

**ROBOTIZÁLT ÉPÍTŐ RENDSZER RER FEJLESZTÉSE
ZÁRÓ BESZÁMOLÓ**

2022.06.30.

Cégünk 2019-ben benyújtott projekt célja, olyan egy szintes lakóház gyártási technológia kifejlesztése, amely alkalmas számítógépes távvezérlés által, emberi beavatkozás nélkül az épülethatároló szerkezet építésére. Mindez magában foglalja az építéshez használt anyag kifejlesztését, és az építési technológia kidolgozást, illetve az építéshez szükséges robotizált építőipari berendezés fejlesztését is.

A K+F tevékenység 2020 áprilisában kezdődött meg és 2022.06.30-ig tartott.

A COVID vírus okozta járvány megnehezítette a fejlesztés megvalósítását, de a projekt júniusban sikeresen lezárt a pályázatban kitűzött célt szinte teljes mértékben sikerült elérni, azonban a fejlesztési produktum piacra viteléhez további fejlesztések szükségesek.

A megvalósított fejlesztések a következők voltak:

I. Anyagkutatás

Az anyagkutatás tevékenységet a PTE Politechnika Kft. végezte Orbán József Professor emeritus betonszakértő vezetésével a Pécsi Tudományegyetem kutatólaborjában. Illetve a tesztelési fázisban pedig a szegedi telephelyen.

A 3D nyomtatásra alkalmas beton alapanyagainak vizsgálata (2020-2021)

A nyomtatásra alkalmas beton kötőanyagának és betontechnológia tulajdonságainak biztosítania kell, hogy a kinyomtatott frissbeton rétegek megfelelő szilárdságot elérve deformálódás nélkül bírják el a fölérjük nyomtatott további rétegek súlyát. Ezen betontechnológiai követelmény kielégítéséhez megfelelő szemszerkezetű folyami homokot, viszonylag gyors szilárdulási idővel rendelkező cementet, adalékanyagokat és vegyi adalékszereket kell alkalmazni,

A beton előállítására alkalmas adalékanyag kiválasztásához beszereztük és megvizsgáltuk a hazánkban rendelkezésre álló jó minőségű 0/1 és 0/4 frakciójú folyami homokot (Jánossomorja, Kiskunlacháza, Nyékládháza, Fehérvárcturgó). Az adalékanyagok szemszerkezeti vizsgálatai alapján a Jánossomorjai 0/1 homok adta a legkedvezőbb eredményt.

A beton gyors szilárdulásának biztosítására, különböző tulajdonságú (DDC és Lafarge 42,5 R) nagyszilárdságú gyorsankötő cementeket szereztünk be. Az elvégzett kötési idő és betontechnológiai vizsgálatok alapján, a Lafarge cementtel készült beton adta a kedvezőbb eredményt.

A beton extrudálhatóságának biztosítására, valamint nyomó-és hajlítószilárdságának növelésére, különböző adalékokat (Lafarge mészkő liszt és Metaver metakaolin) vizsgáltunk. A legkedvezőbb betontechnológiai tulajdonságokat metakaolin adagolásával értük el.

A frissbeton kötésiidejének gyorsítására és a V/C tényezőjének csökkentésére, kötésyorsító- és folyósító adalékszereket ((pl.: Beton C25/30, beton C16/20, beton C20/25, beton C30/837, beton C35/30, Cement N, homok, metaver I metakaolin, Sika Qellmittlel duzzadásképző, sSika Pumpstart-Start szivattyúzást segítő, SikaRapid C100 , Sika ViscoCrete-1020...) vizsgáltunk. Kedvező eredményeket a ViscoCrete adalékszerrel értük e.

A frissbeton összetartó képességének növelésére és a beton korai plasztikus zsugorodási repedésének csökkentésére alkalmas műanyag szálakat és stabilizátorokat (több gyártó, több termékét) is megvizsgáltuk. Kedvező eredményt a Sika 12 mm-es műanyag szál adagolásával értünk el.



0/4 homokos kavics szemszerkezetének laboratóriumi vizsgálata

1. A beton összetételének meghatározása és betontechnológiai vizsgálatai (2021)

A 3D nyomtatásra alkalmas beton összetételének (receptúrájának) meghatározására irányuló laboratóriumi vizsgálatok során figyelembe kellett venni, hogy a nyomtatható betonkeverék anyagának megfelelő konzisztenciával (plaszticitással) kell rendelkeznie a betonréteg nyomtathatósága (extrudálása) érdekében, ugyanakkor megfelelő állékonysággal kell bírnia, azaz jelentős alakváltozás nélküli stabilitással, a későbbi rétegek terhelésének elviselésére.

Szakirodalmi adatok hiányában, a beton összetételének meghatározásához egyrészt felhasználtuk a laboratóriumban végzett frissbeton vizsgálataink eredményeit, másrészt pedig beszereztük és megvizsgáltuk az Európában már forgalomban lévő 3D nyomtatásra alkalmas Sika Sikacretee-752 3D és BASF MasterFlow 3D zsákos betonkeverékeket.

A megvizsgált porkeverékek több hasznos információval szolgáltak a betonreceptúránk kidolgozásához, mint például:

- a betonhoz használt adalékanyagok maximális mérete, célszerűen <1 mm
- geopolimer kötőanyag helyett, célszerű gyorsankötő cementet alkalmazni
- a folyósító vegyi adalékszereket célszerű utólagosan adagolni, folyadék formájában
- a beton repedésérzékenységének csökkentésére célszerű műanyag szálakat bekeverni

A megvizsgált betonkeverékeknek igen magas a beszerzési árak, így tömeges felhasználásukkal hazánkban nem lehet számolni. Ennek megfelelően a tervezett betonunk összetételét az előzetesen meghatározott célnak megfelelően, hazai beszerzésű cement kötőanyagra és folyami homok bázisra dolgoztuk ki.

A betontechnológiai vizsgálataink során, különböző homok adalékanyagokat és cementeket kevertünk össze, és változtattuk a hozzájuk adagolt vegyi adalékszerek és kiegészítő anyagok mennyiségét. Minden egyes frissbeton keveréknek megvizsgáltuk a betontechnológiai tulajdonságait, mint például a roskadós és terülékes konzisztencia, szilárdulási idő és zsugorodási hajlam.



Vizsgálataink alapján az alábbi betonösszetétel adta a legkedvezőbb eredményeket:

- Jánossomorjai 0/1 folyami homok adalékanyag
- Lafarge 42,5R cement kötőanyag
- Metaver 1 metakaolin plaszticitást növelő töltőanyag
- Sika ViscoCrete-1020 folyósító szer
- Műanyag száladagolás (12 mm)

Üzemi kísérletek és próbák során, az adott összetételű beton igazolta alkalmazhatóságát.

2. A laboratóriumi 3D betonnyomtatás kidolgozása és próbanyomtatások (2021 és 2022)

A kidolgozott betonreceptúra szerint előállított betonnal laboratóriumi próbanyomtatásokat végeztünk. A kinyomtatott betonhasáb szeletek állaga, egymásra sorolhatósága, a szeletek formatartása és szilárdulási üteme, valamint egymáshoz való kötésük, mind azt mutatták, hogy a beton alkalmas rétegenkénti objektum felépítésére, azaz 3D nyomtatással való alakzatok és építmények előállítására.



Beton csík rövidhasábok laboratóriumi nyomtatása (2021)

A betonhasábok hosszának növelésére és a nyomtatás szakaszosságának megszüntetésére, folyamatos üzemű nyomtatófejet készítettünk.

A laboratóriumi nyomtatásra kidolgozott nyomtatófejet alkatrészenként nyomtatásos technológiával legyártottuk, és az összeállított nyomtatót próbaüzembe helyeztük. A nyomtatófej hosszabb szakaszokon való mozgathatósága érdekében az előtoló berendezéssel terveztük összeépíteni.



A laboratóriumi nyomtatófej legyártása és próbanyomtatások végzése

II. Robot gyártása

A robot gyártását a Galéria Invest Kft végezte. A szerkezet tervezése a Turbo Tech Hungary Kft. munkatársaival készült.

Az irodalomkutatás alapján, mint tömör falazatra, mint X-Y síkban rácsos szerkezetre találunk példákat. Arra a következtetésre jutottunk, egyeztetve az anyagkutatást végző partnerrel, hogy a rácsos szerkezetet preferáljuk mert az fejlődésre több lehetőséget nyújt. A falazat egyéb anyagokkal kombinálható ezen technológia alkalmazásával anyag váltással, vagy hagyományos technológiával.

Több kisebb- nagyobb próba berendezést építettünk, ahol a hajtásokat és az anyag továbbításokat teszteltük. Első változatban, csak x irányú mozgásra alkalmas szerkezet került elkészítésre. Majd egy x-y irányú szerkezet, a megfelelő hajtásokkal. Ezek a szerkezetek még idomacélokból készültek. Ezekkel a szerkezettel kezdtük meg a betonnyomtatási kísérleteket 2021 augusztusától kezdve. Ennek a próbái során sikerült a labor berendezés főbb paramétereit meghatározni, mint például a várható nyomtatási sebesség tartomány, gyorsulás, lassulás értékeit. Ezek a paraméterek segítettek a berendezés szerkezeti kialakításnak meghatározásában is. Ezen tesztek alapján a minél kisebb tömegű megoldást tűnt a legkedvezőbbnek, ezért választottunk alumínium rácsos szerkezetet, amely ennek leginkább megfelelő, azzal együtt is, hogy ennek gyártása nagyobb technológia felkészülést igényel. Ennek köszönhetően sikerült a tervezettnél nagyobb nyomtatási teret kialakítani. Ebben a tesztelési szakaszban került sor több kísérletre is, aminek célja a nyomtatási anyag mennyiségének (keresztmetszeti geometriák) meghatározására is, a szerkezeti tesztekkel és a labor tesztekkel párhuzamosan. A nyomtatási anyag mennyisége jelentősen kihat a nyomató berendezés statikai méretezésre is. A rácsos szerkezet kialakításában kisebb anyagtömeget kell továbbítani, ezáltal a 3D nyomtatóban kisebbek lesznek a mozgatott tömegek, ezáltal csökkenek a tömegek, amik kihatással vannak a nyomató méretezésére. A kisebb



keresztmetszetű lerakott szelvények valószínűleg kedvezőbbek a nyomtathatóságra, a szilárdulási időre és egyéb jellemzőkre. Ez utóbbi csak feltételezés hiszen mindezek a kutatás tárgyai. A korábban meghatározott első blokkvázlat alapján elkészültek az első tervek.

A gyártás 2021-ben kezdődött meg. Az első félévben a megkapott tervek alapján elindult az anyag beszerzése a terveknek megfelelően a szerkezet gyártása. A szerkezet rácsos szerkezetű alumínium vázas 8 csúcsos szerkezet lett.

A szerkezet gyártás során a megfelelő illesztések, hegesztések megtörténtek a Turbo Tech Hungary Kft. munkatársaival egyeztetve.

Technológia, gépészet:

A végső nagylabor szerkezetet szegedi telephelyünkön állítottuk fel. Majd elvégeztük a statikus terhelés próbákat azokkal az igénybevételekkel, amit a szerkezet méretezésénél figyelembe vettünk adatszolgáltatások alapján. A szerkezet teljesítette a követelményeket. A mért lehajlások a követelmény értékeken belül maradtak. A váz szerkezetet jónak minősítette a megrendelő. A résztvevők megállapították, hogy a szerkezet tovább építhető a már elfogadott terveknek megfelelően. (gépész tervkötetek, tervfüzetek)

A gépész tervezésben 2022. I. negyedévre a hajtások szerelését tűztük ki célul, ami áthidalható nehézségek árán meg is valósult. Kisebb csúszást okozott, hogy a nem kereskedelmi (egyedi gyártású) alkatrészekből néhány év végi határidős tétel a gyártónál nem készült el időben, így azokat csak késve programtól eltérően csak január végén kaptuk meg. Bordásszíj hajtással tervnek megfelelően valósult meg az erőátvitel.

2022. első negyedévben felkerültek a tervnek megfelelően a kábelvezetések biztosító energia láncok, így a szerkezet mozgatási próbáit el lehetett végezni

Kisebb nagyobb változtatásokra szükség volt a próbák folyamán, amelyeket meg kellett oldani.

- Megvezetés típusa: oszlopot körül ölelő görgős mozgó kocsi (sleeveblock)

A tartószerkezet hegesztési körvarratain a kocsi görgőinek át kell haladnia, ahol ütköztek, ezért a görgőfutás helyén a varratkoronákat cső palástig utólag le kellett munkálni.



A nyomtató szerkezet teljes készütsége után került sor az IMER Mix 750 Bolygóműves keverőgép és a PFT ZP3 XL 230/400V kapcsolható vakológép nyomtató egységhez csatlakoztatására, mint gépészetileg mint vezérlésileg, azzal egy egységet képezve.



ezen a képen a vázszerkezet szállítás előtti összeállítása látható

Ezzel tulajdonképpen a gépészeti fejlesztés a hozzá kapcsolódó elektromos és műszeres munkákkal együtt lezárult.





A gép gyártása után az ellátási lánc kialakítása történt meg. Kezdetben erősebb betonpumpa alkalmazása volt, azonban mivel a tesztelési fázisban kiderült, hogy nem lehet olyan kis mennyiséget beállítani, ami a nyomtatáshoz szükséges, illetve olyan erővel áramlott a nyomtató anyag, hogy nem lehetett megfelelően irányítani az anyag pontos helyre érkezését, ezért ezt a megoldást elvetettük.

Az erős betonpumpa nem volt alkalmas az anyag továbbításra, ugyanis a gép folyamatosan mozgott és ezzel a teljes rendszer működését zavarta. A tesztek alatt az is kiderült, hogy a beton alapanyagot nem tudjuk könnyedén olyan paraméterekkel felruházni, hogy az alkalmas legyen a nyomtatásra. Ezért egy másik irányban a cement alapú anyagokkal kezdtük meg a labor kísérleteket és ezt követően a nagy labor tesztek is. Ez az anyag jellegből adódóan inkább a habarcsokra hasonlít, ezért ennek megfelelő anyag továbbítási rendszert választottunk.

A pályázatban előzetesen kiválasztott berendezés működési paraméterei sajnos nem felelt meg az elvárásnak, ezért ennek a módosítás vált szükségessé. Az így kialakított kényszerkeverő berendezés kimeneti része csatlakozik a habarcs pumpa bemenetére, majd ez a berendezés csövek segítségével juttatja el a nyomtató berendezésbe, ahol a nyomtatás teljes egészében automatikusan számítógép vezérelten történik, a terveinknek megfelelően.



Ezen a képen a kényszerkeverő berendezés látható, itt kerül összeállításra az előre meghatározott receptúra alapján a nyomtató anyag, amely megfelelő keverést követően továbbításra kerül a habarcs pumpába, ami a továbbítást végzi





Ezen a képen a habarcs pumpa látható, amelynek működése frekvenciaváltós hajtásnak köszönhetően széles tartományba üzemeltethető. Számunkra ez ette lehetővé, hogy az egyik szélső érték még éppen megfeleljen az elvárásoknak.



A két berendezés összekapcsolva, üzem közben





A nyomtatási próbák a 2021. II. negyedévéől kezdődően a különböző alapanyagokkal folyamatosan folytak.

Mivel a manipulátor teljesen összeszerelésre került, ezért lehetővé vált a szervomotorok elektromos összekötése a vezérlőszekrényvel. Ennek megvalósításához kábelcsatorna és energialánc mechanikus telepítésére volt szükség, amelyekben a szervókábelek és mérő- vezérlő kábelek kerültek lefektetésre. A kábelek bekötését követően lehetővé vált a nyomtatófej számítógépes mozgatása. A mozgatás először csak kézi parancsok kiadásával volt lehetséges. A korrekt automatikus mozgatáshoz el kellett végezni néhány mérést, majd be kellett konfigurálni (kalibrálni) a szervomozgatást. A konfigurálásban és a villamostechnikai megoldásokban a Turbo Tech Hungary Kft munkatársai vettek részt.

III. Robot fejlesztése

Ezt a munkát a Turbo Tech Hungary Kft. munkatársai végezték.

Az egyik legnagyobb feladat a műszer és irányítástechnikai tervezés és kivitelezés és a robot szerkezeti integrálás volt, illetve az ehhez szükséges energia biztosítása. Sokféle műszaki megoldási lehetőséget megvizsgálva meghatározásra került a legfőbb terepi eszközök közül a nyomtató vezérlő, mérő eszközei, amelyek egy vezérlő szekrénybe kerültek elhelyezésre:



A vezérlőszekrény (balra) és a belseje (fent)



A három irányú mozgatáson felül az alábbi mérő eszközökkel került kiegészítésre a nyomtató berendezés:

- a. Lézeres 3d szkennel: feladata az elkészült épület 3d szkennelésé, hogy a tervezett és a megvalósult nyomtatást össze lehessen hasonlítani. Megvizsgálva a nyomtatást követő esetleges anyagváltozásokat.
- b. Hőmérséklet, páratartalom mérés: a nyomtatási kísérletek során kiderült, hogy az anyag hőmérséklete mellett a környezeti hőmérséklet és páratartalom is fontos tényező az anyag szilárdulásának szempontjából.

A nyomtatófej utána hajtások kiválasztása is megtörtént. Figyelembe véve, hogy az alkalmazni kívánt váz nem igényli a hajtás pálya alkalmazását, mert váz olyan kocsis rendszerrel (görgős hüvely) van tervezve, amely elegendő a megkívánt pontossághoz az Omron hajtáselemek vásárlása történt meg. A fogasszíj hajtás rögzítésre került a kocsin és a szervomotorokkal a kívánt pozícionálási és ismétlési pontosság megvalósíthatóvá vált.



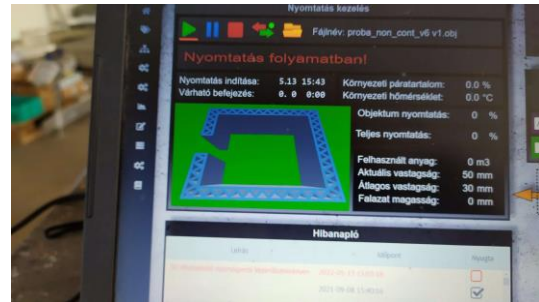
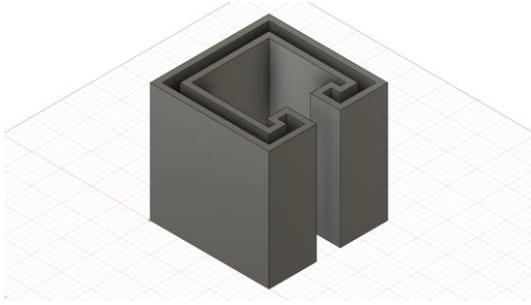
a nyomtató hajtása, és az „X”, illetve a „Z” irány kocsi

Elkészítettük a villamos energiaellátási tervet, a lehetséges védelmi módokkal. A kapcsolási rajzokat, a villamosellátási tervet.

A Rendszer- és szoftver terv elkészítése megtörtént, a felsőszintű irányítástechnika lehetséges elemeinek meghatározása, kiválasztása. Beszerzésre került a felügyeleti, számításokat végző, adatgyűjtő számítógép, amely megvalósítja az ember-gép kapcsolatot és a Turbo SCADA szoftver. Ezen keresztül történt meg az elkészített leírások alapján a szoftvermodulok programozása, fejlesztése, illetve a grafikus felület létrehozása.



Első lépésben a szoftver segítségével elkészítjük, a nyomtatási modellt



Nyomtatás közben (fent) és az elkészült „épület részlet” (jobbra)





IV. Elért eredmény bemutatása

A K+F tevékenységnek köszönhetően a következők valósultak meg.

1. Kifejlesztésre került egy olyan anyag receptúra, és a hozzá szorosan kapcsolódó nyomtatási technológia, amely nagyrészt hazai alapanyagokból elfogadható versenyképes költségek mellett előállítható, és alkalmas a kitűzött feladat ellátásra, vagyis, hogy nyomtató berendezés segítségével egyszintes épület vagy egyéb ipari határoló falazatokat hozzunk létre. Az anyag nagyobb felületen, és épület (210 cm) magasságban történő nyomtatása is megtörtént. Állékonyságával nem volt probléma. Az Intest hűtő-fűtő kamra laborszerek segítségével szimulált időjárási körülmények között az anyag megfelelőnek bizonyult, vagyis várhatóan a jelenlegi tulajdonságait több éven keresztül is megtartja, ezért alkalmas ipari objektumok, és más épület falazatok nyomtattal történő előállításra.

Nagyobb felületen azonban több napos állás után hajszál repedés jelentkezett, ennek oka a relatív gyors környezeti paraméterek változása, amely létező technológiákkal (permetezett védőréteg, amely gyors párolgást megakadályozza, vagy adalékokkal) kivédhető.

Ezen felül létrejött egy olyan ipari labor nyomtató berendezés, amely akár jelenlegi formájában is alkalmas 7x7x3 méter nagyságú objektumok nyomtatására.



az elkészült „épület részlet”





2. Megépítésre és programozásra került ipari laboratóriumi robot, amely az alábbi paraméterekkel rendelkezik:

- a. befoglaló mérete 8x8x5 méter
- b. nyomtatási tér: 7x7x3,5 méter
- c. ismétlési pontosság: 0,5cm
- d. nyomtatási pontosság 0,5cm
- e. nyomtatási sebesség 50 m2 átlagos elrendezésű 2,3 méter magas épület falzatának nyomtatása 16 óra alatt





Az elkészült nyomatokat leőröltük és telephelyünkön megtalálható jelenleg annak maradéka.

3. Kialakításra került egy ellátási lánc, amely a fentebb bemutatott robothoz eljuttatja az alapanyagot. Kutatás fejlesztési projektünk másik eredménye volt, hogy egy olyan ellátási láncot tudtunk létrehozni, amely a megfelelő anyagot a kifejlesztett és megépített robot részére el tudja juttatni. Ez egy fontos része volt a fejlesztésnek több időt igényelt, mint terveztük, így ezt külön eredményként tudjuk felsorolni.

V. További fejlesztési lehetőségek

- Az anyag tovább kutatása, tesztelése szélsőséges időjárási körülmények között
- Az elkészült anyagok építőipari minősítése
- az anyag keverési rendszer automatizálása
- nyomtatási sebesség növelése
- A robot mobilizálhatóvá tétele, (kültéri építőipari környezetre történő kialakítása)

Készült Szeged, 2022. 06.30.

Készítette: Császár Róbert projekt vezető

