



Helyi alapanyagokra alapozott mobil építészeti megoldás kidolgozása

Development of mobile architectural solution based on local raw materials

¹ Dr. RÁDICS János Péter, ¹ HORVÁTH Barnabás, ² Dr. MÁTHÉ László, ¹ Dr. KOTROCZ Krisztián

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

² Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1., mathe.laszlo@uni-mate.hu

Összefoglalás

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 talajjalapú 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.

Kulcs szavak: 3D nyomtatás, épületnyomtatás, talaj alapú nyomtatási anyagok, kültéri nyomtató fejlesztés

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 that 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

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 elérhetőek, 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, hosszúka mezőgazdasági épület felépítése valósítható meg. A kifejlesztett berendezésnek és helyi alapanyagoknak köszönhetően, a kitűzött cél, hogy a hagyományos technológiához képest, minimum 30%-kal legyen olcsóbb az építés. Ez a költséghatékony az egyik legnagyobb előnye az épületnek, valamint az, hogy újrahasznosítható és környezetbarát. Ez azt jelenti, hogy ha az épületre már nincs szükség, az ledönthető és beszántható. A kifejlesztett berendezés előnyei közé tartozik a gyorsaság és a mobilitás, azaz a helyszínre kiszállítva minimális előkészülettel, kis munkaerőszükséglettel az épület rövid időn belül felépíthető. A publikáció röviden bemutatja a projekt konzorciumának tagjait, illetve kitér a különböző fejlesztési koncepciók bemutatására. A cikk részletesen foglalkozik a vályog alapú anyagokkal folytatott kísérletek eredményeinek ismertetésével.

1.1 Konzorciumi tagok bemutatása

A konzorcium vezetője a SPARKTECH Innováció Kft. 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 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. Vályogfal nyomtatási technológia

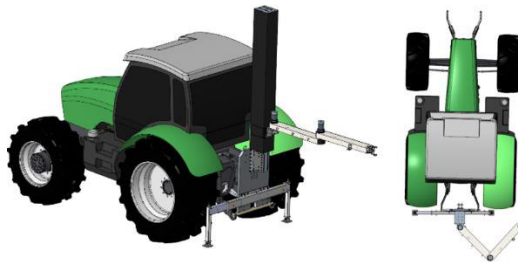
A helyi alapanyagokból előállítandó épület építésére különféle építési koncepciók kerültek kidolgozásra, ennek egyike a vályogfal nyomtatási technológia. A technológia lényege, hogy a helyi alapanyagokból előállított talaj alapú anyagot egy több irányban mozgatható kar végére szerelt

extruder rétegekben teríti egymásra, így építve fel a falakat. Az építendő épület ennél a megoldásnál egyenes falakkal rendelkezik, a födém pedig nem a falak alapanyagából készül, hanem külön faszerkezet segítségével. A fő cél ebben az esetben a mai vázszerkezet konstrukciók mobillá alakítása, hogy azokat könnyen a helyszínre szállítva elvégezhető legyen a nyomtatás. Konceptióként felmerült a vályognyomtató berendezés pókdarura vagy teherautóra történő ráépítése, azonban ezekben a megoldásokban közös, hogy az épületeket egy pontból kell nyomtatni, ami korlátozza az épület alapterületét, ahogy az az 1. ábra is látható.



1. ábra - Pókdarura szerelt nyomtató

A végleges változat egy traktorra szerelhető nyomtató lett, mellyel több részletben nyomtatva a falakat tetszőleges méretű épület hozható létre. A traktort különböző pozíciókba állítva azokból a pontokból építhetők fel a falak. A nyomtató szerkezete egy a traktor hátuljára felszerelt SCARA robot, melynek végére van rögzítve az anyagkijuttatást megvalósító extruder (2. ábra).

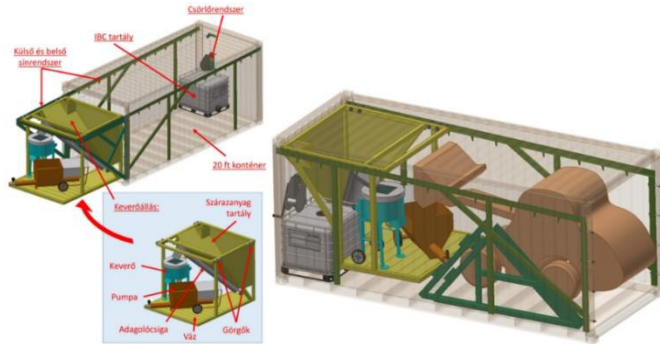


2. ábra - Traktorra szerelt SCARA robot

3. Talaj alapú anyag gyártástechnológiája

A mezőgazdasági épület felépítéséhez szükséges anyag helyi alapanyagokból készül el, emiatt az előállítás is az építés helyszínén kell, hogy megtörténjen, azaz a gyártóberendezésnek szállíthatónak kell lennie. Ez úgy valósítható meg a legegyszerűbben, ha a minden részegység egy sztenderd 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 IBC tartályban tárolható és a konténerrel együtt a helyszínre szállítható. A száraz anyag a különféle adalékokkal, szál as 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 IBC tartályból adagolt vízzel együtt addig

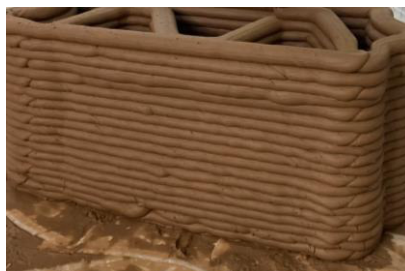
keveredik, míg el nem éri a nyomtatáshoz szükséges konzisztenciát. A keverőből aztán az anyag közvetlenül a pumpába kerül. A pumpa egy hidraulikacsövön keresztül nyomja az anyagot a nyomtatókar végén található extruderfejbe. A szárazanyag tartály, a keverő és a pumpa egy közös vázszerkezeten foglalnak helyet, mely egy sínes pályán egy csőrő segítségével a konténerből ki-be mozgatható attól függően, hogy a berendezés használatban van-e, vagy éppen szállítják (3. ábra).



3. ábra - Anyagkeverő géprendszer üzemi és szállítási állapotban

4. Agyag alapú anyagokkal folytatott kísérletek

A projekt másik része egy új, talaj alapú anyag receptúrájának megalkotása, 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 a minél kedvezőbb eset, ha az anyag híg, ugyanis ekkor a pumpa tartályból a gravitáció segítségével áramlik a garat felé, a folyékony anyag pedig jól elterül a tartályban. Ez előnyös, ugyanis így a pumpába nehezebben jut levegő, ami szakadásmentes nyomtatást 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 kihalasodik. A túl nedves anyagból készült fal stabilitása sem megfelelő, az alsó rétegek deformációja miatt szükséges többrétegű, vagy belső merevítésekkel ellátott falat nyomtatni az összedőlés veszélyének elkerülése végett (4. ábra).



4. ábra - Tiszta, nedves agyagból nyomtatott falrészlet

A nedves anyag legfőbb hátránya, hogy a száradás sokáig tart, eközben pedig jelentős repedésképződés figyelhető meg a rétegek közt. Ez alkalmatlanná teszi az anyagot arra, hogy falak készüljenek belőle. A hozzáadott vízmennyiség csökkentésével a rétegek szilárdsága nő, az alul elhelyezkedők kevésbé nyomódnak össze a felettük lévő súly alatt, valamint alaktartásuk is jobb lesz, így magasabb fal nyomtatható. Hátránya, hogy minél szilárdabb az anyag, annál könnyebben tud a garatnál levegőt szívni a pumpa, ami szakadásokhoz vezet a nyomtatásban. Ezért célszerű az anyagot a tartályt rezegtetve 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 (5. ábra).



5. 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 1 cm alatti hosszának (6. ábra)



6. 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 összedőlne. 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 (7. ábra).



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

5. Összefoglalás

Összességében elmondható, hogy a projekt keretében megvalósuló talaj alapú alapanyagból dolgozó mobil épületnyomtató robot, valamint a hozzá kapcsolódó berendezések egy innovatív, a mezőgazdaságban eddig még sehol nem alkalmazott költséghatékony megoldást nyújtanak. Az elkészült épület intelligenssé tételével az további, korábban nem alkalmazott funkciókkal is ellátható. Az agyag alapú anyagokkal folytatott kísérletek pedig biztosítják, hogy az építés szempontjából a legmegfelelőbb anyag kerüljön felhasználásra.

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.

6. Hivatkozások

- [1] V. Molnár, Vályogépítési módok és szerkezeti megoldások, MAGYAR ÉPÍTŐIPAR, köt. 48, o. 348–350, 1998.
- [2] Szűcs Miklós, Föld- és vályogfalú házak építése és felújítása. Építésügyi Tájékoztató Központ Kft., Budapest 2002.
- [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,
- [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.,
- [5] Thejeel, Marwa & Balázs, György. (2022). 3D printing for earth construction - review. Concrete Structures. 23. 64-67. 10.32970/CS.2022.1.10.
- [6] Reischl Gábor, Mezőgazdaság és építészet; ISBN: 978 963 9968 02 8; Terc Kft. 2010