

## Építési hulladék felhasználására épülő gyártórendszer nyomtatóegységének vizsgálata

### Examination of the printing unit of a production system based on the use of construction waste

JANKOVICH Henrik László \*, SZÉLES Levente\*\*

\* Denco Kft., 2100 Gödöllő, Faiskola tér 13.

**Abstract:** The article presents the examination of one of the key components of a production system suitable for using construction waste: the concrete and clay printing unit. The system was implemented as part of project GINOP\_PLUSZ-1.3.1-21-2022-00074. The project involves the development of a construction system capable of precision material dispensing, as well as the associated know-how and the development of a raw material production device that mixes the raw materials in appropriate proportions to create the printing material used for the building. In this article, we present a series of experiments and their results, utilizing the printing unit, which focus on recyclable materials and explore the possibilities of using sustainable materials.

#### 1. BEVEZETÉS

A kutatások során elért fejlesztés eredménye egy építési hulladék felhasználására alkalmas gyártórendszer. A vizsgálat keretén belül tulajdonképpen az energiatakarékos, ámde mára elavultnak gondolt vályogépítési technológia (monolit, előregyártott, merevbetétes (Molnár, 1998)) 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) (Szűcs, 2002) mellett, a nyomtathatósághoz szükséges paraméter előírásoknak (pl.: sűrűség, konzisztencia) is megfeleljen. 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 (Nematollahi et al. 2017). A beton 3D nyomtatókkal szerzett tapasztalatok azonban csak korlátozottan használhatók fel a talaj alapú anyagoknál, hiszen azok összetétele és viselkedése jelentősen eltér egymástól (Gomaa et al., 2021), így ez a terület még jelentős innovációs potenciállal rendelkezik, mely a közeljövőben az építészet egyik jelentős újításává válhat (Thejeel,Balázs, 2022). A cikk részletesen foglalkozik az agyag alapú anyagokkal folytatott kísérletek eredményeinek ismertetésével.

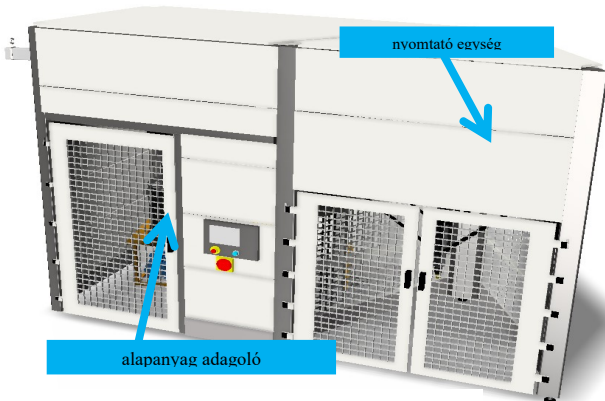
#### 2. NYOMTATÁSI TECHNOLÓGIA

Az agyag alapú alapanyagokból előállítandó épület építésére különféle építési megoldások léteznek, 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 faszervezet segítségével. A fő cél ebben az esetben a mai vázszerkezet konstrukciók mobillá alakítása, hogy azokat könnyen a helyszínre szállítva elvégezhető legyen a nyomtatás. Másik megoldás a vályognyomtató berendezés pókdarura vagy teherautóra történő ráépítése, ezekben a megoldásokban közös, hogy az épületeket egy pontból kell nyomtatni, ami korlátozza az épület alapterületét, ahogy az az 1. ábrán is látható.



1. ábra - Pókdarura szerelt nyomtató (en.constructions 2023)



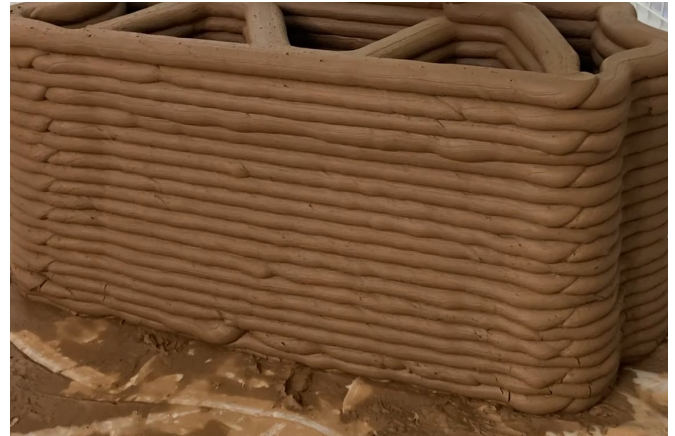
2. ábra - Integrált nyomtató, adagoló és keverő egység

A munka során alkalmazott eszközt a 2. ábra mutatja be. Az egységet az agyag alapú minták nyomtatására használtuk, amely a kísérletek alapját szolgáltatta.

### 3. AGYAG ALAPÚ ANYAGOKKAL FOLYTATOTT KÍSÉRLETEK

A vizsgálatok célja új, agyag alapú anyagok különböző receptúráinak elemzése, mely alkalmas 3D nyomtatott épületek alapanyagaként történő felhasználásra. Az alapanyagok a kísérletek 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 kihasasodik. A túl nedves anyagból készült fal stabilitása sem megfelelő, az alsó rétegek deformációja miatt szükséges többrétegű, vagy belső merevítésekkel ellátott falat nyomtatni a stabilitásvesztés veszélyének elkerülése végett (3. ábra). 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.



3. ábra - Tiszta, nedves agyagból nyomtatott falrészlet

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 (4. ábra).



4. 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 (5. ábra)





5. 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 (6. ábra).



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

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében elmondható, hogy a projekt keretében megvalósuló agyag alapú alapanyagból dolgozó nyomtató egység, valamint a hozzá kapcsolódó berendezések egy innovatív, az építőiparban eddig még sehol nem alkalmazott költséghatékony megoldást nyújtanak. Az agyag alapú anyagokkal folytatott kísérletek pedig biztosítják, hogy az ebből épített épületek újrafelhasználható falazattal.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen publikáció létrejötté a GINOP\_PLUSZ-1.3.1-21-2022-00074 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával valósult meg.

#### REFERENCES

- Molnár V. (1998), Vályogépítési módok és szerkezeti megoldások, *MAGYAR ÉPÍTŐIPAR*, köt. 48, pp. 348–350.
- Szűcs Miklós (2002), *Föld- és vályogfalú házak építése és felújítása*. Építésügyi Tájékoztató Központ Kft., Budapest
- Gomaa, Mohamed & Jabi, Wassim & Veliz Reyes, Alejandro & Soebarto, Veronica. (2021). 3D printing system for earth-based construction: *Case study of cob. Automation in Construction*. Vol. 124. 103577. 10.1016/j.autcon.2021.103577.
- 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
- Thejeel, Marwa & Balázs, György. (2022). 3D printing for earth construction - review. *Concrete Structures*. 23. 64-67. 10.32970/CS.2022.1.10.
- Reischl Gábor (2010), *Mezőgazdaság és építészet*; ISBN: 978 963 9968 02 8; Terc Kft.
- en.constructions-3d.com* (2023. 02.10.)