

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**HAGYOMÁNYOS MÓDON, KÉZZEL FALAZOTT ÉS
AUTOMATIZÁLT TECHNOLOGIÁVAL ÉPÍTETT FALAZÁSI
SZERKEZETI ALAPELEMENK MUNKAFOLYAMATÁNAK
ÖSSZEHASONLÍTÁSA**

TDK KONFERENCIA

Építészmérnöki kar

2022

SZERZŐK:

Makovi Bíbor

KONZULENS:

Dr. Vidovszky István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építéstechnológia és Építésmenedzsment Tanszék

1 TARTALOMJEGYZÉK

2	Absztrakt	3
3	Bevezetés	4
4	Tanulmányok	6
4.1	Hasonló Projektek.....	6
4.1.1	Gramazio – Kohler: The Robotic Touch.....	6
4.1.2	Automation: The Latest Architecture and News	7
4.1.3	Korábbi téglarakó szerkezetek	8
4.2	Robotkar működése	9
5	Folyamat és Módszertan	12
6	Vizsgálat	15
6.1	Körülmények	15
6.2	Egyenes oszlop programozása.....	15
6.2.1	Vizsgálat 4 soros pillérekkel	15
6.2.2	Vizsgálat 6 soros pillérekkel	16
6.3	Csavart oszlop programozása	18
6.3.1	Mérés.....	18
6.4	Elemzés.....	19
7	Konklúzió.....	20
8	Irodalomjegyzék	21

2 ABSZTRAKT

A technológia és a tudomány rohamosan fejlődik körülöttünk. Bármerre nézünk újabb és újabb eszközök jelennek meg azzal a céllal, hogy jobba, kényelmesebbé és biztonságosabbá tegyék a mindennapi életünket. Hasznosításuk az élet minden területén elengedhetetlen és egyre fontosabb.

Az építőiparban régóta fennálló probléma a munkaerőhiány, különösen a szakképzett munkaerő hiánya. Egyre nehezebb megfelelő minőségben kivitelezni az egyre nagyvonalúbb és összetettebb szerkezetekből álló épületeket. Mindkét problémára ígéretes megoldást nyújthat az ipar egy új szegmense, az automatizált építés. Jelenleg elsősorban azoknak a feladatok automatizálása merül fel, amelyeket az emberek nem tudnak, vagy csak komoly kockázatokat jelentő körülmények között tudnának megtenni, illetve amelyek automatizálási igénye a monoton, nagy volumenű munka kapcsán racionálisan merül fel. Kísérleti alapon azonban elkezdődött a hagyományos, kézi építésmódokkal, jó minőségben csak nehezen megvalósítható, különleges formálású építészeti részletek automatizált kivitelezése is.



1. ábra: Dobot Magician 4DOF Robotkar; forrás: (1)

A kutatáshoz szükséges modellezési feladatokhoz egy Dobot Magician 4DOF robotkart alkalmaztunk. A vizsgálataim téglapillérek építésén keresztül arra a kérdésre keresik a választ, hogy a különböző, manuális építés esetén különleges előkészítést, és jelentős plusz időt igénylő feladatok automatizált építés esetén milyen mértékű plusz előkészítést igényelnek és mennyi többlet idővel járnak.

3 BEVEZETÉS

Kutatási témám az építészeti elemek építésének automatizálása.

Ezen belül azoknak a robotoknak a működése, amiket idővel remélünk, hogy az építkezéseken fogják egyszerűsíteni a folyamatokat.

A felkészülés folyamata alatt több ilyen gépet is megismerhettem, beleláthattam szerkezeti és szoftveres felépítésükbe. Tanulmányozásuk közben merült fel az a kérdés, amire kísérleteim a választ keresték, miszerint:



2. ábra: Dobot Maagician gripper, forrás: saját fotó

A bonyolultabb szerkezetek megépítésénél vajon milyen mértékű időelőnyvel járhat egy robotkar alkalmazása egy képzett kőműveshez képest?

Tanulmányokból és gyakorlati tapasztalatból tudni lehet, hogy egy csavart téглаoszlop (3.ábra) megépítése jelentősen több időbe kerül a szakembernek, mint egy egyenesen falazott. Emberi munkavégzés esetén a feladat nehézségének változásával nem egyenesen arányos az elkészítési idő, számolnunk kell a fáradás jelenségével is. A robotokról tudjuk, hogy pontosak és nem jelentkezik náluk fáradás. Ez a bonyolult de ismétlődő feladatok esetén előnyt jelent az emberi munkavégzéssel szemben.

Emiatt feltételezhető, hogy egy robot építési ideje a feladat nehézségével arányosan nő.



3. ábra: csavart kémény forrás: (2)

A különbség abból adódik, hogy a koordináták rendszerének eltérése a derékszögű rendszertől, az elhelyezésnél nem jelent nehézségi különbséget a robotnak, míg az embernek igen, még akkor is, ha a feladathoz fejleszti is az eszközrendszerét. Kőműves munkánál a csavart pillér elkészítése többnyire illesztő sablonnal történik, de a falazási munka a több ellenőrzési feladat és a soronkénti eltérő falazási sík miatt jóval nagyobb időigényű.

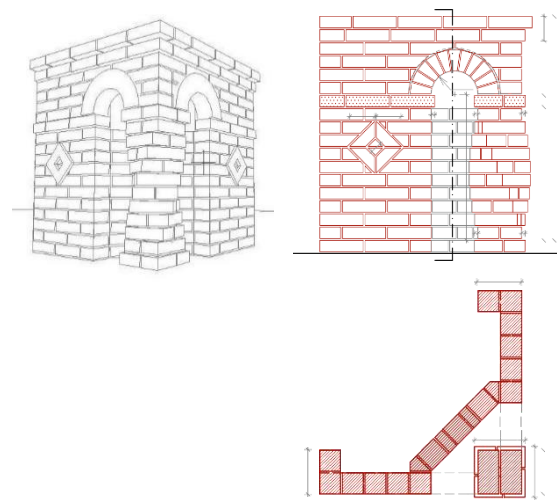
Építészmérnöki Kar

Építéstechnológia és Építésmenedzment Tanszék

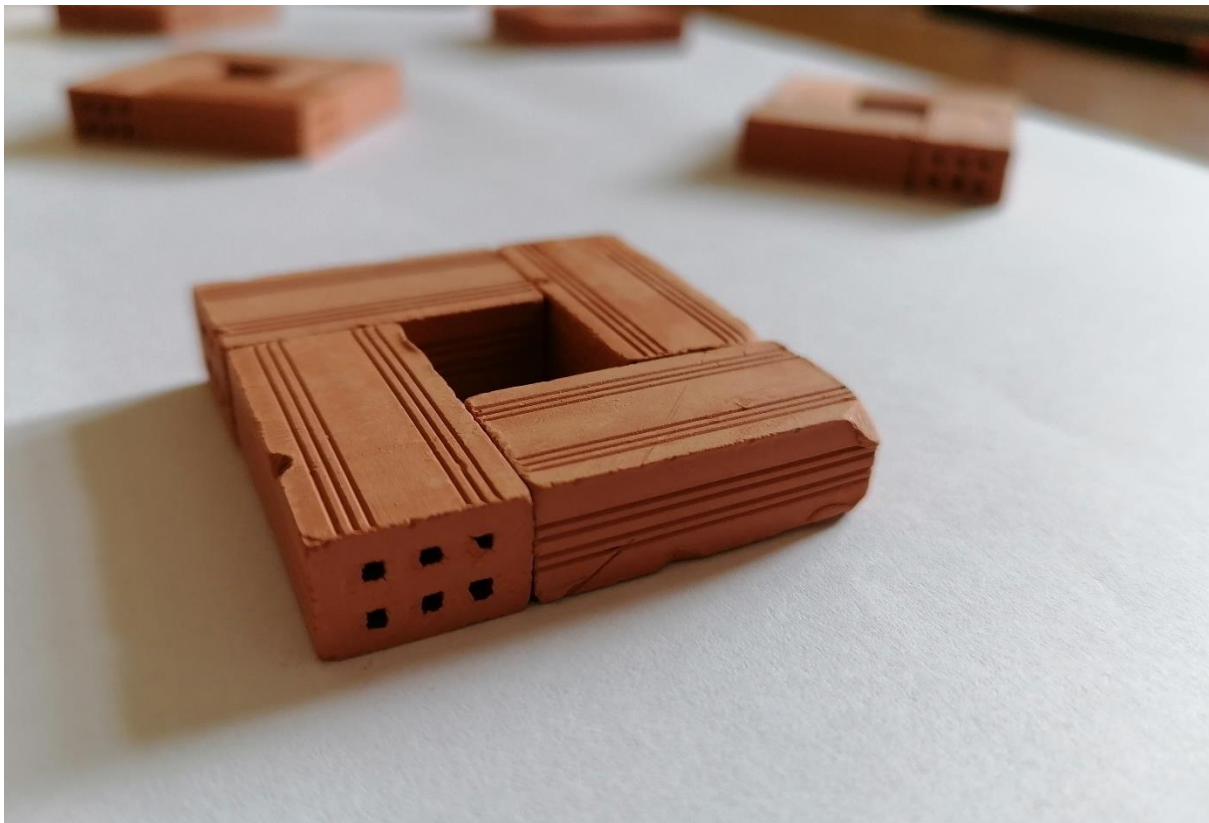
Egy robot munkavégzésénél a matematikai háttérprogram a meghatározó, ugyanis a digitális feladat végzés esetén a két falazási mód közötti különbség a többlet fogatási lépésből adódik. Megfelelő kód esetén ez nem jelenthet jelentős időkülönbséget, kb. soronként 1-2 másodpercet.

Így lett a kutatási feladatom nagy része programozás, hogy megnézzem milyen módon tudnak a robotok egyre komplexebb feladatokat megoldani. Milyen mozdulatokat használnak, mozgásterületüknek és alkalmazhatóságuknak hol van a határa és ezek mennyire nehezítik meg a feladatok hatékony elvégzését.

A kérdést 2 téglaszlop megépítésén keresztül vizsgáltam. A választott robotkar segítségével megépítettem egy egyszerű pillért, majd egy csavartat is. Építési idejüket lemértem, adataikat később összehasonlítottam egymással.



4. ábra: Fal csavart pillérrel gyakorló feladat
forrás: (3)



5. ábra: Téglaforma, forrás: saját fotó

4 TANULMÁNYOK

4.1 HASONLÓ PROJEKTEK

4.1.1 Gramazio – Kohler: The Robotic Touch



2008-ban íródott Fabio Gramazio, Matthias Kohler

Digital Materiality in Architecture ⁽⁴⁾

című könyve, majd 2014-ben Jan Willmann csatlakozásával a

The Robotic Touch: How Robots Change Architecture. ⁽⁵⁾

Témája a robotok felhasználása kreatív építészeti projektekben.

A robotok korlátait és a bennük rejlő matematikai építészet lehetőségeit kereste. A kialakított építmények (6-8. ábra) inkább már képzőművészeti alkotások, mint épületszerkezeti elemek, tartószerkezeti funkciójukat nem vizsgálták.

6. ábra: G.-K. téglapillér szobrok, forrás (6)

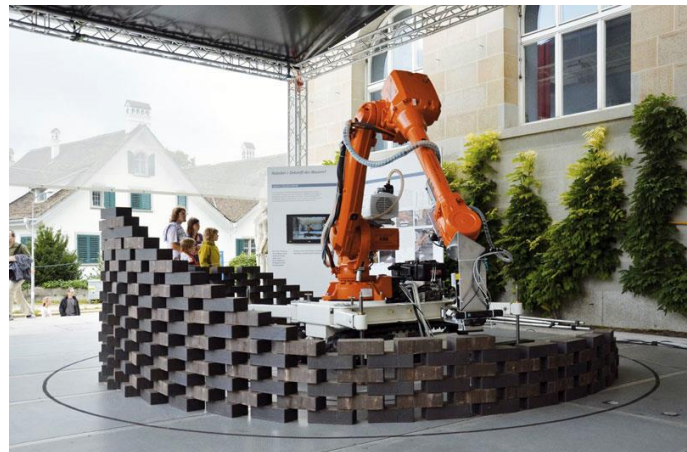
Számukra a robottal való építés két legfontosabb előnye a pontosság és a tág formázási lehetőségek voltak. Mind a kettő elengedhetetlen ahhoz, hogy a tervező teljes alkotói szabadsággal rendelkezzen. Ekkor nem korlátozza ugyanis a metrikustól eltérő rendszerek bonyolultsága és az abban biztosan megjelenő hibák emberi kivitelezés esetén.

A robot pontossága és kiszámíthatósága lehetővé tette, hogy minimális külső felügyelettel, az emberi munkavégzéshez képest megbízható pontossággal, az addigiaknál sokkal bonyolultabb szerkezetek is létrejöjjenek belátható időn belül.

Hasonló műveleteket végeztek el köríves fal építésére a robottal a geometriai középpontban, emellett habnyomatással is kísérleteztek, ami szabadabb formaalkotást tett lehetővé.



7. ábra: Hab építmény forrás: (6)



8. ábra: Centrális fal építése forrás:(6)

4.1.2 Automation: The Latest Architecture and News

Az Archic Daily egy 2022-es cikkjében írt az Építészeti Automatizálásról. Ők a robotok építészetben, mint iparban és mint művészetben elfoglalt helyét elemezték. Referenciáik között olyan projektek szerepeltek, amik bírnak tényleges épület- és tartószerkezeti szereppel, így már nem pusztán a művészetet, hanem a funkciót is jelképezik.



9. ábra: kép 01 forrás: (7)



10. ábra: kép 02 forrás: (7)

Az ipari szempontok egyértelműek, költség és időhatékonyság. A robotok most még mindkettőben erősen megkérdőjelezhetőek, de a jövőre nézve ígéretesek. A cikk írója az alábbi két alításban fogalmazta meg, hogy:

„A digitális gyártás szépsége abban rejlik, hogy képes a tömeges és a kézműves termelés szempontjait olyan szintre ötvözni, ahol a költségek szinte eltűnnek. „⁽⁸⁾

„Hatékonyság az építkezésen a hulladékok csökkentésével és a költségek csökkentésével, a biztonság javításával jobb tervezéssel, valamint az építési és tervezési folyamatot segítő gépek bevezetésével. „⁽⁸⁾

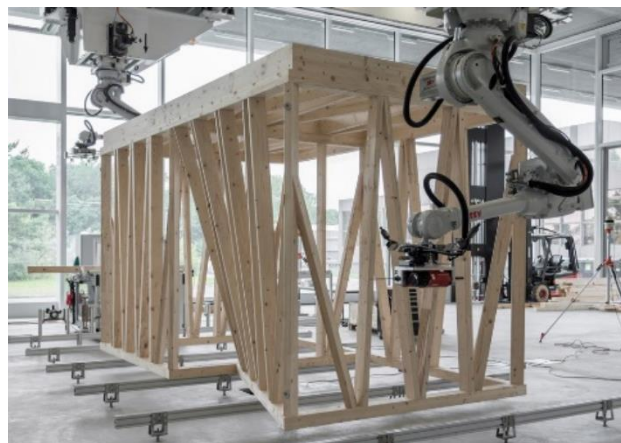
Ezután feltett egy jóval filozófiaibb kérdést is:

„Vajon a tömegtermelés hatása az építészetben a szándékos tervezés elvesztését eredményezte?“⁽⁸⁾

Ennek a megválaszolása még a jövő kérdése.



11. ábra: kép 03. forrás: (9)



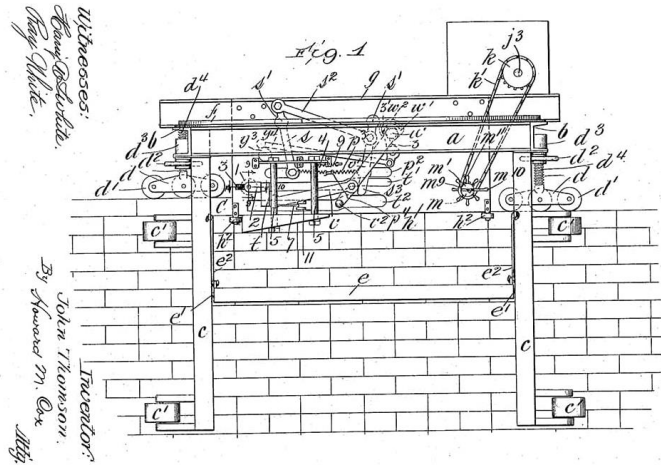
12. ábra: kép 0. forrás: (9)

4.1.3 Korábbi téglarakó szerkezetek

Az USA Hivatala szerint az első kőműves eszközt 1904-ben szabadalmaztatta John Thomson (13. ábra).

Ennek a gépnek is az volt a célja, mint a modern kőműves robotoké: az építési folyamat felgyorsítása és a hatékonyság növelése.

Bár már tudjuk, hogy ez a gép nem forradalmasította az ipart.



13. ábra: J. Tomhson 1904-es vázlatja forrás: (10)

Másik nevezetes példa H. H. James 1967-es „Motor Mason” nevű terve (14. ábra).

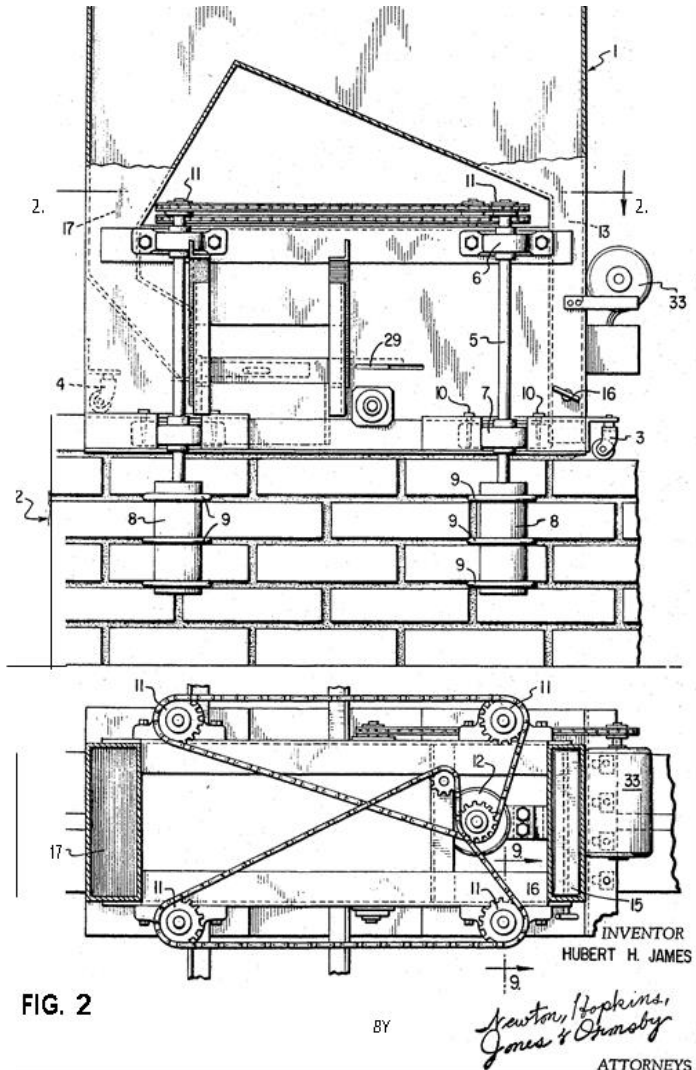
Ez a gép fallal párhuzamosan lefektetett sínek mentén mozgott, mozgás közben habarcsot és téglát is rakott le.

A működtetése három embert igényelt:

- egy szakképzett kőművest aki a munka minőségét biztosítja
- két szakképzetlen munkást aki téglát és habarcsot adagol a robotoknak, szükség szerint pozicionálva.

Állítólag ötször-tízszer gyorsabb volt, mint az ember, de ez nem volt valós.

Túlságosan nehézkes és hajlamos volt a meghibásodásokra és nem tudott megbirkózni az összetettebb épületformákkal, például sarkokkal és ablakokkal.



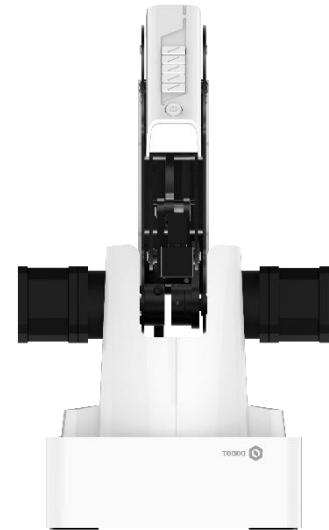
14. ábra: H. H. James 1967-es vázlatja forrás: (10)

4.2 ROBOTKAR MŰKÖDÉSE

Dobot Magician négy szabadsági fokú robotkar



15. ábra: Dobot Magician oldalról forrás:(1)



16. ábra: Dobot Magician előről forrás: (1)

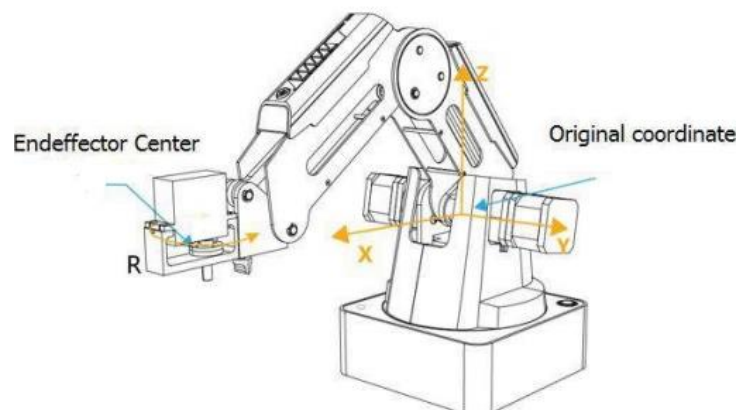
A Dobot Magician egy oktatási célra fejlesztett, több funkciós robotkar. Különböző kiegészítő eszközökkel kapható, mint fejekkel, mérő eszközökkel, kamerákkal és futószalaggal.

Software-es háttérrel szolgáltatása grafikus programozó programokat tartalmaz, aminek része az itt használt Dobot Stúdió.

Koordináta rendszere:

X-Y-Z Koordináta rendszerben mozog, ahol:

- X tengely a talapzatra vízszintesen, a robotkar felé merőleges irány
 - 0 pontja a talapzat szélé
- Y tengely az X tengelyre vízszintesen merőleges irány
 - 0 pontja a talapzat középpontja
- Z tengely a függőleges irány
 - 0 pontja a talapzat teteje



17. ábra: Robot Koordináta rendszere forrás: (11)

Mozgása:

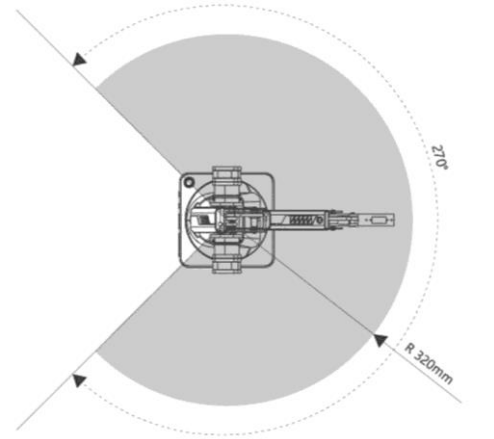
Talapatánál rögzített, csuklói 3 síkban engednek mozgást.

1. Csukló: az X-Y síkban képes elfordulni 270° -ot.

Az Az Y irányú mozgásban fontos szerepe van.

Körbefordulása nem teljes, csak 270° -os, így a fej mozgása csak a jelölt területen lehetséges.

Emellett a gép saját alkatrészei is, mint a főkábel vagy a szervomotor kerülhetnek forgás közben olyan helyzetbe, ami miatt a gép nem képes akármilyen pozícióba mozdulni, azaz van mozgásnak egy a tengelyhez viszonyított belső határa is.



18. ábra: Robotkar mozgása X-Y síkban forrás: (12)

2. Csukló: az X-Z sík felső tartományán belül mozog 85° -ban.

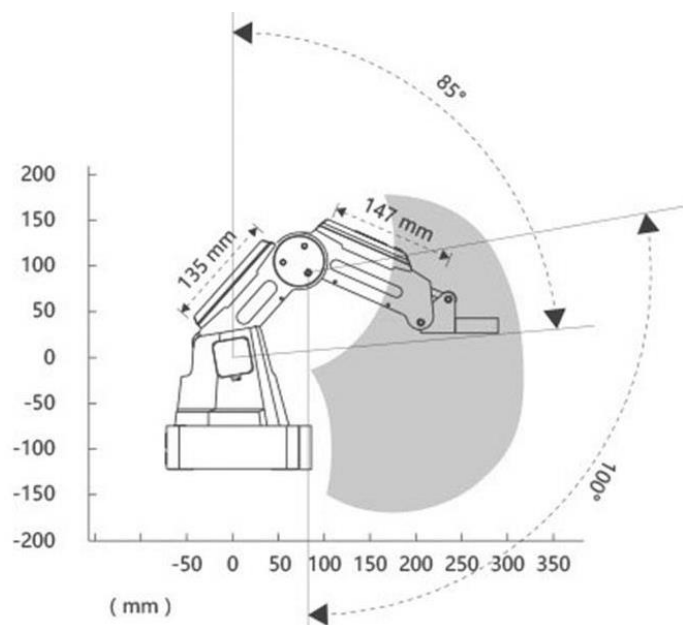
Ennek a teljes kihasználására általában nincsen szükség.

3. Csukló: az X-Z sík alsó tartományán belül mozog 100° -ban

Ez a mozgás állítja be a fej végső helyzetét.

Az X irányú elmozdulás korlátait a robotkar fizikai paramétereinek adják, azaz a kar elemek hossza, a talapzat magassága, a fej kiterjedése (19. ábra).

Figyelnünk kell rá, hogy minden érintett pozíció a folyamat során a gép által leírható háromnegyed gömbön belül helyezkedjen el. Ellenkező esetben a gép mozgása megakad és a művelet leáll.



19. ábra Robotkar mozgása X-Z síkban forrás: (12)

Fejek:

1. Pneumatikus szívófej (Air Pump)

Szervo motoros, műanyag, felületi szívófej (20. ábra).



20. ábra Dobot Magician Air Pump forrás: (12)

A fej egyenes, hézag és bemélyedésmentes felületekhez képes tapadni, azokat így felemelni és elforgatni.

Függőleges irányú mozgásokra kifejezetten alkalmas, főleg réteges szerkezeteknél.

Viszont a fent leírt szükséges tulajdonságoknak a modell téglák nem feleltek meg. Felületük hosszirányban barázdált így a fej nem volt képes megtapadni rajtuk.

2. Pneumatikus fogófej (Gripper)

Szervo motoros, műanyag, kétoldali fogófej (21. ábra).



21. ábra: Dobot Magician Gripper forrás: (12)

A motor a fej oldalán helyezkedik el és kábellel van a szerkezethez csatlakoztatva. Ezek elhelyezkedését a kód írásakor figyelembe kellett venni, mert több tényező elhelyezkedését vagy mozdulatsor sorrendjét meghatározták.

A fej a tengelye körül képes elfordulni összesen 270°-ban.

A 180°-os fordulatot a fej a kábelezés miatt csak az karba való befogásra

merőleges irányban képes végrehajtani, mert a befogással párhuzamos irányban a 270°-os tartományon kívül kellene mozdulnia.

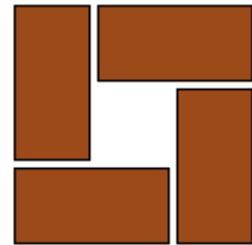
A folyamat során ezt a fejet alkalmaztam. A fej adottságai miatt (oldalsó fogás) a rakatok elhelyezését át jobban át kellett gondolni, nem lehettek téglák közvetlenül egymás mellett, illetve a pozíciók közötti térben el kellett férjen a motortest.

5 FOLYAMAT ÉS MÓDSZERTAN

A kutatáshoz szükséges modellezési feladatokat az Építéstechnológia és Menedzsment Tanszéken végeztem el a. Itt rendelkezésemre állt egy Dobot Magician négy szabadsági fokú robotkar (14. ábra) rászerezelt, motoros, forgó befogó fejjel (Gripper (21.ábra)); a programozási feladatokat a Dobot Studio programmal és kisméretű modell téglák segítségével végeztem.

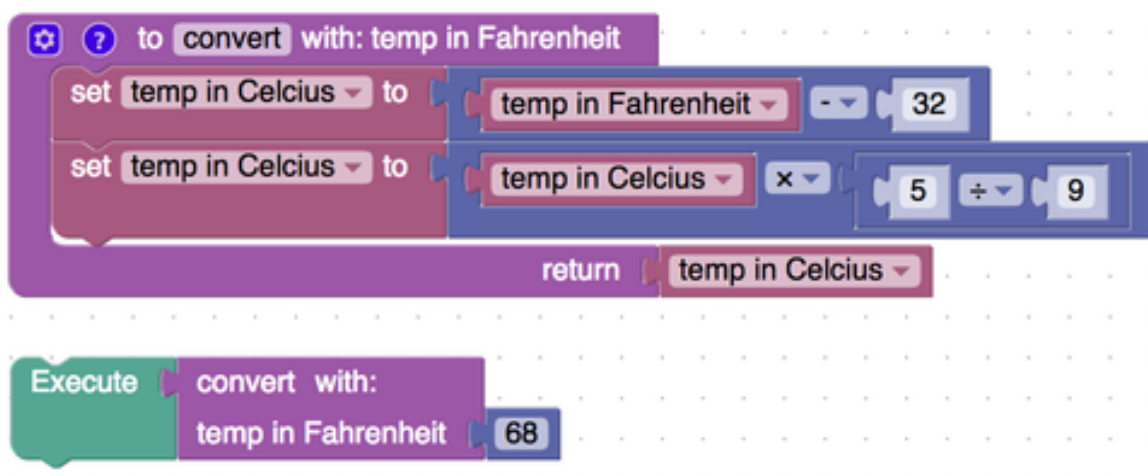
A Dobot Magician robotkar olyan robotkarok kicsinyített mása, amik már most falakat építenek, nyomtatnak vagy más módon dolgoznak építkezéseken, így alkalmasnak találtam a kutatás elvégzésére.

A kísérlet robotkarral elvégzendő része az volt, hogy létrehozzak többféle, épített, 6-8 sor magas, habarcs nélküli téglaszlopot. Az alap elrendezésének (22.ábra) egy kéménypillért választottam. Ezt az alakzatot a gyakorlatban is gyakran használják különféle szerkezetek megépítésénél.



22. ábra: Alap

Az alakzat elhelyezéséhez először egy programot kellett írni a feladatra a Dobot Stúdióban. Ehhez Blockly-t (23. ábra) használtam, ami egy Scratch alapú programozási felület, a hozzá készített blokkalapú, vizuális felhasználói és szerkesztési felülettel. Az így készített kódokat a vizsgálatok végső szakaszában Python programozási nyelvre fordítottunk, hogy az időmérési funkcióval kiegészítsük.



23. ábra: Blockly szemléltetőkód, forrás: (11)

Szimuláció

A felállított, vizsgált szimulációhoz egy központi oszlopot és négy lerakatot feltételeztem. Ezek a lerakatok egymástól azonos távolságra, egy Y koordinátára felfűzve és a gép tengelyéhez viszonyítva bal oldalra lettek lehelyezve. Az oszlopok mindegyike 7 sor magas volt. Habarcsot nem alkalmaztam.

A szimuláció kialakításában szerepet játszott több a robot mozgáslehetőségeihez, kiterjedéséhez és a kód egyszerűsítéséhez köthető paraméter. Emiatt a modell környezet bizonyos tényezői a valóságra nem terjeszthetők ki, de jól elemezhető pl. az elhelyezések és az építés modellezése.

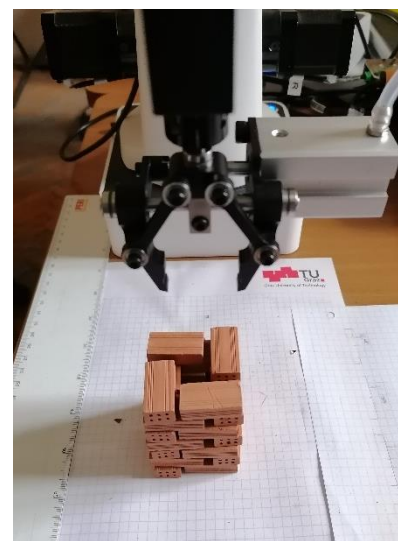


24. ábra: Modellkörnyezet felülről, forrás: saját fotó

Előkészület

Előkészületként négyzetrácsos lapot ragasztottam a pakolófelületre. Ezen a kód írása előtt pontosan bejelöltem a téglák tervezett indulási és érkezési helyét. Induló pontjaikhoz külön-külön raklapot jelöltem ki, így egy sor 4 tégláját a raklapok 1-1 sora adta ki. Ez a robot mozgatása szempontjából volt egy fontos egyszerűsítés és gyorsítás.

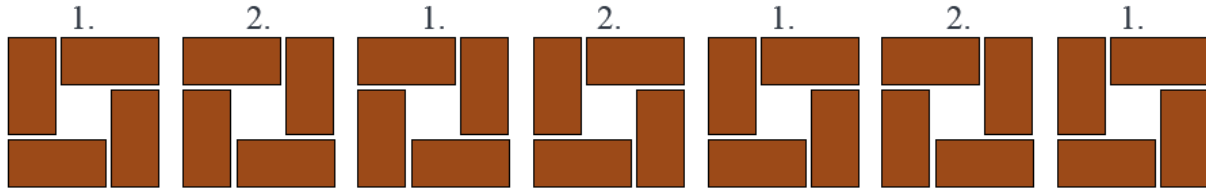
A gép a téglákat ezekből a pozíciókból emelte fel és a megfelelő mozdulatsor elvégzése után tette le a kijelölt érkezési pozícióba. Eleinte konkrét koordinátákkal voltak a pozíciók megadva, később viszont már az első téglá, majd a forgatási középpont helyzetéhez viszonyítva.



25. ábra: Központi oszlop és forgófej forrás: saját fotó

Elrendezési tervek*1. Egyenes pillér*

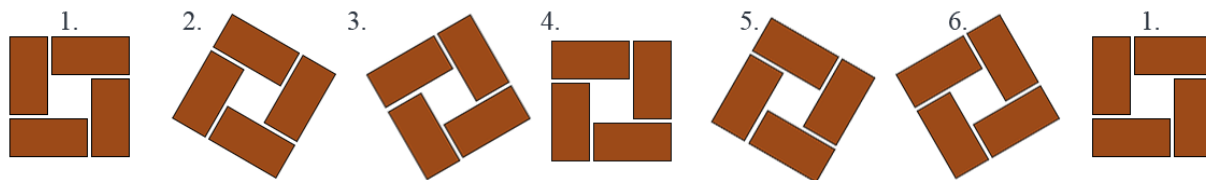
Az első variáció még csak két típusból, egy sima és egy ellenkező irányban falazott sorból állt (26. ábra).



26. ábra: Pillér variáció 1.

2. Csavart pillér

A második variáció is téglakötésben készült (sima és pandant sorokból). Itt az egymást követő sorok 30°-os különbséggel követték egymást (27. ábra).



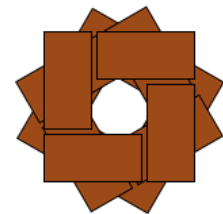
27. ábra: Pillér variáció 2.

Mérés

A mérést a program indításától annak teljes lefutásáig végeztem.

A kódba beépítettem egy a már említett időmérő funkciót, így az emberi tényezőtől származó mérési hibát kiküszöböltem és a pontosságot is növeltem ezredmásodperc szintűre.

A mért eredményeket végül összehasonlítottam egymással és meghatároztam egy százalékos eltérési értéket közöttük, amit hatékonyságnak neveztem el (100-X).



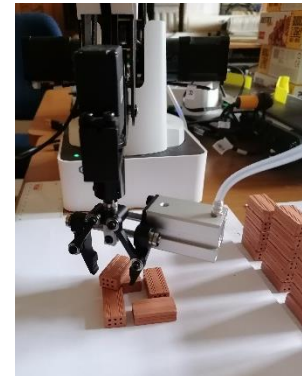
28. ábra: Csavart pillér felülnézeti terv

6 VIZSGÁLAT

6.1 KÖRÜLMÉNYEK

A koncepció kialakulását követően, az első feladat a laborkörnyezet kialakítása volt.

A robotot egy stabil, egyenes felületre kellett helyezni, ahol megfelelően mozoghat. A manipulációs tér alá négyzetárcsós papírt és vonalzókat helyeztem, hogy minden pozíció koordinátája megfelelően dokumentálható legyen. A robotkar a programok írásához és futtatásához egy személyi számítógéphez csatlakozott.



29 ábra: pillér építés 01
forrás: saját fotó

6.2 EGYENES OSZLOP PROGRAMOZÁSA

6.2.1 Vizsgálat 4 soros pillérekkel

Az alapállapot felvételénél lehelyeztem az első sor téglát a papírra és a gép mozgatásával egyesével lemértem azoknak a koordinátáit.



30. ábra: Alap elrendezés
forrás: saját fotó

Az első kódnál a téglák rakatok 4 téglából álltak és az oszlop 4 oldalán helyezkedtek el. Egy rakat tartalmazott egy sort, ekkor még csak 4 sorosra tervezve a szerkezetet.

A kódokban meghatározott kezdőállapot mindig egy magas, a kialakítandó objektum feletti kezdőpozícióba állással kezdődött és ért véget nyitott állapotú fejjel. Minden lépésnél vízszintes mozgások következtek a függőleges előtt, így a pontos pozíció beállításokat a gép még a magaslati ponton végezte. Ezzel elkerülhetővé vált néhány későbbi probléma, mint pl. a lerakat a gép mozgása miatti leborulása.

A feladat ebben a lépésben nem csak a koordináták meghatározása volt. A rakatoknál meg kellett határozni azt a fogópontot a téglán, aminél fogva az összes pozíció megoldható lesz a továbbiakban. Ezt a téglát felső egyharmadában határoztam meg. Ezután be kellett építeni a programkódba egy olyan függvényt, ami minden elhelyezett téglát után rögzíti, a rakatsorban lévő aktuális elemszámot, hogy minden elemet a neki megfelelő magassági pontból emelje ki.

A téglák elforgatását jól át kellett gondolni, a fej adottságai miatt nem volt mindegy melyik irányba fordult el. A 90°-al nem volt probléma, de a 180°-os forgatás csak az egyik irányban volt lehetséges. Kihívást jelentett a forgatás és megfogás problémája, ugyanis nem lehetett a téglákat bármilyen sorrendben lerakni. Ha a fej forgóteste nem az oszlop középpontjában volt, akkor nekiütközött volna a már lerakott másik elemnek.

A téglák méretparaméterei sokszor megnehezítették a folyamatot. A valós téglá anyagából, égetett kerámiából készültek, így rendelkeznek a teljes méretű téglák jellemző pontatlanságával (30. ábra). Nem minden felületük volt teljesen egyenes, nem minden darab volt pontosan azonos hosszúságú és magas. Lehelyezéskor nagyobb helyet kellett hagyni az egyes elemek között, hogy a hossz eltérések miatti összeakadásokat el lehessen kerülni. Ez a modell pontosságát rontotta, ugyanakkor analógiákat mutatott a valósággal.

Az első sor elkészülése után meg kellett ismételni a koordináta keresést a fordított elrendezésű sor esetében is. Az előzőekhez képest itt a menet csak annyit változott, hogy egy másik koordinátájú lerakat oszlopból emelte le az elemeket és egy újabb függvény beiktatása nyomán már érzekelte, hogy a második sorba rakja le azt.

Mindkettő függőleges értékhez, a lerakathoz és az oszlophoz is a téglamagasságot adtam meg változóként, ezt matematikai egyenlettel változtattam a helyzethez megfelelően.

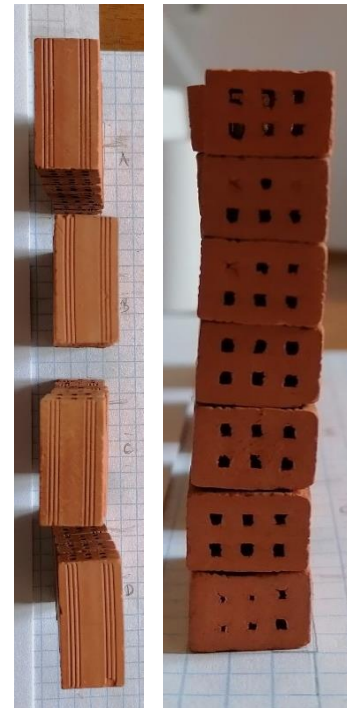
Következő fázisként megalkottam a 4 soros oszlopot 4 lerakati hely kihasználásával. Ekkor kellett a továbblépéshez koncepciót váltanom. A 6 soros oszlophoz nem voltak megfelelően elhelyezve a rakatok és a lehelyezési módszertan sem volt megfelelő. Eleinte igyekeztem további 2 rakatot létrehozni, de a szerkezet mozgáshatárai és a szervomotor kiterjedése ezt nem tette lehetővé.

6.2.2 Vizsgálat 6 soros pillérekkel

Újrakezdtém a rakatok helyzetének megadását, azúttal egy Y koordinátán voltak és az X koordinátát függvénnyel számoltattam ki az első kupac értékének és a közöttük lévő hely összegéből. Ezzel azt is biztosíthattam, hogy a téglákat minden lerakatban pontosan ugyanott fogja meg a fej, ami nagy könnyítést jelentett később a további számításokban.

Az új koncepcióban végül 4 rakat szerepelt, mindegyik a kívánt sorok mennyiségének megfelelő téglamagassággal. Ebben az elrendezésben a robot a sorok első tégláit vette le sorban és helyezte el a szerkezet megfelelő sorában. A lerakatok távolsága az oszloptól kicsit több volt, mint a fogófej szervomotorral együtt vett kiterjedése. Ez az elrendezés ezután a kutatás legvégéig megmaradt.

A függvény szempontjából ebben az elrendezésben nem volt releváns, hogy hány sort kell lerakjon, a sorok számának változtatása egyetlen változó változtatásával vált lehetségessé. Így a továbbiakban 6 soros modellen fejlődött tovább a feladata és a kód, mielőtt megépítettem és lemértem a végső 7 sorosat. Ennek az előkészítés könnyítése és az időtakarékoság is volt a célja.



31. ábra: téglá rakat
forrás: saját fotó



32. ábra: Egyenes pillér 01
forrás: saját fotó

6.2.2.1 Koordináta alapú

Első fázis volt a már kialakult koordináták letisztázása és a 6 soros, téglakötés szabályainak megfelelő falazású oszlop megépítése. Ez hosszantartó finomítgatásokat igényelt.

6.2.2.2 Algoritmus alapú

Következő lépésben megpróbáltam a kódomat átláthatóvá és egyszerűbbé tenni.

Az adatok szinte mindegyike egy-egy beírt adatként volt kezelve. Ezeket inntől matematikai függvényekkel egymásból vonatkoztatva számoltam ki. Alapadatnak az első lerakott téglá helyzetét választottam, az összes többi elem helyzetét ebből számolta ki a rendszer.

A koordináták matematikai összerendezése mellett itt újra felmerült az a probléma, hogy az első téglá helyzete a megfogás szempontjából nem az oszlop középpontjába esett, ami kiküszöbölhető probléma volt addig, amíg ezt nem matematikailag fogalmaztam meg. Itt csak ennek a téglának a fogópontját áthelyeztem az alsó egyharmadára.

A függvények megalkotása után az egyszerűsítés könnyebben haladt és hamar meg is építhettem a 7 soros, végleges oszlopot.

6.2.2.3 Mérés

A Blockly-ban megalkotott kódot Python kóddá konvertáltam a Dobot Studio alkalmazás segítségével és kibővíttem egy időmérő algoritmussal, ezután a kód futás közben automatikusan mérte az építés idejét.

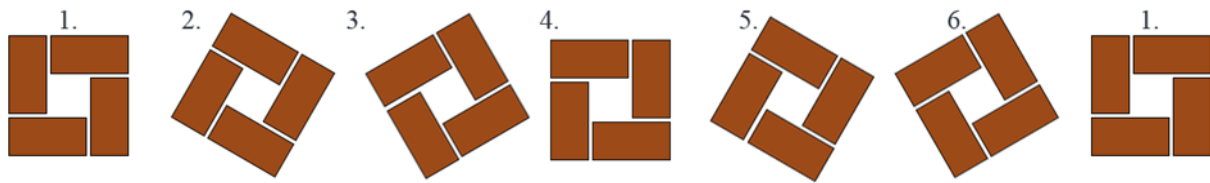
A mért értékek átlaga 10 perc 3 másodperc lett. Érdekes volt, hogy az eredmények között akár 3 másodperc eltérést is tapasztaltam.



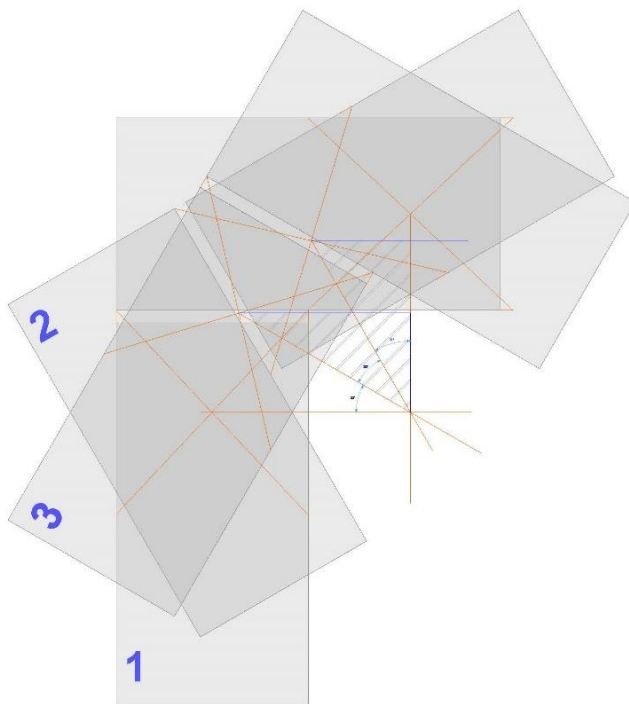
33. ábra: Egyenes pillér 02
forrás: saját fotó

6.3 CSAVART OSZLOP PROGRAMOZÁSA

A csavart oszlop sorai 30°-os forgatással készültek.



A megfelelő kötés kialakítása miatt az egymást követő sorok ebben az esetben is egymás fordított változatai voltak, így 6 különböző elrendezést kellett megvalósítani. (sima 0°; eltolt 30°; sima 60°; eltolt 0°; sima 30°; eltolt 60°; sima 0°)



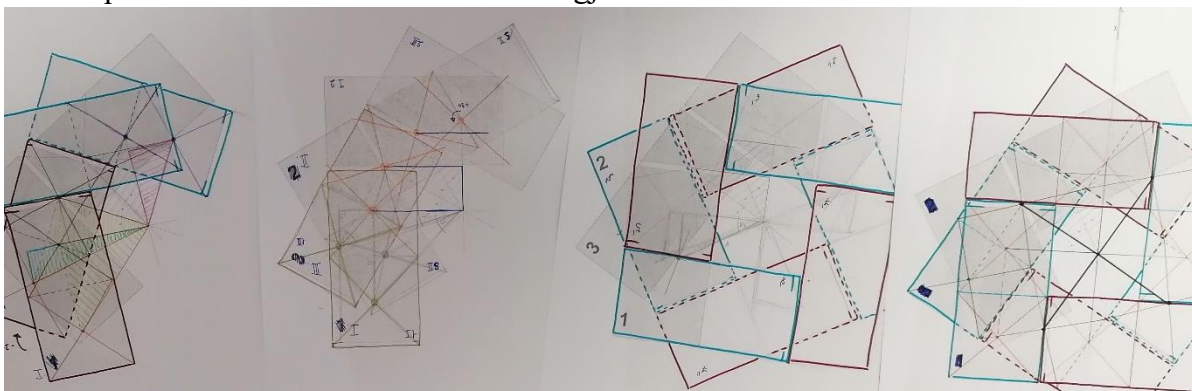
Az elforgatott sorok téglái közötti geometriai összefüggést használtam fel arra, hogy a koordináta függvényeket megírjam. Ezeknek a megtalálása és átlátása nem volt egyszerű, a sorok váltása miatt.

Végül összeállt a derékszögű háromszögek alkotta rendszer. Az geometriai számítások elvégzése után a koordinátákat bevinni a kódba már egyszerű volt.

6.3.1 Mérés

A mérést az előző oszlopnál alkalmazottakkal azonos módon végeztem itt is. A Python kódba beillesztett algoritmussal automatikusan lemérettem a program lefutási idejét.



Az átlagos időeredmény 10 perc 28 másodperc volt. Az egyenes oszlopnál észrevett 3 másodperc mérések közötti eltérés itt is megjelent és azonos volt.



6.4 ELEMZÉS

A mérések pontos eredményei az 1. táblázatban láthatók:

1. táblázat – a mért eredmények

		
	Egyenes	Csavart
1.	10:04:04	10:29:04
2.	10:01:21	10:25:96
3.	10:03:97	10:28:90
Átlag	10:03	10:28

Ebből kiszámolható, hogy a két szerkezet felépítési ideje között 3,66% a különbség, ami soronként 3,14 másodpercet jelent.

Habár konkrét adatunk nincsen a kőművesek által épített azonos pillérek időkülönbségére azt tapasztalatból lehet tudni, hogy jóval az itt mért különbség felett van, azaz a kezdeti feltételezés, miszerint a robotnak ez nem jelent olyan volumenű eltérést igaznak bizonyul.

7 KONKLÚZIÓ

Az beigazolódott, hogy ez a technológia a jövőben gyorsabb tud majd lenni, mint az emberi munkavégzés, viszont a folyamat közben felmerülő problémák azt is megmagyarázták miért nem olyan elterjedt még ez a technológia a gyakorlatban.

Bár a munkavégzés ideje nem mutatott jelentős többletet a csavart oszlop esetében a programozási munka nagyobb volumenű volt. Az első esetben két a második esetben hat különböző sort kellett leprogramozni, ez a szám viszont egy esztétikusabb 15°-os forgatási lépcsővel kialakított oszlop esetén sem növekedett volna.

Mindkét oszlop időeredményét közvetlenül befolyásolja az, hogy mennyi mozdulatot tesz meg a kar a munkavégzés közben, így figyelembe kell venni, hogy hatékonyabban megírt kód esetén az időeredmények akár javulhatnak is az itt mértékhez képest.

Emellett érdemes lehet más, pl. 6 szabadságfokú robotkarral elvégezni a kísérletet, ami szabadabb mozgástománt tesz lehetővé.

Technológia kiértékelése:

2. táblázat – A technológia kiértékelése

Előnyei	Hátrányai
pontosság	magas előkészítési pontosság
gyorsaság	kis tolerancia az eltérésekre
felügyelet nélkül hagyható	magas háttérmunka igény
nincs fáradás	drága karbantartás
bonyolult formák is megvalósíthatóak	

8 IRODALOMJEGYZÉK

- (1) - www.dobot.com. (November 01, 2022).
Forrás: <https://www.dobot.nu/en/product/dobot-magician-basic/>
- (2) - www.tuzfeszek.hu. (November 01, 2022).
Forrás: <https://tuzfeszek.hu/kemeny>
- (3) - Dr. Vidovszky István:
Kőműves eladatok látszó téglafalakra. (2015).
Budapest: Építőipari Ágazati Párbeszéd Bizottság.
- (4) - Fabio Gramazio, M. Kohler:
Digital Materiality in Architecture. (2008).
Zurich: Lars Mueller .
- (5) - Fabio Gramazio, M. Kohler, Willmann, J.
The Robotic Touch: How Robots Change Architecture. (2014).
Zürich: Park Books.
- (6) - www.arr.bg.ac.rs. (November 01, 2022).
Forrás: <http://www.arh.bg.ac.rs/en/2016/02/22/guest-lecture-the-robotic-touch-how-robots-change-architecture-by-professor-fabio-gramazio/>
- (7) - www.archdaily.com. (November 01, 2022)
Forrás: <https://www.archdaily.com/tag/automation> (January 30, 2022).
- (8) - www.theb1m.com. (November 01, 2022).
Forrás: <https://www.theb1m.com/video/a-short-history-of-bricklaying-robots>
- (9) - James, H. H
Brick-Laying Machine. In H. H. James, *Brick-Laying Machine.* (1967).
3. Sheets-Sheet 1 : United States Patent Office.
- (10) - Shenzhen Yuejiang Technology Co.,Ltd.
Dobot Magician User Manual. (2017/7/12).
Shenzhen, China: Shenzhen Yuejiang Technology Co.,Ltd.
- (11) - www.bebas.uk (November 01, 2022)
Forrás: <https://www.bebas.uk/index.php?action=content&id=105>