf](http://www.fib.bme.hu/folyoirat/cs/cs2022/cs2022_10.pdf)
- [6] Reischl Gábor, Mezőgazdaság és építészet; ISBN: 978 963 9968 02 8; Terc Kft. 2010
- [7] [www.sparktech.hu](http://www.sparktech.hu) (Utolsó letöltés: 2023. 02.10.)
- [8] [uni-mate.hu](http://uni-mate.hu) (Utolsó letöltés: 2023. 02.10.)