



VKE 2018-1-3-1_0003
“Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése”
“Development of advanced concrete elements”

PROGRAM

2021. nov. 18. (csüt.) – 18 Nov. 2021 (Thursday) – **BME Díszterem** (K ép. 1. em. 3) + **Online**

Főszervező: BME Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Társszervezők: UvaterV Zrt., Ferrobeton Zrt., **fib** (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata

3D Betonnyomtatás

– az automatizálás és digitalizálás egyik jövőbeli eszköze –
3D Concrete printing – as a major tool of future automation and digitalization

3D Betonnyomtatás
*– az automatizálás és digitalizálás egyik
jövőbeli eszköze –*
**3D Concrete printing – as a major tool of
future automation and digitalization**

Pre-Proceedings of the Conference

Szerkesztették:

Prof. Balázs L. György

Assoc. Prof. Nehme Salem

Dr. Sólyom Sándor

Budapest, Magyarország

2021. november 18.

Although the authors, the editors and the publisher did their best to provide accurate and current information, none of them, nor anyone else associated with this publication, shall be liable for any loss, damage or liability directly or indirectly caused or alleged to be caused by this book.

TARTALOMJEGYZÉK

Rózsa Szabolcs Az Építőmérnöki Kar Dékánjának köszöntője	1
Rózsa Szabolcs Welcome message of the Dean of the Faculty of Civil Engineering	3
Lovas Tamás Digitalizáció és BIM a Bme Építőmérnöki Karán	5
Nehme Salem, Szijartó Anna, Abeidi Ayman A betontechnológia szerepe a 3D betonnyomtatásban	11
Kasik Tamás, Sólyom Sándor, Balázs György László 3D nyomtatott hálóval erősített beton	19
Kasik Tamás 3D nyomtatott zsaluzat betonozáshoz	35
Bedics Antal Kitekintés a 3D nyomtatásra az ipar egyéb területén	51
Csorba Kristóf, Mrad Mohamed Azouz Informatika szerepe a mérnöki fejlesztésekben	65
Spránitz Ferenc Betontechnológiai ismeretek jelentősége a digitalizáció, 3D betonmarás területén	71
Polgár László A digitális átállás a szakirodalmak olvasásában	83
Szögi Tamás 3D betonnyomtatás - a gazdaságos házépítés forradalma	111
Téglás Csaba 3D nyomtatás alkalmazása az építőiparban	117
Marwah Manea, Balázs György László 3D concrete printing – structural and non-structural solutions	123



Az Építőmérnöki Kar Dékánjának köszöntője

Kedves Kollégák!

A konferencia házigazdjaként, a Műegyetem Építőmérnöki Karának nevében nagy örömmel köszöntöm Önöket a „3D betonnyomtatás, az automatizálás és digitalizálás egyik eszköze” című konferencián.

Jól ismert tény, hogy napjainkban ahogyan társadalmunk, az építőipar is számos új kihívással találkozik. A hagyományos építési technológiák nagy élőlomka igénye, az építési folyamatok összetettsége nagymértékben rontják az építőipar teljesítményét különösen akkor, amikor ezek a tényezők munkaerő vagy éppen nyersanyag hiánnyal párosulnak. Kutatóegyetemként feladatunk, hogy megoldásokat találjunk ezekre a problémákra és segítsünk azok gyakorlati alkalmazásokba történő átültetésében. Az Építőmérnöki Kar ezért is tűzte zászlajára, hogy vezető szerepet kíván betölteni a hazai építőipar digitális megújításában. A drónokkal és korszerű geodéziai műszerekkel végzett felmérések, a tervezési és méretezési feladataink digitális megvalósítása és optimalizálása, a virtuális és kiterjesztett valóság eszközeinek alkalmazása, az építményinformációs modellezés vagy éppen az automatizált gépvezérlések és a robotizált építési technológiák mind-mind olyan korszerű technikák, amelyek egyre inkább teret fognak nyerni a gyakorlatban. Az új építési technológiák és a természeti erőforrásaink szűkössége azonban innovatív, újrahasznosítható építőanyagok kifejlesztését és alkalmazását is igénylik. Karunk hazánk legszélesebb építőmérnöki képzési portfóliójával kiváló adottságokkal rendelkezik a különféle szakterületek együttműködését igénylő fejlesztések elvégzésére.

A konferencia programja is jól érzékelteti egy új, korszerű építési technológia bevezetésének összetettségét. A betonnyomtatás gépi technológiáin túl a kapcsolódó anyagtudományi és építéstechnológiai fejlesztések, a 3D felmérési technológiák, a kapcsolódó informatikai/térinformatikai eljárások és az építményinformációs modellezés egyaránt szerepelnek a programban. Ezúton szeretnék gratulálni a konferencia szervezőbizottságának e sokszínű program megalkotásáért és a konferencia megszervezéséért! Meggyőződésem, hogy a mai konferencia nagymértékben hozzá fog járulni a 3D betonnyomtatás technológiájának hazai népszerűsítéséhez és az előadások illetve szakmai beszélgetések hatására új távlatok nyílnak meg az építőipar modernizálása előtt.

Rózsa Szabolcs
dékán



Welcome message of the Dean of the Faculty of Civil Engineering

Dear Colleagues,

It is a great pleasure to welcome you on behalf of the Faculty of Civil Engineering as the host of the conference on „3D Concrete Printing – a major tool of future automatization and digitalization”.

The construction industry – as well as our society – globally faces several new challenges today. Traditional construction technologies tend to have enormously high demand on human labor, the construction processes are extremely complex and difficult to control. These features can significantly deteriorate the performance of the industry, especially in case of shortages in human or natural resources. As a research university we are devoted to find new solutions to the arising problems and help the industry to implement these in the everyday practice.

The mission of the Faculty of Civil Engineering is to become a leading research, education and technology transfer institution in the digital transformation of the construction industry. Modern technologies, like UAV surveys, application of virtual and augmented reality technologies in the construction processes, building information modelling, automatic machine guidance systems or even automated construction technologies are penetrating to the practice and will soon be a part of the state-of-the-art construction projects. Limited natural resources and the implementation of these new technologies increase the demand for the development and the application of new construction materials. The complexity of future construction technologies requires the cooperation of several professions: civil engineers, land surveyors, IT professionals, chemical engineers, mechatronic engineers, etc. The Faculty of Civil Engineering - offering the widest portfolio in civil engineering courses in Hungary – has a unique opportunity to support these developments.

The conference program reflects the diversity of topics needed to be discussed for the successful implementation a new construction technology. Apart from the technology of the 3D printers, the accompanying developments in construction materials, construction technologies, 3D surveying technologies, IT/GIS tools as well as the building information modelling techniques are also presented on the conference. I'd like to congratulate to the Local Organizing Committee for putting this exciting program together! I'm really convinced that this conference will greatly contribute to promote the 3D concrete printing technology in Hungary and the presentations and lively discussions will open up new frontiers in the modernization of the construction industry. I wish all of you a successful meeting!

Szabolcs Rózsa/
Dean of Faculty of Civil Engineering

DIGITALIZÁCIÓ ÉS BIM A BME ÉPÍTŐMÉRNÖKI KARÁN

Lovas Tamás, oktatási dékánhelyettes, BME

KIVONAT

Az építőipar más iparágakkal összevetve az egyik legkevésbé digitalizált ágazat. Ennek számos magyarázata van, és nem is feltétlenül egységes szempontrendszer alapján értékelendő mindenhol a digitalizáció jelenléte, szükségessége. Az viszont biztosan állítható, hogy rengeteg területen lehet fejleszteni, ebben a felsőoktatásra, különösen a kutatóegyetemekre nagy szerep hárul. Nemzetközi trendek mutatják, hogy a kivitelezéseket egyre kevesebb élők munkáival, rövidebb idő alatt, nagy hatékonysággal kell elvégezni. Ezen folyamatok új technológiákat, építőanyagokat, szervezési módszereket igényelnek – mind-mind az építőipari digitalizációs módszerek mintaterepe.

A BME Építőmérnöki Kara a kutatás-fejlesztésben és oktatásfejlesztésben is zászlajára tűzte az építőipari digitalizációt, mint az építőmérnöki szakterület aktuális vezérfonalát. Jelen cikk átfogó képet ad törekvéseinkről, eddigi eredményeinkről és további célkitűzéseinkről.

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi három évtizedben számos iparágban, szolgáltatási területen figyelhettük meg a digitalizáció térnyerését. Papírmentes ügyintézés, webes alkalmazások, mobil eszközökön igénybe vehető szolgáltatások könnyítik meg és teszik hatékonyabbá életünket. Más iparágakkal összevetésben az építőiparban sokkal kevésbé figyelhetők meg ezek a digitalizációs trendek, illetve nem minden területen. A tervezésben a 90-es években jött el a fordulat és tértek át gyakorlatilag világszerte CAD-alapú tervezésre. Ezen a területen a fejlődés nem állt meg; a 3D, később a BIM környezetekben megvalósult tervezés és a vizualizáció területén figyelhetők meg a legfontosabb eredmények. A kivitelezési munkafolyamatok alacsony digitalizációs szintjének számos oka van, ebből kettőt érdemes kiemelni: a környezetet és a heterogén közreműködői/felhasználói kört. A kivitelezés munkakörnyezete nem irodai környezet stabil energiaellátási és info-kommunikációs hálózattal; jobb esetben konténerekben dolgozhatnak mérnökök számítógépen, a hőmérséklet szabályozása itt sem egyenletes, a pormentesség nem megoldható. A kivitelezési területen mobil eszközök alkalmazása lehetséges, de a helyi hálózat kiépítése, akkumulátorok töltése mindenképp megoldandó. Egy kivitelezésen számos szakág mérnökei, szakemberei és szakmunkásai dolgoznak egyidőben. Más-más előképzettséggel, eltérő informatikai affinitással, sok esetben az adott projekten találkoznak először egymással. Bár az építőanyag-, szerszám- és eszközraktározásban és a szállításban komoly logisztikai rendszereket

alkalmaznak, ezek a fentebb említett környezeti körülmények miatt szintén csak korlátozottan használhatók a helyszínen. Az üzemeltetés, létesítmény-gazdálkodás az a terület, ahol talán az építőmérnökök a legkevésbé aktívak, mégis van kapcsolódási pontunk, a tervezési folyamatban megalapozott, a kivitelezés során folyamatosan aktualizált és véglegesített BIM modellt alkalmaznak majd az üzemeltetési tevékenységek támogatására.

Az Építőmérnöki Kar K+F tevékenységei számos területen szolgálják az építőipari digitalizációs folyamatokat, melyek közvetlenül beépíthetők az oktatási tevékenységekbe, képzési programokba.

2. ÉPÍTŐIPARI DIGITALIZÁCIÓ AZ ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR KÉPZÉSEIBEN

Az építőipari digitalizáció fogalmának definiálása nélkül érdemes áttekinteni, az elmúlt évtizedekben mely elemeit alkalmaztuk képzéseinkben, az utóbbi években milyen újdonságokat vezettünk be és milyen terveink vannak a közeljövőre vonatkozóan. Az Építőmérnöki Kar egyetemi szinten is úttörőnek számított a számítástechnikai eszközök és módszerek alkalmazásában már a 60-as és 70-es években is. Algoritmizálási készségek fejlesztésére alkalmas programnyelveket, matematikai környezetet és CAD alapú tervezést a 80-as évek óta tanítunk, folyamatosan bővítve az ismereteket. Felsőoktatási képzési programban nem szoftverhasználat a cél, az adott szoftver (pl. Matlab vagy AutoCAD) csak eszköz, mellyel algoritmusokat terveznek a hallgatók vagy egy műszaki rajz készítésének stratégiáit tanulhatják meg. Természetesen a technológiai fejlődéssel párhuzamosan az egyes ágazatokhoz vagy specializációkhoz köthető tárgyakban folyamatosan jelennek meg speciális szoftverek, laboratóriumokban új eszközök, műszerek.

Az utóbbi 10-15 év legnagyobb építőipart érintő szemléletváltása a BIM (Building Information Modeling – építmény-információs modellezés) megjelenése volt. Ez a szemléletváltás CAD alapú tervezésre átállással összevethető fontosságú, ennek megfelelő ipari igényt is generált, melyre a képzésekben reagálnunk kellett. A BIM-alapú tervezés során az építmény összes szakága egy térbeli modellben dolgozik, az objektumok geometriáján kívül attribútumokat is tárolunk, melyek lehetővé teszik adatbázis szemléletű lekérdezések (pl. mennyiségkimutatások) elvégzését. Nemzetközi kitekintésben a BIM oktatására számos példa látszik, legtöbbször mesterképzés keretében oktatják.

A Kar az országban elsőként egy alapképzési specializációt hozott létre 2020-ban, az Építmény-információs modellezés és menedzsment specializációt. A specializációba a mintatanterv szerint haladó hallgatók a 6. szemeszterükben kapcsolódhatnak be. Ezt megalapozhatják a BIM az építőiparban nevű 5. szemeszteres tárggyal, mely minden BSc hallgató számára elérhető. Itt ipari partnerek adott témakörökben tartanak előadásokat és szerveznek projektfeladatokat a hallgatóknak. A specializációt választók első specializációs félévükben egy elméleti alapot tárgyat (Építmény-információs modellezés és menedzsment, heti 2 előadás) és egy számítógépes laboratóriumi tárgyat (Építmény-információs rendszerek, heti 4 gyakorlat) hallgatnak. Az elméleti tárgy előadásainak közel felét hazai, a BIM területen jelentős eredményeket elért szakemberek tartják, így a hallgatók első kézből informálódhatnak az ipari

partnerektől. A 2x90 perces számítógépes gyakorlat egymást követő óráin a hallgatók folyamatosan karbantartott számítógépeken és az aktuális BIM környezeteket használva vesznek részt, a gyakorlatot vezető oktatón kívül extra oktatói konzultációs segítséggel. A mintatanterv szerint haladó hallgatók a 6 hetes egybefüggő nyári szakmai gyakorlatukat már BIM-es munkafolyamatokat alkalmazó cégeknél töltik, jellemzően a képzésben is részt vállaló cégek fogadják a hallgatók nagy részét. A 6. szemeszterben -és szerencsés esetben a nyári gyakorlaton-megalapozott ismeretanyagra építve a 7. szemeszterben a hallgatók a BIM alkalmazásában mélyülhetnek el. A BIM alkalmazások és technológiák tárgy keretében a jellemző BIM alkalmazásokon kívül 6 héten keresztül más-más cégeknél töltenek heti egy-egy napot, megismerve az aktuális BIM folyamatokat, céges kultúrát. A szakági együttműködés BIM alapokon tárgyban az építőipari szakágak közti kooperációs tevékenységeket tanulják és próbálják ki, és megismerkednek a folyamatokat támogató infokommunikációs technológiákkal, pl. felhő-alapú megoldásokkal is. Szintén a 7. szemeszterben végzik a többi specializáción is alkalmazott projektfeladatot, ahol már szűkebb érdeklődési körüknek megfelelő területen végeznek egy féléves feladatot oktatói támogatással. A 8. szemeszterben írják szakdolgozatukat, az eddigi tapasztalatok alapján erős céges támogatással; a BIM specializációs hallgatók szakdolgozat félévükben már BIM-es cégnél dolgoznak.

Nem csak végzett mérnökeinktől várnak el BIM kompetenciákat, a már gyakorló mérnököknek is szükségük van ilyen ismeretekre, képességekre. Ezért a Kar 2021 tavaszától BIM szakmérnöki szakirányú továbbképzési szakot indított, melyre óriási az érdeklődés. A járványhelyzet miatt az első évfolyam első félévét távolléti formában oktattuk, a 2021 őszi félévben pedig csak a 2. évfolyam számítógépes gyakorlatai, valamint az 1. évfolyam egy bemutató napja zajlott jelenléti formában. A BSc-n szerzett tapasztalatok segítették a szakmérnöki képzés hatékony felfuttatását, de ugyanígy a szakmérnöki képzésen szerzett tapasztalatok a BSc BIM képzését is fejlesztik. Ezen kívül a szakmérnöki képzés nagy előnye még, hogy erősítik a Kar ipari kapcsolatait, hiszen a képzésre jellemzően a leginnovatívabb hazai építőipari cégek küldik felelős beosztásban dolgozó mérnökeiket.

A BIM az építőipari digitalizáció egy szelete, ikonikus példája, de az építőipari digitalizáció nem csak a BIM-ről szól. A BIM szemléletű tervezés, kivitelezés és üzemeltetés következő szintje a digitális ikrek alkalmazása, amikor a koncepcióterv kialakításától a különböző tervezési stádiumokon keresztül a gyártási folyamatokat, kivitelezés monitoringot, változásvezetést, létesítmény-gazdálkodási tevékenységeket is az építménnyel együtt folyamatosan fejlődő modell szolgál ki. Ez a modell a kivitelezést támogató dokumentumkezelő, tereplogisztikai és hibajegyzék kezelő alkalmazások bázisa is és ezen állományok segítségével hozhatunk létre virtuális és kiterjesztett valóság környezetekben is megjeleníthető objektumokat, modelleket. Nem minden problémára emelhetünk le a polcra a szoftvert, megoldást. Az építési projektek mindegyike egyedi, egyedi problémákkal és egyedi megoldási igényekkel. Ezek sok esetben csak programozási, szoftver-fejlesztési kompetenciák birtokában oldhatók meg. Erre az igényre reagálva létesítette a Kar az Építményinformatikai mérnök mesterképzési szakot, melyet először 2022 őszén indítunk. Erre a képzésre nem csak építőmérnök, hanem építészmérnök, gépészmérnök, energetikai mérnök, mechatronikai mérnök, villamosmérnök és mérnökinformatikus alapképzéssel rendelkezőket

is várunk. A cél alapvető informatikai, fejlesztői, BIM és épületszerkezet-tani kompetenciákkal rendelkező mérnökök képzése, akik egy komplex építőipari feladat megoldásában hatékonyan segíthetik a szakágak munkáját, értik egymás nyelvét, ismerik az egyes megoldások korlátait, lehetőségeit. A képzést angol nyelven tervezzük indítani, előbb-utóbb több európai mesterképzés példáját követve mesterképzéseink oktatási nyelve angol lesz, jelen képzést eleve angol nyelven hozzuk létre, a képzést külföldi hallgatóinknak is hirdetjük. A hallgatók is sok helyről érkeznek, és az oktatók is. Informatikát informatikusok, épületgépészetet gépészek, épületvillamosságot villamosmérnökök oktatnak majd, a képzés szép példája lehet a karok közti együttműködésnek is.

3. DIGITALIZÁCIÓ AZ OKTATÁSI MÓDSZERTANBAN

Az építőipari digitalizáció igényei 21. századi igények, és mi 21. századi hallgatókat oktatunk. A megcélzott hallgatói csoportnak a célkitűzésekben megfogalmazott tanulási eredményeket nem oktathatjuk 20. századi módszerekkel. A digitalizáció az oktatási módszertanra is jellemző, 2015 óta alkalmazzuk kari szinten egységesen a moodle-alapú oktatási keretrendszert, mely a tananyagok megosztásán kívül az oktató-hallgató kommunikációban, az értékelések lebonyolításában és nyilvántartásában is nagy segítséget nyújt, előnye a korábbi tanszéki rendszerekkel összevetve egyértelműek. A járványhelyzetben kényszerűen alkalmazott távolléti oktatási formák óriási tapasztalatokat nyújtottak, így az új képzésekben alkalmazni tervezett kevert oktatási módszertant már biztos alapokra építhetjük. Ezek teremtik meg a lehetőséget a jövő hallgatói számára az egyéni haladási sebességüknek megfelelő tanulásra, felzárkózásra, és ezek teremtik meg oktatóink számára a lehetőséget a tehetséggondozásra is. Az info-kommunikációs technológiák és oktatási keretrendszerek segítségével a jövő mérnökhallgatói az ismeretanyag egy részét (akár szinkron, akár aszinkron módon) már online formában sajátítják el, míg a gyakorlatokat, laborgyakorlatokat, bizonyos konzultációkat természetesen a jövőben is jelenléti formában, az egyetem falai közt végzik.

A Kar nem csak új képzési programokkal és új oktatási módszertanokkal reagál a kor kihívásaira, 2025-ben teljesen megújult formában kívánjuk indítani minden alap- és mesterképzési szakunkat. Ezek programjait az első szemeszterektől fogva átszövik majd a digitalizációs módszerek és eljárások, így például aki a BIM területén kíván elmélyülni, nem csak a nevesített specializáció keretében teheti majd meg.

4. KONKLÚZIÓ

A BME Építőmérnöki Karának kutatói és oktatói a K+F és ipari tevékenységeiken keresztül követik és értékelik az építőipari digitalizációs folyamatokat, így az ezekhez szükséges kompetenciák átadásához szükséges tananyagot folyamatosan fejlesztik, építik be tárgyaikba. Ezek egy része (mint pl. a CAD-alapú tervezés) jól megalapozott, természetes módon fejlődik, míg más területek (pl. BIM) oktatására kari szintű összefogásra és tantervi módosításra van szükség. Ezeket a Kar széles körű és nagy erőforrások mozgósításával megtette, meglévő képzéseink fejlesztésén túl új képzési programokat hoztunk létre, 2020-ban az Építmény-információs modellezés és menedzsment BSc specializációt, 2021-ben pedig a BIM szakmérnök

szakirányú továbbképzési szakot. A legmagasabb szintű, jelentős fejlesztési kompetenciák átadását is megcélzó képzéseket mesterképzési szak keretében látjuk megvalósíthatónak, 2022-ben indítjuk az Építményinformatikai mérnök mesterképzési szakot.

Az említett tapasztalatok nagy segítséget nyújtanak majd az összes alap- és mesterképzési szakunk programjainak fejlesztésében. Bízunk benne, hogy a mi hallgatóink kapják a legtöbb és leghatékonyabb támogatást ahhoz, hogy az építőipari digitalizációs folyamatok élére álljanak.

5. IRODALOMJEGYZÉK

Lovas T.: Az Építőmérnöki Kar válaszai az építőipari digitalizáció kihívásaira, Mérnök Újság, 2020/II. (<https://epito.bme.hu/hirek/digitalizacioazepitomernokiszakmaban>)

Lovas T.: Építőipari digitalizáció megjelenése a felsőoktatásban, Mérnök Újság, 2021/III. (<https://epito.bme.hu/node/17440>)

Lovas T.: Minden képzési szinten fókuszban az építőipar digitalizációja – új képzések a BME Építőmérnöki Karán, Magyar Építéstechnika 2021/8-9. (<https://epito.bme.hu/node/17674>)

Baráti I.: Új mesterszak az Építőmérnöki Karon, epito.bme.hu, 2021. november 2. (<https://epito.bme.hu/node/17725>)

A BETONTECHNOLÓGIA SZEREPE A 3D BETONNYOMTATÁSBAN

Nehme Salem, egyetemi docens, tanszékvezető, salem.nehme@emk.bme.hu

Szijartó Anna, Ph.D. hallgató, szijarto.anna@emk.bme.hu

Abeidi Ayman, Ph.D hallgató, aymanobidi@gmail.com

BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerkezeti elemek hagyományos kialakítása során a betont zsaluzatba öntik, majd tömörítik. A tömörítési folyamat kiküszöbölésére két alternatív építési módszert dolgoztak ki - öntömörödő és lövellt beton. Az öntömörödő beton alapelve, hogy jelentős térfogatú péppel (cement, kiegészítőanyag és víz) és folyósítószerrel biztosítja a megfelelő konzisztenciát (Okamura, Ouchi; 2003; RILEM Technical Committee, 2006). Az öntömörödő beton felhasználásával történő betonépítéshez azonban ugyanúgy zsaluzat alkalmazása szükséges, amelynek felállításához jelentős időre és munkára van szükség, korlátozza a geometriát, valamint az anyagköltségek minimalizálása végett a zsaluzat újra felhasználása szükséges.

A lövellt beton (Austin, Robins, Goodier, 1999, 2002) egy másik megközelítés a betonelemek készítéséhez, általában az alapanyagok (természetes vagy mesterséges) felhasználásával az ideiglenes zsaluzat kiküszöbölésére. Viszonylag magas cementtartalomra szükséges az adhézió és a felhalmozódási vastagság megkönnyítéséhez, valamint a szállítócsövek belseje körül egy kenő réteg kialakításához. Utóbbi a keverék szivattyúzhatóságának és permetezhetőségének biztosításául is szolgál. A módszer alkalmazásakor a zsaluzat csökken, de az épületelemek alakja és formája nem pontos.

A betonnyomtatás egy innovatív építési folyamat betonalkatrészek gyártására rétegalapú gyártási technikát alkalmazva, amelyet szabad formájú konstrukciónak is neveznek (Buswell R, Soar RC, Gibb A, Thorpe T, 2007; Lim S et al, 2009). Ezzel a módszerrel összetett geometriai alakzatok készíthetők zsaluzat nélkül, így egyedülálló előnye van a hagyományos építési módszerekkel szemben. Röviden, az alkatrészeket térbeli objektumként tervezzük a 3D modellező szoftver segítségével.

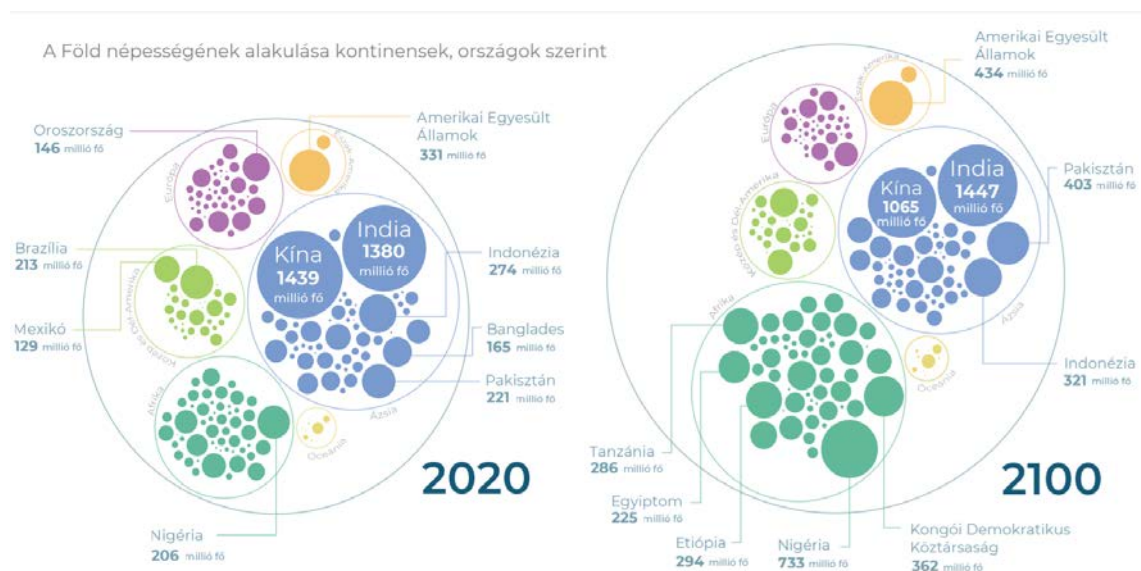
Kulcsszavak: 3D betonnyomtatás, extrudálás, betonösszetétel, rétegvastagság, geopolimer

1. BEVEZETÉS

Az ENSZ előrejelzése szerint 2100-ban 10,9 milliárd ember fog élni a Földön a mostani 7,8 milliárdhoz képest. A növekedés legnagyobb részét az afrikai országok fogják adni. 2100-ra a tíz legnépesebb ország közül öt afrikai lesz. Továbbá a városok lakosságának

fele nyomornegyedekben él, amely nagy problémát okoz minden országnak. Mindezekon kívül az országokon belüli, a jobb élet reményében történő vándorlás a városokba is idézhet elő lakhatási nehézségeket.

Az éghajlatváltozás (pl. CO₂ kibocsátás okozta üvegház hatás) és a természeti katasztrófák (árvizek, belvizek, földrengések) sok országnak okozhatnak jelentős problémákat. Az alapanyagok készletcsökkenése pedig a felhasznált mennyiségek minimalizálását teszi szükségessé, ami miatt a kutatók feladata új technológiák keresése, kialakítása és azok alkalmazás lett.



1. ábra: www.ksh.hu/infografika/2020/nepesedesi_vilagnap_2020.pdf

2. AZ ÉPÍTŐIPAR PROBLÉMÁI ÉS JÖVŐBENI FELADATAI

Az alábbi pontokban a jelenlegi építőipari problémáit soroljuk fel:

- Munkaerő hiány, sok esetben képzetlen munkaerő
- Alacsony szintű gépesítés
- Alapanyag hiány
- Szállítás akadozása
- Növekvő költségek
- Növekvő építkezési kedv, melyet az ipar nem tud lekövetni

3. 3D BETONNYOMTATÁS TECHNOLÓGIÁJA

A 3D betonnyomtatás technológiája összetett feladat, hiszen nem csak a receptúra előállítására van szükség, hanem annak megfelelő működése és kivitelezése is, ezért az alábbiakban felsoroljuk az alapfeltételeket a működéshez:

- Megfelelő kiindulási betonösszetétel előállítása és annak módosítása a helyi alapanyagok függvényében
- Keverőgép (helyszínen vagy transzport beton), melyek közül elsősorban a mobil keveréshez tervezzük az összetételeket
- Szivattyú gép + automatizált kar (robotkar) összehangolása az összetétellel és a fej irányítási sebességével

- Jól képzett szakember, aki megfelelően tudja irányítani és kezelni a rendszert, de a betontechnológiai problémák kezeléséhez is ért valamilyen szinten
- Képzett betontechnológus, aki bizonyos szinten ért az irányítástechnikához is, elkerülve a jelentős rétegek nyomásnövekedését és a kapcsolódó szegregációt

4. BETONNAL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

A frissbeton bedolgozhatósága és eltarthatósága fontos szempont a 3D betonnyomtatásnál, a frissbeton konzisztenciája és tömörsége (tömörítés nélküli testsűrűség és levegőtartalom) befolyásolja a beton nyomószilárdságát és tartósságát. A beton struktúrája is hatással van a beton szilárdságára és tartósságára, amit elsősorban az alapanyagok és ezek keverési arányai, valamint a cementkő és adalékanyag közötti és a rétegek közti tapadás befolyásolnak. Ezekon felül a cementkő pórustartalma, a pórusainak mérete és eloszlással fejt ki hatást a szilárdságra és a tartósságra.

A beton tartóssága a frissbeton bedolgozhatóságának módjától, a konzisztenciától és a levegőtartalomtól függ, így a tömörítésnek vagy lövellt beton esetén a lövésnek kiemelt szerepe van a minél kisebb a levegőtartalom elérésében. A 3D nyomtatás során a megfelelő levegőtartalmat a megfelelő konzisztencia és a csőben lévő nyomás tudja biztosítani. Ez általában magasabb, mint a tömörített beton esetén, így nagyon fontos a kisebb v/c tényezővel való kompenzálás.

A fentiek alapján ellenőrizni kell a beton összetételeket, figyelembe véve a technológiát:

- Optimális konzisztencia (a beton vizsgálatának módjára még nem állnak rendelkezésre megfelelő előírások és irányelvek)



2. ábra: Konzisztencia vizsgálat terülméréssel (saját fotó)

- Kötés gyorsítás módja (cement fajttal és/vagy kötésgyorsító adalékszerek)
- Maximális bedolgozhatóság és eltarthatóság időtartama
- Megfelelő stabilitás, selejt anyag csökkentése
- Rétegek közti kohézió biztosítása, megfelelő tapadás
- Megfelelő nyomószilárdság és tartósság (betonacél korróziója)

4.1 Betonösszetétel

A betonösszetétel tervezése során a következőket kell figyelembe venni:

- Cement (milyen fajta és mekkora mennyiségű cementet kell alkalmazni a rétegek közötti jobb tapadás biztosítása érdekében figyelembe véve az időközbeni dermedést, valamint a beton rétegek saját tömegének teherbírását)
- Adalékanyagok (D_{max} , szemmegoszlási görbe, finomsági modulus)
- Víz (víz-cement tényező, víz mennyiség, szilárdsági és tartóssági kérdések végett)
- Kiegészítőanyagok fajtája (I. vagy II. típusú) és mennyisége
- Adalékszerek (Folyósítószer: viszkozitásmódosító szer (VMA) használatát a megfelelő tézstaszerű reológia elérése érdekében, stabilizáló, kötégysorsító, zsugorodáscsökkentő: a beton zsugorodása nagyobb lesz a tömörítés hiánya miatt, tömítőanyagok, tapadóhíd, hidrofobizáló szer)
- Szálak adagolása: a gyártási folyamat befolyásolja a szálak elrendezését és a levegő kiszorítását.

Több kutató foglalkozik geopolimer betonnal, melynek alkalmazása a 3D nyomtatásnál több energiát igényel a lassú kötés és szilárdulási folyamat megvalósítása miatt.



Pernye



Kohósalak



NaOH v. KOH



Vízüveg

Lúgos közegben történő aktiválásával állíthatók elő



Pernye



Metakaolin



MgO



Foszfát

Savas közegben történő aktiválásával állíthatók elő

3. ábra: A geopolimerek szervetlen, polimer szerkezetű anyagok, melyek lúgos vagy savas közegben történő aktiválásával állíthatók elő

A pernye alkalmazása esetén a mennyiség kérdéses lehet beszerzés esetén, mivel a széntüzelésű erőművek leállása folyamatosan zajlik Európában a CO₂ kibocsátás miatt. Ezen felül az is kérdéses, hogy technológia és költség szempontjából mennyire versenyképes a hagyományos betonnal szemben.

4.2 Betonösszetétel, technológia és tervezés

A technológia befolyásolja a beton összetételét, emiatt a következő tényezőket kell figyelembe venni:

- A bedolgozás térszzerűen történik, a rétegek nem süllyedhetnek és nem töppedhetnek csak minimálisan, a rétegek szélei ne nyomódjanak ki (megfelelő dermedés)



5. ábra: Rétegek megfelelő bedolgozása

- Kar mozgatása (sebessége, két réteg közötti időtartam)
- Kar mozgatása és a cső kapacitása (átmérője és végének jellege), továbbá a nyomtatás folyamatossága, a rétegek állandó vastagsága
- A szerkezet vasalása
- Rétegek közötti tapadás: alacsony százalékos kalcium-aluminát cementbevonat a rétegek közötti adhézió javítása és a viszkozitás-fejlődési sebesség szabályozása érdekében, amelyet a nyitott idővel kell egyensúlyba hozni

A szerkezetek stabilitása miatt megfelelő BIM alkalmazása szükséges, hiszen utólagos mozgástér nem feltétlenül biztosított (pl. fúrás, vágás, bontás).



6. ábra: TDK munka során alkalmazott 3D nyomtató (Krepler B., Takács P., 2018)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

- A jelenlegi betonépítési technológiák mellett teret hódít a 3D nyomtatással történő automatizálás, hogy:
 - kiküszöbölje a zsaluzást,
 - és lehetővé tegye az összetett 3D geometriák létrehozását,
 - minimális idő és emberi beavatkozás mellett.
- A sikeres megvalósítás és a szerkezeti robusztusság érdekében
 - megfelelő anyagokat kifejlesztése szükséges a lerakáshoz vagy a nyomtatási gyártási rendszerekhez,
 - tanulva az extrudálás és a lövellt beton megfelelő analóg technológiáiból.
- A megfelelő mérnöki tervezés érdekében elengedhetetlen a megszilárdult beton tulajdonságok jellemzése.
 - Ezeket a keverékterveket szisztematikusan alkalmazni kell,
 - a helyi anyagokhoz,
 - a költségekhez
 - és a nyomtatótulajdonságokhoz megfelelő kiigazításokkal,
 - biztosítva a helyi anyagrészeknek megfelelő osztályozását és reológiai tulajdonságait:
 - az extrudálhatóság (a fúvókán való áthaladás),
 - az építhetőség (a rétegbeton megtartásának képessége),
 - az anyagok nyírószilárdsága, valamint a dermedési ideje.

A végső cél, hogy 3D betonnyomtatással a szerkezeti és építészeti alkalmazásokban meghatározott viselkedésre tervezhessük az anyagokat.

- Végül, az anyagtulajdonságok fontossága mellett a 3D-s betonnyomtatáshoz összetett rendszerre van szükség:
 - megfelelő vezérléssel az anyag pontos lerakásához,
 - miközben megőrzi a megkívánt mérnöki tulajdonságait.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzői köszönetet mondanak az VKE 2018-1-3-1_0003 “Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése” című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- Austin SA, Robins P, Goodier CI (1999): „The rheological performance of wet-process sprayed mortars”. Mag Concr Res 51:341–352
- Austin SA, Robins P, Goodier CI (2002): „Construction and repair with wet-process sprayed concrete and mortar”. Technical Report 56. The Concrete Society UK
- Buswell R, Soar RC, Gibb A, Thorpe T (2007): „Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction”. Autom Constr 16:224–231
- Krepler Benedek, Takács Péter (2018): „Kísérleti 3D betonnyomtató tervezése és vizsgálata” TDK munka,
- Lim S, Le T, Webster J, Buswell R, Austin S, Gibb A, Thorpe T (2009): „Fabricating construction components using layer manufacturing technology”. Proc Int Conf Glob Innov Constr, Loughborough, pp 512–520
- Okamura H, Ouchi M (2003): „Self-compacting concrete”. J Adv Concr Technol 1:5–15

RILEM Technical Committee (2006) Final report of RILEM TC 188-CSC „Casting of self compacting concrete”. Mater Struct 39:937–954 Materials and Structures (2012) 45:1221–1232 1231

8. www.ksh.hu/infografika/2020/nepesedesi_vilagnap_2020.pdf

3D NYOMTATOTT HÁLÓVAL ERŐSÍTETT BETON

Kasik Tamás, PreBeton Zrt.

Dr. Sólyom Sándor, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Dr. Balázs György László, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

SUMMARY

A XX. század végei gyártástechnológiák gyors fejlődése új gépek és technológiák megjelenését is eredményezte. Ezek közé tartozik az 1980-as években megjelent 3D nyomtatás is. Néhány évvel ezelőttig ez a technológia csak prototípus előállítására alkalmas gyártási folyamat volt. Azonban a 3D nyomtatók 2010-es évek elején szélesebb körű elterjedése lehetőséget adott a 3D nyomtatás új területekre történő beintegrálására és szerteágazóbb ipari alkalmazására.

Ebben a cikkben rövid betekintés adunk a 3D nyomtatás világába és a 2020. őszi félévében dr. Sólyom Sándor úr és dr. Balázs György úr közreműködésével, készített betontechnológus szakmérnöki diplomamunkámba, mely során 3D nyomtatott hálókkel és szövetekkel erősített lemez alakú beton próbatestekkel végeztünk kísérleteket.

Kulcsszavak: Additive Manufacturing, 3D nyomtatás, FFF nyomtatás, diplomamunka, háló erősítés, szövet erősítés.

1. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás ötlete már az 1950-es években felmerült, de gyakorlati fogalomként csak 1980-ban vált, amikor dr. Hideo Kodama bejegyezte „3 dimenziós modell hőre keményedő polimerből történő előállítása”-ra vonatkozó szabadalmát, ami lényegében az első SLA (Stereolithography) nyomtató tervének elképzelése volt. Az első működőképes SLA nyomtató szabadalmát azonban csak 1986-ban védette le Charles Hull a 3D Systems társalapítója.

Az 1990-es években több új szabadalom is megjelent, 2009-ben pedig az első FDM (Fused Deposition Modeling) nyomtató – termoplasztikus műanyag nyomtatás - szabadalmát is bejegyezték.

Az első 10 000 \$ alatti nyomtató 2004-ben jelent meg a piacon, és a gépek ára azóta is folyamatosan csökken.

Napjainkra már a középkategóriás, jó minőségű nyomtatók ára 100 000 Ft alá csökkent így bárki otthon, az íróasztala mellől képes előállítani készterméket.

Nap mint nap jelennek meg új típusú és felépítésű nyomtatók, valamint megjelentek a kerámia, fém-, étel- és betonnyomtatás gépei is, bár ezek még nem a mindennapos használatban.

A technológia gyors fejlődése miatt, egyes szakmai kifejezésekre a magyar nyelvben nem is születtek megfelelő fordítások, ezért ezeket a továbbiakban eredeti angol elnevezésük alapján mutatjuk be.

A 3D nyomtatás széleskörű elterjedése lehetőséget ad új innovációk kifejlesztésére. A diplomamunka is erre tett kísérletet.

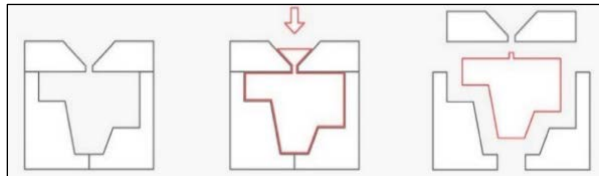
2. GYÁRTÁSI TECHNOLÓGIÁK

A modern gyártási technológiák az alábbi három csoportba sorolható be:

Formative Manufacturing [FM]

Az alapanyagot előre elkészített formába juttatjuk, és így állítjuk elő a kész terméket (1. ábra).

Ezzel a módszerrel a nagy mennyiségben, kevés eszközzel, olcsón lehet terméket előállítani. - a betonozás is ebbe a kategóriába tartozik. (Például kézi: korongozás, öntés; gépi: fröccsöntés, vákuumformázás.)

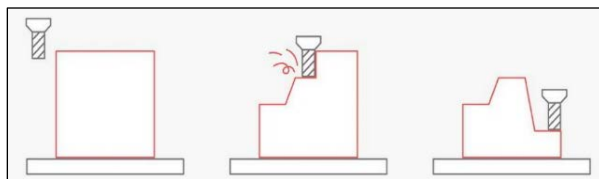


1. ábra: Formative Manufacturing (Ben, Filemon és Brian, 2017)

Subtractive Manufacturing [SM]

Alapanyagtömbből, kimunkálással állítjuk elő a készterméket.

Viszonylag egyszerű formák nem nagy mennyiségben történő előállítására a legalkalmasabb, leginkább fémalkatrészek előállításra használjuk (2. ábra). A technológia hátránya, hogy nagy anyagvesztéssel jár. (Például kézi: faragás, vésés; gépi: esztergálás, marás, vágás.)

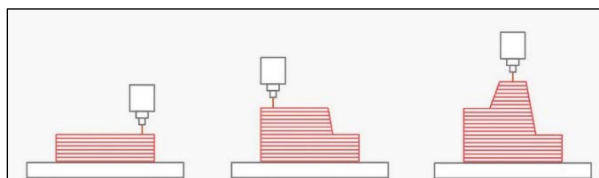


2. ábra: Subtractive Manufacturing (Ben, Filemon és Brian, 2017)

Additive Manufacturing [AM]

Az alapanyagot a késztermék alakjára formáljuk át (3. ábra).

Kis számú, többnyire prototípus gyártásra vagy nagyon bonyolult testek előállítására alkalmas módszer (például gépi: **3D nyomtatás**)



3. ábra: Additive Manufacturing (Ben, Filemon és Brian, 2017)

Napjainkig a gyártási folyamatok többsége a *Formative Manufacturing* és *Subtractive Manufacturing* kategóriákba tartoznak, de a 20. század végén jelentős előrelepések történtek az *Additive Manufacturing* széleskörűbb elterjedésében is. Ennek az az oka, hogy amíg az előbbieket a sorozatgyártásban hasznosíthatók a leginkább, az utóbbi eddig inkább csak a prototípusgyártásban volt elterjedt.

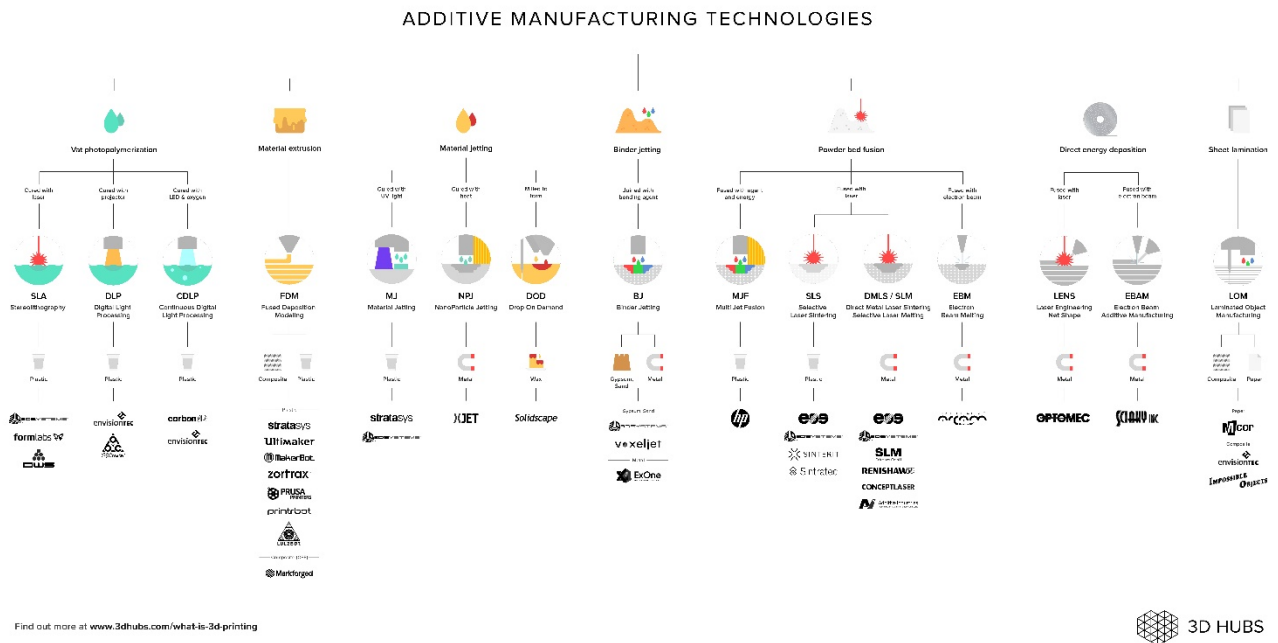
Az *Additive Manufacturing* technológia hátránya azonban a másik két gyártási technológiához képest, hogy még azoknál a gyártási költségek a gyártandó elemek számával megegyezően exponenciálisan csökkentek, addig az Additive Manufacturing-el előállított termékek költsége

minden elemnél azonos. Előnye viszont, hogy kisebb erőforrás igénye van és ezzel a technológiával – esetenként – az anyagveszteség nullára is csökkenthető.

3. 3D NYOMTATÁS

Annak ellenére, hogy a 3D nyomtatási technológiák nagyban eltérnek egymástól, alapvető metodikájuk megegyezik. 3D nyomtatás során egy számítógép vezérelt gép, az alapanyagból egy munkafelületre, X-Y síkon, rétegről rétegre építi fel (Z tengelyen) a készterméket és a rétegeket valamilyen módon egymáshoz köti. Ebből következően a végeredmény paraméterei sokban függenek a nyomtató szoftveres és hardveres adottságaitól.

A 3D nyomtatási technológiákról a 4. ábra nyújt áttekintést.



4. ábra: 3D nyomtatási technológiák (Sher, 2016)

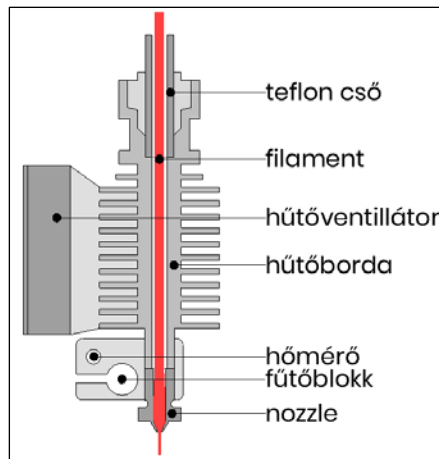
A legelterjedtebb és legolcsóbb nyomtatási mód a *Fused Deposition Modeling (FDM)* vagy *Fused Filament Fabrication (FFF)* (7.ábra)

Ez a technológia egy tekerceses szálanyagból – másnéven filament-ből – történik a nyomtatás (5.ábra).



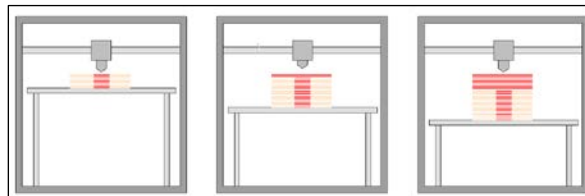
5. ábra: Filament tekerces-(Ultra Shop, 2020)

A műanyag szálát a nyomtató fejbe adagolja egy motor, ahol a fej „hotend” (6.ábra) nevű részébe kerül. Ez a szerkezet felel azért, hogy a filament a megfelelő hőmérsékletre (190-250 °C) felmelegedjen, megolvadjon és fúvókán (nozzle) keresztül a munkaasztalra juthasson.



6. ábra: „Hotend” kialakítása

Miután a műanyag elhagyta nyomtatófejet és rákerült az általában fűtött munkaasztalra, léghűtés segítségével gyorsan lehűl és megdermed, így megtartva a réteg mintázat alakját.



7. ábra: FDM/FFF nyomtatás folyamata

4. 3D NYOMTATÁS FOLYAMATA

A 3D nyomtatás főbb fázisai az alábbiak:

CAD modell elkészítése

A nyomtatási folyamat legelső lépéseként a kívánt forma virtuális, CAD (Computer-aided design – „számítógép által támogatott tervezés”) modelljét kell előállítanunk.

Erre bármilyen 3D tervező program alkalmas lehet, például: Fusion 360, AutoCad, Archicad stb.

A modellt a választott nyomtatási módhoz érdemes optimalizálni, hogy elkerüljük a későbbi nyomtatási problémákat vagy esetleg a teljes nyomtatás megghiúsulását. Fontos ezért figyelembe venni a nyomtatáshoz használt hardware és software korlátait.

Az elkészített modellt a *Slicer* szoftverünknek (szeletelő programnak) megfelelő formátumba kell kiexportálnunk. Ez általában lehet stb. .obj vagy .3mf formátum.

Nyomtatásitechnológia és anyag megválasztása

Miután előállítottuk a modellt, el kell döntenünk milyen nyomtatási technológiával, illetve a technológiával kompatibilis anyagból akarjuk előállítani a kész terméket. Ez azért fontos mert különböző anyagok, különböző beállítással nyomtathatók, sőt ugyan az az anyag más nyomtatón más beállításokat igényelhet.

Modell felszeletelése

Az elkészített modelltől a szeletelő program segítségével nyomtatási rétegeket képezünk, amely alapján a nyomtató felépíti a tényleges fizikai elemet. Legismertebb szeletelő programok: Cura, Prusa Slicer, Simplify 3D.

Az anyagmegtakarítás érdekében a szeletelő program üreges testként kezeli a modelleket, azonban lehetőség van 100% anyag kitöltés vagy különböző mértékű belső merevítő rács létrehozására is.

Nyomtatás megkezdése – pl. műanyag nyomtatás esetén – előtt be kell állítanunk a következőket:

- Layer height a szeletelő síkok magasságát, vagyis a nyomtatott rétegek magasságát
- Line width a nyomtatási réteg szélessége, a nyomtatóból kinyomott műanyag szál szélességét (mérete és nyomtató fej fizikai mérete határozza meg)
- Wall thickness üreges modell falának vastagságát (a Line width egész számú többszöröse)
- Top and Bottom thickness = záró felületek vastagságát
- Infill belső merevítés (%-os beállítással)
- Speed nyomtatási és mozgási sebességét
- Temperature a munkaasztal és a nyomtató fejhőmérsékletét
- Support modell alátámasztásának mértékét és paramétereit
- Cooling hűtés mértékét és időzítését
- stb.

G-code előállítás

A nyomtatási rétegek fizikai dimenzióit át kell konvertálnunk egy olyan nyelvre, amit a 3D nyomtató megért és letud követni. Ez a CAM (Computer-aided manufacturing – „számítógép által vezérelt gyártás”) gépek által használt nyelvrendszer a G-kód (G-code). A kód generálást a szeletelés után a szoftver végzi el.

Nyomtatási folyamat előkészítése

A nyomtatás megkezdése előtt a technológiának és anyagnak megfelelő intézkedéseket kell tennünk. Ebben a fázisban állítjuk be a megfelelő hőmérsékletet a nyomtatáshoz, betöltjük a nyomtatóba az alapanyagot és elvégzünk minden olyan lépést, ami garantálja a sikeres gyártást.

Nyomtatás

Nyomtatási folyamat közben nincs egyéb teendőnk, mint figyelni, hogy mindig rendelkezésre álljon elegendő alapanyag a gép számára és hogy megakadályozzuk bármiféle rendellenességet, ami befolyásolhatja a nyomtatási folyamat sikerességét.

Utókezelés

Utókezelés során eltávolítunk minden segéd alátámasztást, és minden esetlegesen kialakult hibát kijavítunk. Bizonyos anyagok igényelhetnek speciális utókezelést (pl: felület tisztítás, hőkezelés, UV kezelés).

5. DIPLOMAMUNKA ISMERTETÉSE

Jelen diplomamunka során azt vizsgáltuk, hogy van-e pozitív hatása a 3D nyomtatott háló és térrács erősítésnek a beton teherbírására és milyen arányban van ez a hatás a piacon kapható egyéb termékekkel.

5.1. Kísérletsorozatok

A diplomamunka során két kísérletsorozatot tervezünk meg és végeztünk el.

Az első kísérletsorozatban hálós és textilerősítésű beton próbatestek hajlító-húzószilárdságát vizsgáltuk.

A második kísérletsorozatban a 3D nyomtatott térráccsal kiegészített próbakockák nyomószilárdságát és törésképét elemeztük.

A vizsgálatokhoz az 1. táblázatban látható betonreceptúrát használtuk fel.

1. táblázat: Kísérlethez használt betonösszetétel

Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg, kg/m ³	Térfogat l/m ³
Adalékanyag	0/1 mm frakció	100.0%	1218	461
Cement	CEM III/A 32.5 R-MSR		559	180
Mészkelet			203,4	76
Szilikapor			61	24
Víz	$m_w/m_c =$	39.9%	223	223
Adalékszer (cem. m%)	BASF Glenium C300	2.16%	12	12
	Sika 4R	0,23%	1,32	1,32
Levegő			--	23
Összesen			2277,7	1000

A kísérlethez a következő lista szerint 3-3 próbatest készült minden esetben. Összesen 36 db próbatest készült.

1. etalon, beton bármilyen erősítés nélkül
2. PLA négyszögrács
3. PLA hatszögrács
4. PLA dupla hatszögrács
5. ABS négyszögrács
6. ABS hatszögrács
7. ABS dupla hatszögrács
8. Dryvit üvegszövet hálós
9. üvegszövet
10. bazaltszövet
11. szénszövet
12. szén-kevlárszövet.

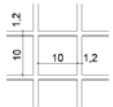
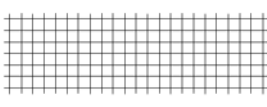
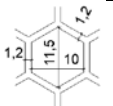
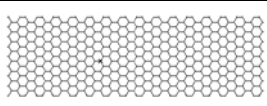
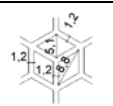
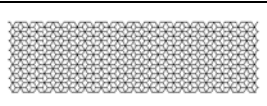
5.2. Nyomatott hálók

2. táblázat: Felhasznált filament tulajdonságai

Anyag neve	Szál átmérő mm	Szín	Ajánlott nyomtatási hőmérséklet:	Ajánlott munkaasztal hőmérséklet
Sunlu PLA	1,75	Cián	190-220 °C	60-70 °C
Sunlu ABS	1,75	Fehér	220-240 °C	80-90 °C

A háló és rács nyomtatását egy Anycubic i3 Mega nyomtatóval végeztük. Hálók mintázat szerint négyzet, hatszögrács és dupla hatszögrács mintával kerültek kialakításra. (3. táblázat) A rácsszál szélesség a nozzle (0,4 mm) háromszorosa, azaz 1,2 mm. Ez azt jelenti, hogy minden egyes rácsszál 3 párhuzamos nyomtatott szálból áll. A háló nyomtatási iránya, a háló hossz irányával megegyező. A nyomtatási réteg magassága (vastagsága) pedig 0,1 mm rétegmagassággal készült, össz magassága 0,3 mm, azaz 3 rétegben lett kinyomtatva.

3. táblázat: Nyomatott hálók méretei

Név	Rács méret (mm)	Háló minta
négyzet - N		
hatszög - H		
dupla hatszög - DH		

5.3. Szövetek

A kísérletsorozatban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemnek a VKE 2018-1-3-1_0003 "Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése" című pályázat által biztosított szöveteket is használtunk.

4. táblázat: felhasznált szövetek tulajdonságai

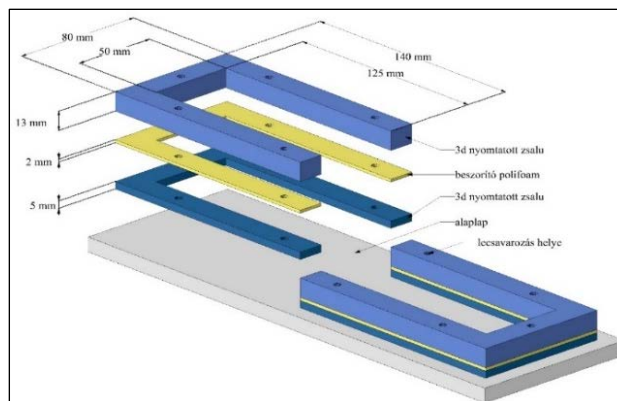
Szövet neve/anyaga	Szövés	Szál szélesség	Száltávolság	Háló vastagság	Súly/m ²
üveg (Dryvit háló)	-	~1,05 mm	~5,3 mm	~0,35 mm	145 g
üveg	zsák szövés	~3,0 mm	~4,5 mm	~0,5 mm	580 g
bazalt	köper szövés	~0,8 mm	~0,8 mm	~0,1 mm	160 g
szén	köper szövés	~2,0 mm	~2,0 mm	~0,2 mm	200 g
szén-kevlár	atlasz szövés	~1,5 mm	~1,5 mm	~0,2 mm	165 g

5.4. Próbatest zsaluzata

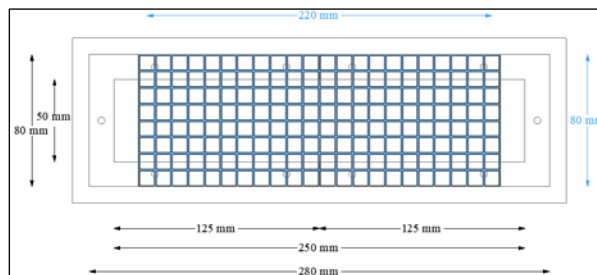
A kísérlethez használt próbatestek mérete (hossz x szélesség x magasság): 250 mm x 50 mm x 20 mm.

A próbatest előállításához az 8. ábrán látható kilenc darabból álló saját készítésű, nyomtatott műanyag zsaluzatot használtuk. A szerkezet egy alaplapra csavarozott, két U alakú részből áll, amelyek külön-külön 3-3 különböző szegmensre bonthatók. Mind két rész egy felső 13 mm magas 3D nyomtatott elemből, egy közbső beszorító polifoam csíkból és egy alsó 5 mm magas 3D nyomtatott elemből épült fel.

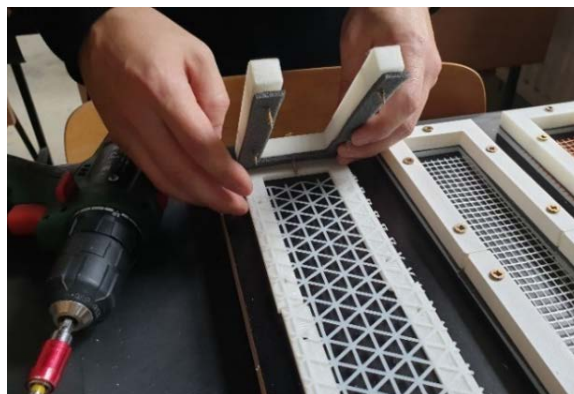
Az alaplapra közvetlenül felfekvő 5 mm magas zsaluelem biztosította a hálók egyenes és párhuzamos elhelyezését a próbatestben, illetve segítségével biztosítható az egyenletes betonfedés, a felső elem pedig a hálók rögzítésére szolgált (9. ábra). A két műanyag elem közé kerültek elhelyezésre a hálók a beszorítóhabcsík alá. A két rész megfelelő tömítéséről a beszorító polifoam gondoskodott. Az egész szerkezet lerögzítése a zsaluzat falába elhelyezett 10 db csavar segítségével történt (10. ábra).



8. ábra: Próbatest zsaluzatának felépítése, ami műanyag nyomtatással készült



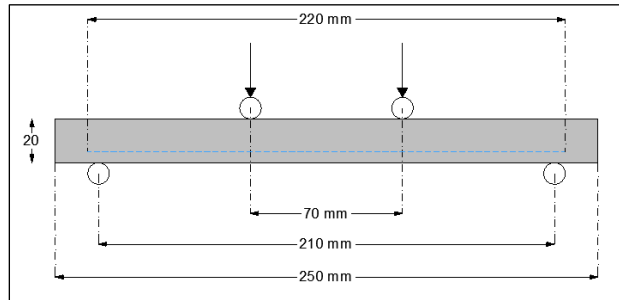
9. ábra: Háló elhelyezkedése a zsaluzatban



10. ábra: A műanyag nyomtatással készült zsalu összeállítás

5.5. Terhelési séma

A hajlító-húzószilárdság vizsgálatot hét napos korban (kizsaluzás után végig víz alatt tárolva), harmadpontos terheléssel végeztük el (11. és 12. ábra). A későbbiekben látható diagram ordináta tengely (erő tengely) értéke a teljes terhelést, azaz a két ponton leadott erőt jelenti. Az abszcissa tengely (elmozdulás tengely) a terhelőberendezés keresztfej elmozdulását mutatja.



11. ábra: Próbatess terhelési sémája

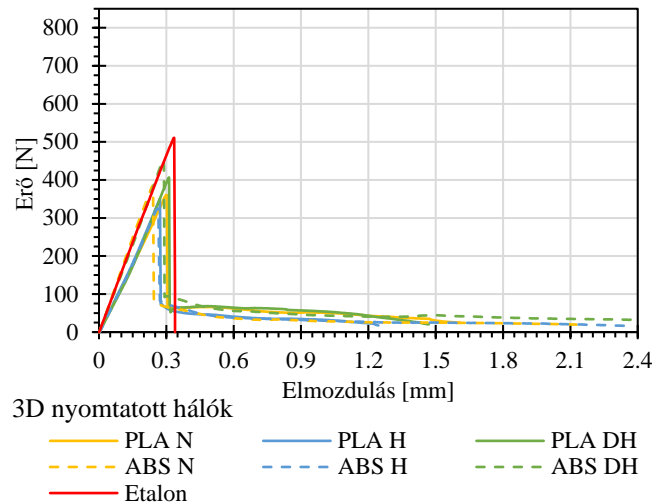


12. ábra: Próbatess terhelése

5.6. Vizsgálati eredmények kiértékelése

Nyomtatott hálók

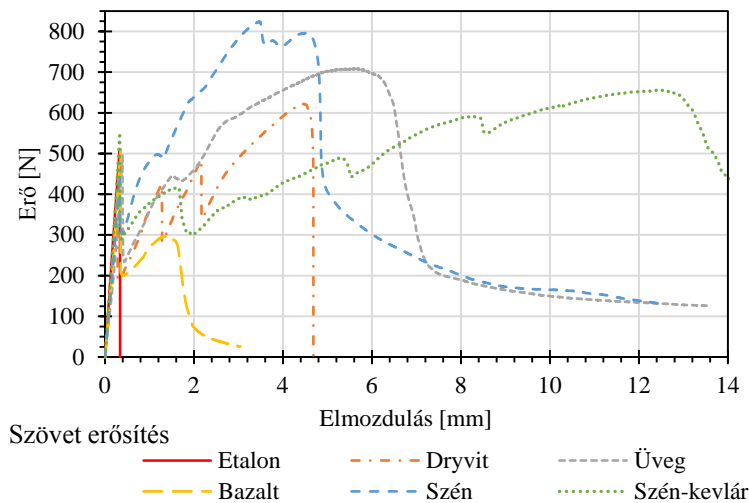
A 3D nyomtatott hálók erő-elmozdulás görbéin látható (13. ábra), hogy a próbatess hajlítási teherbírása csökkent a betétek hatására. A beton elrepedése után minimális a maradt a teherbírás. A vizsgált PLA és ABS anyagú hálókkal készült próbatess eredményei között különbség nem volt látható. A vizsgált hálók mintázata és teherbírás között minimális összefüggés volt tapasztalható. A sűrűbb rácstávolság esetén nagyobb volt a berepedés utáni teherbírás.



13. ábra: 3D nyomtatott hálóval erősített próbatetek d/e ábrája. Jellegzetes görbe az egyes sorozatokból.

5.7. Szövet erősítés

Szövet erősítésű próbateteknél nagyon eltérő eredmények mutatkoztak (14.ábra). Kiemelkedő teherbírást a szén szövettel erősített próbatetek esetében figyelhattunk meg.



14. ábra: Szövettel erősített próbatetek d/e ábrája. Jellegzetes görbe az egyes sorozatokból.

Terhelés közben mind az üveg, a szén és szén-kevlár szövetnél tapasztalható volt a betonfedés „lemezes” leválása a próbatest húzott oldalán (15.ábra). Feltételezhetően a sűrű szövés és a szálak felületi adottságai miatt a beton nem volt képes megfelelő együttműködést kialakítani a szövetszerkezettel.



15. ábra: Szövet erősítésű próbatest tönkremenetele

6. NYOMOSZILÁRDSÁG VIZSGÁLATI KÍSÉRLET

A második kísérlet sorozatban 3D nyomtatott térhálóval kiegészített próbakockák nyomószilárdságát és törésképét vizsgáltuk.

6.1. Kísérleti paraméterek

A kísérlethez 15 db mintát készítettünk, minden nyomtatott anyagtípushoz 3 próbatestet.

Próbatest lista:

1.	etalon kocka	3db
2.	3D nyomtatott PLA Gyroid rács	3db
3.	3D nyomtatott PLA Schwarz P rács	3db
4.	3D nyomtatott ABS Gyroid rács	3db
5.	3D nyomtatott ABS Schwarz P rács	3db.

A próbatestek előállításához az első kísérletsorozatban használt betonreceptúrát (*1.táblázat*) használtuk fel.

Térrács kialakítása

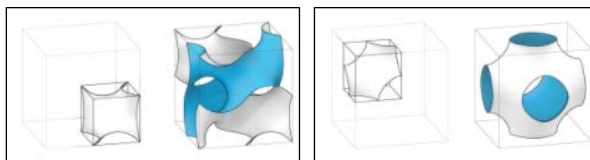
A kockába elhelyezendő térrács minimális felület leképezésével lett kialakítva. „A matematikában a minimálfelület olyan felület, amely lokálisan minimalizálja a felületét. Vagyis olyan felület, aminek átlagos görbülete zérus” (Wikipedia, Minimálfelület 2020.). Két felhasznált felület a *Gyroid és Schwarz P* felület (*16. és 17. ábra*). „A gyroid felülete egy háromszoros, periodikus minimális felület, amelynek nincsenek szimmetriasíkjai és nincsenek beágyazott egyenesek. Van C3 szimmetriatengelye (az egységsejt átlója mentén) és négyszeres roto-inverziós tengelye” (The Gyroid Triply Periodic Minimal Surface. Facstaff, 2020.). Schwarz P „két, egymással összefonódó, egybevágó labirintussal rendelkezik, amelyek mindegyike az egyszerű köbös rács felfűjt csöves változatának alakja. Míg a standard P felület köbös szimmetriájú, az egységcella bármilyen téglalap alakú doboz lehet, és minimális felületekből álló családot állít elő ugyanazzal a topológiával” (Wikipedia, Schwarz minimal surface, 2020.)

Azért e két térháló lett kiválasztva, mert felületei elősegítik a beton bejutását a legkisebb résekbe is, illetve a nyomtatás során alátámasztás (azaz anyagvesztés nélkül) kinyomtathatóak. A minimál felületek 3D modelljei, matematikai képletek alapján Rhinoceros 3D - Grasshopper programmal készültek.

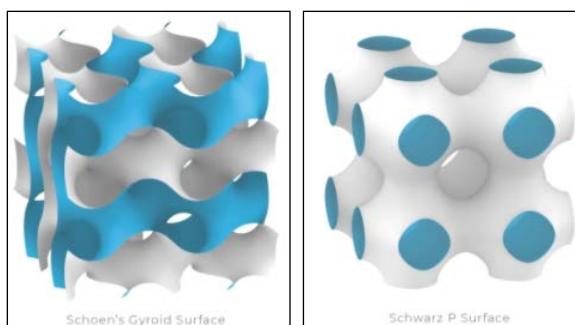
Gyroid: $\cos(x) \sin(y) + \cos(y) \sin(z) + \cos(z) \sin(x) = 0$

Schwarz P:

$$\cos(x) + \cos(y) + \cos(z) = 0$$

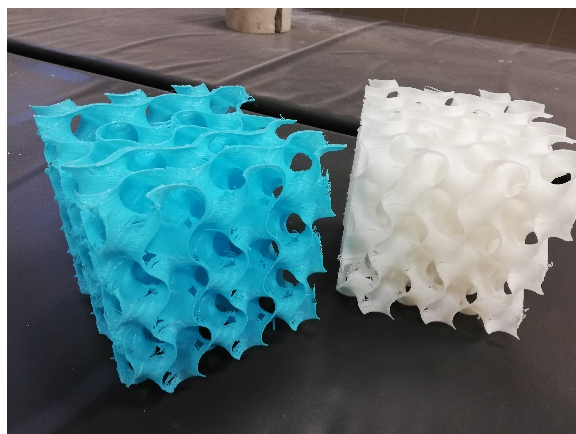


16. ábra: Minimál felület 3D „sejtje” (Wordpress, 2020.)



17. ábra: Több 3D sejtből felépülő 3D rács vázlata (Wordpress, 2020.)

A 3D nyomtatott hálók Sunlu PLA Cián filament és Sunlu ABS Fehér filament anyagból készültek és Anycubic i3 Mega nyomtatóval kerültek kinyomtatásra az 1. kísérleti sorozatban használt síkhálókhhoz hasonlóan.



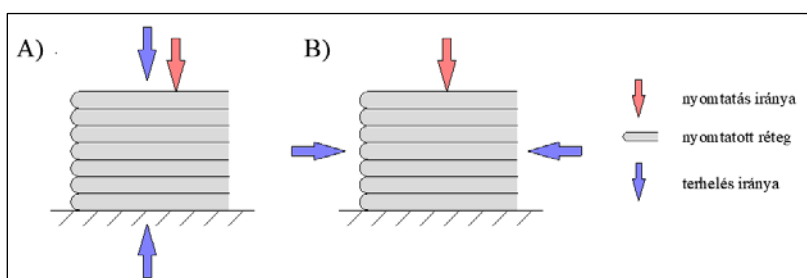
18. ábra: Gyroid (bal) és Schwarz P (jobb) kinyomtatott rács

A térrács mindegyike 130 mm x 130 mm x 130 mm méretben lett kialakítva (18.ábra). Ahhoz, hogy öntésközben a belső rács ne tudjon elmozdulni egy 3D nyomtatott központosító keresztet használtunk. A kereszt közvetlenül a kocka zsalu élére ül fel, és 5 mm távolságot tart a próbatest felületétől. A térrács ehhez a kereszthez lett hozzárögzítve 4 db, 15 mm hosszú filament szállal, a zsalu fenéklemezétől pedig 4 db, 10 mm hosszú filament távtartószál biztosítja a térrács egységes betonfedését (19. ábra).



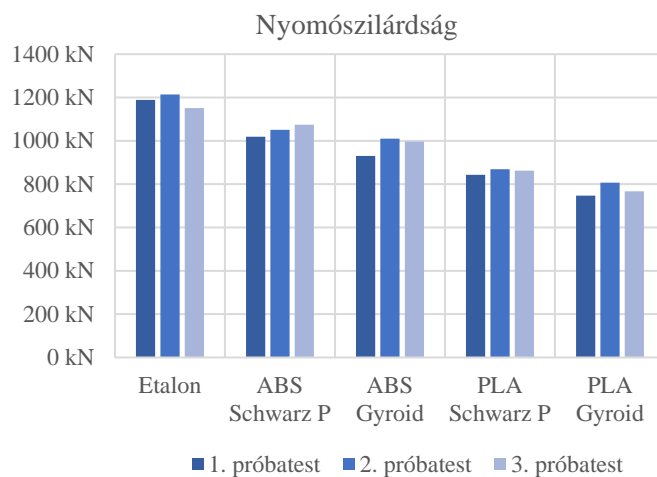
19. ábra: Próbakocka öntése

A nyomószilárdság vizsgálatnál a próbakockákban lévő 3D rács, nyomtatási irányával megegyező (A) irányban történt a próbatest terhelés (20.ábra).

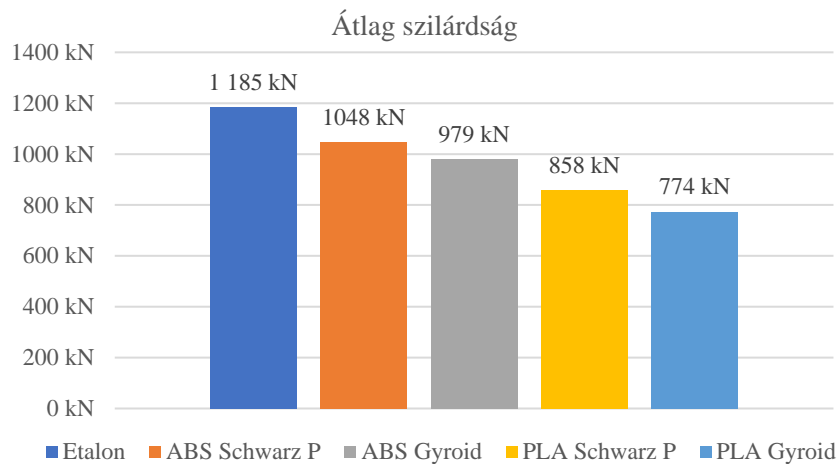


20. ábra: Nyomtatás irányával megegyező és nyomtatási irányra merőleges terhelés vázlatja

A nyomószilárdsági vizsgálat eredményeit a 21. és 22. ábra foglalja össze:



21. ábra: Próbakockák törési eredményei egy hetes korban



22. ábra: Próbakockák átlag nyomószilárdsága egy hetes korban

6.2. Vizsgálati eredmények kiértékelése

A kísérleti eredményekből jól látható, hogy a nyomószilárdság tekintetében a próbatestbe helyezett 3D műanyag háló, nem tudta segíteni a próbatest teherbírását. Ezzel ellenkezőleg gyengítette azt. A hajlító-húzószilárdsághoz képest azonban itt már megfigyelhető volt anyagbeli és forma belső eltérés. Látható volt, hogy az ABS anyag szilárdsága nagyobb a PLA-hoz képest és a Schwarz P mintázat erősebbnek bizonyult a Gyroid mintánál. A próbatestek törésképén nem mutatkozott lényeges különbség az etalon beton törésképéhez képest.



23. ábra: Terráccsal erősített próbakocka törésképe

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A cikk célja a betontechnológia és a 3D műanyag nyomtatás ötvözése volt, amelyhez nyomtatással készítettünk a kísérleti beton lemezek zsaluzatait és hálóját, majd mechanikai tulajdonságokat meghatározó kísérleteket végeztünk ezeken a lemezeken.

A cikk első felében rövid áttekintést adtunk a 3D nyomtatás egy szűk szegmensére. Az írás második felében pedig bemutattuk 3D nyomtatással erősített próbatesteken végzett a hajlító-húzószilárdság és nyomószilárdság vizsgálatok eredményeit.

A kísérletek előkészítése során megbizonyosodhattunk arról, hogy a 3D nyomtatással előállított formák kiválóan alkalmasak a beton zsaluzására. A zsalu tervezése során arra is figyeltünk, hogy a zsalu olyan szétszedhető részekből álljon, amik lehetővé teszik a beton elemekben alkalmazott háló közvetlen rögzítését. Ez tehát azt jelentette, hogy a hálószerűen erősített beton lemezek zsalu elemei mind 3D műanyag nyomtatással készültek.

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a 3D nyomtatásban használt két leggyakoribb anyag betonban történő alkalmazása - a vizsgálati paraméterek alapján - még nem versenyképes, *de szaluzat készítésre nagyon is megfelelő*.

Mindemelett a kísérleti eredményekből az is megállapítható, hogy a technológia készen áll az alkalmazásra. A meghatározó anyagtani paraméterek megváltoztatásával az elem tulajdonságai is kedvezően befolyásolhatók.

Fontos megemlíteni, hogy E cikkben csak kis szeletét érinthettük az anyagoknak és a technológiáknak.

8. JÖVŐBENI TERVEK

Későbbi kísérletek során érdemes lenne más filamenteket alkalmazásával készült próbatesteket is hasonló vizsgálatoknak alávetni. Léteznek már szénszállal és fém részecskével dúsított filamentek is, de egy hagyományos PET-G, polikarbonát vagy polietilén filementtel is célszerű lenne kísérleteket végezni. Feltételezhetően – a nagyobb szilárdságú alapanyagoknak köszönhetően – kedvezőbb eredmények, magasabb hajlító-húzószilárdság értékek érhetők el.

Napról napra jelennek meg új anyagok és számos olyan cég is bekapcsolódott a termék fejlesztésbe, aki a betontechnológia terén is ismert, köztük például a BASF is.

Más nyomtatási beállításokkal, más rácsmintával elképzelhető, hogy előállítható lenne nagyobb teherbírású háló is. Tanulságos vizsgálatokat lehetne végezni, igénybevételi erőkre szabott háló- és térrács mintázattal. Ezen a téren felmerülhet fém nyomtatott térrács használata is.

Nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a nyomtatással előállított alkatrészek többsége műanyag alapanyagú. A már nem használatos termékek, továbbfejlesztett prototípusok vagy félresikerült nyomtatások után visszamaradt műanyag hulladék kezeléséről is gondoskodni kell. Kísérletekben össze lehetne hasonlítani „3D nyomtatott örleménnyel” bekevert betonokat és szálerősítésű betonokat.

Meggyőződésünk, hogy a 3D nyomtatás a jövőben még elterjedtebb és szélesebb körben lesz alkalmazott és nagy jövő áll a beton 3D nyomtatás előtt is. Ennél fogva fontos az innovációk, az új anyagok integrálása az építőiparba és még inkább a betontechnológiába.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönjük a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemnek a VKE 2018-1-3-1_0003 “Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése” című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatást.

10. HIVATKOZÁSOK

Ben, Redwood, Scöffer Filemon, és Garret Brian (2017.). *The 3D Printing*. 3D HUBS B.V.

Sher, Davide. *3D Hubs Publishes Complete 3D Printing Technologies Infographic*. 2016.

november 4. <https://www.3dprintingmedia.network/3d-hubs-publishes-complete-3d-printing-technologies-infographic/>.

The Gyroid Triply Periodic Minimal Surface. Facstaff. 2020.

<http://facstaff.susqu.edu/brakke/evolver/examples/periodic/gyroid/gyroid.html>. (hozzáférés dátuma: 2020. 10. 10).

Ultrafuse Shop (2020), <https://www.ultrafuseff.com/shop/> (hozzáférés dátuma: 2020. 11. 07.).

Wikipedia (2020), *Minimálfelület* <https://hu.wikipedia.org/wiki/Minim%C3%A1lfel%C3%BClet> (hozzáférés dátuma: 2020.).

Wikipedia (2020), *Schwarz minimal surface*.

https://en.wikipedia.org/wiki/Schwarz_minimal_surface
(hozzáférés dátuma: 2020. 10. 9.).

Wordpress (2020), „*Triply Periodic Minimal Surfaces*.” We Want To Learn. 2020.

<https://.wordpress.com/2019/02/03/triply-periodic-minimal-surfaces/>. (hozzáférés dátuma: 2020. 10. 17.).

CONCRETE REINFORCED WITH 3D PRINTED MESH

Tamás Kasik – Sándor Sólyom – György L. Balázs

The most common building material today is concrete. Due to its versatility, it is useful in many areas of construction. Non-industrial applications are also increasing: consumer goods, furniture, jewelry and cladding, among others, are made of concrete nowadays.

Due to market needs, it has become increasingly important for concrete technology to offer new materials and development innovations. Concretes of increasing strength are now produced, various non-metallic reinforced concretes are constantly evolving and concrete 3D printing is becoming more common.

More and more research is being done on plastic fibers and mesh, and serious advances have also been made in the field of fabric-reinforced textile concretes. At the same time, 3D printing technology is more widespread and becoming a part of our daily lives.

In this thesis I examine the possibilities of combining concrete technology and 3D printing. Using the printed meshes that I produced, I strengthened concrete specimens and carried out experiments to determine their mechanical properties. The aim of this research is to justify the existence of 3D-printed mesh-reinforced concrete and draw attention to this field of innovation.

In the first half of this thesis, I present general information about different materials, technologies and their development to date. In the second half, I introduce the results of experiments I performed on various novel 3D-printed mesh-reinforced concretes and compare them to products currently on the market.

To conclude this thesis, I summarize my results and propose possibilities for further research and applications in this technology field

3D NYOMTATOTT ZSALUZAT BETONÓZÁSHOZ

Kasik Tamás, PreBeton Zrt.

SUMMARY

A beton az építészek és építőmérnökök által is kedvelt anyag, nagy szerkezeti szilárdsága és szinte bármilyen formát felvevő képessége miatt. A betonszerkezetek alakításához azonban általában nagy teherbírású zsaluzatra van szükség, amely megtámasztja a friss betont a kötése során. A szabad formák kialakításának új lehetséges módja a 3D nyomtatás, mely technológiával betonozásra alkalmas zsaluzat is készíthető. Ez a cikk összefoglalja ennek a fajta zsaluzatképzésnek a technológiáját és módszereit, bemutatja az ezzel a technológiával már megvalósított projekteket egy részét a szerző saját tapasztalataival együtt.

Kulcsszavak: Additive Manufacturing, 3D nyomtatás, FFF nyomtatás, nyomtatott zsaluzat

1. BEVEZETÉS

„A beton messze a leggyakrabban használt építőanyag a világon, és gyakorlatilag lehetetlenné vált bármilyen építési projektet elképzelni nélküle. Az építés során a betont zsaluzattal kell alátámasztani, amíg a képlékeny állapotból szilárd anyaggá alakul. Ezeknek a zsaluzatoknak a kialakítása drága és nagy szakértelmet kíván, ezért a projektek költségvetésének nagy részét a zsaluzat megépítése teszi ki. Ez különösen igaz a nem szabványos formák esetében (a szabványos elem esetében a költségek körülbelül 50%-a, egy nem szabványos elem esetében pedig akár 80–90%-a). Ezért, bár a beton elméletileg szinte bármilyen alakra formázható, a mindennapokban leginkább csak sík, függőleges és vízszintes felületek kialakítására a leghatékonyabb.” (Burger, és mtsai., 2020)

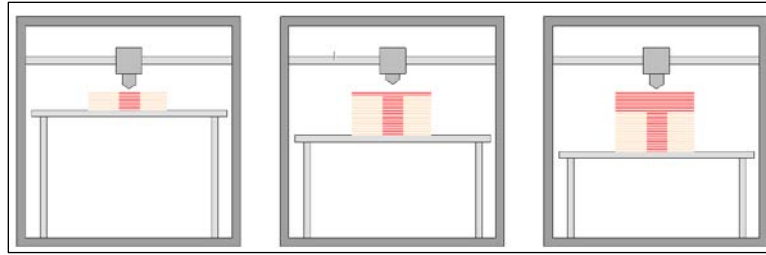
A 3D nyomtatással készíthető zsaluzat ezeken az általános dogmákon kíván változtatni.

2. 3D NYOMTATÁS

3D nyomtatás ötlete az 1950-es évekre tehető, de gyakorlati fogalommá csak az 1980-ban vált.

A technológia az a **Additive Manufacturing** azaz a „hozzáadó megmunkálás” mód közé tartozik, ami ellentétben a **Subtractive Manufacturing** „kivonó megmunkálás”-sal ami egy anyag tömbből alítja elő a kész terméket és a **Formative Manufacturing** „formába készítés”-sel -ahol egy előre elkészített formában készül el a késztermék, a Additive Manufacturing a nyers alapanyagból építi fel a kívánt formát.

A 3D nyomtatásoknak számos módja ismert, de a legelterjedtebb nyomtatási mód a FFF vagy FDM az az a Fused Filament Fabrication vagy Fused Deposition Modeling (*1. ábra*).

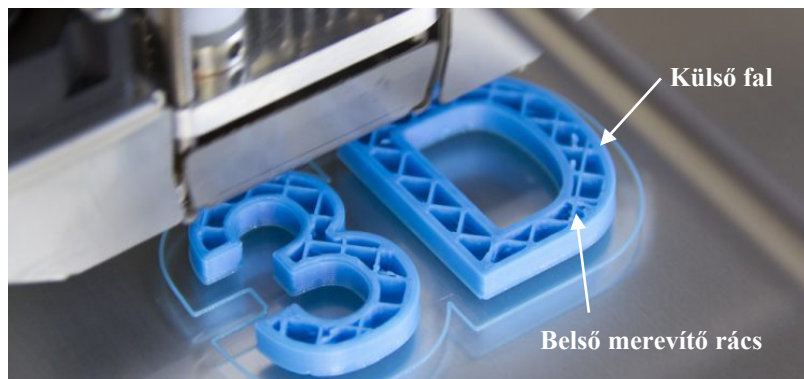


1. **ábra:** FFF/FDM nyomtatás folyamata

Ez a nyomtatási eljárás, hőre lágyuló műanyagból készült folytonos filamentet használ. A szál egy nagy tekercsről adagoló motor segítségével egy fűtött, mozgó extruder fejbe kerül, ahonnan meglágyulva egy munkalapra préselődik.

Az extruder két dimenzióban, X és Y tengelyen mozog, hogy egyszerre egy vízszintes síkon, egy nyomtatási réteget helyezzen el. Ezután a gép vagy az extrudert vagy magát a nyomtatási felületet függőlegesen, Z tengelyen elmozdítja egy kis mértékben, hogy újabb és újabb rétegeket helyezhessen el. Ezekből a rétegekből épül fel végül a kész termék.

A nyomtatás során az előre beállított paramétereknek megfelelően a kész elem többrétegű, összefüggő külső falfelületből és egy ahhoz kapcsolódó belső térkitöltő és merevítő térrácsból áll (2.ábra).

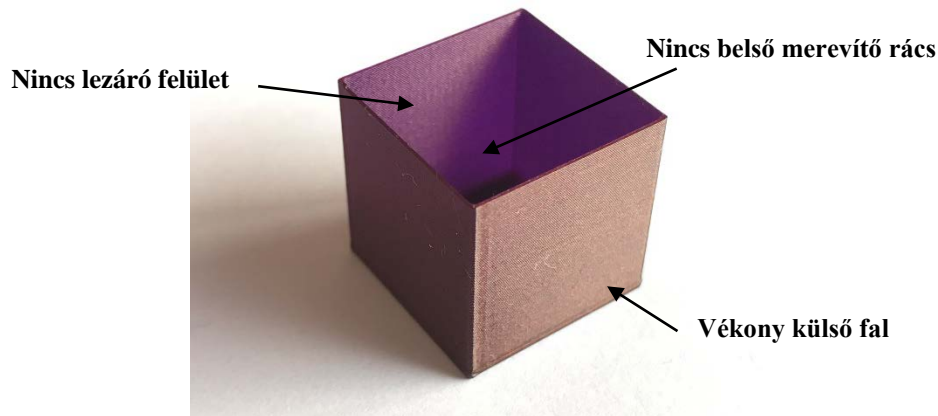


2. **ábra:** 3D nyomtatott elem (What 3DP-VET project is about, 2020)

A nyomtatási beállítások egy alternatív megoldása a „héjnyomtatás” vagy „váza mód” (eggshell vagy vase mode).

Ebben a módban a formánk belsejébe nem kerül elhelyezésre belső merevítő rácsoszat és külső felvastagság is minimumra van csökkentve (1-2 réteg).

A héjnyomtatás előnye, hogy lényegesen gyorsabb és anyagtakarékosabb a forma előállítás, hátránya viszont hogy a késztermék gyengébb, sérülékenyebb és lezáró felülettel („top layer”) nem rendelkezhet, mivel a belső rácsoszat nélkül ezt nincs mire felépíteni. Innen is a váza mód elnevezés (3. ábra).



3. **ábra:** 3D nyomtatott kocka váza módban (PrusaTester2020, 2020)

3. ZSALUZAT KÉSZÍTÉSHEZ HAZSNÁLHATÓ NYOMTATÁSI MÓDOK ÉS ANYAGOK

Sok nyomtatási technológia alkalmas lehet betonozásra alkalmas zsaluzatok előállítására, azonban az egyes módszerek mechanikai összetettsége és technológiai költségei miatt nem minden módszer effektíven alkalmazható.

Az építő iparban már kipróbált és bevált 3D nyomtatási technológiák a

FDM – Fused Deposition Modelling

- PLA
- ABS
- PVA
- PETG
- HIPS

BJ – Binder Jetting

- Homok
- Gipsz.

A Binder Jetting technológia lényege, hogy a nyomtató a homok vagy gipsz finomszemcséket rétegről rétegre műgyantával köti meg. A végeredmény egy könnyű, porózus mesterséges közet.

Ez az anyag a megfelelő felület kezelés után alkalmassá válhat beton zsaluzatként történő alkalmazásra.

A zsaluzat előállításra még alkalmas technológiák, amikben azonban még nem sok tapasztalattal rendelkezünk vagy gazdaságosan még nem alkalmazhatók:

MJ – Material Jetting

- Polypropylene
- HDPE
- PS
- PMMA
- PC
- ABS
- HIPS
- EDP

MJF – Multi Jet Fusion

- Nylon
- Polypropylene

SLS – Selective Laser Sintering

- nylon

SLA – Stereolithography, DLP – Digital Light Processing

- fotopolimer.

4. 3D NYOMTATOTT ZSALUZAT KIALAKÍTÁSA

Nyomtatott zsaluzatok kialakításának két féle módját lehet megkülönböztetni

- többször használható zsaluzat (4. ábra)
- egyszer használható zsaluzat (5. ábra).

A többször használható zsaluzat vastagabb fallal, általában belső merevítéssel kerül kialakításra és célszerűen rögzítő és kapcsolódó pontokat is tartalmaz.

Előnye:

- többször újra felhasználható zsaluzat
- könnyebb betonozás előkészítés
- könnyű zsalutisztíthatóság
- kevesebb hulladék
- bennmaradó zsaluzat is kialakítható



4. **ábra:** Többször felhasználható beton öntőforma (Octahedron Planter Mold - 3D Printed PLA - Sacred Geometry, 2021)

Hátránya:

- éles sarkok kialakítása problémás
- fontos az oldalfalak mozgatása miatti minimális távolságok megléte
- fontos megfelelő falvastagság
- fontos megfelelő szilárdság

- egymáshoz és öntési alaphoz történő lerögzítés kialakítása
- hosszabb nyomtatási idő
- több anyagfelhasználás (alacsony elemszám esetén)

Az egyszer használható zsaluzat általában a héj nyomtatási technikával készülnek és roncsolással kerülnek eltávolításra. Ez lehet olvasztás, mechanikai szítbontás, szétverés vagy vízben feloldás (PVA - Polyvinyl alcohol).

Előnye:

- bonyolultabb formák is kialakíthatók
- anyagtakarékosabb (alacsony elemszám esetén)
- bentmaradó zsaluzat is kialakítható
- rövidebb nyomtatási idő

Hátránya:

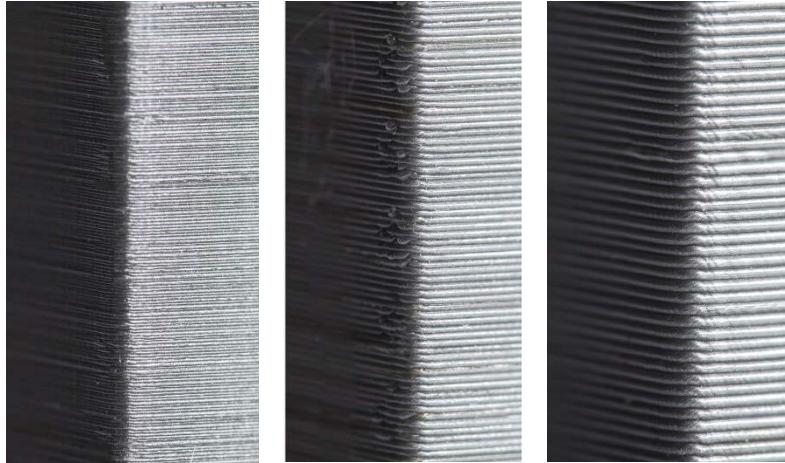
- egyszer használható zsaluzat
- vékony falvastagság miatt betonnyomásra gondolni kell
- sok hulladék



5. **ábra:** Roncsolásos kizsaluzás (Future Tree “3D printing” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich, 2021)

Fontos figyelembe vennünk, hogy mind a két módszernél, ha a nyomtatott zsaluzat semmilyen utókezelést (kittelést, csiszolást, festést) nem kap a betonozást megelőzően, úgy a nyomtatás rétegmagasságának képe meg fog jelenni a kész beton felületén is.

Ez a jelenség csökkenthető -de el nem kerülhető- a nyomtatási rétegek magasságának csökkentésével, mivel így a felület „felbontásának” (6. *ábra*) (resolution) mérete növelhető. Ez azonban a nyomtatási idő lényeges megnövekedésével jár.



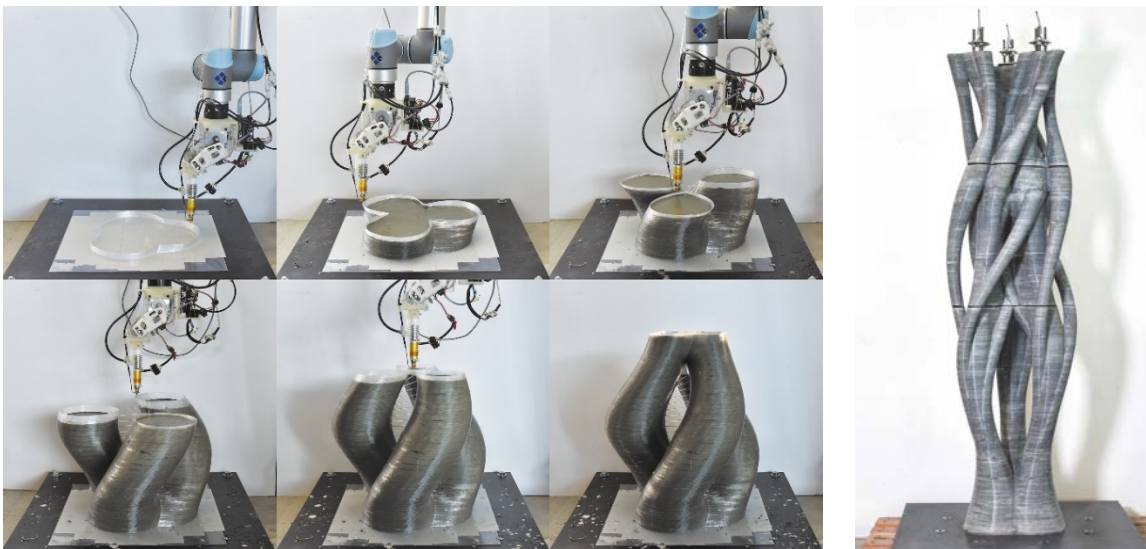
6. **ábra:** Változó rétegmagasságok képe (Cain, 2021.)

5. GYAKORLATI PÉLDÁK

5.1. Eggshell koncepció kutatási minták

„Az Eggshell technológia célja egy zsaluzat egyidejű nyomtatása és betonnal történő kitöltése. Ez különböző előnyökkel jár. Először is, korlátlan hozzáférést biztosít a zsaluzathoz, lehetővé téve a precíz öntést, és megkönnyíti a vasalás beépítését a gyártás során. Ezen túlmenően, ha először nyomtatja ki a zsaluzatot, a zsaluzat kihajlása vagy károsodása veszélyével járhat, ha mozgatni kell. Ha azonban a nyomtatás a zsaluzat betonnal való feltöltésekor halad előre, a kötésnek indult beton hatékonyan csökkenti az üres zsalu magasságát, amit érdemes figyelembe venni a kihajlás veszélye miatt.” (Burger, és mtsai., 2020) (7. ábra)

A zsaluzat eltávolítása roncsolásos módszerrel történt.

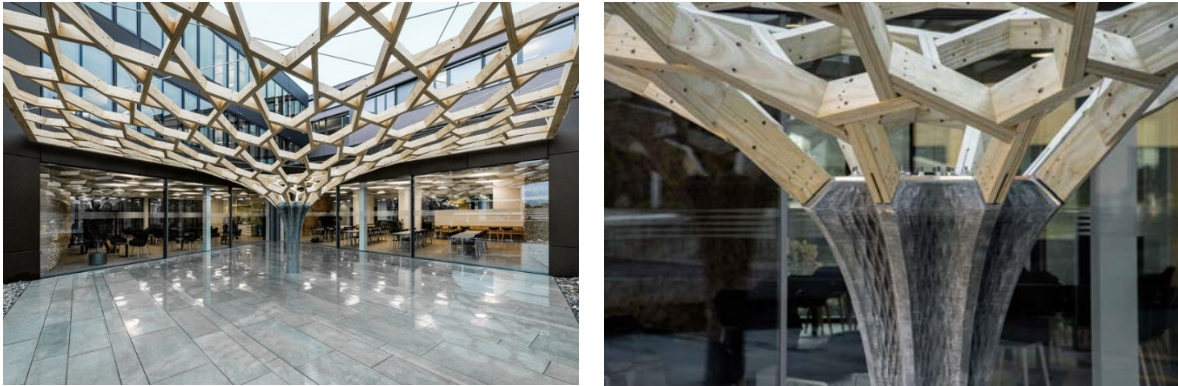


7. **ábra:** Eggshell technológiával előállított szobrok (Burger, és mtsai., 2020)

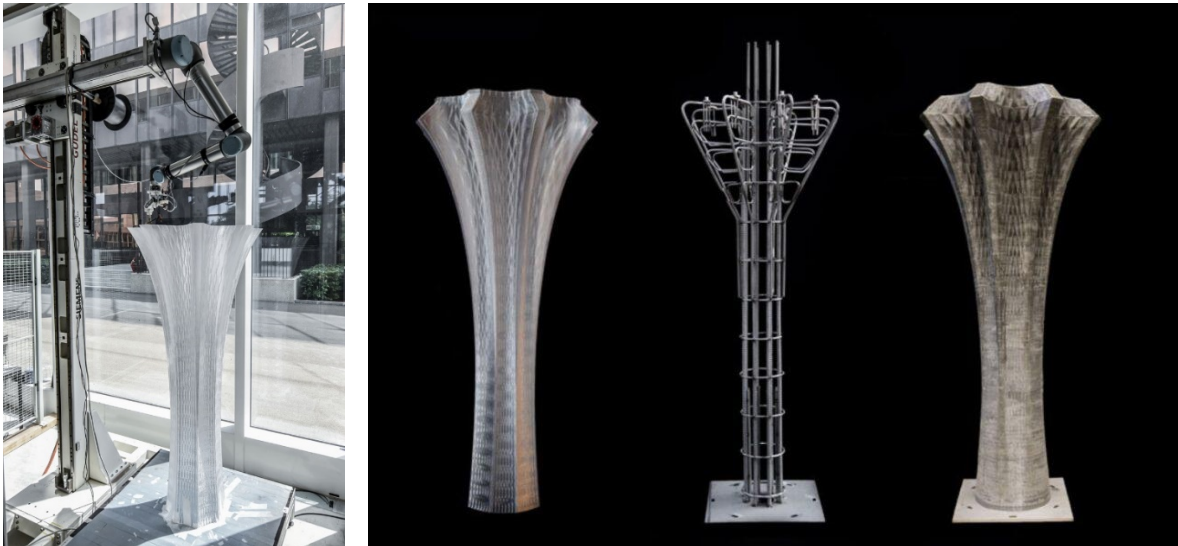
5.2. Future tree - Svájc

A projekt Esslingenben Svájc egyik városában, Gramazio Kohler Research és ETH Zurich közreműködésével, a Basler & Hofmann új iroda bővítményének belső udvarán megvalósult pavilon szerkezet.

A pavilon felső rác szerkezete robot technológiával került összeállításra, az alátámasztó pillér zsaluzata pedig, héjnyomtatással készült. A 5.1 példától eltérően itt a pillér zsalu teljes egészében előre nyomtatva készült és utólagosan került bevasalásra és kibetonozásra (8.-9. ábra). A zsaluzat kialakítása ebben a projektben is egyszer használatos volt.



8. **ábra:** Future Tree pavilon (Future Tree “3D printing ” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich, 2021)



9. **ábra:** Future Tree zsaluzat nyomtatása (ball) kész zsaluzat, vasalat és kész pillér összehasonlítása (jobb) (Future Tree “3D printing ” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich, 2021)

5.3. Geiger GmbH /NOWLAB Kempton épület felújítás

„Az épületfelújítási folyamat gyakran nehéz kihívásokat vet fel. Ilyen helyzetbe került a Geiger Group, amikor egy műemlék épület helyreállításához közeledett a dél-németországi Kemptonban. A projektet célja egy régi sörfőzde iroda- és rendezvényterré alakítása volt. A kihívást az jelentette a cégnek, hogy öt nagyméretű kő ablakkeretet cseréljen ki az ingatlanon, miközben megőrizte a lenyűgöző eredeti esztétikumot.

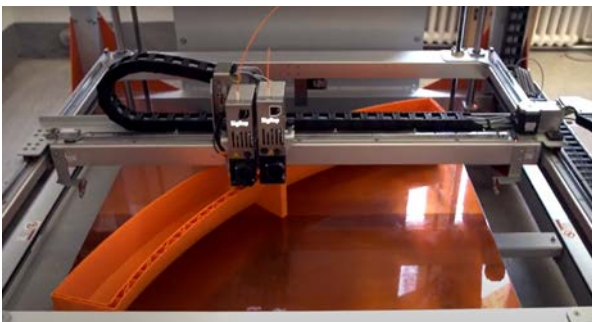
E köelemek cseréjénél Geiger két szabványos lehetőséget is mérlegelhetett. A hagyományos módszer a kőfalazás lenne. Ez magasan képzett kivitelezést kívánó technológia, amely kiváló eredményeket hoz, de időigényes és költséges. A második lehetőség a beton öntése egy gyantával bevont habzsaluba lett volna. A minta mélysége miatt azonban nem lehetett egyetlen darab habot a kívánt formára marni, a több darabból történő gyártás pedig növelte volna a költségeket és meghosszabbította volna a kivitelezés idejét.

Mivel a projekt szoros ütemben zajlott, Geiger felkereste a NOWlab@BigRep-et, hogy megvizsgáljon egy harmadik lehetőséget. A NOWlab a BigRep kutatási és innovációs központja, amely folyamatosan keresi az új módszereket az additív gyártási folyamat ipari szintű felhasználásának. A NOWlab irodán belül a BigRep végzi az ipari gyártás és termékek fejlesztésének lehetőségeit.

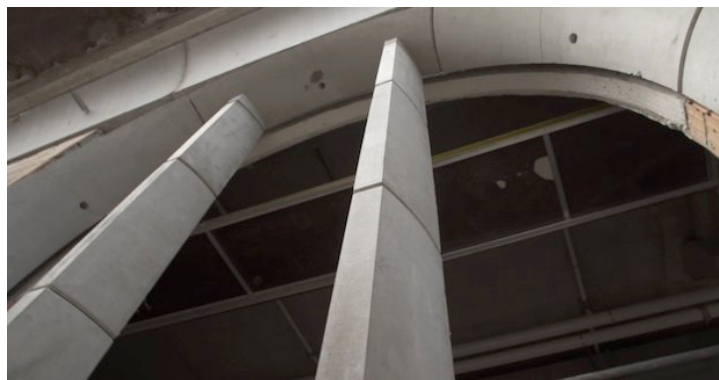
Geiger a NOWlab számára biztosította a keretek teljes specifikációját tartalmazó CAD fájlokat. A NOWlab ezekből a fájlokból digitális mintát generált az öntőformákhoz. Ezután kinyomtatták a zsaluzatot egy BigRep ONE-on, kihasználva annak 1 m³-es nyomtatási terét.

A biológiailag lebomló PLA-ból készült nyomtatott zsaluzatot ezután elküldték egy gyártóhoz, hogy elkészítse a keret betonszegmenseit a zsaluzatokban. Az ablakkeretek különböző elemeinek összeszerelése az építkezésen történt, majd az keretek egyben kerültek beemelésre.” (Smyth, 2018)

A projektben az elemzsaluzatok többször felhasználhatóan lettek kialakítva (10.-11. ábra).



10. **ábra:** Ablak keret zsaluzatnyomtatás (ball), kész elem kizsaluzás (jobb) (DAVIES, 2017)



11. **ábra:** Rögzített ablakkeret elemek (DAVIES, 2017)

5.4. ETH ZURICH - DFAB House

„Az ETH Zürich építészkarának digitális építési technológiák tanszéke élen jár az építészeti 3D nyomtatás kutatásában. (...)

Svájci kutatók előállítottak egy 80 négyzetméteres, kis súlyú betonfödémet, a világon elsőként használva 3D homok nyomtatót egy valós léptékű építészeti projekt öntőformáinak elkészítéséhez. A legvékonyabb pontján mindössze 20 milliméteres ‘okos födém’ a DFAB HOUSE névre keresztelt, folyamatban lévő svájci projekt keretében készült el, amelynek során az ETH Zürich professzorai iparági szakértőkkel karöltve tárják fel és tesztelik, milyen változásokat hozhat az építészetbe a digitális gyártás.

A beton szerkezeti szilárdságát a háromdimenziós nyomtatás nyújtotta tervezési szabadsággal kombináló födém feleannyit sem nyom, mint egy hagyományos betonfödém. A Benjamin Dillenburger, az ETH Zürich digitális építési technológiák tanszékének tanársegédje és

kutatócsapata által kifejlesztett ‘okos födém’ a DFAB HOUSE egyik központi eleme. A 80 négyzetméteres, 15 tonnás födém 11 betonszegmensből áll és az alsó szintet a fenti kétszintes faszerkezettel köti össze.

A kutatócsoport a zsaluzat elemeinek legyártására egy új szoftvert fejlesztett, amely képes rögzíteni és koordinálni a gyártás összes releváns paraméterét. A számítógépes tervezést követően a gyártási adatok egyetlen gombnyomással továbbíthatók a gépekre. A csapat több ipari partnerrel együtt dolgozva valósította meg a projektet. Az egyik a nagy felbontású, 3D nyomtatóval készült homok zsaluzatot készítette el, amelyet a nyomtatás és a szállítás megkönnyítése érdekében raklap méretű szegmensekre osztottak. Egy másik cég a födém felső részének formáját meghatározó fa zsaluzatot gyártotta le.

A kibetonozáshoz készült kétfajta zsaluzat végül egy harmadik cég segítségével állt össze: először a homok zsaluzatra vitték fel az üvegszállal megerősített betont, létrehozva ezzel az alsó betonháj finoman bordázott felületét, majd a maradék betont a fa zsaluzatba öntötték. A kéthetes szilárdulási folyamatot követően a 11 különálló betonszegmens végül készen állt a beépítésre.” (Tábi, 2018)

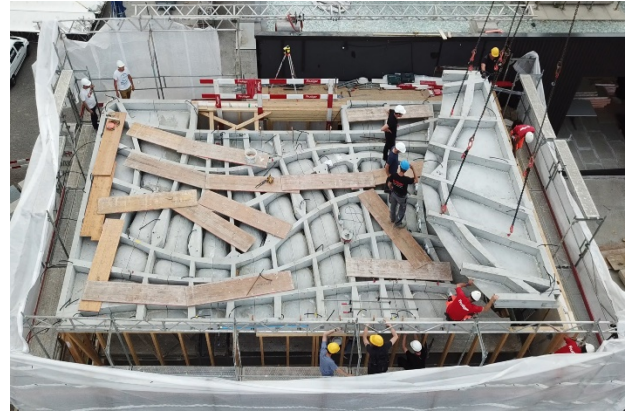
A zsaluzat a projekt során roncsolással távolították el a kész felületről (12.-14. ábra).



12. ábra: Nyomtatás utáni feleslege homok eltávolítása (ball), elkészült zsaluzat (jobb) (Mashable, 2018) (Pintos, 2021)



13. ábra: Betonozás utáni roncsolásos zsaluzat eltávolítás (Mashable, 2018)



14. **ábra:** Födémpanel beemelése (ball) és kész födém szerkezet (jobb). (Pintos, 2021)

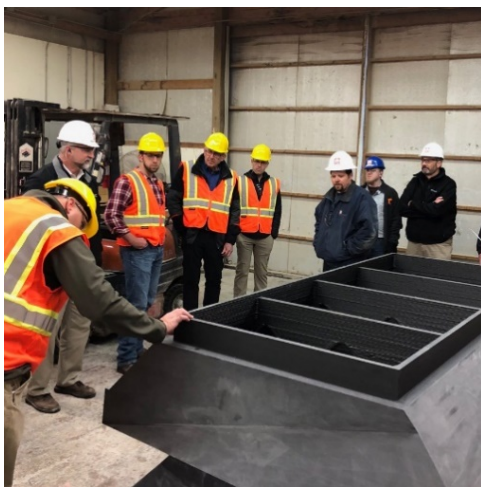
5.5. Domino Sugar fejlesztés

„Betekintés a Domino Site a projekt építészeti részleteibe. A Domino Sugar Redevelopment Brooklynban, New Yorkban egy egyszerű építészeti megoldást mutat be előregyártott beton homlokzati panelekre. (...) A homlokzat tört struktúrája miatt a panelek öntőformáinak előállítására munka- és időigényes volt. A kihívások közé tartoznak a mélyen elhelyezett magas ablakok, ami karcú beton kereteket eredményezett, a változó ablakszélesség és magasság, a szintről szintre változó építészeti jellemzők, amelyek csökkentik a benapozásból származó hőterhelést, és lehetővé tették a pillér nélküli sarkok kialakítását. A feszes ütemezés miatt kritikus szempont volt, hogy a kivitelezés folyamatosan ellássák falpanelelkel, ezért a megfelelő zsaluzási technológia megválasztása elsődleges szempont volt. (...) (Brock, Hun, Brooks, & Vines, 2019)

Az elvárások kielégítése végett az elemek elkészítéséhez nagyméretű 3D nyomtatott zsaluzatok kerültek kialakításra. A Projekthez készített zsaluzat 20% szénszállal erősített ABS műanyagból készül. 0,4 inch (~10 mm) átmérőjű nozzle (nyomtatófej) felhasználásával. A nyomtatási rétegmagasságok eltüntetésére végett az 1 inch (~25 mm) vastag öntőforma falak felülete 5 tengelyes CNC maróval lettek megmunkálva.

A tervezés során számítógépes analízissel vizsgálták a 20 inch (~500 mm) magas zsaluzatokat beton nyomásra, s habár az elemzés megfelelőnek találta a falvastagságot, külső-belső nyomtatott merevítő bordák kialakítása mellett döntöttek a tervezők.

Végül 37 db többször felhasználható zsaluforma került kinyomtatásra, amivel elkészíthetővé vált a 42 emeletes épület teljes homlokzata (15. ábra).





15. ábra: Domino Sugar Redevelopment kivitelezése (GANNON, 2019)

5.6. SLICELAB - DELICATE DENSITY TABLE

„A Slicelab, a digitális gyártásra szakosodott amerikai multidiszciplináris tervezőstúdió a közelmúltban mutatott be egy betonasztalt, amelyet 3D nyomtatott öntőformával építettek meg. A Delicate Density Table néven a Concrete Works és a Hummingbird3D együttműködésével készült. Ez a projekt finom és részletgazdag módon kíván betont formát kialakítani, miközben szerkezetileg is merev.

(...) 23 darab PLA műanyag öntőforma található, amelyeket egymáshoz rögzítenek, hogy egy nagy, 5 láb hosszúságú (~150 cm) öntőformát hozzanak létre, amely akár 200 font (~90 kg) betont is kibír. Az összeszerelt nyomtatott elemek 1db egybefüggő, nagy, PLA öntőformát alkotnak.

A zsaluzat úgy lett kialakítva, hogy fejjel lefelé történő öntés során, az asztal tíz lába hozzáférési pontként szolgáljon a fő üreghez. Ez biztosítja, hogy a betonban lévő légbuborékok az asztal aljára korlátozódjanak, és a felső felület foltoktól mentes legyen (16. ábra).

A forma szétbontása után, gyémánt párnás nedves csiszolással, tükörfényes felületet alakítottak ki. Az asztal merész-, lekerekített formái és összetett alapja túlvilági megjelenést kölcsönöznek.” (17. ábra) (Jasta, 2021)



16. ábra: Nyomtatott zsaluzat összeszerelése (ball) és roncsolásos kizsaluzás (jobb) (Jasta, 2021)



17. ábra: Kész termék (Jasta, 2021)

6. SAJÁT TAPASZTALATOK

6.1. 2020. Diplomamunka

2020.-ban betontechnológusi diplomamunkán során azt vizsgáltam, hogy van-e pozitív hatása a 3D nyomtatott háló és térrács erősítésnek a beton teherbírására és milyen arányban van ez a hatás a piacon kapható egyéb termékekkel. A diplomamunkám készítése során hajlító-húzószilárdság vizsgálatot végeztem próbatesteken, amikhez 3D nyomtatással készítettem zsaluzatokat.

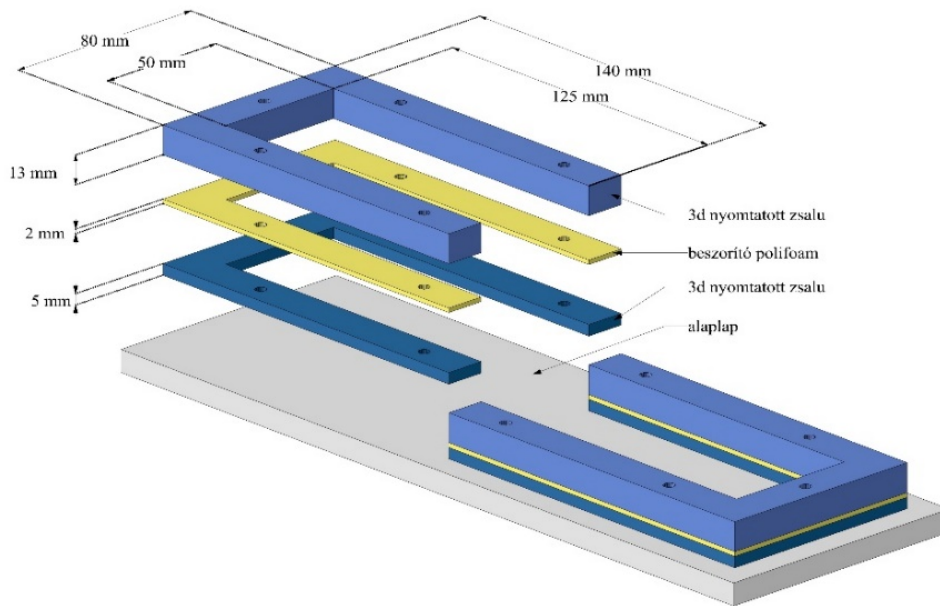
A kísérlethez 36 db próbatestet készítettem 250 mm x 50 mm x 20 mm méretben.

A próbatest előállításához az 18. ábrán látható kilenc darabból álló saját készítésű nyomtatott műanyag zsaluzatot használtam.

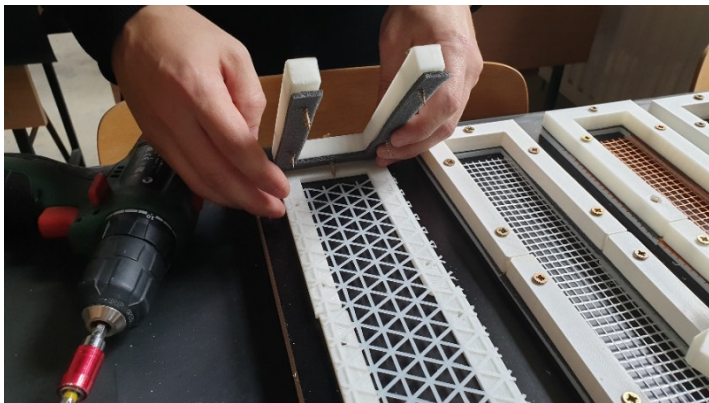
A szerkezet egy alaplapra csavarozott két U alakú félből áll, amelyek külön-külön 3-3 különböző szegmensre bonthatók.

Mindkét fél egy felső 13 mm magas 3D nyomtatott elemből, egy közbenső beszorító polifoam csíkből és egy alsó 5 mm magas 3D nyomtatott elemből épült fel.

Az alaplapra közvetlenül felfekvő 5 mm magas zsaluelem biztosította a hálók egyenes és párhuzamos elhelyezését a próbatestben, illetve segítségével biztosítható az egyenletes betonfedés, a felső elem pedig a hálók rögzítésére szolgált (19. ábra). A két műanyag elem közé kerültek elhelyezésre a hálók a beszorítóhabcsík alá. A két rész megfelelő tömítéséről a beszorító polifoam gondoskodott. Az egész szerkezet lerögzítése a zsaluzat falába elhelyezett 10 db csavar segítségével történt.



18. ábra: Próbatetest zsaluzatának felépítése, ami műanyag nyomtatással készült



19. ábra: 3D nyomtatott zsaluzatok összeállítása (ball), zsaluzatok szétbontása (jobb)

A zsaluzatok 3D nyomtatással történő elkészítését a diplomamunka elkészítésének rövid időtartama indokolta és az, hogy hasonló zsaluzat hagyományos technológiával nagyobb energiabefektetést igényelt volna, illetve a zsaluzatok későbbi újra felhasználásának lehetőség se volt mellékes.

A zsaluzat PLA anyagból 0,4 mm-es nozzle-lel, 0,3 mm rétegmagassággal, 2 rétegű fallal és 25% os belső merevítéssel készültek.

A próbatestek előállításakor a zsaluzatok semmilyen nyomtatás utókezelést vagy a betonozást megelőző felület előkészítést sem kaptak.

Tapasztalataim alapján a nyomtatott zsaluzatok kiválóan alkalmasak ilyen méretű betonozásra. A nyomtatás megkönnyítette a nagy mennyiségű próbatetest előállítását, anyaga miatt könnyű és egyszerűen szerelhető volt. Felületéhez nem tapadt a beton és kialakításnak köszönhetően könnyen eltávolítható volt a kész elemről.

A technológiából fakadó rétegmagasságok vonalai a kész elem felületén is megjelentek, ami a vizsgálatok során nem jelentett problémát, de más esetben ezzel a jelenséggel számolni kell. Ez a probléma felületkezeléssel (csiszolás, kittelés, festés) megszüntethető. A formák kizsaluzás után könnyen tisztíthatók voltak, habár egy-két helyen a rétegvonalak közé a cementlé be tudott tapadni. Ezt a problémát is a felületkezelés, illetve zsalu leválasztó olaj alkalmazása tudja orvosolni.

6.2. 2020. Diplomamunka

A 2021. november 18-án a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen tartott „3D Betonnyomtatás – az automatizálás és digitalizálás egyik jövőbeli eszköze” konferenciához végzet kutatómunka során előállítottam pár kisebb méretű példát a héj nyomtatással készült beton zsaluzatokhoz is.

A mintákhoz különböző módszerrel megmodellezett tenyérnyi méretű elemeket állítottam elő, demonstrálva a technológia széleskörű alkalmazásának lehetőségeit.

A PLA-ból előállított zsaluzatokat öntömörödő betonnal töltöttem fel és a beton megszilárdulása után hőlégfúvóval távolítottam el. (20. ábra)

A formák ez esetben sem kaptak felületi kezelést. Ennek következtén itt megfigyelhető volt a kész elem felszínén egyes helyeken felületi leválás.



20. ábra: Héj nyomtatással készült szabad formák zsaluzata (ball) és a zsaluzatban kész betontermékek (jobb)

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A 3D nyomtatás szélesebb körű használata az építő iparban is elkezdődött. A 3D nyomtatás építőipari hasznosításának egy új irányzata a beton 3D nyomtatás mellett, a betonozásra alkalmas zsaluzatok nyomtatása. Műanyagból, homokból vagy gipszből történő nyomtatás zsaluzat nyomtatására egyre több példát találni a nagyvilágban és idehaza is vannak törekvések erre.

A tapasztalatok azt bizonyítják, hogy a technológia alkalmas zsaluzatok elkészítésére.

3D nyomtatással előállíthatók egyszer és többször használható zsaluzatok a projekt igényének megfelelően. Megfelelő tervezéssel és anyagmegválasztással a hulladék képzés is minimálisra csökkenthető.

Nyomtatott zsaluzatok készítésével lehetővé válik olyan formák elkészítése is amik eddig hagyományos zsaluzási technológiával lehetetlennek tűntek. Lényegesen csökkenthető a forma előállítás költségei. Nincs szükség komolyabb szakember gárdára az elemek előállításához, elég csupán 1-2 ember. Anyag- és költséghatékonyabban lehet a termékeket előállítani és megfelelő tervezéssel lényegesen csökkenthető a projektek kivitelezési ideje.

Fent megemlített szempontok miatt így igen valószínű, hogy a közeljövőben a különböző nyomtatási módok az építőipar és alkatrész gyártás számos területén megjelennek majd.

Nagyon fontos tehát, hogy idehaza is elkezdődjenek a komolyabb kutatások a témában és hogy az előregyártó cégek is el kezdjék alkalmazni a technológia nyújtotta lehetőségeket.

8. HIVATKOZÁSOK

- BigRep GmbH. (2017. június 21.). Geiger 3D Printing Concrete Casting Molds. Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://www.youtube.com/watch?v=hQK5nGXc0UA&t=35s>
- Brock, S., Hun, D., Brooks, N., & Vines, R. (2019). 3D printing of molds and other innovations to reduce construction time on a large, high profile architectural precast project at the Domino Sugar Redevelopment in Brooklyn , NY.
- Burger, J., Lloret-Fritsch, E., Scotto, F., Demoulin, T., Gebhard, L., Mata-Falcón, J., . . . Flatt, R. (2020. április 16.). 3D Printing and Additive Manufacturing Vol. 7, No. 2. Forrás: Eggshell: Ultra-Thin Three-Dimensional Printed Formwork for Concrete Structures: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/3dp.2019.0197>
- Cain, P. (dátum nélk.). The impact of layer height on a 3D print. Letöltés dátuma: 2020, forrás: <https://www.hubs.com/knowledge-base/impact-layer-height-3d-print/>
- DAVIES, S. (2017. december 28). Nothing is set in stone. Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/nothing-is-set-in-stone/>
- Der «Future Tree»: Parametrisch geplant, digital gebaut. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2021., forrás: <https://www.youtube.com/watch?v=SEX8GR77zWg&t=179s>
- Future Tree “3D printing ” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2021, forrás: Arch20: <https://www.arch2o.com/future-tree-3d-printing-gramazio-kohler-research-eth-zu%cc%88rich/>
- GANNON, D. (2019. február 04.). Amazing photos show COOKFOX’s Domino Sugar tower getting its crystalline facade. Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://www.6sqft.com/amazing-photos-show-cookfoxs-domino-sugar-tower-getting-its-crystalline-facade/>
- Herold, I. (2018. július 27.). Where structure and ornamentation merge. Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2018/07/where-structure-and-ornamentation-merge.html>
- Jasta, H. (2021. május 13.). Slicelab 3D Prints Delicate Density Table Using Concrete. Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://www.homecru.com/SLICELAB-3D-PRINTED-CONCRETE-TABLE/153815/>
- Mashable. (2018. augusztus 8.). Here's Why This Super Lightweight Concrete Slab Is The Future Of Architecture. Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://www.youtube.com/watch?v=OnRzchYYgTk>
- Octahedron Planter Mold - 3D Printed PLA - Sacred Geometry. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://edgehill3d.com/products/octahedron-planter-mold-3d-printed-pla-sacred-geometry>
- Pintos, P. (dátum nélk.). DFAB House / NCCR Digital Fabrication. Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://www.archdaily.com/942221/dfab-house-eth-zurich-plus-nccr-digital-fabrication>
- PrusaTester2020. (2020. december 24.). Strange extrusion problem using Bondtech extruder and heat break on Prusa Mini. Forrás: <https://forum.prusaprinters.org/forum/user-mods-octoprint-enclosures-nozzles/strange-extrusion-problem-using-bondtech-extruder-and-heat-break-on-prusa-mini/>
- Smyth, L. (2018. március 20). 3D printed framework helps quick production of complex concrete elements. Letöltés dátuma: 2021, forrás: <https://www.engineerlive.com/content/3d-printed-framework-helps-quick-production-complex-concrete-elements>

Tábi, E. (2018. augusztus 14). Okos födém 3D nyomtatással. Forrás: <https://lechnerkozpont.hu/cikk/okos-fodem-3d-nyomtatással>
What 3DP-VET project is about. (2020. december 04.). Forrás: <https://3dprintinginvet.eu/2020/12/04/welcome-to-the-first-newsletter-of-the-erasmus-project/>

3D PRINTED MOLD FOR CONCRETE

Tamás Kasik

Concrete is a popular material for architects and civil engineers because of its high structural strength and ability to take on almost any shape. However, the shaping of concrete structures usually requires a heavy-duty formwork that supports the fresh concrete during bonding. A new possibility for the design of free forms is 3D printing, which can also be used to create formwork suitable for concreting. This article summarizes the technology and methods of this type of formwork formation, presenting some of the projects made with such technology in the world, along with the author's own examples.

3D BETONNYOMTATÁS

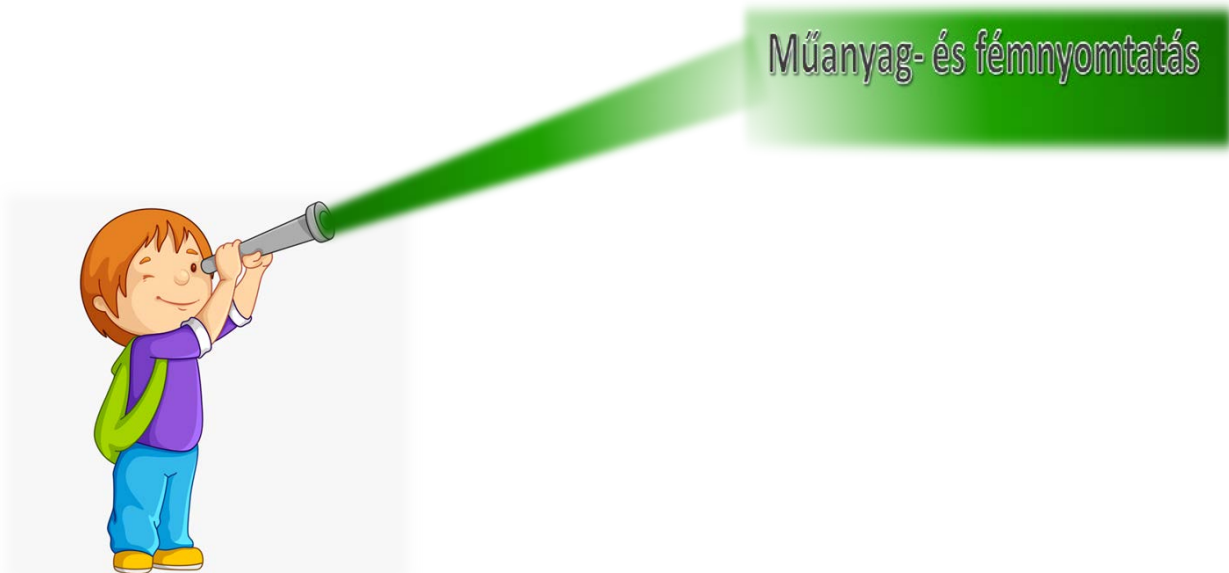
– az automatizálás és digitalizálás egyik jövőbeli eszköze –

3D Concrete printing – as a major tool of future automation and digitalization

18 November 2021, Budapest

Application of 3D printing in industrial areas other than concrete

Kitekintés a 3D nyomtatásra az ipar egyéb területén



Bedics Antal

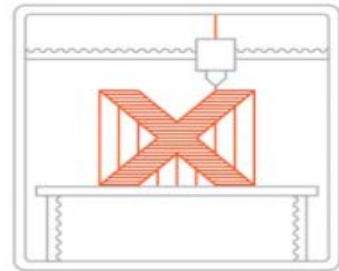
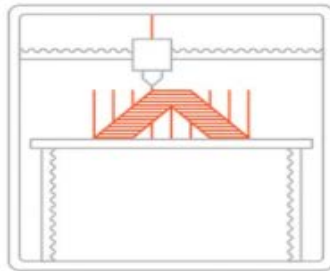
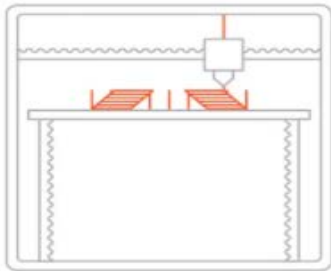
Okl. Híd-és Szerkezetépítő mérnök

UVATERV Út-, Vasúttervező Zrt. hídiroda igazgató

3D műanyag nyomtatás módszerei :

1. Anyag extrudálás (Material Extrusion)

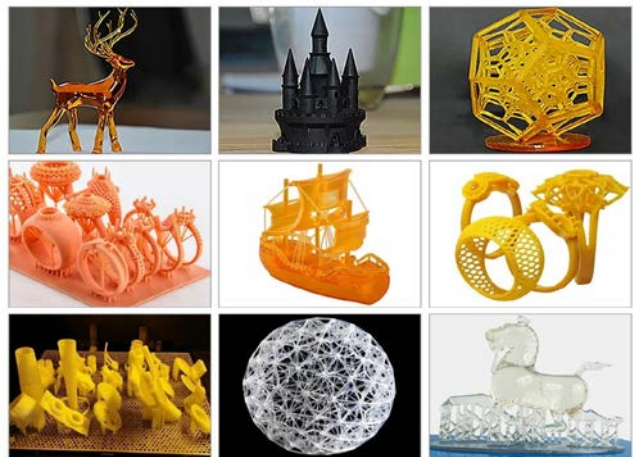
- Hőre lágyuló filament szállal nyomtató gépek.
- A 2D rétegeket egymásra építve megkapjuk a 3D modellt.
- Az eljárást megnevezése : FDM (Fused/Filament Deposition modelling),
vagy FFF (Fused Filament Fabrication)
- Nyomtatók megnevezése : PLA, ABS, PETG, TPU ...stb.
- Hátrányai :
 - kétséges a mechanikai tűrőképesség
 - felületi részletesség és annak minősége korlátozott



- **Felhasználási terület** : Nem funkcionális testek, játékok, makettek, modellek, dísz tárgyak, szobrok, ruhák, prototípusok,



Modellezés



Geometrikus 3D alakzatok



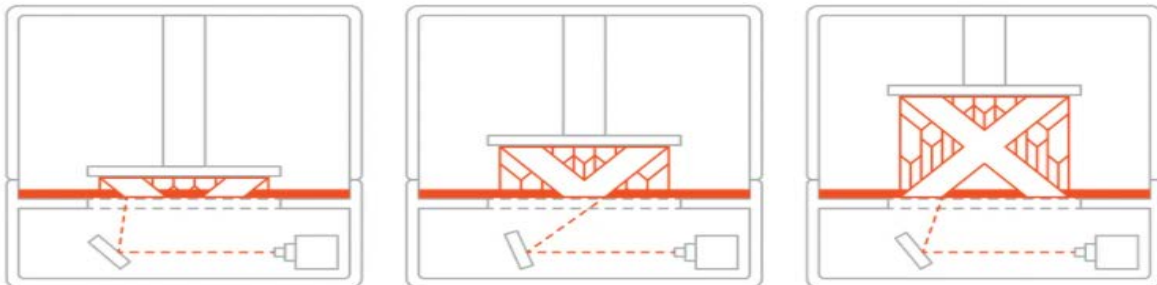
Geometrikus 3D alakzatok



Ruha

2. Kádas fotopolimerizáció (Vat polymerization)

- Fényforrás segítségével szilárdítunk meg **fényre érzékeny oldatot**.
- A megkeményített rétegekkel, fokozatosan emeljük ki a kád oldatból a testet.
- Az eljárást megnevezése : SLA (Stereolithography) fényforrás egy pontszerű lézer,
DLP (Digital/Direct Light Processing) egy réteget szilárdít
- Előnye : Magas felületi minőség és pontosság érhető el. (Gyógyászatban bizonyított)
- Hátrányai : Mérgező oldat
Kicsi nyomtatási tér
UV lámpával kell végleges állapotra szilárdítani



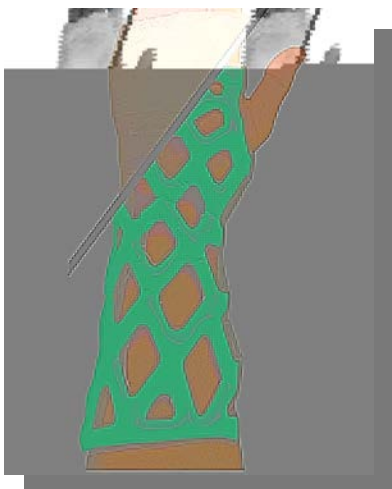
- **Felhasználási terület** : Korlátozottan funkcionális testek,
Gyógyászatban már bizonyított protézis modellezés
Prototípus precíziós modellezés



Fogprotézis modell



Talpbetét



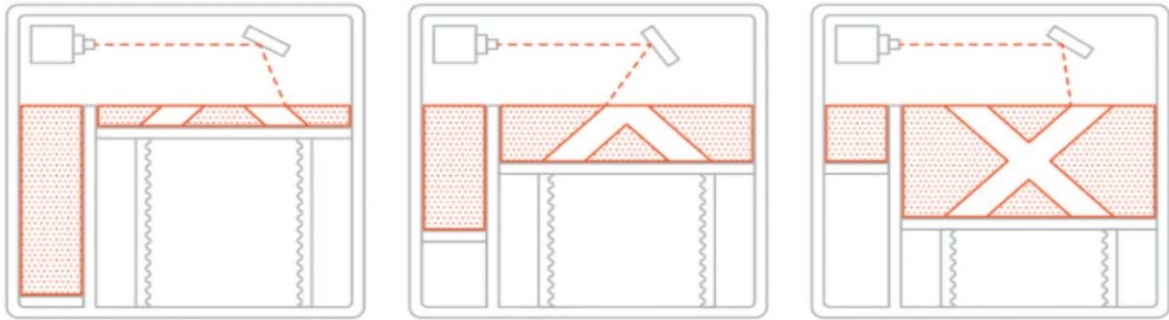
Rögzítő sín – személyre szabva



Burkolat prototípus

3. Porágyas fúzió (Powder Bed Fusion)

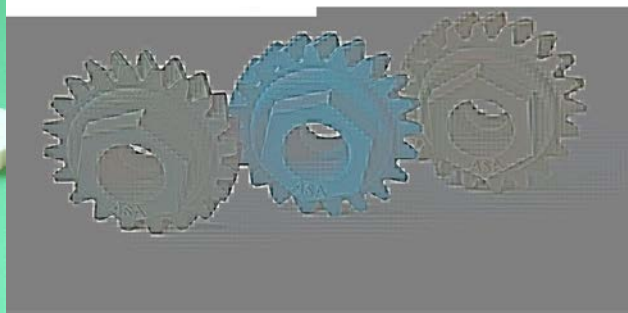
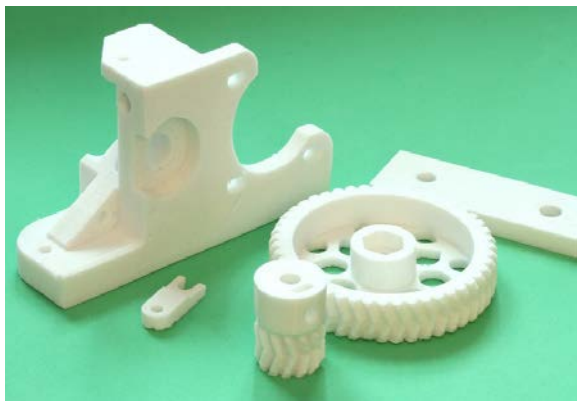
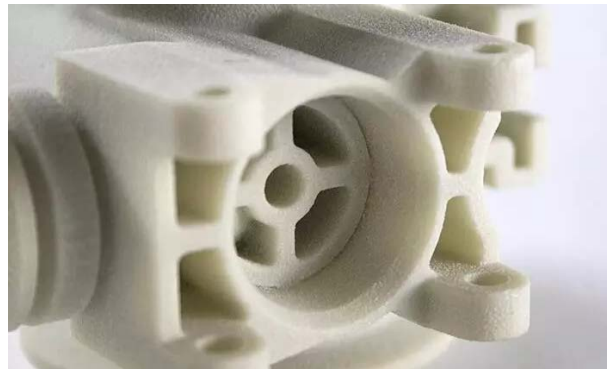
- Hőforrás segítségével olvasszuk meg az **egymásra felvitt por réteg**
- Előnye : Az eljárással műanyag és fém alkatrészek is készíthetők.
Funkcionális alkatrészek gyártására használható
A tárgy melletti por támasztékként funkcionál



- **Felhasználási terület :** Funkcionális testek,
Mechanikus-, gépészeti alkatrészek, turbinalapátok,
Fogaskerekek, működőképes prototípusok



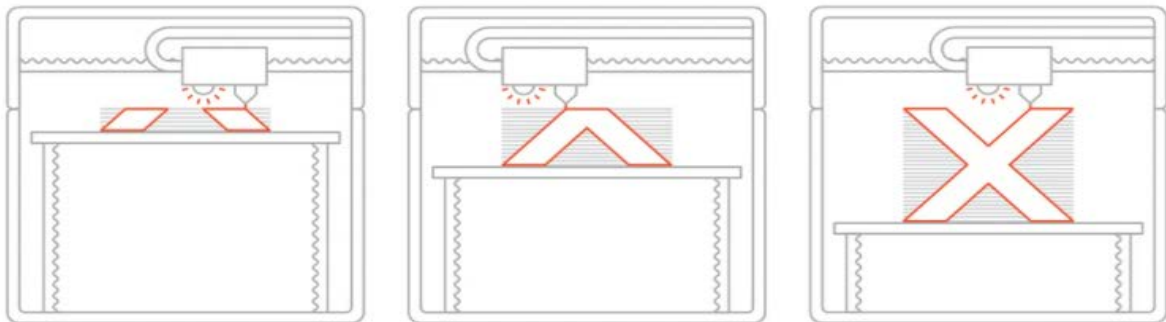
Visszapillantó tükör háza



Háztartási gépalkatrészek prototípusai

4. Anyag és Kötőanyag sugaras nyomtatók (Material and Binder Jetting)

- Fotopolimer **cseppeket visznek fel** szelektíven, amelyet UV lámpa szilárdít meg.
- Funkcionális, műanyag és fém alkatrészek is készíthetők.
- Klasszikus öntészet részére öntőforma készíthető.
- Előnye : magas felbontású alkatrészek.
mechanikai terhelhetősége (gyengébb mint a porágyas)



- **Felhasználási terület** : Funkcionális testek,
Mechanikus-, gépészeti alkatrészek, öntőformák
motorblokk öntőforma, bonyolult labirintus rendszerek,
prototípusok,



Szívmodell – gyógyászati oktatóeszköz



Hengerfej öntvénynegatív



Öntvény negatív

3D fém-nyomtatás módszerei :

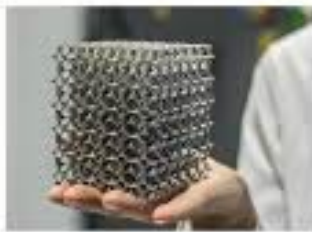
Tisztán por alapú:

- Lézer
- Elektronsugaras
- Porfújasos

Kétfázisú eljárások :

- Kötőanyagsugaras (polimerkötés)
- Kötött por extrudálás (viasz+polimerkötés)

- Huzalos



A felhasznált anyagok fajtái :

- Rozsdamentes acél,
- Titán (TiGr),
- Nikkel (Ni718),- Kobalt-Króm (CoCrF75),
- Alumínium ötvözet AlSi10Mg
- Paládium

Példák fémből készült 3D nyomtatású tárgyakra



1. SZELEKTÍV LÉZERES OLVASZTÁS (SELECTIVE LASER MELTING - SLM)

Direct Metal Laser Sintering (DMLS),

Selective Laser Sintering (szelektív lézerszinterezés, SLS),

Direct Metal Printing (DMP), Laser Powder Bed Fusion (LPBF)

- Nagy energiájú **lézersugár** olvasztja össze a nyomtatandó **por-rétegeket**.
- Utókezelés (szinterezés, hőkezelés)
- Legelterjedtebb eljárás.
- **Ehhez hasonlítják a többi eljárást.**
- Nagy precizitás jellemző.
- Forgácsolósos technológiákkal nem előállítható megmunkálást tesz lehetővé

- Jellemzők : nagy szaktudási igény
nagy utómunka igény (hőkezelési eljárások)
a fémpor kezelése igen veszélyes
drága eljárás (1 millió euró/ nyomtatóállomás)

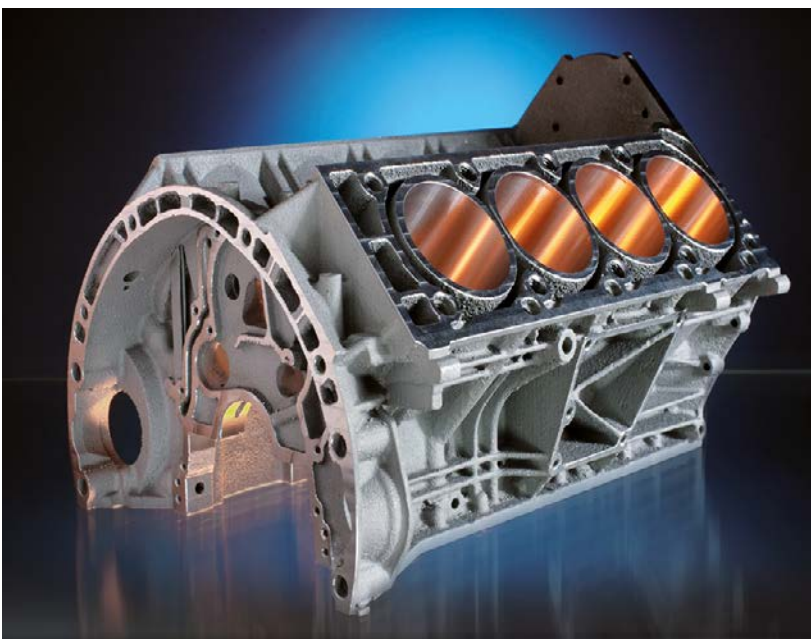
- **Felhasználási terület** : Funkcionális testek, (fogászat, egészségügy, motorgyártás, légiközlekedés, űrkutatás) Mechanikus-, nagyszilárdságú-, gépészeti alkatrészek, bonyolult labirintus rendszerek, prototípusok,



Turbina - duplafalú lapátokkal



Autómotor blokk



Autómotor blokk – hűtővíz labirintus rendszerrel



Fogászati koronák



Rakéta hajtómű – duplafalú fúvókával



Gumiabroncs negatív – 0.04 mm tűréssel



Duplafalú turbinalapát



Duplafalú levegőlabirintus



Turbófeltöltő lapát



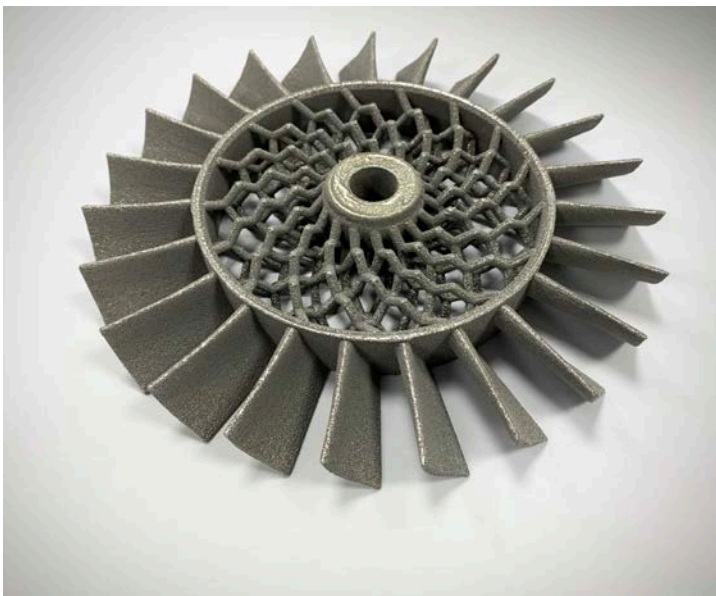
Gömbfej

2. ELEKTRONSUGARAS OLVASZTÁS (ELECTRON BEAM MELTING - EBM)

- **Elektronsugár** olvasztja meg a **fémport**. (GE Additive az egyetlen gyártó cég)
- Pontossága az SLM változathoz képest alacsonyabb.
- Gyártás folyamata összességében gyorsabb.
- EBM és SLM nyomtatók telepítési és üzemeltetési költségei közel azonosak.

- **Jellemzők** : nagy szaktudási igény
nagy utómunka igény (hőkezelési eljárások)
a fémport kezelése igen veszélyes
drága eljárás (1 millió euró/ nyomtatóállomás)

- **Felhasználási terület** : Funkcionális testek, (fogászat, egészségügy, motorgyártás, légitözeledés, ürkutatás) Mechanikus-, nagyszilárdságú-, gépészeti alkatrészek, bonyolult labirintus rendszerek, prototípusok,



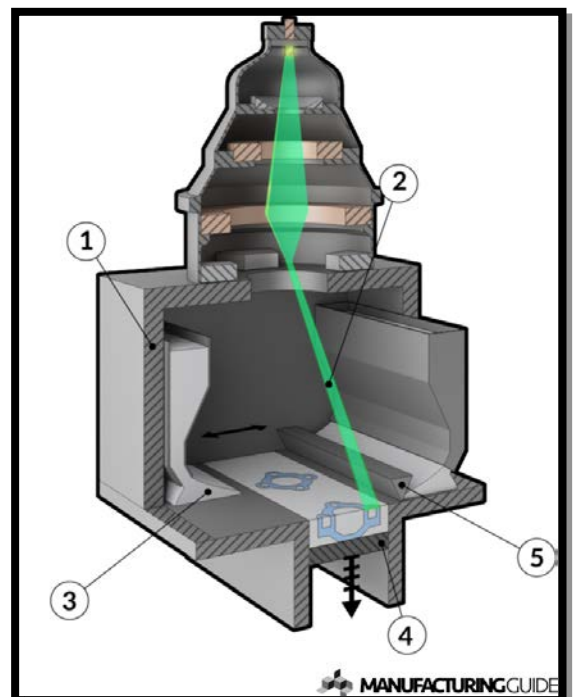
Hűtőventillátor



Utólag megmunkált persely



Ízületi protézis



Elektronsugár eltérítés porkádban

3. PORFÚJÁSOS TECHNOLÓGIA (POWDER DED)

3/a Direct Energy Deposition – (DED) (Közvetlen energia letöltés)

- Fémport adagolása és annak hevítése a nyomtató fejben történik.
- Minősége hasonló az SLM vagy EBM technológiához.

3/b Laser Material Deposition (LMD), Blown Powder

- Fémport adagolása és annak hevítése külön történik. Az adagolt fémport a lézer azonnal leolvasztja
- SLM és Powder DED alkatrészek minősége nagyon hasonló.
- Powder DED gépek használhatóak javítására (anyag pótlására)
- Telepítési-, üzemeltetés költségek, utómunka, azonosak az SLM nyomtatókéval.

- **Felhasználási terület** : Funkcionális testek
légiközlekedés, ürkutatás
Mechanikus-, nagyszilárdságú-, gépészeti alkatrészek,
bonyolult labirintus rendszerek, prototípusok,



Csapágy

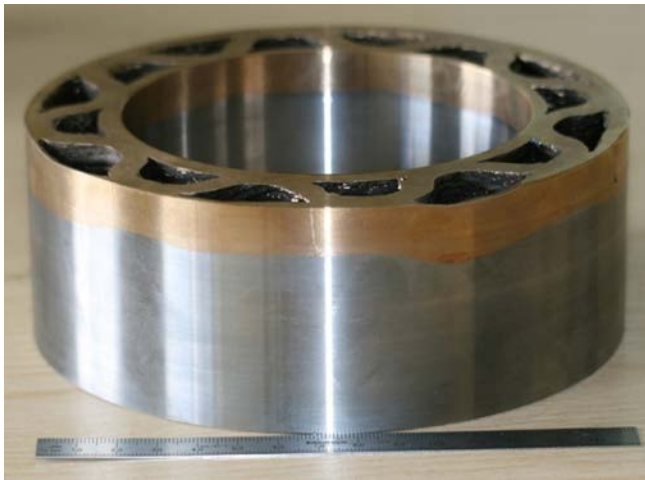


Rakétahajtómű alkatrészek - űrtechnika

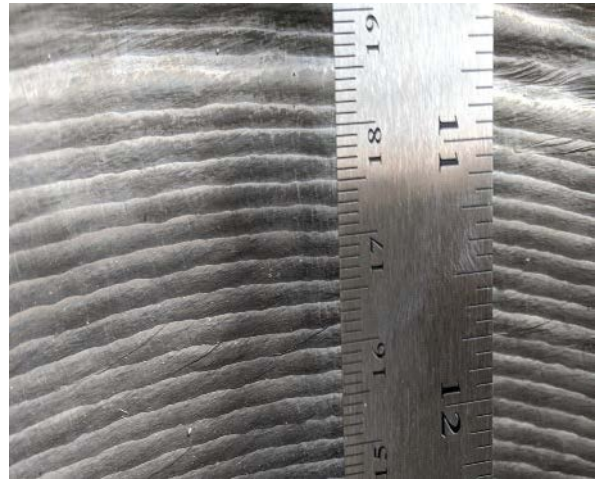
4. HUZALOS FÉMNYOMTATÁS (WIRE DED)

Electron Beam Additive Manufacturing, (EBAM)

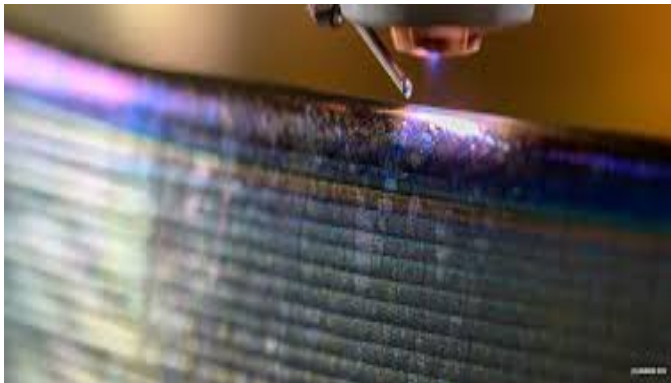
- **Fémzál olvad le lézer** segítségével. (Nagyon hasonlít a porfújasos eljárásához)
- Nagyméretű (5 x 1 x 1 m) és gyorsabb fémnyomtatási feladatokhoz használják.
- Előnye : Nagyméretű alkatrészek gyors nyomtatása
- Hátránya : Kevésbé pontosak a korábban felsorolt eljárásokhoz képest
Több millió Euróba kerülnek, és rendkívül ritkák.
- **Felhasználási terület :** Funkcionális testek
Mechanikus-, nagyszilárdságú-, gépészeti alkatrészek,
bonyolult labirintus rendszerek, prototípusok,



Megmunkált alkatrész



Nyers felület



Nyomtatási folyamat



Nyers alkatrész



Megmunkált alkatrész



Megmunkált alkatrész - dogattyú

5. KÖTŐANYAG-SUGARAS ÉPÍTÉS (BINDER JETTING)

- 2D fúvókák **polimert** fecskendeznek a keresztmetszet területére, **összefogva a fémport**.
 - Nagyformátumú és megbízható eljárás
 - Talán helyettesíteni tudja a jövőben a csak poros eljárásokat
 - Nagyon fejlődött az utóbbi két évben,
 - Gyors, tervezhető.
 - Talán ez lesz a technológia, ami termelékeny eljárássá emeli a fémmotyogtatást.
 - A művelet rétegről rétegre ismétlődik, amíg fel nem épül a munkadarab.
 - Alkatrészeket utókezelní kell. (szinterezés - hőkezelés)
 - A kötőanyag elég, az egymáshoz kötött fémpor részecskék alkotják a fém alkatrészt.
- Előnye : Gyors, tervezhető.
Teljes munkateret kihasználva egyszerre sok alkatrészt tudnak elkészíteni.
- Hátránya : Több millió Euróba kerül egy munkahely.

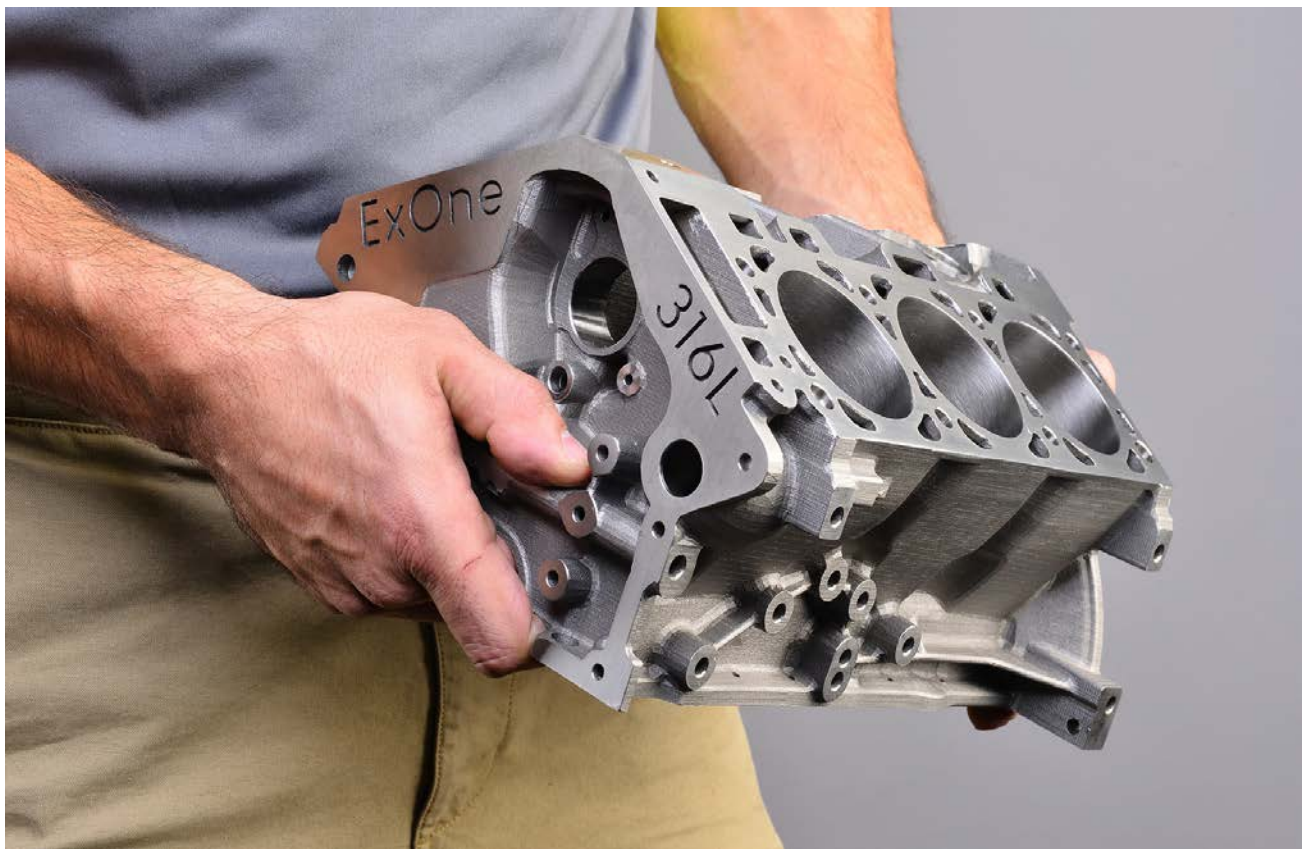
- **Felhasználási terület :** Funkcionális testek
Mechanikus-, nagyszilárdságú-, gépészeti alkatrészek,
bonyolult labirintus rendszerek, prototípusok, motorblokkok



Folyadékelosztó



Íves kúpogaskerék



Autó - Motorblokk

6. KÖTÖTT POR ALAPÚ EXTRUDÁLÁS, (BOUND POWDER EXTRUSION - BPE)

Atomic Diffusion Additive Manufacturing, Bound Powder Deposition

(Atomdiffúziós adalékanyag gyártás, kötött porleválasztással)

- Alapanyaga **viaszal és polimerrel** kötött fémpor
- Új technológia
- Biztonságos és könnyen kezelhető.
- Nyomatási folyamat az FDM / FFF műanyag nyomtatók működési elve szerint történik.
- Szálhúzásos eljárással nyomtatott nyers alkatrészeket „zöld” alkatrészeknek hívjuk
- Polimert és a viaszt ki kell mosni az alkatrészekből
- Szinterezni (hőkezelní) kell, mint a Binder Jetting technológiánál.
- Szinterezés után az alkatrészek zsugorodnak, a kioldott viasz és polimer miatt.
- Az alkatrészeket utólag polírozni és pontosítani kell.

- Előnye : Gyors, tervezhető.
Biztonságos (nincs szabad fémpor)
Könnyen kezelhető.
Jóval olcsóbb a többi eljáráshoz képest (150-200 ezer Euró)

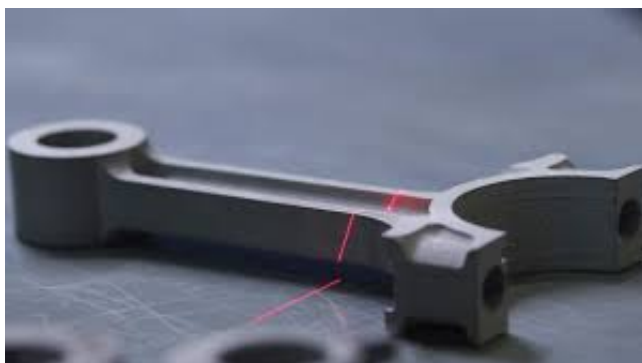
- **Felhasználási terület :** Funkcionális testek
Mechanikus-, nagyszilárdságú-, gépészeti alkatrészek,
bonyolult labirintus rendszerek, prototípusok, motorblokkok



Zsanér



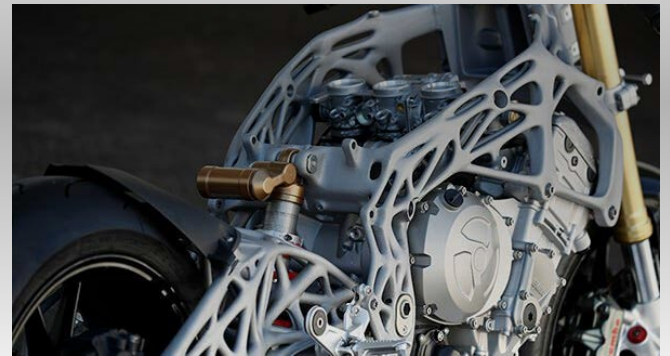
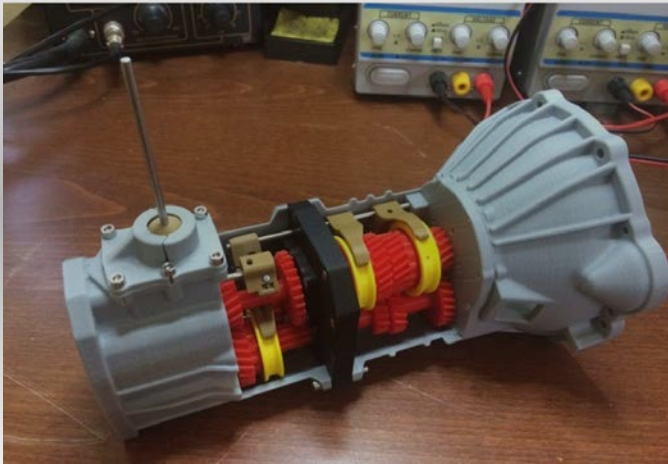
Lökésgátló toronyfej



Hajtókar –autómotorba



Turbinalapát –kikönnyített tengelyágy



INFORMATIKA SZEREPE A MÉRNÖKI FEJLESZTÉSEKBEN

Csorba Kristóf, Mrad Mohamed Azouz

ÖSSZEFOGLALÁS

Az informatika feladata az automatizálás. A komolyabb és az informatikától távoli szakterületi tudást igénylő feladatok automatizálása viszont komoly módszertani kihívásokat tartogathat, mivel egyesíteni kell két egymástól távoli szakma eszköztárát. Az ilyen interdiszciplináris csapatok kialakítása akár nemzetközi szinten is ritkaságszámba menő együttműködések hozhat, de működésükhöz minden résztvevőnek nyitottnak kell lennie a másik szakterülete felé. Ebben a cikkben bemutatjuk eddigi tapasztalatainkat arról, hogy hogyan lehet egy mérnök informatikus csapatot hatékonyan összekapcsolni egy tőle távoli tudományterület képviselőivel, hogy ez a kapcsolat utána mindkét fél számára előnyös együttműködéssé fejlődhessen.

Kulcsszavak: szoftverfejlesztés, interdiszciplináris kutatás

1 AZ INFORMATIKA, MINT AUTOMATIZÁLÁSI ESZKÖZ

Az informatika igen tág szakterülete rengeteg, alapvetően különböző részterületet foglal magába az üzemeltetési feladatoktól az összetett szoftver- és hardver komponenseket magába foglaló rendszerek megtervezéséig. A mérnöki munkában felhasznált mérnök informatika feladata a legtöbb esetben olyan megoldások kifejlesztése, melyek valamit az informatika eszköztárának segítségével automatizálnak. Míg vannak olyan területek, ahol ez már teljesen megszokott dolog, főleg a kutatásközelben, interdiszciplináris területeken még rengeteg olyan munka van, amit a szakterületre szabott informatikai támogatás korlátos elérhetősége miatt részben kézzel kell elvégezni. Gondoljunk csak arra, hány ember tölti az idejét azzal, hogy e-mailekben kapott információkat fűz össze valami táblázatba, másolgat Excel táblák között oszlopokat, kattintgat össze diagrammokat minden egyes alkalommal, amikor elkészül egy újabb mérés, összesítés, kimutatás. Ezeknek a munkáknak egy jelentős részére van kész megoldás, de ha egy kicsit is szakterület specifikus lépések kellenek a megoldáshoz, az általános célú alkalmazásokban egyre több mindent kézzel kell elvégezni. Ha a felhasználó járatosabb például az Office alkalmazások használatában és akár makrókat is tud készíteni, az automatizálható lépések aránya jelentősen javul, ám ott is eljön a pillanat, amikor az Excel makró már kezd igencsak áttekinthetetlen lenni és már kevés ez az eszköz is. A következő lépcsőfok lehet egy specializáltabb alkalmazás, mint például képfeldolgozási célokra az ImageJ használata, melyben bár csak a képfeldolgozási lépéseket, de azokat nagyon magas szintig lehet automatizálni. És itt már kezdünk átcúsítani a programozás oldalára, főleg amikor megjelennek a MatLAB vagy Python skriptek. Ezek a rendszerek pont azért jöttek létre, hogy ha valaki egy nem informatikai területen szeretné segítségül hívni az informatika eszköztárát, viszonylag meredek tanulási görbével, hamar és látványos eredményeket tudjon elérni.

Ha egy tetszőleges szakterület képviselője magának meg tud írni egyszerű programokat, azzal a saját szakterületén óriási előnyre tesz szert, mivel az addig manuális munkát már részleges automatizálással is több nagyságrenddel fel tudja gyorsítani: a kis programja például villámgyorsan végigmegy 2500 képen, kigyűjti az 500 pixelnél nagyobb területű fekete foltokat, bekeretezi őket, egy szövegfájlba kiírja a méretüket, majd elindít egy Excelt és

megkéri, hogy készítsen belőle hisztogramot, amit egy Word dokumentum sablonba bemásol, mellérakva a 3 legnagyobb folt képét is. Így lényegesen gyorsabban lehet például mérési jegyzőkönyvet készíteni. Természetesen a rendszer összeállítása időbe fog telni, de ha egyszer készen van, utána bőven megtérül a befektetett idő.

Az ilyen prototípus jellegűbb informatikai megoldásoknak van még egy hatalmas előnye: lehet, hogy informatikai szempontból a megoldás nem optimális, lassú, valamint a használata sem triviális, de a gazdájának pont megfelel, és ehhez nem kellett az egész munkát valaki másnak elmagyarázni. Ráadásul ha módosítani kell (3 helyett a legnagyobb 4 folt kell a jegyzőkönyvbe), akkor megint csak nem kell senkivel egyeztetni, hanem a szakértő átírja magának a saját programját és már készen is van.

Többek között a Python és MatLAB jellegű környezeteknek pont ez a célja: aki rászánja magát, hogy elkezd megtanulni őket, egyre több feladatát tudja majd a számítógépre bízni akkor is, ha arra nincsen célprogram. Márpedig a mérnöki gyakorlatban és főleg a azokon területeken, ahol nagyobb a kutatás aránya, elég sok olyan helyzet adódik, amikor először akarunk valamit megoldani, és ezért elég egyértelmű, hogy nincsen rá kész program.

Konkrét példát említve egy orvosi kutatásban mikroszkópfelvételek százairól kellett színhisztogramot készíteni. A korábbi megoldás egy külön kis programmal képenként egyesével elindítva egy CSV fájlba kigyűjtötte az összes pixel RGB értékét. Ezeket az igen természetes CSV fájlokat Excelbe beimportálva készültek egyesével a diagramvarázslóval a hisztogramok. Mivel a robotmikroszkóp 3-4 másodpercenként készítette a képeket éjjel-nappal, ezzel a módszerrel a teljes kiértékelés esélytelen volt, mivel a forrásadatok sokkal gyorsabban termelődtek, mint amivel a kiértékelés lépést tudott volna tartani. A folyamat – informatikai szempontból egyszerű – automatizálásával a feldolgozás majdnem pontosan 1000-szeresére gyorsult, amitől a feladat egyből kezelhetővé vált. Ráadásul egy kutató értékes munkaideje nem azzal ment el, hogy Excelt kattintgat napi 8 órában. (A konkrét kutatásban egyébként eltérőre színezett sejtek összeolvadását vizsgálták, amit az összeolvadások miatt végbemenő színkeveredések miatt a színhisztogramok időbeli változásával nagyon jól lehetett követni.)

Munkánk során számos olyan esettel találkoztunk a régészet, geológia, geofizika, orvosi kutatás, gyógyszergyártás és építőanyag vizsgálatok terén, ahol bizonyos kutatási kérdések azért nem kerültek felszínre, mert megfelelő eszközök nélkül esélytelen volt kiértékelni az adatokat. Például ha egy nem destruktív vizsgálatot kiértékelni egy nap munka, akkor elég nagy elhatározás kell ahhoz, hogy a kutató csoport ezt a vizsgálatot például 10 percenként elvégezze 36 órán keresztül, hogy az időbeli változásokat is megfigyelhesse. Ha viszont a kiértékelés automatizálható, akkor egyből változik a helyzet. És az sem baj, ha a megoldás lassú, mert az már senkinek nem fáj, ha egy egyetemi laborban egy számítógép egy hétig dolgozik rajta, amíg ezt teljesen önállóan teszi.

2 AZ INTERDISZCIPLINÁRIS CSAPAT

Előbb-utóbb eljön az a pont, amikor a szoftveres megoldáshoz már túl sok munka összeszedni az informatikai tudást, érdemes bevonni egy informatikust. És itt jön egy újabb kihívás: egy az adott szakterületen tájékozatlan szoftverfejlesztőnek elég nehéz lehet elmagyarázni, hogy mit is szeretne a kutató csoport. Márpedig enélkül a program jó eséllyel nem pont azt fogja csinálni, amit igazán elvárnak tőle. Amíg csak valami egzakt dolgot kell kiszámolni (például egy szemcseméret hisztogramot), addig még rendben is van a dolog, de biztos mindenki találkozott már olyan szoftverrel, ami „nem állt kézre”, feleslegesen sokat kellett kattintgatni, a valójában legfontosabb funkció elég jól el volt rejtve, az elkészített diagrammok pedig kicsit azért másak

voltak, mint amit a szakterület megszokott. Persze együtt lehet élni vele, de azért nem az igazi, és ha bonyolult kutatási kérdésekről van szó, ezek a kis hiányosságok egyre nagyobbra nőhetnek.

Mindezek a hiányosságok oda vezethetők vissza, hogy aki tervezi a szoftvert, annak tisztában kell lennie azzal, hogy (1) a szakma szempontjából hogy néznek ki a munkafolyamatok, mi fontos és mi felesleges, valamint (2) informatikai szempontból mit mennyire könnyű vagy nehéz megoldani. Ez igaz az algoritmikus, matematikai részletekre is, de a felhasználói felület használhatósági tervezésére (UX: user experience design) is.

Konkrét példát említve régebben egy partneryilvántartó rendszer fejlesztése során beleszaladtunk abba a hibába, hogy a partner jogviszonyának kiválasztásakor elkészítettünk egy szövegmezőt, mely amint elkezdte az ember begépelni a jogviszony nevét, automatikusan feldobta a lehetőségeket. Ez elég logikus igénynek tűnt egészen addig, amíg ki nem derült, hogy az ügyintézők fejből tudják az összes jogviszony kódját és eszük ágában sincs elkezdni begépelni: a numerikus billentyűzeten szeretnék beírni a két számjegyet. Még jobb, ha a második számjegy után a program magától ugrik a következő mezőre és nem kell Enter-t vagy Tab-ot nyomni. Főleg nem az egerért nyúlni.

A nyugati világ elég erős silószerű szakmai tájképe nem kedvez az ilyen interdiszciplináris kutatócsoportok kialakulásának: amíg mindenki csak a saját silójában nézi a szakmai teendőket és ott ás egyre mélyebbre, nagyon nehéz más szakterületek eszköztárát bevonni. Az informatikáét is. Ehhez az kell, hogy mindkét fél többé-kevésbé nyitott legyen a másik szakma terminológiájára, alapvető fogalmaira. Az informatikusok oldaláról mindenképpen fontos ez a nyitott hozzáállás: az „én csak elkészítem ezt a diagrammot, azt nem tudom, mire jó” hozzáállás nem vezet messzire. A hatékony munkához, de a csapaton belüli szakmai elfogadottsághoz is fontos, hogy például a szoftverfejlesztő mérnökök egy gyógyszergyártási projektben tudják, mire jó a mikrokristályos cellulóz, mi a tablettázó gép présgörbéje és miért fontos, valamint hogy miért hatalmas előny, ha a kioldódási görbét sikerült pár másodperc alatt megbecsülni. A terminológiák közelítése a csapaton belüli hétköznapi kommunikációhoz is nagyon fontos. Például egy informatikus számára az API az Application Programming Interface (egyfajta szoftverek közötti kommunikációs lehetőség). Egy gyógyszervegyész számára Active Pharmaceutical Ingredient (a hatóanyag). És a közös munka során sajnos mindkettőre szükség van. És az ASP sem az ASP.NET webes technológiára utal, hanem az Aspartic Acidre.

Az interdiszciplináris kutatócsoport akkor kezd el igazán produktív lenni, amikor mindkét fél elkezd tisztában lenni azzal, hogy a másik számára mi az, ami hasznos, és mi az, ami könnyű vagy nehéz. Akkor fognak tudni egymás számára hasznos felvetéseket kitalálni. Mert amíg az informatikus nem tudja, mi a kutatási szempontból hasznos eredmény, a szakterületi szakértő pedig nem tudja, miket kérhet egy informatikustól (mit tud egy délután alatt megoldani és mihez kellene 3-4 év kutatás), addig nehezen megy az ötletelés. Ahhoz, hogy ez az ideális helyzet kialakuljon, elsősorban közös munka és sok beszélgetés szükséges.

3 AZ INFORMATIKA LEHETSÉGES HOZOMÁNYAI A SZOFTVEREN TÚL

Érdemes azt is megemlíteni, hogy az informatika nem csak azzal tud segíteni egy kutató csoportban, hogy a program kiszámolja azt, amit éppen kell. A tervezési és fejlesztési módszertanok egyes trükkjei, vagy a szoftverfejlesztés során alapvető fontosságú verziókezelés más szakterületeken is hasznos lehet. A „demo1.zip”, „demo20211114.zip”, a „bemutato2021nov.zip”, a „demoNov14B.zip” és a „bemutato_vegleges2.zip” fájlok e-mailben

küldözgetése nem biztos, hogy a legjobb módja annak, hogy kövessük, melyik is a legutolsó verzió. Van olyan multinacionális cég, ahol minden K+F projektnél elvárás, hogy az összes beszámoló, forráskód és eredmény bent legyen a cég központi verziókezelő rendszerében, ami mindig egyértelműen tudja, melyik a legfrissebb verzió. Ha pedig valami elromlik, akkor sincs olyan gond, hogy az utolsó működő verziót felülírtuk vagy átszerkesztettük és már nincsen meg. Igen kellemes meglepetés volt pár évvel ezelőtt, amikor egy vegyészmérnökkel folytatott kutatásban azt láttuk, hogy az egyik vegyész kolléga gépén már fent van a Visual Studio (szoftverfejlesztő környezet), fent van nála is a forráskód legfrissebb verziója (amit a git verziókövető rendszerből töltött le) és amikor valami kis finomhangolásra volt szüksége, bele tudott javítani a C# forráskódba és elvégezni a módosítást. Mivel a verziókövető minden korábbi verziót is tárol, attól sem kellett tartania, hogy valamit elront, mert 3 kattintással vissza lehet térni a korábbi állapothoz.

Hasonlóan hasznos lehet nem informatikai témákban is az „issue tracker” használata, melyben minden feladatot egy helyen lehet gyűjteni: ötleteket, funkcionális igényeket, javítandó hibákat. Mindnek van aktuális állapota (pl. folyamatban, ellenőrzésre vár, kész), emberekhez lehet őket rendelni, a hibával kapcsolatos (írásbeli) beszélgetéseket lehet hozzá csatolni. Ezek a rendszerek sokban hasonlítanak a managementből ismert kanban boardokhoz (Kanban board), vagy például a Trello (Trello) rendszeréhez, csak több szoftverfejlesztéshez kapcsolódó funkciójuk van.

Mivel a kutatási projekteknél hatványozottan igaz, hogy messze előre specifikálni aligha tudjuk a feladatokat, a klasszikus tervezés-megvalósítás-tesztelés lépéseken alapuló módszertanok (vízesés modell) nemigen működnek. Ehhez a helyzethez jól illeszkednek az informatikai módszertanban igen népszerű agilis módszertanok (Agile manifesto). Ezek lényege, hogy nem várják el a megrendelőtől a teljes feladat specifikációt, hanem helyette gyors, iteratív módszerrel folyamatosan és a megrendelővel együttműködve fejlődik a rendszer. Például 2-3 hetes un. sprintekben halad a munka, amikor minden sprint elején csak annyit terveznek meg, hogy ebben a sprintben mit készítenek el, majd a végén megmutatják a megrendelőnek az eredményeket és tervezik a következőt. A megrendelő sűrű bevonásával (continuous delivery elv) sokkal hamarabb kiderül, ha félreértés van a megrendelő és a fejlesztők között, mivel a megrendelő 2-3 hetente végig tudja próbálni a már elkészült funkciókat és tud szólni, ha valamit nem úgy szeretett volna. Ez a fajta flexibilitás ellensúlyozza a sokáig képlekeny, kiforratlan megrendelői igényeket, ami különösen egy kutatásos projektben igen jól jön. Az a fajta fejlesztési módszertan már egyre kevesebb helyen működik, hogy a fejlesztők megkapják a pontos specifikációt, eltűnnek hónapokra, majd visszatérnek a kész termékkel.

4 PROTOTÍPUS ÉS TERMÉK

Szoftverfejlesztési szempontból nagyon nagy a különbség, hogy egy Proof of Concept (PoC) jellegű prototípust fejlesztünk, vagy egy olyan alkalmazást, ami termékként is megállja a helyét.

A PoC jellegű alkalmazásoknál az elsődleges cél, hogy gyorsan elkészüljön és működjön. Ilyenkor a forráskód rendezettsége, a megoldások hatékonysága, az alkalmazás felhasználói vagy egyéb hibák elleni robusztussága másodlagos szempont. Ebben a környezetben tökéletesen megfelelnek a gyorsan összerakott Python és MatLAB scriptek, melyek gyorsabban elkészíthetők és amíg belső használatban a saját fejlesztői használják, pontosan azt tudja, amit várnak tőle: kigyűjt, összehasonlít, legenerál, rendez, kiszámol stb.

A helyzet jelentősen megváltozik, amikor egy kicsit el kell indulni a termékfejlesztés irányába: akár csak annyira, hogy most már a programhoz kevésbé értő kollégák is elkezdik használni,

akik nem tudják, hogy hova szabad és hova nem szabad kattintani, mire kell vigyázni. Az alkalmazás robusztussága a felhasználói és egyéb rendszerhibák ellen fontossá válik: a 3D nyomtató programjának tolerálnia és kezelnie kell, ha a modell esetleg el van picit billenve, ha kilóg a nyomtatható mérettartományon, ha menet közben kifogy az alapanyag a nyomtatóból, vagy egyszerűen csak nincsen bekapcsolva a nyomtató. Itt már nem fér bele az, hogy a program szó nélkül leáll, mert akkor a végfelhasználónak esélye sem lesz kideríteni, hogy mi is a baj.

A használhatóság és robusztusság mellett a szoftver további minőségi jellemzője a forráskód karbantarthatósága. Sajnos ez a végfelhasználó számára teljesen láthatatlan, és így az iparban is rengeteg rossz minőségű szoftver van forgalomban. Egyik neves informatikai módszertani mesterünk, Robert C. Martin szerint a szoftvernek van egy elsődleges és egy másodlagos értéke (Robert Martin, 2011). Másodlagos (!) érték az, hogy a szoftver pont azt csinálja, amit kell, és ezzel mindenki elégedett. Az elsődleges értéke az, ha a másodlagos értéket változó követelmények mellett is tudja tartani. Vagyis módosítható, kiegészíthető. Ez pedig a kívülről láthatatlan forráskód minőségi jellemzőitől függ. Egy építészeti analógia az, ha elkészül egy gyönyörű palota, kintől minden szemet kápráztató szépségű, az előtérből azonban a kisebb oldalhelyiségekbe belépve kiderül, hogy hatalmas, átlósan beékelte acélrudak tartják a falakat, mert valójában az egész épület egy kártyavár. Színházi díszletnél ez elfogadható, de amint valaki 20 évvel később át akar építeni valamit a palotában, kiderül, hogy talán a legjobb az egészét újraépíteni. A szoftver is lehet törékeny, ami azt jelenti, hogy egy későbbi módosítás (például egy év múlva egy új funkció beépítése) közben az egész kártyavárként omlik össze. Ez abban fog megnyilvánulni, hogy a látszólag egyszerű módosítás után hetekkel a fejlesztők még mindig a mindenféle változatos hibákat javítják, a megrendelő bosszankodik, hogy csomó minden elromlott, ráadásul a módosítás az időigény miatt igencsak drága is. Hosszú távon szemlélve az első verzió ugyan olcsó volt és gyorsan elkészült, de később irreálisan drágává válhat. Sajnos ez manapság egyáltalán nem ritka, főleg mivel sokszor a megrendelő is ezt várja el: csak működjön és legyen olcsó. Végülis OSB lapokból is lehet palotát építeni...

Az interdiszciplináris csapatban tehát a mérnök informatikusok feladata, hogy a folyamatokat automatizálják, ezzel skálázhatóvá, egyszerűvé téve a munkát, és közben gondoskodjanak arról, hogy minőségi forráskód keletkezik, mely évekkel később is áttekinthető, módosítható és az is tudja majd használni, aki a kezdeti fejlesztések idején még nem is volt a csapat tagja. Ha pedig az eredeti fejlesztő elmegy a csapatból, akkor az utódja a forráskódot pár napig nézegetve képessé váljon a projekt továbbvitelére és ne egy átláthatatlan spagetti káoszt lásson, amit jobb elkezdni nulláról megírni.

5 MEGÁLLAPÍTÁSOK KITEKINTÉS

A mai erősen specializálódó, sokszor silószerű szakmai világban az interdiszciplináris csapatokban hatalmas lehetőségek rejlenek. Például egy vegyész-, gépész-, villamos- és informatikus mérnökökből álló csapat, melyben az egyes tagok könnyedén megértik egymás terminológiáját, igényeit, elvárásait, ötleteit, olyan dolgokra képes, amire egyik siló sem lenne alkalmas önmagában, együtt viszont nemzetközi szinten is ritkaságszámba menő kutatási irányokat célozhatnak meg. Mindehhez azonban a csapatot tudatosan építeni kell, mely szakmai nyitottságon, kíváncsiságon és kölcsönös tiszteleten alapszik.

6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben szereplő eredmények részben a 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00263 projekt keretében valósultak meg a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs alap 2019-1.1 séma szerinti támogatásával.

A cikk szerzői köszönetet mondanak az VKE 2018-1-3-1_0003 “Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése” című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

Kanban board (online) <https://www.atlassian.com/agile/kanban>

Trello (online) <https://trello.com/>

Agile manifesto (online) Manifesto for Agile Software Development,
<https://agilemanifesto.org/>

Robert Martin: Clean Coder, The : A Code of Conduct for Professional Programmers, Pearson Education (US), 2011.

BETONTECHNOLÓGIAI ISMERETEK JELENTŐSÉGE A DIGITALIZÁCIÓ, 3D BETONMARÁS TERÜLETÉN

Spránitz Ferenc (Dolomit Kft.)

ÖSSZEFOGLALÁS

A betonipari robottechnológia 12 éve, a csatornázási aknafenék elemek 3D betonmarásos üzemi előregyártásában kezdte el térhódítását. Már ekkor célként fogalmazódott meg a szakmunkások képzettségétől és lelkiismeretességétől független, nagy precizitású, nagy termelékenységgű, sablonpark nélkül is szinte tetszőleges geometriai kialakításra lehetőséget nyújtó termékgyártás. A robottechnológiát méltató tucatnyi, reklám jellegű írásban, a betonismeretek fontossága mindössze egyetlen cikkben bukkant fel: „*Concrete is the key. And I’m glad that my team had the courage and ideas needed to implement the new solution*“ [1]. A betonipar is átlépte egy új kor küszöbét; a még különlegesnek tűnő megoldások (UHPFRC, 3DCP) is lehetnek akár rövid időn belül nyereségesek, ha a résztvevő felek felismerik a tervezés-ipar-egyetemi képzés kapcsolat és a szakmaspecifikus ismeretek fontosságát.

Kulcsszavak: programozható robotok, sablon- és bérköltések csökkenése, finomszemcsés beton, technológiához illeszkedő konzisztencia, friss és szilárd beton jellemzők, betonstruktúra

1 BEVEZETÉS

1.1 Miért fontos a betontechnológia?

A betonipar fejlődését a kisebb anyagigények irányába kényszeríti az alapanyagkészletek világméretű fogyása és az ipari termelés CO₂-lábnyomának szükségszerű csökkentése.

A minél kisebb anyagigényhez és élőmunka-ráfordításhoz társul a növekvő lakhatási és infrastrukturális szükségletek kielégítése, melyek a digitalizáció és a 3D technológiák alkalmazásával tűnnek megoldhatónak.

A betontechnológia kulcsfontosságát erősíteni fogják a fenti folyamatok, mert a rövidesen hatályba lépő új EC-2 és EN 206 szabványok szerint az erőtani tervezést olyan anyagtani tervezés is ki kell egészítse, mely a műszaki ismeretek mai szintjén, számszerűsített formában veszi figyelembe a várható környezeti igénybevételeket (pl. karbonátosodás, fagyás, kloridok) és a beton anyagának ellenállását [2,3,4,5].

A jelenleg még prenormatív dokumentumok szerinti anyagtani tervezésen alapuló számszerűsített tartóssággal (pl. 5, 50 vagy 500 év) megjelölt betonösszetételnek illeszkednie kell ahhoz az állaghoz is, amelyet a friss keverék építéshelyi szállítása, tömörítési-bedolgozási módszere igényel, sőt még a bedolgozás időpontjában éppen aktuális időjárási viszonyokat, szerkezeti méreteket stb. is számításba kell venni.

E feladatok teljesítése nagy komplexitású mérnöki átlátóképességet igényel; a különböző természeti-fizikai törvényszerűségekhez szorosan kapcsolódó, esetenként új anyagtani ismeretek megszerzése válhat szükségessé.

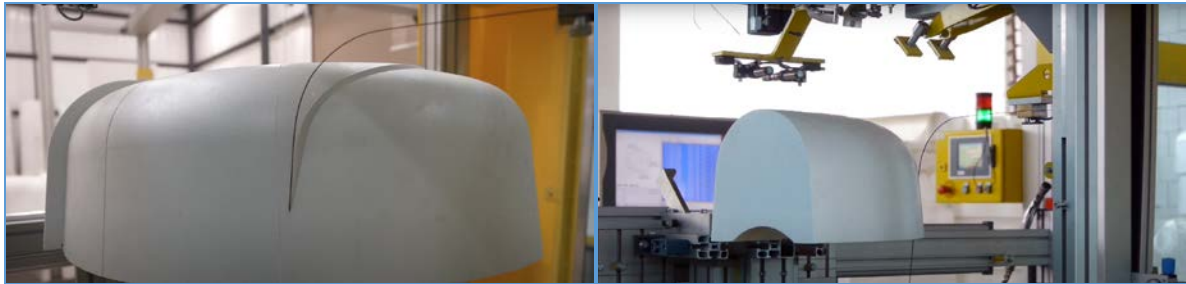
1.2 Első generációs betonipari 3D technikák és moztatórugóik

A betonipar korai 3D technikái az előregyártás területére koncentráltak; különösen a szennyvízcsatorna hálózatok aknafenék elemeit, főként a bonyolult alakzatú, egyedi

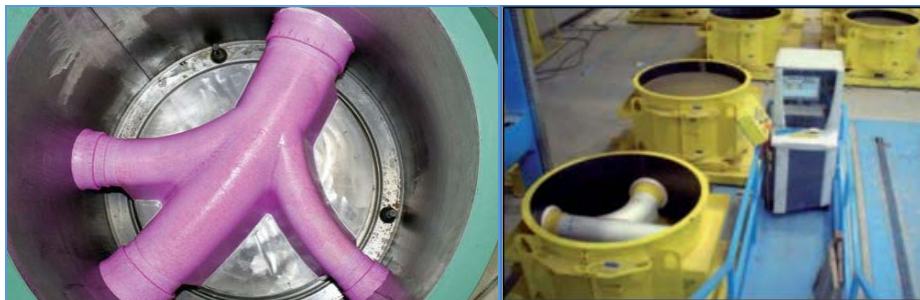
geometriáit vették célba. A kifejlesztett különböző digitalizálási módszerek és robottechnikák segítségével teljes mértékben elhagyhatóvá vált az utólagos építéshelyszíni vésés, a különböző görbületű folyásfenék-kialakítások helyszíni betonozása, a csőcsatlakozások helyszíni habarcsolása.

1.2.1 Aknaalj digitalizált negatív folyásfenéke

Németországban és Olaszországban talákoztam olyan csatornázási aknafenék elemekkel, melyekben a polisztirolhab tömbökből robottechnológiával kialakított és mágnesekkel fémsablonhoz rögzített negatív formára öntik rá az öntömörödő betont (1-4. ábra)



1-2. ábra Digitalizált folyásfenék negatív formájának kimarása EPS-ből robottechnológiával



3-4. ábra A mágnessel rögzített negatív forma körbeöntése öntömörödő betonnal [fotók: Spránitz]

1.2.2 3D betonmarással készülő aknaaljak

A szennyvízknák előregyártásához Európában leginkább a mindössze 2-3 órás korban még száraz megmunkálásra lehetőséget adó 3D betonmarás terjedt el. (5-11. ábra).



5-8. ábra Az előregyártásban 2009-től terjed a 3D betonmarás (fotók: Spránitz)



9-11. ábrák Aknaalj folyásfenék részének és csőcsatlakozásainak 3D marása (fotók: Spránitz)

Tény, hogy a 2000-es évek elején Németországban közel 40 milliárd euro/év költség vált szükségessé a kommunális szennyvízelvezető rendszerek oldódásos, azaz savkorrózió miatti kárainak elhárításához, ráadásul kb. 40%-ot tett ki a csatornahálózatokba kívülről bejutó talajvíz is [6].

A betonipar e területén elindult technológiai fejlődéshez e tényezők is hozzájárulhattak, de vélhetően erős cselekvési készletet jelentett, hogy más iparágak is felfedezték a piacnak ezt a beavatkozásra alkalmas szegmensét (pl. kerámia csövek, műanyag tisztítóaknák), másrészt, pedig a német vízdíjakba beépítették az amortizációs díjtételt, mely jelentős áremelkedéshez vezetett mindazokon a területeken, ahol olyan, szokásos betoncsövek és tisztítóaknák kerültek beépítésre, melyek várható élettartamát max. 25 évre csökkentették Düsseldorf város csatornavizsgálatának eredményei alapján [7].

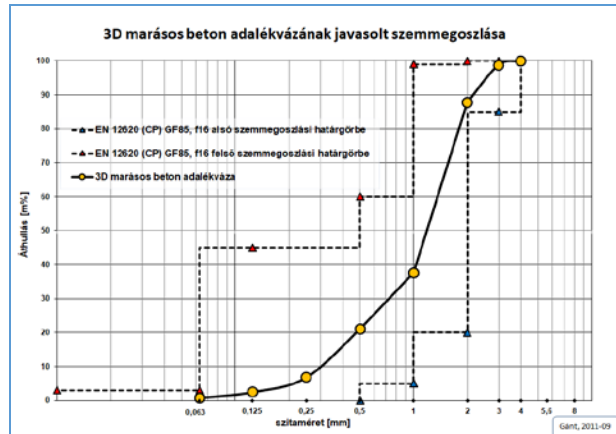
2 A 3D BETONMARÁSOS ROBOTTECHNOLÓGIA

2.1 A betonkeverék összetétele, friss és megszilárdult beton jellemzői

A 2-3 órás korban robotmarásra alkalmas, tehát még csak „zöldszilárdsággal” rendelkező friss beton jellemzőit firtató kérdéseimre a robotmaró technológiát (hardvert és szoftvert) eladó cég képviselői azt válaszolták, hogy ők nem betontechnológusok, hanem gépgyártók, de a korábbi vásárlóknál az alig földnedves, ún. „Dry-Cast Concrete”, azaz a 10 mm-nél kisebb roskadással jellemezhető állag vált be, melynek adalékváza legfeljebb $d_{\max}=2$ mm szem nagyságú.

Az ilyen állagú frissbeton megfelelő tömöríthetősége a gyártószablon alatt elhelyezkedő külső vibrátorok esetében olyan gyártóberendezést igényel, mely széles intervallumban változtatható, programozható amplitúdó- és frekvenciaszabályozóval is fel van szerelve. Míg a kisebb méretű és tömegű termékeknél a kezdeti, rövid idejű nagyobb amplitúdójú rezgést követően általában célszerű a kisebb amplitúdójú, nagy frekvenciájú vibrálás, addig a

magasabb termékeknél nagyobb amplitúdó-beállításra és alacsonyabb frekvenciára lehet szükség, hogy a különböző magasságokat egyenletesen tömörítse a vibrálás energiája. Erre az emlékre „még futotta” a betontechnológiai szakmérnöki képzésen Dr. Rácz Kornéliától megtanult gépészeti ismeretekből, de a 2 mm szemmagyságú AFN beton kemény diónak tűnt. A beüzemelést követő néhány hét próbagyártás végén már betontechnológiai szemszögből is elfogadhatónak tűntek a $d_{max}=2$ mm-es adalékvázzal legyártott és kimart termékek (12. ábra).



12. ábra Adalékváz szemmegoszlása 3D betonmaráshoz

A technológia beszerzésétől eltelt 10 év alatt - a gépgyártó kérésének eleget téve - Afrika kivételével a Föld valamennyi kontinenséről fogadtunk potenciális, 3D betonmaró technológiát vásárolni szándékozó ügyfeleket, ill. fogadtuk az esetenként évek óta sikertelen gyártással küszködő cégek képviselőit is.

Betonkeverék összetételei jellemzői:

- péptartalom: 31 V%,
- tervezett levegőtartalom (tömörítési hiányosság): 2 V%
- pépfázis szárazanyagtartalma: 49,5 V%
- PCE folyósítószer (pépfázis szárazanyagtartalmára): 1,26 V% (MC-Bauchemie Kft.)
- kötőanyag: 3-összetevős, kis C_3A -tartalmú cement+kohósalak+metakaolin

Frissbeton jellemzők:

- keverőgép teljesítmény kijelzőjének adata 1 m^3 esetében: 520-540 mV (függ a mérőműszer típusától, érzékenységtől és a keverőlapátok kopásának mértékétől)
- keverék hőmérséklete: min. $+8^\circ\text{C}$ max. 32°C
- friss termék keménysége a robotmarás megkezdéséhez: 30 ± 5 mm átmérőjű bemélyedés (egyedileg kifejlesztett ütőeszközzel, mert sem a betonoknál szokásos N-típusú, sem pedig a kővizsgálatoknál alkalmazott L-típusú Schmidt-kalapács nem bizonyult alkalmasnak)

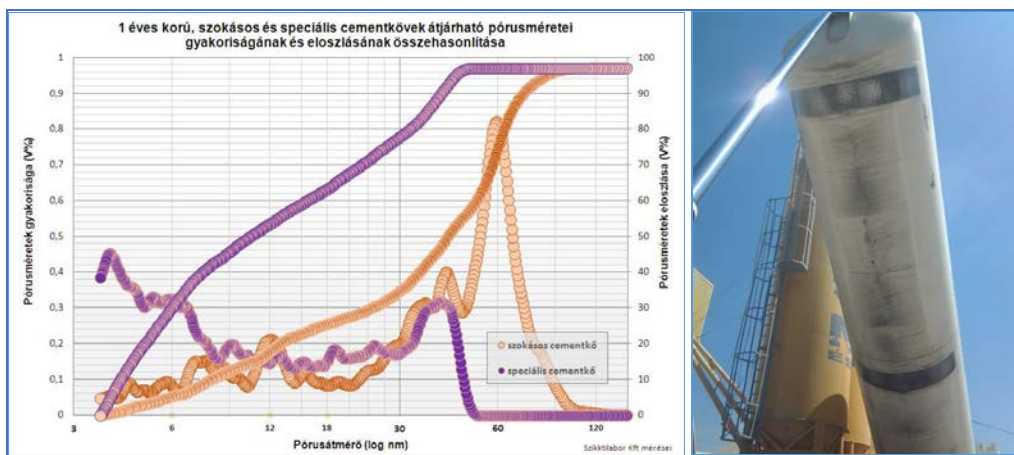
Fúrt magmintákon mért szilárd beton jellemzők [8]:

- testsűrűség: $2.400\text{-}2.440 \text{ kg/m}^3$
- tömörítési hiány okozta levegőtartalom: 2-4 V%
- nyomószilárdság: $R_{\phi 100 \times 100} \geq 60 \text{ N/mm}^2$
- primer vegyszerállóság: nincs károsodás (közegek: 400 mg/l NH_4^+ , $6.000 \text{ mg/l Mg}^{2+}$, $30.000 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$ tartalmú oldatokban és $\text{pH}=3$ kénsav oldatban tárolás 1 hónapig)
- szekunder vegyszerállóság (mart felületeken): $\text{pH}=1$ kénsavoldatban való 1 hónapos tárolás után a felületi keménységcsökkenés kisebb, mint 15%.

2.2 A 3D marású friss- és szilárdbeton jellemzők anyagtani háttere

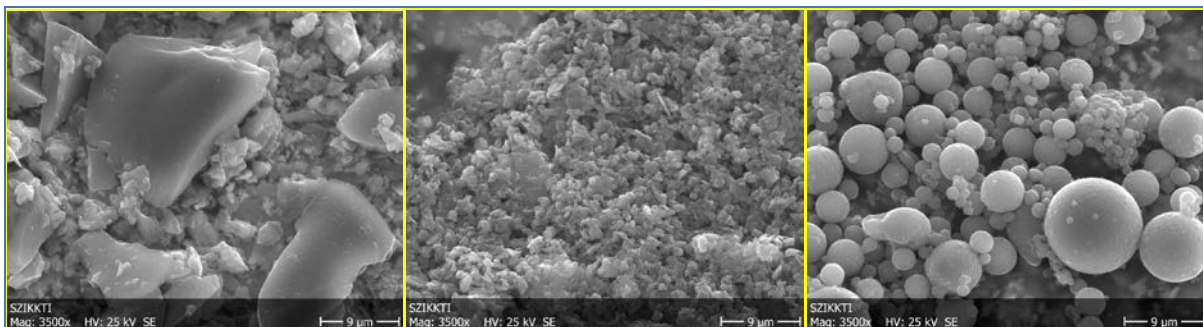
A szokásos portlandcementekkel készített, megfelelően tömör és repedésmentes, gondosan utókezelt szerkezetek is gyorsan károsodhatnak, ha agresszív közegek igénybevételének (pl. savaknak, kloridoknak) vannak kitéve. A gyors károsodás legfőbb okozói a porózus cementkő mezostruktúrájában végbemenő transzportfolyamatok. Ennek során viszonylag gyors vándorlási sebességet is elérhetnek el a pórusfolyadékba jutó olyan ionok és molekulák, melyek a portlandit vagy akár a kalcium-szilikáthidráto kioldódását, az acélbetétek korrózióját, majd a beton repedezését eredményezik.

A cementkő eredendően kedvezőtlen pórusméret-eloszlását és nagy portlandit tartalmát előnyösen befolyásolja a jól ismert, szokásosan alkalmazott örölt kohósalak és szilikapor mellett a metakaolin és kőszénpernye is, melyeket célszerű ömlesztett formában, silóban tárolni és a recepteknek megfelelően automatikusan adagolni a betonkeverőbe (13-14. ábra).



13-14. ábra 1 éves cementkő pórusméret-eloszlásának és gyakoriságának javítása puccolánokkal (baloldali ábrán narancsszínű a tiszta cementkő, lila a kötőanyag-keverék)

A frissbetontól megkívánt mozgékonyasági, reológiai jellemzők is jelentősen befolyásolhatók az egyes cementkiegészítő anyagokkal. Az örölt kohósalak pl. többnyire nem változtat a vízigényen és mozgékonyaságon, de jelentősen növeli a betonkeverék érzékenységét a vérzésre; a metakaolin valamelyest megnöveli a vízigényt, ill. lényegesen javítja a friss termék állékonyaságát és korai szilárdságát, míg a kőszénpernye csökkenti a vízigényt és megnöveli a keverék mozgékonyaságát. E kölcsönhatások magyarázatára jó lehetőséget adnak az elektronmikroszkópos felvételek is. A 15-17. ábrák SEM fotói 3500-szoros nagyításban vizualizálják egy kohósalak, egy metakaolin és egy kőszénpernyetípus szemcsehalmazát.



15-17. ábra A kohósalakszemcsék alakja (baloldalon) leginkább a nyújtott szemmegoszlású zúzottkőre, a metakaoliné (középen) egy sűrű szövésű csipkére, míg a kőszénpernyéről készült felvétel a csapágygolyókra emlékeztet

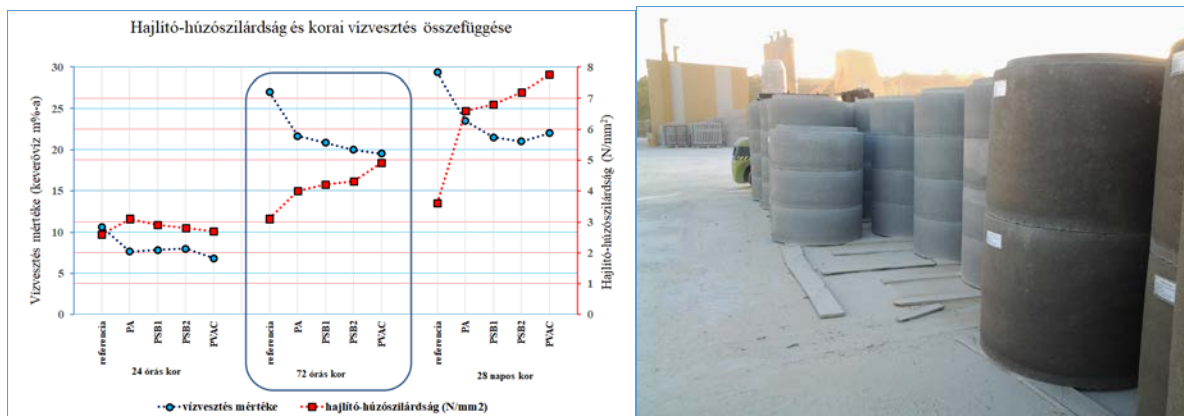
A megtanult szakmai alapismeretekből tudjuk, hogy hangsúlyosan fontos a cementkiegészítő anyagokat tartalmazó, frissen bedolgozott beton megfelelő védelme és utókezelése (19. ábra). Sajnos a gépgyártók jelentős része szerint: „az utókezeléssel nem kell foglalkozni, mert az alig földnedves betonban olyan kevés a víz, hogy azt biztosan megköti a cement”.

Általában nem egyszerű feladat ilyen esetekben meggyőzni a cégvezetést az elhangzottak ellenkezőjéről. A szakmai érvek alátámasztására laborméréseket végeztünk a gyártásból kivett, kis víztartalmú („Dry Cast Concrete”), de jelentős mennyiségű kötőanyagot, hidraulikus és puccolános kiegészítőanyagot tartalmazó keverékből, hogy a korai vízvesztést és a betonkeverékben rejlő szilárdsági lehetőségek kiteljesedének mértékét számszerűsítsük.

A vízvesztés és a hajlító-húzószilárdság mérésére irányuló laborkísérleteink során 4×4×16 cm-es hasábokat készítettünk, azokat letakartuk, majd 6 órás korban kiszaluztuk, tömegüket megmértük és 4×4 cm-es véglapjukra állítva laborklímán tároltuk a rákövetkező vizsgálatokig.

A komponensek sűrűségéből, a keverési arányokból és a kiszaluzáskori tömegmérésből számított, tömörítési hiány okozta levegőtartalom ($V_{lev}=6-7\%$) azért haladta meg kissé a termékgyártás során mért értékeket, mert a speciális gépi tömörítés hatásfokát a nagy gondosságú, rétegenkénti tömörítéssel sem érhettük el.

A Haegermann-sablonokból kiszaluzott próbatestek levegővel érintkező felületeit különböző vizes diszperziós bázisú kipárolgás-csökkentő szerekkel lepermeteztük, majd 1, 3 és 28 napos korban megmértük a hajlító-húzószilárdságokat és a tömegmérésekből kiszámítottuk a 6 órás kort követő vízvesztés mértékét (18. ábra).



18-19. ábra Korai vízvesztés és hajlító-húzószilárdság összefüggése (bal), a termék kis víztartalmának minél további megőrzése nagyban segíti a keverékben rejlő lehetőségek kiteljesedését (jobb oldalon)

Az összehasonlító jellegű mérésekből azt a következtetést vontuk le, hogy a kis víztartalmú keverékből készített, utókezeléstől mentes, nagy párolgó felületű beton 3 napos korra $30\pm 7\%$ -ot elérő szilárdságvesztést szenvedhet el a jelentős korai vízvesztést nem elszenvedett betonhoz képest, mely veszteség 28 napos korra már $50\pm 5\%$ -ra nő.

Az eredményekből megfigyelhető, hogy különösen a 72 órás korú vízvesztés és a hajlító-húzószilárdság mutat igen szorosnak tűnő, tengelyesen szimmetrikus összefüggést.

A 4-féle kipárolgáscsökkentő adalékszer fajlagos anyagköltsége a vizsgálatok idején 50-630 Ft/m² volt, azaz a több tízezer Ft értékű 3D betonmarású termékek gondos utókezelésével a szilárdsági jellemzők a duplájára növelhetők a termékár mindössze 0,1-1 %-nyi költségével.

2.3 Robotmarás előkészítése

A megrendelő által közölt egyedi jellemzőket számítógépes programmal modellezzük a gyárthatóság szempontjából (pl. csatornázási akna átmérője, falvastagsága és magassága, ki-

3D Concrete printing – as a major tool of future automation and digitalization

és becsatlakozó csövek külső és belső átmérője, irányszögei, ki- és befolyások közötti szintkülönbségek, csőcsatlakozások lejtése stb.), majd a gépkezelő számítógépállomásának szoftvere ezeket a jellemzőket lefordítja a marórobot nyelvére (20-22. ábra).

A kinyomtatott és a termékre felragasztott gyártási adatlap nem sak az emberi agy által szokásosan értelmezhető betűkkel és számokkal jelzi az egyedi termék paramétereit, hanem a rajta lévő vonalkód segít a robot számára azonosítani a végrehajtandó feladatot.

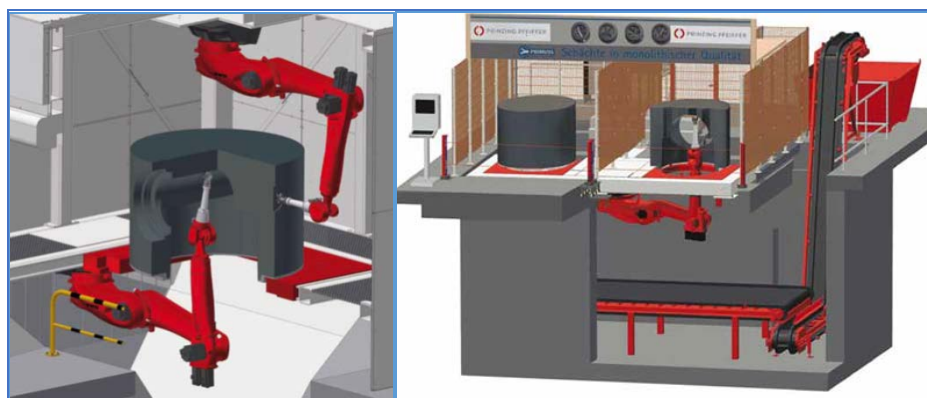


20-22. ábra A megrendelés (baloldalon), a vonalkóddal kinyomtatott gyártási lap (középen), valamint gépkezelő számítógépállomása, mely rögzíti a lézerszenkerral aktuálisan megadott vonalkódot

A vonalkód beolvasását követően a gépkezelő megjelöli a használni kívánt forgatóasztalt, majd a kezelőpulti számítógépállomás elvégzi a biztonsági protokollokat, lefordítja a robot nyelvére az aktuális termékparamétereket, s átadja a marórobotnak a gyártást.

A gyártási adatlapot - rajta az elszállíthatóság napját - e-mailben megkapja a megrendelő, és rendszerint 2 nap múlva (kivételes esetben 24 órán belül) elszállítható az optimális áramlási jellemzőkkel tervezett és legyártott egyedi csatornázási fenékelem.

2.4 Robotmarás



23-24. ábrák 2 robot és 1 forgatóasztal (bal) vagy 1 robot és 2 forgatóasztal (jobb)

Az általunk használt (24. ábra szerinti), 2 forgatóasztalos, 6-tengelyes robotmaró, egyedileg konfigurálható szerszámgépként működik, önállóan, automatizálva végzi el a munka egyes lépéseéhez tartozó precíz, háromdimenziós munkafolyamatokat. A szokásos méretű, bonyolultságú aknafenek legyártása során kb. 4000-6000 parancsot hajt végre a robot.

Az egyedileg konfigurálható aknafenek elemek gyártásához a robot 3,5 m sugarú körben képes elérni szinte minden pontot. Kellően gyors munkavégzést eredményez a marófejek 4200 fordulatszám/perc forgási sebessége, de biztosítva van a gépkezelő számára a fogásmélység és előtolás kézi szabályozhatósága is, mely fontos a hosszú marásidejű termékek betonjának keményedésekor felerősödő szerszámkopás mérsékléséhez. A marófejek ipari gyémánttal bevont, gyorsan cserélhető marólapkák találhatók.

A „nagy és erős” robotmaró „gyenge és kicsi oldalbordája” az ún. KCP kontrollpanel, mely a robot kézi programozó készüléke, s egyben a robot „agya”. Ezzel a kisméretű KCP készülékkel (25. ábrán baloldalon) történik a robot ki- és bekapcsolása, a robotkarok tetszőleges irányítása, a folyamatban lévő parancs teljesítésének képernyőn való megjelenítése, az esetlegesen fellépő hibák kijelzése és azok kezelése.

Az aknaelem méretétől, a marás bonyolultságától függően mintegy 15-50 perc szükséges a tervezett konfiguráció 3D marásához. Kézműszakos gyártás esetén akár napi 50-60 db egyedi termék is gyártható.

A napi gyártások ütemezése során kb. 5 percnyi pontossággal kell megtervezni az egyes betonadagok keverésének és a termék legyártásának időpontját. Erre azért van szükség, mert ha gyorsabb az egymást követő termékgyártás, mint a marási idő, akkor a marásra várakozó friss termék túlzottan megkeményedhet, s a gyártás meghiúsulhat; míg, ha túl korán kezdődik a marás, akkor a nem kellő „zöldszilárdságú” betontermék könnyen roncslódnak. A gyártást megelőző napon előkészített gyártási terv több szempontot is figyelembe vesz (pl. az egyes marások várható időtartama, gyártás hideg vagy meleg időszakban, dolgozók étkezési szünetének időpontja, elvárt hatékonyság, selejtmentesség, kis szerszámkopás stb.).



25-26. ábra A KCP készüléken (baloldali ábrán) a gépkezelő csökkenti a marás előtolását, mely főként a jobboldali ábrán látható, hosszú marásidejű aknáknál válik szükségessé

A 3D betonmaráshoz tartozó három számítógép hálózati kapcsolatban kell legyen. Az irodai gépen, a megrendelői adatok alapján elkészül a gyártási lap; a gépkezelő számítógépe a gyártási lap vonalkódját befogadva lefordítja a műszaki adatokat a robot nyelvére; s végül a robot KCP-je pedig ez alapján adja ki a parancsokat a robotnak.

Ezek, a betonipari gyakorlatban korábban ismeretlen informatikai történések számos izgalmas „leckét” adnak fel, mint pl. a számítógépek közötti hálózati kapcsolatok ún. „pingelés” ellenőrzése, a marófej megszorulása miatt leálló robot újraindítása a KCP billentyűzetén való „lin visszalépegetésekkel”, a KCP által bármilyen okból hibásnak értelmezett xml fájl cseréje, vagy a robot számára kezelhetetlen, ún. egyedi helyzet fellépése esetén szükséges teendők stb. Meg kell említeni a digitális kompetenciák meglétének vagy kifejlesztésének szükségességét is (pl. információ megítélése, problémamegoldási készség, kudarctűrés, kreativitás). A gépkezelőnek is sikerélményt ad, amikor olyan konfigurációt valósítunk meg, amire eredendően nemet mond a program, de mégis sikerül „becsapni” a robotot.

3 IPAR ÉS EGYETEM EGYÜTTMŰKÖDÉSÉNEK EREDMÉNYE

2021 tavaszától hiánytermékeknek minősültek egyes, kisméretű, vasbeton termékek.

Mind a vasszerelés díj-, mind pedig annak anyagköltsége drámai módon emelkedett meg. A díjköltség emelkedését a vasszerelés esetenkénti bonyolultsága és a szakemberhiány magyarázta; az anyagköltség növekedését pedig az alapanyaghiány és a nemzetközi szállításokban keletkezett zavarok.

Az adott vasbeton termékek árának ésszerű határokra belül tartásához célul tűztük ki a hagyományos vasalás teljes mértékű helyettesítését szálerősítéssel.

Műszaki-gazdaságossági számításaink szerint még a jelentősnek tekinthető szálmennyiség (1,6-2 V%) költsége is átlagosan kb. 10.000 Ft/db előnyt mutatott fel az adott termékek esetében a szálerősítés javára, a hagyományos vasalással való összehasonlításban.

Az elképzelés megvalósításához szükség volt az ún. HPSFRSCC („High Performance Steel Fibre Reinforced Self Compacting Concrete) típusú beton rutinszerű előállítására.

Kis száltartalmú, száladagolás nélküli, valamint rövid szákkal kevert nagyszilárdságú betonokra voltak már többé-kevésbé sikeres gyártási tapasztalataink, de ezek egyike sem eredményezett nagy szívósságú, repedést követően felkeményedő jellegű betont.

Közel 1 hónap laboratóriumi és ipari keverési próbáit követően tapasztaltuk, hogy a kizsaluzott betontermékek rendkívüli szívósságúak, szinte törhetetlenek; de a mérnökiileg számszerűsített mértéket csak az egyetemi laborvizsgálatok deríthették ki.

Egyazon összetételű keverékhez adagolt 3 fajta száltípussal és egy szálerősítés nélküli verzióval készítettünk - valós, ipari keverékekből - gerenda és kocka próbatesteket, melyeket a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék laboratóriumában vizsgáltattunk meg.

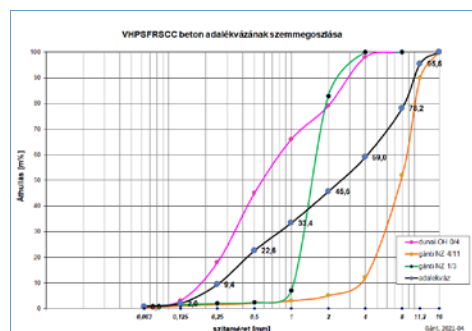
Dr. Balázs L. György professzor javaslatára az egyes száltípusok hatásának értékeléséhez az MSZ EN 14651:2005+A1 szabvány szerinti gerendakísérlettel meghatározható, erő – CMOD (Crack Mouth Opening Distance) görbe felvételét kértük.

3.1 Az ipari megoldás

A betongyári keverőgépben a korábbi években már sikertelennek bizonyult a hosszú és nagy mennyiségű szállal való betonkeverés, ill. a vékony és rövid acélszálak pedig a keverő tengelyének tömítéseit roncsolva bejutottak a zsírzással kent forgási helyekre, ezért az ún. felkeményedő típusú, szívós beton iparszerű gyártása az ifjúkori vágyálmok polcára került.

2021 tavaszán, a korábbi tapasztalatok birtokában kezdtük el az új típusú, ún. kétütemű betonkeverést.

Az első ütemben 49 V% pépfázissal kevertük meg a $d_{max}=12$ mm-es adalékvázat (27. ábra), majd a második keverési ütemben a betonkeveréket adagoltuk az 50 mm hosszú, nagy mennyiségű (1,6 V%) acélszálhoz. Szemmel is jól látható volt, hogy a betonkeverék jól befogadja, esetenként a kőszemcsék alakjához görbíti az acélszálakat.



27. ábra HPSFRSCC beton adalékvázatának szemmegoszlása

Az első ütemben megkevert frissbeton pépfázisa 61 V% szárazanyagtartalommal és e szárazanyagtartalomra vetített 4 V% PCE folyósítószer tartalommal (MC-Bauchemie Kft.) készült. A pépfázis szilárdanyag része az előzetes laborkísérletek alapján összeállított 3-összetevős kötőanyagkeverék. A kötőanyag összetevőinek célzott megválasztásával nem csak a friss pépfázis, ill. a frissbeton reológiai jellemzői befolyásolhatók, hanem a megszilárd betonban lezajló, ion- és molekulavándorlással járó transzportfolyamatok sebessége is, mely a beton tartósságának talán a legfőbb jellemzője [9]. E transzportfolyamatok sebessége jó korrelációban van az átjárható pórusok méreteloszlásával, különösen a 30 nm alatti pórusok részarányával [10].

Ipari, gyakorlati keveréseink során tapasztaltuk, hogy az $l/d=50$ körüli „aspect ratio”-vel jellemezhető, kampós kivitelű acélszállal (Avers Kft.) akár még a 2 V% (kb. 160 kg/m^3) mennyiség is könnyen homogénre keverhető, ha van lehetőség a szálak 2. ütemben történő bekeverésére. Ehhez a módszerhez kézenfekvőnek tűnt a Bobcat munkagépünk keverőadapterébe szórt egy zsák (25 kg) acélszálhoz adagolt, előzetesen már megkevert 200 l beton (28-30. ábra) másodszori megkeverése. A keverék öntömörödő jellege láthatóan elősegítette a viszonylag nagy szálmennyiség 3-4 percen belüli homogén eloszlását.



28-30. ábra A Bobcat munkagép keverőadapterével gyorsan homogenizálható a 125 kg/m^3 acélszál

Ez a frissbeton a szokásosan alkalmazott, nyírásra vékonyodó reológiai viselkedéssel szemben nyírásra már éppen vastagodó, így nem áll fenn az acélszálak ülepedésének veszélye.



31-32. ábra Az önjáró Bobcat munkagép különböző sablonokba üríti a kívánt adagokat

3.2 BME vizsgálatok, egyetemi szakértés

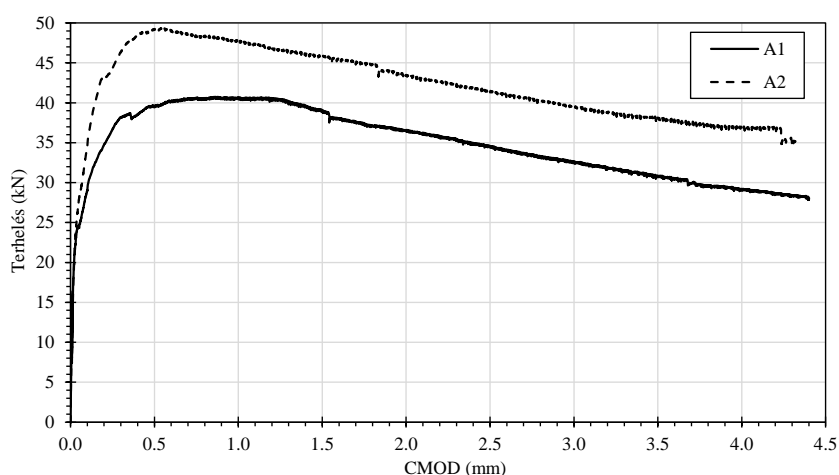
A BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék a szakértésében megemlíti, hogy a bevizsgált négyféle betonkeverékből a nagy mennyiségben, hosszú acélszalakat tartalmazó betonösszetétel szívóssága meghaladja a szokásos szálerősítésű betonokét, ezért különösen alkalmas lehet a fásztó jellegű és a nagy dinamikus terhek tartós elviselésére.

Az elvégzett nagyszámú laboratóriumi vizsgálat eredményeiből az 50 mm hosszú, 125 kg/m³ acélszáltartalmú betonon mért értékeket tartalmazza az 1. táblázat.

1. táblázat Acélszálas betonösszetételen elvégzett mechanikai vizsgálatok eredményei

Mechanikai vizsgálatok	Mért eredmények, min-max (zárójelben az átlagérték)
Hajlító-húzószilárdság (N/mm ²)	12,8-15,4 (14,1)
Arányosági határ, azaz a 0,05 mm repedésmegnyíláshoz tartozó feszültség (N/mm ²)	7,7-8,7 (8,1)
CMOD ₁ , azaz maradó hajlító-húzószilárdság 0,5 mm repedéstágasságnál (N/mm ²)	12,4-15,4 (13,9)
CMOD ₂ , azaz maradó hajlító-húzószilárdság 1,5 mm repedéstágasságnál (N/mm ²)	12,3-14,4 (13,3)
CMOD ₃ , azaz maradó hajlító-húzószilárdság 2,5 mm repedéstágasságnál (N/mm ²)	10,8-12,9 (11,9)
CMOD ₄ , azaz maradó hajlító-húzószilárdság 3,5 mm repedéstágasságnál (N/mm ²)	9,7-11,9 (10,8)
Nyomószilárdság a hajlítóvizsgálat után levágott gerendavégeken (N/mm ²)	115-133 (126)
Nyomószilárdság a 15 cm élhosszúságú próbakockákon (N/mm ²)	121-124 (123)
Testsűrűség próbakockákon (kg/m ³)	2466-2558 (2520)
Testsűrűség hajlítóvizsgálat után levágott gerendavégeken (kg/m ³)	2533-2560 (2548)

Örültem, hogy az egyetemi CMOD laborvizsgálatokon jelen lehettem, mert a több mint 10 éve megcélzott, repedést követő felkeményedést végre sikerült elérni, sőt ezt az eredményt számszerűsítette is a BME akkreditált vizsgálólaboratóriuma (33-34. ábra).



33-34. ábra Terhelő erő - repedéscsúcs megnyílás (CMOD) diagram (baloldalon) és a mérést követően kettétörhetetlennek bizonyult gerendapróbatest (jobbaldalon)

4 MEGÁLLAPÍTÁSOK

A hazánkban, de talán világszerte is még különlegesnek tekinthető betonok (pl. 3D marás, HPSFRSCC) szakértői vizsgálatával is foglalkozó BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék korszerű vizsgálóberendezésekkel és felkészült műszaki gárdával segíti az ipari innovációs kezdeményezéseket.

A betoniparnak, de tulajdonképpen az egész országnak jelentős értékteremtést eredményez, hogy a BME Építőmérnöki Karán már több mint 20 éves a betontechnológus szakmérnök-képzés, melyre, mint eddig is, úgy a remélhetően közelgő 3D betonnyomtatás korszakában is támaszkodhatnak a tervezők és az ipar képviselői. Ez a típusú és tematikájú szakmérnöki képzés az ország szinte minden szegletében forrása a jelentős mérnöki alkotások jó gyakorlati megvalósításának.

A 3D betonmarás iránt érdeklődő, különböző országokból érkezett, valamint hazai ipari szakemberekkel folytatott szakirányú információcseréket értékelve elmondható, hogy a betontechnológia területén Európa-szerte kivételes előnyünk lehet.

A hajdani betontechnológus szakmérnök képzés elindításához hasonlóan, talán már közel járhatunk egy új képzés, a 3D betonnyomtató szakmérnöki képzés bevezetéséhez.

A 3D nyomtatású betonokkal kapcsolatban publikált kísérleti és ipari gyakorlat szakirodalmának tanulmányozásából kitűnik, hogy az építészeti szabadságot nyújtó egyedi formák megvalósítása, az anyag-, élőmunka- és építési időigény csökkentése látványos, erőteljes fejlődést mutat, ugyanakkor a tartósságra irányuló anyagtani és betontechnológiai tervezés, valamint ezek gyakorlatba való átültetése terén még további kutatásokra van szükség.

5 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzője köszönetet mond a Dolomit Kft. vezetőségének, akik a bizalmat és az anyagi támogatást adták a munkához, valamint köszönettel tartozik a cég betonüzeme dolgozóinak.

6 IRODALOMJEGYZÉK

- [1] http://primuss.samagentur.de/fileadmin/user_upload/bilder/Press/DE/Rinninger_Mai_2011.pdf - megtekintve, 2021.11.08.
- [2] NVKP_16-1-2016-0019, Fokozott ellenálló képességű beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése, <https://em.bme.hu/em/nvkp>, megtekintve 2021.11.09.
- [3] http://www.expertcentre.dk/media/24477/bilag_2_n26_-_jwg_presentation_-_tc104_sc1_-_tc250_sc2_-_march_2014.pdf – megtekintve 2021.11.09.
- [4] BAWMerkblatt: Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC) – megtekintve 2021.11.09.
- [5] http://www.psc.ro/wp-content/uploads/2013/07/M515_TC-250-answerAnnexes.pdf - megtekintve 2021.11.09.
- [6] https://www.researchgate.net/publication/242418868_Using_concrete_admixtures_for_sulphuric_acid_resistance - megtekintve 2021.11.09.
- [7] Kovács, K., Füstös, A., „Düsseldorfi csatornavizsgálat eredményei és következményei“ - Vízmű *Panoráma* szakmai lap, 2007/2. Különszám
- [8] BME Építőanyagok Tanszék: Szakértés beton csatornázási aknaelemekről, BME reg. szám: 42286-003/EA-2011-003/EA-2011
- [9] Ujhelyi, J., „Betonismeretek“, Egyetemi tankönyv, BME, 2005
- [10] Laczkó L., Spránitz F., Vasbeton szerkezetek 5, 50 500 vagy 5000 évre?, online konferencia 2021.03.30.

A digitális átállás a szakirodalmak olvasásában

Összefoglalás

Egyetemi tanulmányaimmal együtt a 60 éves pályafutásomból az utóbbi néhány év hozta a legtöbb változást a szakirodalmak hozzáféréseben.

A rebszerváltás előtt a nagyvállalati könyvtárak, az Országos Műszaki Könyvtár, a BME könyvtára jelentették a fő hozzáférést a szakkönyvekhez, szakcikkekhez.

A rebszerváltás után egymás után szűntek meg ezek a források, irígykedve néztük a nyugati országok műszaki könyvesboltjainak a választékát, miközben egyre kevesebb új műszaki könyv jelent meg magyarul. Megszűntek a műszaki könyvesboltok, az egyetemek, főiskolák könyvbeszerzései, folyóirat beszerzései átláthatatlanná váltak. A magyar építőmérnökök egyre kevesebb külföldi szakirodalmat olvastak.

Az utóbbi néhány év jelentős változásokat hozott. az egyik legnagyobb digitális világkönyvtár a Z-Libery révén a korábbiaknál nagyságrendekkel több főleg külföldi szakiradalmakhoz tudunk hozzáférni. a robot fordítási lehetőség révén akár 70 nyelvből készíthetünk magunknak magyar nyelvű változatot.

60 évvel ezelőtt, amikor az egyetemi tanulmányaimat elkezdtem, nagyon szerettem az egyetemi könyvtár olvasó termében a szakkönyveket olvasni. Már a Bartók Béla úti technika könyvesbolt és antikvárium is egy új világot tárt elém. Néhány könyvet meg is vásároltam a társadalmi ösztöndíjamból. Miután a 31 sz. ÁÉV társadalmi ösztöndíjasa voltam, használhattam a vállalati könyvtárat is. Akkor még az olyan nagyvállalatoknak, mint a 31 sz ÁÉV, saját könyvtáruk is volt, benne több külföldi folyóirattal is, mint a Beton und Fertigteil Technik, Beton- und Stahlbeton, Bautechnik, Zselezobeton és hasonlók.

Később, a diplomatervem készítésekor nagy felfedezésemnek számított Koncz Tihamér 3 kötetes Handbuch der Fertigteilbauweise könyvei.

Amikor a diploma védés után Hódmezővásárhelyre kerültem, alkalmasint a szabad szombatokon az akkor még létező Országos Műszaki Könyvtár olvasó termében tudtam átlapozni a legújabb szakkönyveket, folyóiratokat.

Később az ÉTE Építéstudományi Egyesület konferenciái nyújtották a legfrissebb információkat. érdeemes áttekinteni az építőipari kutatások, fejlesztések szakmai információit ezen 60 éven keresztül.

Előre gyártási Konferencia Drezda 1954

Mokk Lászlótól örököltem meg ezen konferencia kiadványát, féltve őrzött könyvem. Gnaedig Miklós és Mokk László előadásai az 50-es évek elejének magyar vasbeton szerkezeteiről igen nagy nemzetközi figyelem felkeltést jelentettek.

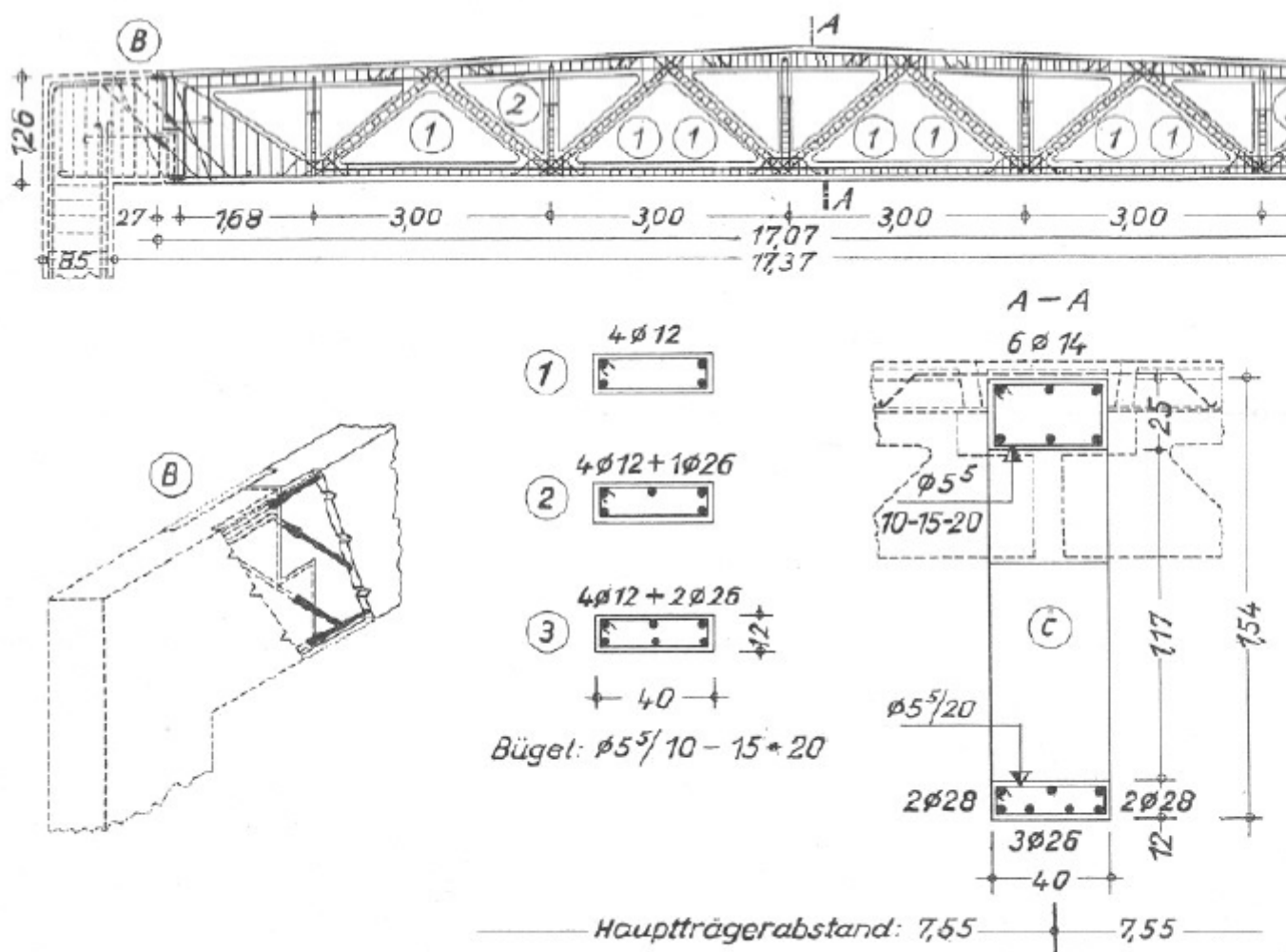


Bild 7. Hallenkonstruktion, Spannweite 17 m mit 9,5-t-Hauptfachwerkträgern. Biegesteif gefertigten Fachwerkriegels mit den Oribetonsäulen

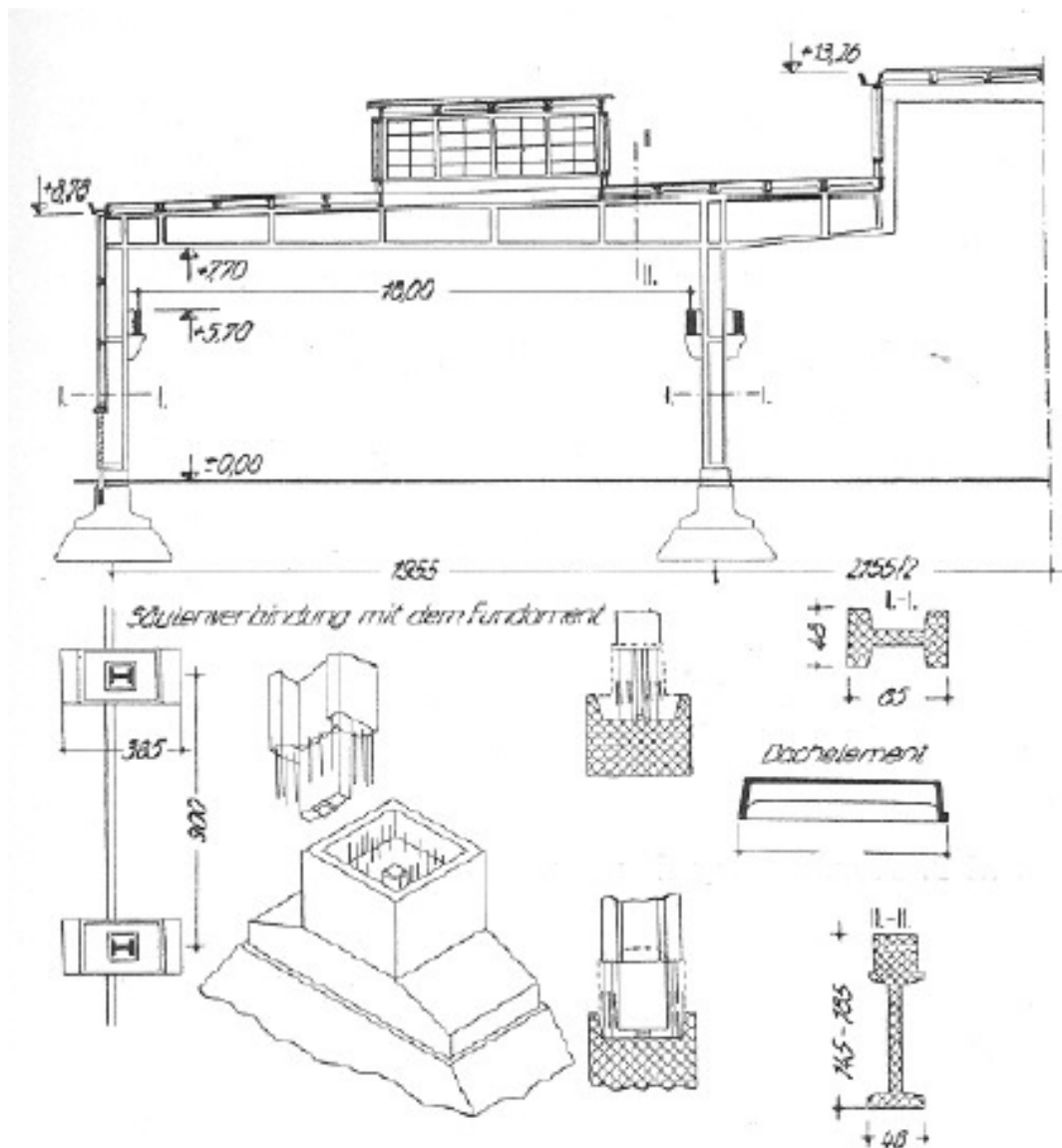


Bild 3. Zeichnerische Darstellung einer im Jahre 1951 errichteten dreischiffigen Halle

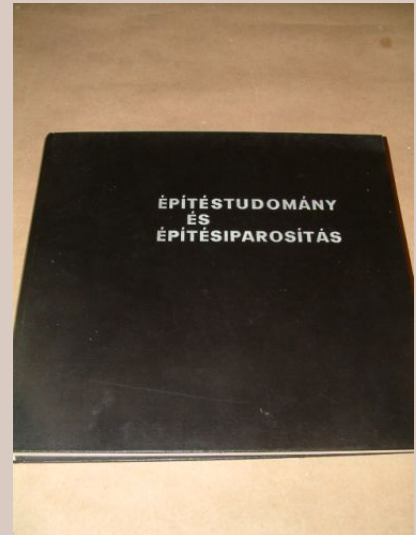
1968-ban jelent az Építéstudomány és építésiparosítás című könyv A magyar építési kutatás 20 évről. Erről a 20 évről manapság leginkább csak rosszakat lehet hallani, de amikor ezen könyvet lapozgatom, kicsit irigykedve gondolok ezen időszakra, mennyire koordinált és sikeres volt akkor az építéstudomány, milyen hatalmas előre lépések voltak az építésiparosítás területén. Igazán nagyon sajnálom, hogy az ilyen könyvek még ma sem olvashatók digitális változatban, pedig nagyon tanulságosak lennének. Azokban az években az Építéstudományi Intézet ÉTI, az Építésgazdasági és Szervezési Intézet az ÉGSZI, az építéstudományi egyesület az ÉTE biztosítottak a szervezett építéskutatást és az építési kultúra, az építéstechnológiák gyors fejlődését. Ma az antikvár honlapon találunk róla ismertetést, és megvásárolható.

Építéstudomány és építésiparosítás

Dr. Kunszt György (Szerkesztő)

Tartalom:

- Az építési kutató szervezet kialakulása
- A kutatás szerepe az iparosított építésmódok bevezetésében
- A kutatás szerepe az építési szakágak fejlesztésében
- Építéstudományi alapkutatások
- A kutató szervezet tevékenységének értékelése és távlatai



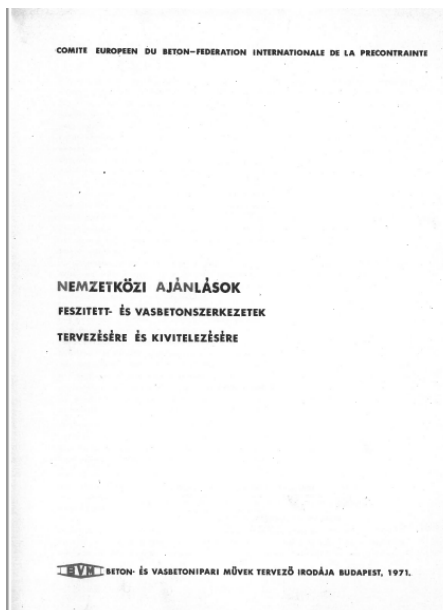
[Kattintson a nagyításhoz](#)

1970 -ben a prágai FIP konferenciával kapcsolatban ismerkedhettem meg a FIP nemzetközi szervezettel, és a magyar FIP szervezettel.

A FIP történetés Tassi Géza könyvében lehetne olvasni, ha lenne róla digitális változat: **A FIP Magyar Tagozatának története a kezdetektől 1998-ig**

az eredeti könyvhöz ma már nehéz hozzájutni.

Ezen 1970 évi FIP konferencián adták közre a nemzetközi ajánlásokat, melyet azután nagyon gyorsan Fogarasi Gyula BVM magyarra fordított és kiadásra került:

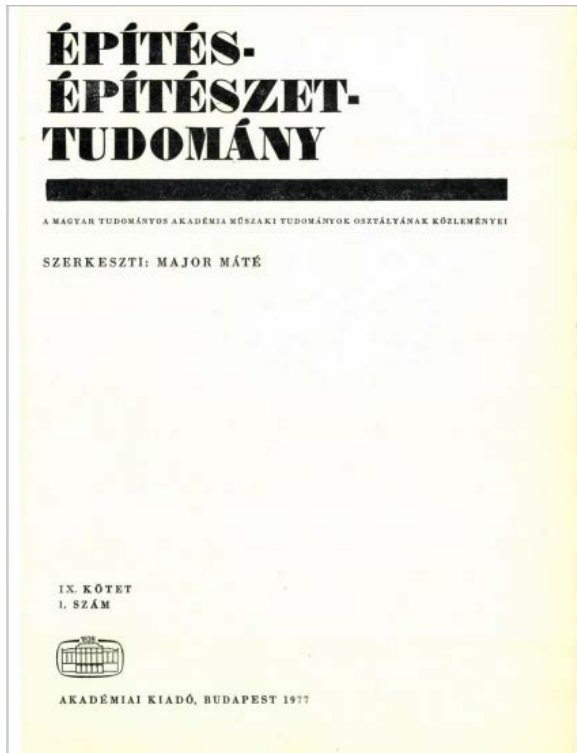


Ma legkönnyebben az Arcanum digitális könyvtárán keresztül juthatunk ezen és a korábbi idők szakmai írásaihoz.

Nagyon tanulságos például az 1976 évi Építés iparosítás konferencia kiadványát ma olvasni:

Iparosított építés konferencia

Építés- építéstudomány 1977/1 száma



TARTALOM Az iparosított építés építészeti problémái (Az MTA 1976. május 20—21-én tartott konferencián elhangzott előadások és hozzászólások szövege)

GÁBOR LÁSZLÓ: Megnyitó

3

I. Az iparosított építés építészeti kérdései

9

BÖHÖNYE I JÁNOS : A Z iparosított építés építészeti problémái (bevezető előadás)

9

BONTA JÁNOS : A tömeges építés esztétikuma

25

SZŰCS ISTVÁN : A társadalmi igények változása és az építés iparosítása

27

BÖJTHE TAMÁS : Iparosított ipari építészet

30

TENKE TIBOR : Iparosított építés és lakóegyüttese

33

KASZA B ÁKOS : A tömeges iparosított lakásépítés építészeti problémái
36

FINT A JÓZSEF : A középületépítés iparosításának építészeti problémái
4 1

II. Az iparosított építés szerkezeti kérdései
45

VALKÓ GÁBOB : A Z iparosított építés szerkezeti kérdései (bevezető előadás)
4 5

SEBESTYÉN GYULA : Az építésiparosítás és a korszerű építészet összhangjáról
57

PATTANTYÚS-ÁBBAHÁM ÁDÁM : Az iparosított építés néhány épületszerkezeti problémája
60

PETRÓ BÁLINT : A Z iparosított építés szerkezettervezési módszerei és a tervező építészmérnök feladatai
62

OTTMÁB BÉLA : Méretkoordináció és flexibilitás
6 4

ZÖLD ANDBÁS : Az épületelemek hőtechnikai tulajdonsága i és az épület energiaháztartás a
66

III. Az iparosított építés gyártási és szervezési kérdései
71

KOCSI S FEBENC : A Z iparosított építés gyártási és szervezési kérdései (bevezető előadás)
71

Kiss JÓZSEF : A Z iparosított építéssel összefüggő vezetői feladatok az építőipari vállalatoknál
81

KEECSMÁR GYÖBOY : A tervezői és kivitelezői munkamegosztás fejlődése az iparosított építésben
85

PÁBKÁNY I MIHÁLY : A tudományos extrapoláció korlátai, lehetőségei és módszerei az építéstudományban
89

KÉVÉS GYÖRGY : Az iparosított építés műszaki követelményeinek érvényesítése
9 5

SZABÓ JÁNOS: Záróelőadás
97

AZ IPAROSÍTOTT ÉPÍTÉS ÉPÍTÉSZETI PROBLÉMÁI Az MTA 1976. május 20 — 21-én tartott ankétján elhangzott előadások és hozzászólások szövege*

DR. GÁBOR LÁSZLÓ MEGNYITÓ

Tisztelt Ankét!

Engedjék meg, hogy bevezetőként a következőket mondjam. Az építészet mindenki által ismert és az állandóan változó világban is mindig változatlan feladata: a társadalom (és a benne élők) valamennyi tevékenységét befogadó térbeli keret, emberi jellegűvé formált mesterséges környezet megteremtése, az ember egész világának az adott kort és társadalmat kifejező megmintázása, mint ahogy mondani szokás, az élet sínpadjának berendezése, ami nyilvánvalóan azt jelenti, hogy az építészetre, az építészekre és az építőkre mennyiségben állandóan növekvő, körülményeiben egyre nehezedő, összetettségben és bonyolultságában pedig folyton fokozódó munka hárul, röviden kifejezve roppant méretű és hatalmas felelősségű feladat megoldása vár, ami magától értetődően azt is jelenti, hogy e feladatot a társadalom valamennyi (de fontosság és sürgősség alapján sorolt) igényéből kiindulva, az adott körülményekhez, a gazdasági lehetőségekhez, az ipari háttérhez, a munkaerőhelyzethez, a tudományos és technikai színvonalhoz stb. igazodva kell megoldani, ami az adott esetben egyrészt azt jelenti, hogy a feladat nagyon nehéz, hiszen azzá teszi, hogy megoldásához az aránylag gyorsan növekvő igény, a hamar bővülő szükséglet, a hirtelen fejlődő technika, a napról napra változó technológia és a hozzájuk képest lassabban formálódó lehetőség, a meglehetősen elmaradó teljesítőképesség és a fokozódó kötöttség közötti különbség kiküszöbölésére van elengedhetetlenül szükség, de nagyon szép is, legalább is hitem szerint, - hiszen azzá teszi, hogy sikeres teljesítéséhez több akaratra, bátrabb kezdeményezésre, sokoldalúbb megközelítésre, alaposabb elmélyülésre, fokozottabb problémaérzékenységre, gondosabb elemzésre és merészebb gondolkodásra van szükség, mert az építészeknek a „mind többet és egyre jobban” szocialista szakmapolitikai elvet az adottságok néha meglehetősen szűk keretei közé szorítva, a nem kis kihatású szerkezeti, technológiai és gazdasági kötöttségek által korlátozva kell megvalósítani; ami másrészt magyarázatul szolgál arra, hogy mi az oka annak, * Az ankétot a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya, az Építészettudományi Bizottság és a Magyar Építőművészek Szövetsége közreműködésével rendezte. Itt közölt (rövidített) anyagát a Tervezésfejlesztési és Típustervező Intézet Műszaki és Információs Főosztálya állította össze. Az ankét teljes anyaga sokszorosított formában megjelent a MÉSZ kiadványaként az 1976 évben.

Manapság az építészek gondolatai a házról, a városról, az építészeztől olyannyira összetett (komplex) formában, szinte világképpé kitarultan jelennek meg, hogy az eddig egyszerűnek hitt bonyolulttá válik, a valamikor bonyolultnak bizonyult pedig szinte áttekinthetlenné kuszálódik már össze; hogy ezek a gondolatok tele vannak sok minden olyannal, amit valaha egészen az építészetten kívülinek tartottak, hiszen teljesen átítatódnak a demográfia, az ökológia, az ergonómia, a szociológia stb. kérdéseivel; és hogy az (építészeti, urbanisztikai) megoldás keresésekor egyidejűleg a problémák közötti összefüggések, kapcsolatok számának növekedésével, a sokformájú és többrejtű kölcsönhatások egész rendszerének feltárásával mind gyakrabban bukkan fel a matematika módszereinek és nyelvének alkalmazása; és hogy az építészek gondolatai egyre inkább a kicsitől a nagy, az épülettől a település, a várostól az ország, a mesterségtől az elmélet, az egyedi alkotástól a tömegtermelés, az egyénitől a társadalmi felé fordulnak; hogy ezekkel kapcsolatban a félreértések, az ellentmondások, a tévhitek egész regimentje bukkan fel, az építészek a megemésztetlen álmok, a megalapozatlan félelmek és az ezekből sarjadó akarás és ellenállás pólusai között ingadoznak.

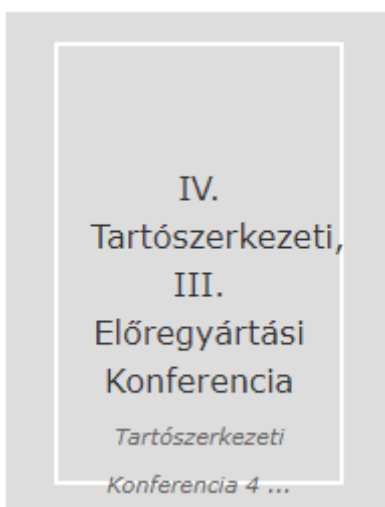
Meggyőződésem szerint a felvázolt roppant feladat megoldása mind elméletben, mind gyakorlatban az építés iparosításához kapcsolódik, következésképpen az iparosított építés új objektív törvényeinek felderítését, azok alkalmazási módjának meghatározását tételezi fel, s így számtalan, egymással többrejtűen összefüggő (sőt bizonyos esetekben természetesen rendszert is alkotó) elméleti kérdés tisztázását követeli meg. Ez teszi megbeszélésünket fontossá, felelősségünket jelentőssé, tennivalóinkat sürgőssé, hiszen feladataink megoldása egész sor kérdés feltevését és megválaszolását teszi szükségessé, mivel el kell döntenünk, hogy mit, miből, hogyan, mennyi időre, milyen anyagi és erkölcsi elhasználódást feltételezve, milyen használati értékkel és milyen

előfeltételek teljesítése mellett építsünk meg. A „mit építeni” kérdésre adott válasz alatt annak eldöntését értve, hogy az adott feladat megoldásakor, az adott esetben, az adott helyen (vagy azzal azonosítható általános helyen), az adott időpontban, az adott körülmények között, az adott célra létrehozott (lakó-, köz-, ipari vagy más) épületnek vagy azok csoportjának, együttesének milyen követelményeket, milyen igényszinten és milyen időbeli változást, fejlődést feltételezve kell kielégítenie, a feltett kérdésre pedig azt válaszolva, hogy olyanokat, olyan szinten és olyan mértékű változásokkal számolva, amelyek az adott társadalmi valóságból (fejlettségi fokból, nemzeti jövedelemből, életszínvonalból, ipari és technológiai szintből, termékválasztékból) és annak várható alakulásából szükségszerűen adódnak, és nyilvánvalóan az adott természetes és mesterséges környezethez (táji és települési jelleghez) igazodva. A „miből építeni” kérdésre adott válasz alatt annak meghatározását értve, hogy az adott épületet (épületegyüttest, akár egész települést) a „mit” kérdésre adott válasz alapján milyen fő szerkezeti anyagokból, azok milyen szerkezeti rendszerbe foglalásával, milyen építési technológia(ák) felhasználásával valósítsuk meg, természetesen figyelembe véve: az épület termékjellegét (azaz egyedi vagy tömeges voltát), az épület jelentőségét (azaz építészeti, városképi fontosságát).

Ma, 45 év után újból elolvasva ezeket az írásokat, megdöbbenő, milyen átfogó tanulmányokat olvashattunk lényegében ugyanazon témákról, melyek ma is aktuálisak lehetnének, csak hiányzik az a központi szervezet, mely ezeket a témákat összefogná.

Tartószerkezeti és előregyártási konferenciák

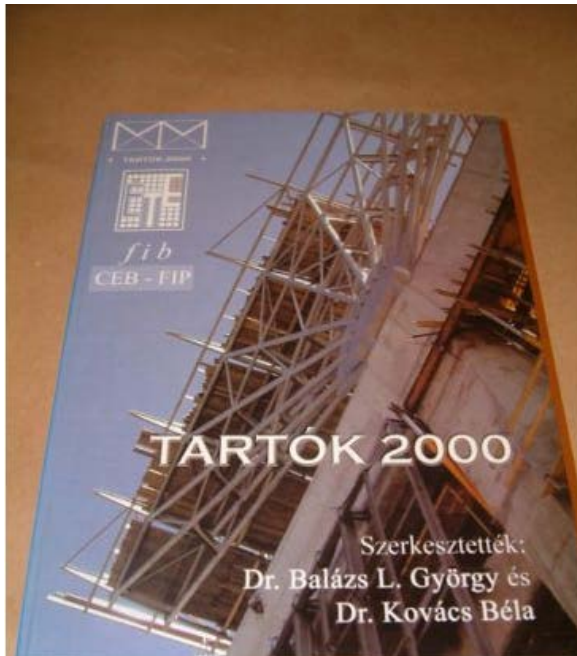
Nagyszerű élmények voltak az ÉTE rendezésében tartott Tartószerkezeti és Előregyártási konferenciák. Különösen emlékezetes az 1979 -ben megrendezett IV -ik konferencia.



Ezen a konferencián Oskar Schmalhofer és KG Barnander is tartottak nagyszerű előadásokat. A konferenciát követően vásárolta meg az akkori BVM a svéd

Sraengbeton technológiát, ebből lett a BVM-TIP rendszer. Nagyon szomorú, hogy az akkori kiadvány digitalizálása még nem történt meg, ma is tanulságosak lennének a konferencia előadásai.

A VI-ik és egyben utolsó tartószerkezeti konferencia előadásainak kiadványa



A saját előadásom:

TARTÓSZERKEZET TERVEZÉS TEGNAP, MA, HOLNAP

*Polgár László
PLAN 31. Mérnök Kft.
1052 Bp., Semmelweis u. 9.*

ÖSSZEFOGLALÁS

A számítógépek fejlődése az ezredfordulón olymértékben megváltoztatta é hogy alig tudjuk követni az eseményeket. A szerző 34 év tervezésben, kivite mindig egy látszólag szűk területen, az előregyártott vasbeton tartósze megvalósítása területén végzett tevékenysége érdekes összehasonlításo lehetőséget.

Miért nem lehet az egész kiadványhoz ma digitálisan bárkinek hozzáférni?
Érthetetlen!

Hol tartunk ma?

Ma egy fiatal beírja a keresőbe: „ingyenes könyvletöltés” vagy hasonlót.

[A legjobb: 21 legjobb ingyenes könyvletöltési oldal \(2021-es kiadás\) \(reviews.tn\)](#)

Megjelenik a web oldal, ezeket kipróbálja. Magam a www.z-lib.org oldalt használom a legtöbbit.

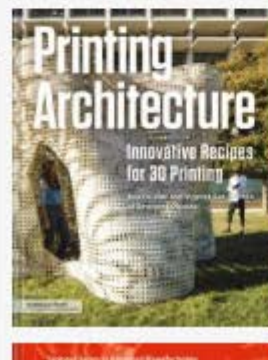
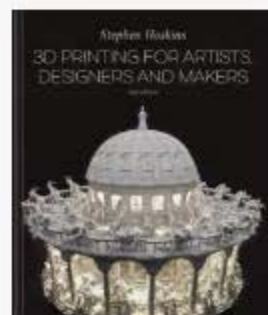
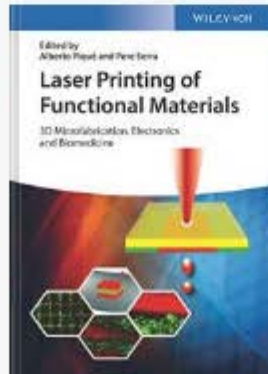
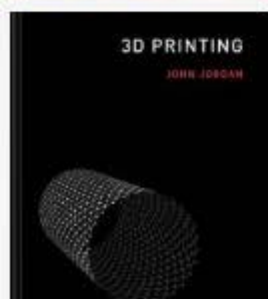
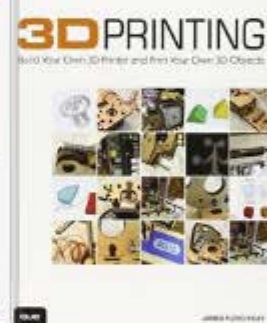
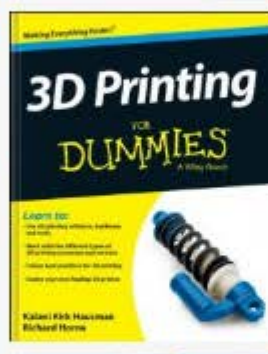
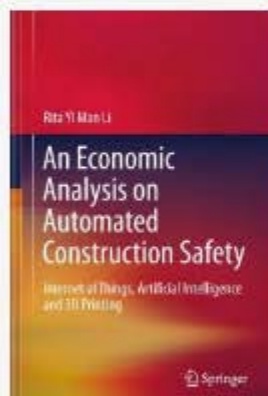
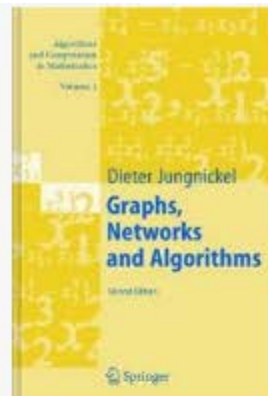
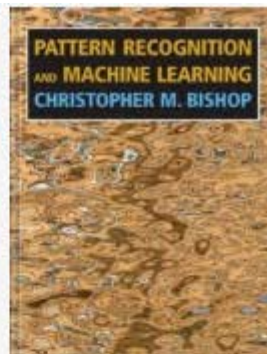
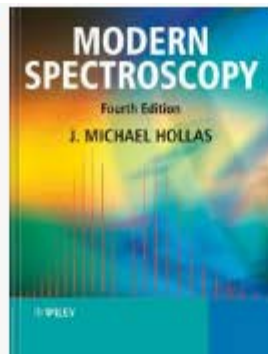
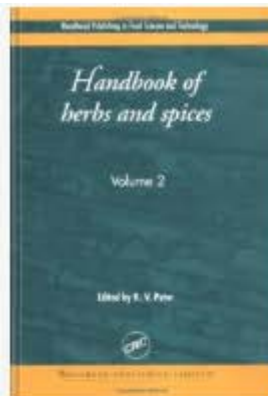
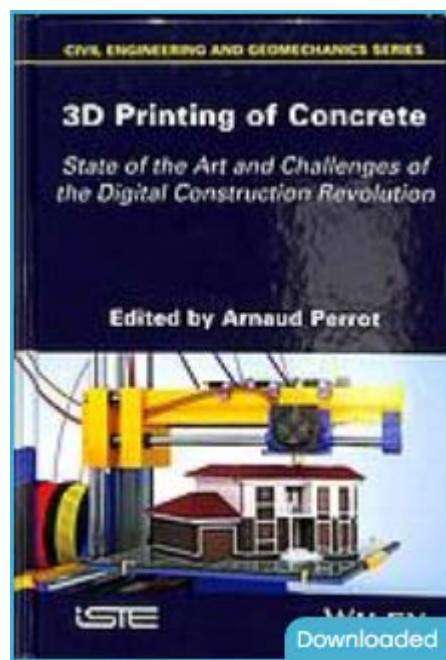
Mi az a Z Library?

A z-könyvtár a legjobb könyvtár a világ legnagyobb könyvtárainak listáján, amely több millió tartalommal rendelkezik. Világszerte több mint 9 millió könyvet és körülbelül 90 millió híres cikket találhat. A weboldalon a tartalom minden felhasználó számára elérhető díjfizetés nélkül. Ez a webhely nagyszerű lehetőséget kínál a felhasználók számára azáltal, hogy a legjobb tartalmat kínálja, amelyet sok vásárló elborít. Könnyedén letöltheti és elolvashatja kedvenc könyveit és cikkeit a webhelyről fizetés nélkül.

A z könyvtáron kívül sok más weboldal is megtalálható az interneten, de ezek nem hasonlítanak egymásra. A jelenlévő szolgáltatások és szolgáltatások azonban megdöbbentőek és kielégítik a könyvkedvelő igényét.

Egy példa:

kereső szó: „digital concrete”





Kiválasztok egyet:

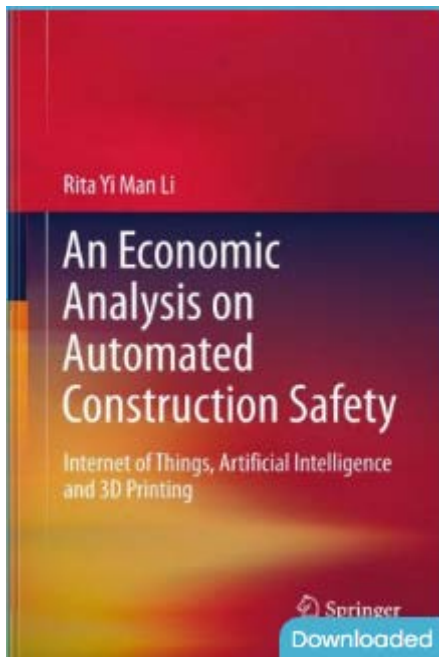
Rita Yi Man Li An Economic Analysis on Automated Construction Safety Internet of Things, Artificial Intelligence and 3D Printing

Chapter 1 Turning the Tide in the Construction Industry: From Traditional Construction Safety Measures to an Innovative Automated Approach Abstract The construction industry has been viewed as labour intensive with many accidents occurring on sites around the world. Many construction companies have implemented various types of construction safety measures to reduce the likelihood of accidents on sites. We will first shed light on the conventional means to alleviate construction safety risks with an example of a large-scale company that rents a factory site to serve as a safety-training centre. Posters and slogans display at Seattle and Adelaide construction sites will illustrate more traditional forms of training and warnings. We then move on to provide a brief introduction to various kinds of automated construction tools, such as robots, virtual reality, the Internet of things, and additive manufacturing which completely transform traditional works in the construction industry. The objectives and research methods adopted in this book will also be stated. Keywords Institutional economics Cost and benefit Automated construction safety

Rita Yi Man Li

Gazdasági elemzés az automatizált építésbiztonságról, a tárgyak internetéről, a mesterséges intelligenciáról és a 3D nyomtatásról

[An economic analysis on automated construction safety : Internet of Things, artificial intelligence and 3D printing | Li, Rita Yi Man | download \(book4you.org\)](https://book4you.org)



This book addresses information technologies recently applied in the field of construction safety. Combining case studies, literature reviews and interviews to study the issue, it presents cutting-edge applications of various information technologies (ITs) in construction in different parts of the world, together with a wealth of figures, tables and examples. Though primarily intended for researchers and experts in the field, the book will also benefit graduate students.

Ez a könyv az építésbiztonság területén a közelmúltban alkalmazott információs technológiákkal foglalkozik. Esettanulmányok, szakirodalmi áttekintések és interjúk ötvöztetésével a probléma tanulmányozása érdekében bemutatja a különféle információs technológiák (IT) legmodernebb alkalmazásait az építőiparban a világ különböző részein, valamint számtalan ábrát, táblázatot és példát. Bár elsősorban a terület kutatóinak és szakértőinek szánták, a könyv a végzős hallgatók számára is előnyös lesz.

Év: 2018 181 oldal 7,81 MB

1. fejezet

Az építőipar tendenciájának a megfordítása: a hagyományos építőipari biztonsági intézkedésektől az innovatív automatizált megközelítésig

Absztrakt

Az építőipart munkaigényesnek tekintették, és számos baleset történik a világ különböző pontjain. Sok építőipari cég

különbéle típusú építési biztonsági intézkedéseket vezetett be, hogy csökkentse a helyszíneken bekövetkező balesetek valószínűségét. Először az építési biztonsági kockázatok enyhítésének hagyományos eszközeit mutatjuk be egy olyan nagyvállalat példájával, amely gyártelepet bérel biztonsági oktatási központként.

A seattle-i és adelaide-i építkezéseken kihelyezett plakátok és szlogenek a képzés hagyományosabb formáit és figyelmeztetéseket mutatnak be.

Ezután röviden bemutatjuk a különféle automatizált építőipari eszközöket, mint például a robotok, a virtuális valóság, a tárgyak internete és az additív gyártás, amelyek teljesen átalakítják az építőipar hagyományos munkáit.

A könyvben alkalmazott célkitűzések és kutatási módszerek is ismertetésre kerülnek.

Kulcsszavak Intézményi gazdaságtan Költség és haszon
Automatizált építési biztonság

És mindjárt megjelennek a kapcsolatos könyvek:



Downloaded

3D printing of concrete : state of the art and challenges of the digital construction revolution
 ISTE Ltd

Perrot, Arnaud

Year:
 2019

Language:
 English

File:
 PDF, 20.67 MB

2

3D Printing of
Concrete: St...
Arnaud Perrot

[Downloaded](#)

[3D Printing of Concrete: State of the Art and Challenges of the Digital Construction Rev](#)

[Arnaud Perrot](#)

Language:

English

File:

EPUB, 5.95 MB

0 / 0

4



[Downloaded](#)

[First RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication - Digital Co](#)

[Springer International Publishing](#)

[Timothy Wangler, Robert J. Flatt](#)

Year:

2019

Language:

English

File:

PDF, 75.33 MB

0 / 0

6



[Downloaded](#)

[Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication: Digital C](#)

[Springer International Publishing;Springer](#)

[Freek P. Bos, Sandra S. Lucas, Rob J.M. Wolfs, Theo A.M. Salet](#)

Year:

2020

Language:

English

File:

PDF, 230.05 MB

7

A legjobb webhelyek listája, ahol ingyenes e-könyveket
tölthet le

Itt összeállítottam azoknak a webhelyeknek a listáját,
amelyekről ingyenesen letölthet e-könyvet. Ezeken az
ingyenes webhelyeken a legtöbb e-könyvet megtalálja PDF,

EPub vagy Mobi formátumban. Valószínűleg már felvett néhányat a könyvjelzők közé.

Z-könyvtár

A Z-Library projekt része. 2009 óta a világ legnagyobb e-könyvtára.

- z-lib.org - *Homepage*

A legjobb: 21 legjobb ingyenes könyvletöltési oldal (PDF és EPub)

Ingyenes könyveket szeretne letölteni? Itt található a legjobb webhelyek listája az ingyenes francia nyelvű könyvek letöltéséhez?

A könyvek óceánja végtelen, de a pénzünk korlátozott. A fenti listán szereplő webhelyek felajánlják az EPUB e-könyvek letöltését ingyen, és még a regisztráció nélkül is.



legjobb ingyenes PDF és EPUB könyvtöltő oldalak

Remélem, további könyveket szeretett volna elolvasni ... Nyugodtan mondjon véleményt erről a webhelyválasztékról, hogy ingyenes könyveket töltsön le franciául, és ha van más könyvtöltő webhelye, kérjük, mondja el nekünk a címeket a megjegyzések szakasz és **ne felejtse el megosztani a cikket!**

Olvasson is: [A legjobb ingyenes és gyors Youtube MP3 konverterek](#) & [A legjobb angol francia fordítási oldalak](#)

Magyarországi helyzet

Magyarországon jelenleg az ARCANUM digitális könyvtára a legnépszerűbb.

35 710 615 oldal

Folyamatosan bővülő tartalom. Adatbázisunkban tudományos- és szakfolyóiratok, heti- és napilapok, valamint lexikonok és tematikus könyvgyűjtemények legjava áll rendelkezésre.

Ezen a fórumon sok régebbi folyóirat, mint a Tér és Forma, Magyar Építőipar, [A MTA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI](#) és hasonló kiadványok tölthetők le.

Az építőmérnök társadalom számára jelenleg fontosabbak a Vasbetonépítés (FIB magyar tagozata), az Acélszerkezetek (MAGÉSZ), Beton újság, Sínek Világa



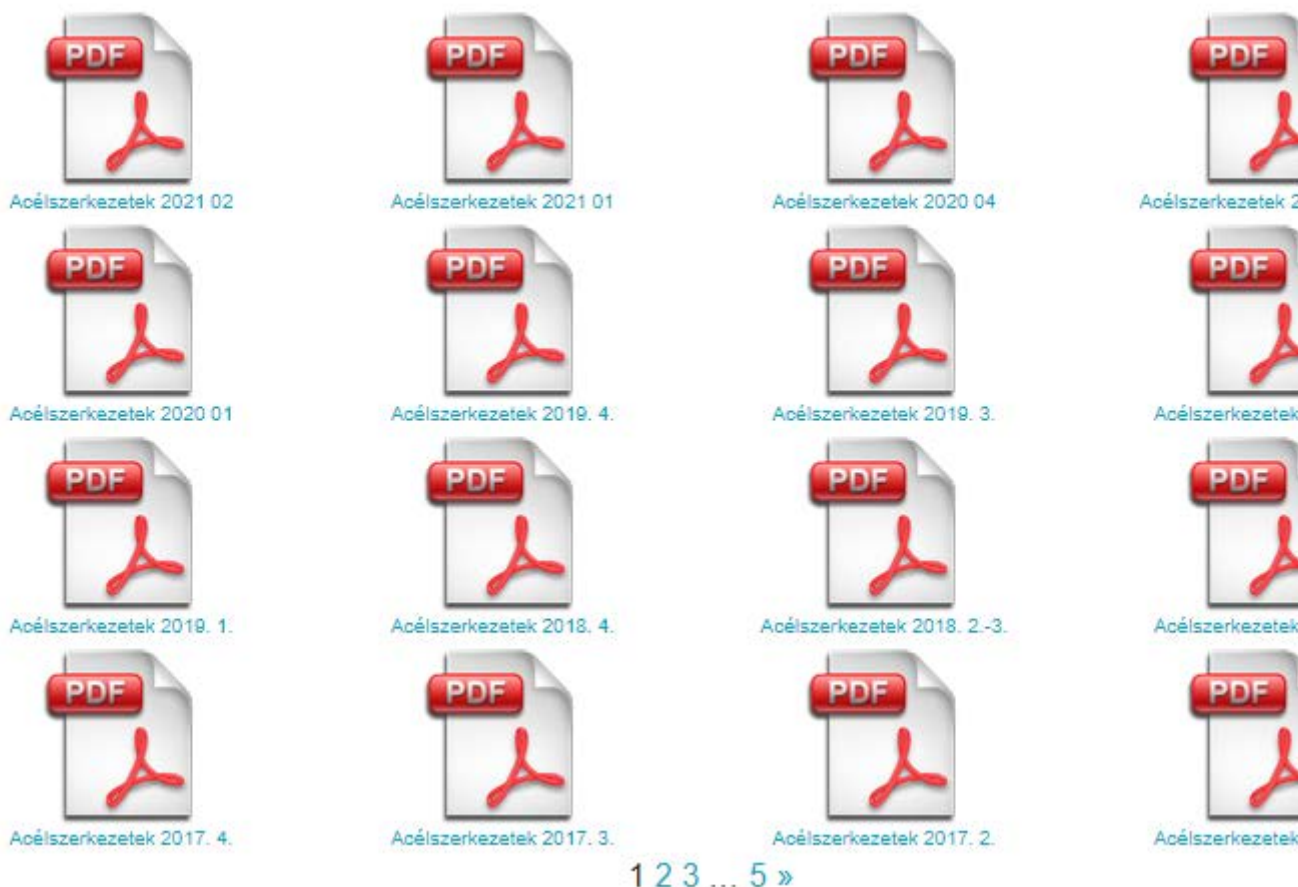
Ezek a havonta vagy kéthavonta megjelenő folyóiratok ma már digitálisan is, rendszerint a nyomtatott példányok megjelenése előtt elérhetők. Például a Vasbetonépítés kiadványok:



1999 évi számokig

legegyszerűbb a MAGÉSZ Acélszerkezetek lapjainak az elérése:

ACÉLSZERKEZETEK folyóirat



Egy jó minta más szakmai kiadványok gyors közzétételére. Ami ezekből a cikkekből rendre hiányzik, a mai követelmények figyelembe vétele: a különböző anyagok beépítési lehetőségeinek az összehasonlítása, esztétika, ár, a megvalósítás CO₂ kibocsátása, építési idő, üzemelési költségek, elbontás és újra hasznosítás, és hasonló mai követelmények értékelése.

Összevetés más külföldi folyóiratokkal

Az egyik régi kedvenc folyóiratom az amerikai PCI újság. Az évente megjelenő 6 példány összes száma letölthető 1956 ! -tól kezdődően!

[PCI Journal](#)

Ráadásul mindig pontosan megjelenik minden második hónap első napján!

Különösen élvezettel olvastam bennük Fogarasi Gyula írásait, aki 1989 -2008 között a Nebraska -i egyetemen oktatott, Tadros professzor mellett.

Gyula J. Fogarasi, Ph.D., P.E.

Visiting Professor
Department of Civil Engineering
University of Nebraska-Lincoln
Omaha, Nebraska
Vice President of FIP, Hungary



PCI Journal Article Search

Search

[Skip to search results](#)

General Method To Determine Optimum Shapes Of Ribs And Stiffeners

Gyula Fogarasi

World Overview of Flow Line Pretensioning Method

Gyula J. Fogarasi, Jagdish C. Nijhawan, Maher K Tadros

State-of-the-Art of Precast Concrete Sandwich Panels

Amin Einea, David C. Salmon, Gyula J. Fogarasi, Todd D. Culp, Maher K. Tadros

March - April 1991

March - April 1991 Issue of PCI Journal.

Search for PCI Journal article titles, authors, and keywords.

Régebben nem is álmodhattunk ilyen lehetőségekről. Ma pillanatok alatt a saját lakásunkba varázsolhatjuk az ilyen cikkeket!

A legnagyobb gondunk manapság, mely szakkönyveket, cikkeket olvassuk el, hogyan építsük fel saját digitális könyvtárunkat úgy, hogy gyorsan elővegyük az

éppen aktuális cikkeket, írásokat valamely tartó szerkezeti problémánk megoldásához.

Ma már egyszerűbb a keresés, a saját cikkeimet is könnyebben megtalálom:

https://www.google.com/search?q=polg%C3%A1r+I%C3%A1szl%C3%B3+vasbeton&rls=com.microsoft:en-US&sxsr=AleKk02hjfRBXoRT8yZooB833oNQLUUMrA:1605687368606&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj1--bJ04vtAhXjtYsKHZGRBQEQ_AUoAXoECA4QAw&biw=1366&bih=625#imgrc=owNpX8MG4InqAM

Honnan tudnak ennyit rólam? Ma már mindenki mindent megtalál a világhálón?

Ki készítette ezt az összeállítást? A „nagy testvér” ?

Nemzetközi szervezetek konferenciái

I.A.A.R. C. Építés robotizáció nemzetközi szervezet

1984 évtől kezdődően minden évben megrendezik a konferenciát, mely konferenciák anyagai letölthetők:

Browse papers by yearly publication

- [2021 Proceedings of the 38th ISARC, Dubai, UAE](#) (ISBN 978-952-69524-1-3)
- [2020 Proceedings of the 37th ISARC, Kitakyushu, Japan](#) (ISBN 978-952-94-3634-7)
- [2019 Proceedings of the 36th ISARC, Banff, Canada](#) (ISBN 978-952-69524-0-6)
- [2018 Proceedings of the 35th ISARC, Berlin, Germany](#) (ISBN 978-3-00-060855-1)
- [2017 Proceedings of the 34th ISARC, Taipei, Taiwan](#) (ISBN 978-80-263-1371-7)
- [2016 Proceedings of the 33rd ISARC, Auburn, USA](#) (ISBN 978-1-5108-2992-3)
- [2015 Proceedings of the 32nd ISARC, Oulu, Finland](#) (ISBN 978-951-758-597-2)
- [2014 Proceedings of the 31st ISARC, Sydney, Australia](#) (ISBN 978-0-646-59711-9)
- [2013 Proceedings of the 30th ISARC, Montréal, Canada](#) (ISBN 978-1-62993-294-1)
- [2012 Proceedings of the 29th ISARC, Eindhoven, Netherlands](#) (ISBN 978-90-386-3410-4)
- [2011 Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea](#) (ISBN 978-89-954572-4-5)
- [2010 Proceedings of the 27th ISARC, Bratislava, Slovakia](#) (ISBN 978-80-7399-974-2)
- [2009 Proceedings of the 26th ISARC, Austin, USA](#) (ISBN 978-0-578-02312-0)
- [2008 Proceedings of the 25th ISARC, Vilnius, Lithuania](#) (ISBN 978-9955-28-304-1)
- [2007 Proceedings of the 24th ISARC, Kochi, India](#) (ISBN 978-81-904235-1-9)
- [2006 Proceedings of the 23rd ISARC, Tokyo, Japan](#) (ISBN 9784990271718)
- [2005 Proceedings of the 22nd ISARC, Ferrara, Italy](#)
- [2004 Proceedings of the 21st ISARC, Jeju, South Korea](#)
- [2003 Proceedings of the 20th ISARC, Eindhoven, Holland](#) (ISBN 978-90-6814-574-8)

- [2002 Proceedings of the 19th ISARC, Washington, USA](#)
- [2001 Proceedings of the 18th ISARC, Krakow, Poland \(ISBN 9788386040117\)](#)
- [2000 Proceedings of the 17th ISARC, Taipei, Taiwan \(ISBN 9789570266986\)](#)
- [1999 Proceedings of the 16th ISARC, Madrid, Spain](#)
- [1998 Proceedings of the 15th ISARC, Munchen, Germany](#)
- [1997 Proceedings of the 14th ISARC, Pittsburgh, USA](#)
- [1996 Proceedings of the 13th ISARC, Tokyo, Japan](#)
- [1995 Proceedings of the 12th ISARC, Warsaw, Poland \(ISBN 9788386040025\)](#)
- [1994 Proceedings of the 11th ISARC, Brighton, United Kingdom \(ISBN 9780444820440\)](#)
- [1993 Proceedings of the 10th ISARC, Houston, USA \(ISBN 9780444815231\)](#)
- [1992 Proceedings of the 9th ISARC, Tokyo, Japan](#)
- [1991 Proceedings of the 8th ISARC, Stuttgart, Germany](#)
- [1990 Proceedings of the 7th ISARC, Bristol, United Kingdom](#)
- [1989 Proceedings of the 6th ISARC, San Francisco, USA](#)
- [1988 Proceedings of the 5th ISARC, Tokyo, Japan](#)
- [1987 Proceedings of the 4th ISARC, Haifa, Israel](#)
- [1986 Proceedings of the 3rd ISARC, Marseille, France](#)
- [1985 Proceedings of the 2nd ISARC, Pittsburgh, USA](#)
- [1984 Proceedings of the 1st ISARC, Pittsburgh, USA](#)

RILEM kiadványok

[RILEM - Recommendations](#)

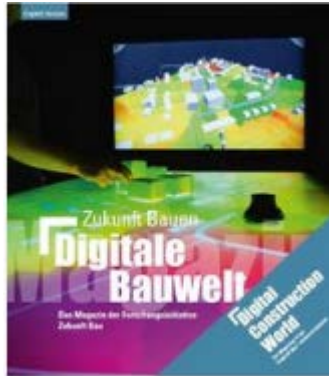
Zukunft Bau Publikationen





228 oldal
40 oldal

38 oldal



19-ik Zukunftbau Kongress

és így tovább, 38 kiadvány



Rozsdaövezetből lakópark

Összefoglalás

A digitális világunk olyan gyors változásokat hozott az életünkbe, hogy alig tudjuk követni az új lehetőségeket. A nemzetközi szakirodalom olyan tömegével találkozhatunk, melyre akár csak néhány éve is alig gondolhattunk. A robot fordítások színvonala is sokat fejlődött, így ma már szinte bármely nyelven megírt cikkekről, könyvekről szinte pillanatok alatt készíthetünk magunknak magyar változatot. Még néhány év, és akkor talán anyanyelvünkön hallgathatjuk a külföldi konferenciák előadásait is.

Ezen írásomban megpróbáltam egy kicsit felvillantani a magam szakirodalmakban tájékozódásom gyakorlatát, hogy ezzel is segítsem a kollégáim naprakész tájékozódását.

Polgár László (78), az asa Építőipari Kft műszaki tanácsadója, a Polgár -Terv Mérnöki Kft és a BAMTEC-HU Kft ügyvezetője

3D BETONNYOMTATÁS - A GAZDASÁGOS HÁZÉPÍTÉS FORRADALMA

Szögi Tamás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar

ÖSSZEFOGLALÁS

Az építőipar területén az innováció és a digitalizáció kiemelten fontos szerepet kap napjainkban, hiszen legtöbbször az egyszerűbb, olcsóbb és gyorsabb megoldásokat keresik a piacon való versenyképesség megtartásához. Az egyik ilyen innováció a 3D betonnyomtatás, mellyel akár szabadabb formavilágú, egyedülálló, íves szerkezeti elemeket is létrehozhatunk. A munkaerőhiány, a növekvő építőanyag árak, valamint a környezetszennyezés mind arra ösztönzik a beruházókat, hogy alternatív, hatékonyabb építésmódokat keressenek. Az automatizált technológiának köszönhetően pontosabb kivitelezés mellett csökkenthető a károsanyag-kibocsátás mértéke is. A 2020-as évben készített TDK kutatásom során a betonnyomtatás gazdasági hatékonyságát elemeztem az iparban jellemző árakat felhasználva, majd összehasonlítottam a monolit vasbetonépítés költségeivel.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban hazai keretek között is tapasztalható probléma, hogy a kínálat, azaz a termelési kapacitás nem tudja utolérni a fokozott keresletet az építőipar területén. A rezióradíjak az utóbbi 8 évben megduplázódtak (ÉVOSZ weblap), ennek következtében az élő munkaerő foglalkoztatása költségessé vált, ellátása pedig hiányos, azaz a hatékonyság fokozása elengedhetetlen. A kivitelezők nehezen tartanak lépést az elvárt határidőkkel, az esetek 20%-ában túllépik azt, valamint 80%-ában a beruházásra szánt összeget is meghaladják (McKinsey weblap, 2016). Ennek ellenére a cégek általában éves bevételüknek csak 1-2%-át fordítják digitalizációra (Agarwal, 2016). Általában az innováció magas költsége miatt nem, vagy csak keveset fektetnek újításokba és nem látják pontosan, hogy mire tudnák használni a technológiát (Zhang et al., 2019).

2. 3D BETONNYOMTATÁS AZ ÉPÍTŐIPARBAN

2.1 Az innováció szükségessége

A jövőt ma már az építőipar digitalizációjának felgyorsulása, a hatékonyság fokozása és a gyors építési technológiák jelentik. A szerkezetépítés területén az egyik ilyen újítás a 3D betonnyomtatás. Ez egy olyan létező technológia, amellyel akár betonacél erősítés nélkül, rétegről rétegre, a megrendelő igényeinek megfelelően kialakítva teljes lakóházak is megvalósíthatók. Olyan eszköz, amellyel építésszek nagyobb tervezési szabadságot kapnak, ugyanis a szabadabb formavilágú, komplex geometriájú épületek kialakítása sem okoz gondot a nyomtatónak. A vasbetonszerkezetek esetében az íves falak kialakítása az egyeneshez képest extra költséget jelent, sokszor egyedi zsaluzat készítésére is szükség van, melyek felhasználása kevésbé gazdaságos és környezetbarát. A nyomtató esetében azonban több formázási lehetőség adódik, például ívben történő nyomtatásra is alkalmas.

2. 2. A betonnyomtatási technológia

A betonnyomtatók két típusát különböztetjük meg: a robotkaros betonnyomtató, illetve az állványzatra szerelt nyomtatófej. Költségelemzésemhez ez utóbbit választottam, mivel a robotkar esetében általában limitált a terület mérete, amelyet egy fix pozícióból képes elérni. Ezzel szemben a modulokból álló állványzat méretét az épület befoglaló méreteihez igazítva akkora területet tudunk lefedni, amekkora szükséges, így időben is gyorsabb lehet a teljes folyamat. Számításaimhoz a dániai COBOD cég által gyártott BOD2 nyomtató (1. ábra) paramétereit és költségeit használtam fel (www.cobod.com), ugyanis ez a gép egyedülálló módon akár az 1 m/s-os sebességével is képes nyomtatni. Az üresjárási idő és a biztonsági tartalékok miatt, valamint az egyenletes anyagáram biztosítása érdekében viszont egy lassabb, 0,3 m/s-os nyomtatási sebességet feltételeztem.



1. ábra Építési helyszínen felállított BOD2 nyomtató

A nyomtató egyik legnagyobb előnye, hogy akár 2 fős, speciális technikusai képzéssel rendelkező személyzet elegendő az eszköz felállításához, elbontásához, valamint üzemeltetéséhez. A különleges építéstechnika újfajta gondolkodásmódot igényel, ugyanis a folyamatos fejlesztések mellett jelenleg még kevés a piaci alkalmazás során szerzett tapasztalat.

2. 3. A NYOMTATHATÓ BETON

A nyomtatás során felhasznált beton összetétele különbözik a legtöbb, monolit vasbetonépítés során használt receptúrától. Általában szálerősítésű, alacsony víz-cement tényezőjű, kiegészítőanyagokat (folyósítószer, kötőgyorsító) tartalmazó betont alkalmaznak annak érdekében, hogy egyaránt könnyen pumpálható, formálható és állékony is legyen. A fokozott figyelmet igénylő anyagtechnológia miatt több gyártó is kínál olyan előregyártott cementkeveréket, amelyhez csak víz adagolása szükséges, ezzel megkönnyítve a kivitelezők feladatát. A nyomtatott beton általános jellemzője a gyors szilárdulás és a nagyobb teherbírás: akár 100 MPa-os nyomószilárdság (Paul et al., 2018).

Emellett a zsaluzott vasbetonnal szemben pontosabb anyaglerakás érhető el, azaz pontosan oda nyomtatnak betont, ahol az statikai vagy egyéb szempontból szükséges. Ezen felül a betonba újrahasznosított építési hulladék is adagolható, így a lehető legkisebb környezeti

terheléssel dolgozhatunk, jobban kihasználva az erőforrásokat. Optimalizált szerkezeti elemek megvalósítása is lehetséges a nyomtatással, mellyel tovább csökkenthetjük betonfelhasználást. Az anyagköltség nagymértékben függ a beton összetételétől, ezért egy, a szakirodalomban jellemző receptúrával kalkuláltam.

3. KÖLTSÉGELEMZÉS

3.1. Modellek

A technológia sajátossága, hogy nemcsak épületek, hanem bármilyen kialakítású betonelem nyomtatására alkalmazható, mint például belső térelemek, közműaknák, kerítések, valamint benntartó zsaluzatok. A lakóépületek differenciált piacán azonban több egyedi kialakítás lehetséges, amelyekre leginkább a 3D betonnyomtató alkalmas. Kutatásomban ezek összevetéséhez három különböző geometriájú egyszintes nyaralóépületet modelleztem meg, hogy megvizsgáljam az íves geometriából eredő esetleges többletköltség mértékét. Ezek függőleges szerkezeteinek építési költségeit határoztam meg valós, magyar piaci árak segítségével. Költségtényezőnként történő elemzésem során pedig külön vizsgáltam az anyagköltséget, az élőmunka költséget, valamint a gép- és bérleti költségeket.

A 3D betonnyomtatás esetében két különböző technikát is figyelembe vettem, a teljes szerkezeti szélességű- (3-30 cm szélességben), és a Contour Crafting technikával történő nyomtatást. Míg az első esetben a nyomtatófej egyszer halad végig egy adott szakaszon, addig az utóbbinál a több, kisebb szélességű nyomtatott sáv miatt háromszor. Egy ilyen üreges falszerkezet létrehozásával, valamint a nyomtatási vastagság és szélesség optimális megválasztásával anyagot spórolhatunk meg, viszont a nyomtatási folyamat időtartama is megnövekszik.

4. ÖSSZEHASONLÍTÁS

4.1. Monolit vasbetonépítés árai

A hazai építőipari cégek által biztosított piaci árak alapján mindhárom modell esetében referencia költségeket határoztam meg, monolit vasbetonépítési technológiát feltételezve. Ennek során a külön kalkulációt végeztem a zsaluzatállításra vonatkozóan, mely alapján kiderült, hogy kisebb költségvonzata van a zsalu daruval történő mozgatásának, mintha ugyanazt kézi erővel végeznénk, ugyanis így gyorsabban elvégezhető a folyamat, ami végül lényegesen kedvezőbb zsaluzási árat eredményez.

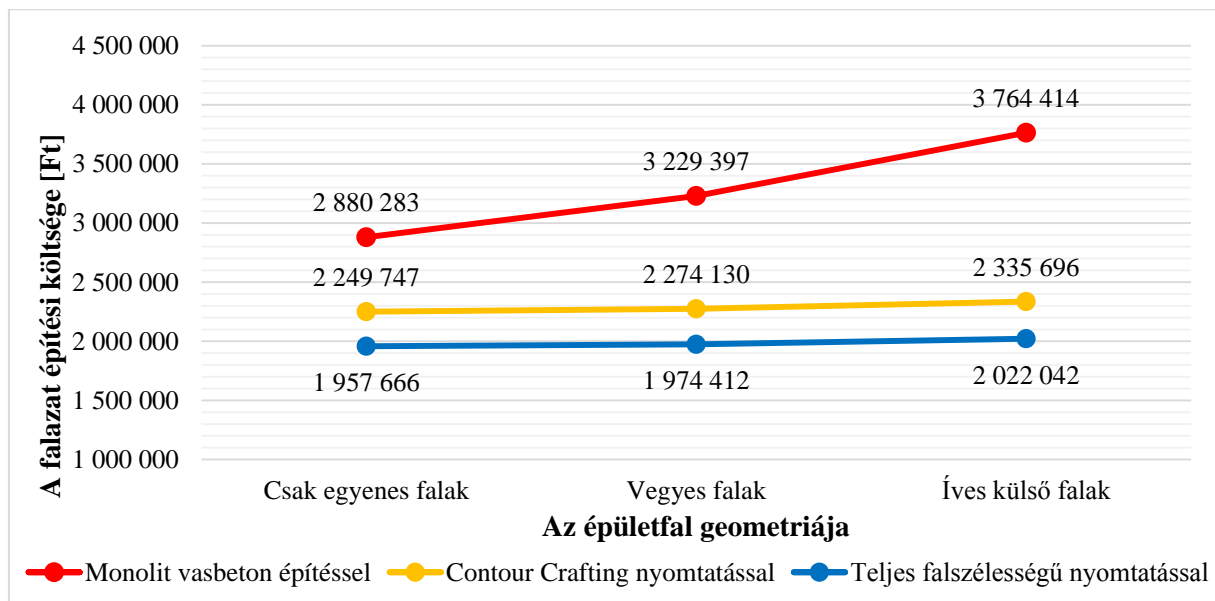
4.2. 3D betonnyomtatás költségei

A technológia újdonsága miatt még csak néhány cég rendelkezik hasonló berendezéssel és egyelőre nincs bérelhető állomány. Ezért a megfelelő méretű, moduláris nyomtató beszerzési költségének 10 000 üzemórás amortizációjával számoltam, ez azonban egy adott cégnél stratégiától függően változhat. A vételárba nemcsak a gépezet, hanem minden szükséges kiegészítő elem költségét is beleszámoltam, ami az üzemeltetéshez szükséges. Várhatóan ahogy a technológia fejlődik egyre szélesebb körben lesz elérhető a kisebb cégek számára is.

5. EREDMÉNYEK

Megállapítható, hogy a zsaluzat- és vasalásmentes betonozás következtében a monolit vasbetonépítéshez képest kedvezőbb költségű, valamint gyorsabb és pontosabb lesz az építési

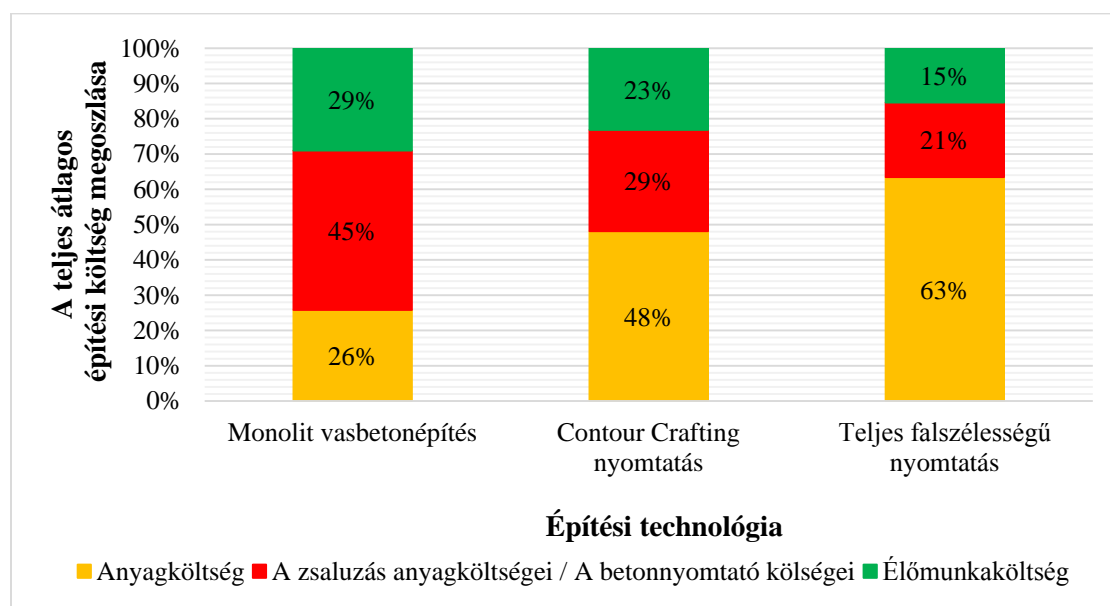
folyamat. Ennek köszönhetően egy épület függőleges tartószerkezete íves kialakítás esetén 38-47%-kal, míg egyenes falak esetében 22-32%-kal kevesebb költségráfordítással valósítható meg 3D betonnyomtatással (2. ábra).



2. ábra A becsült építési költségének alakulása a falazat geometriájának függvényében

Ezen felül a betonnyomtató alkalmazása geometriától függetlenül több, akár 8-szor gyorsabb megvalósítást tesz lehetővé, azaz akár 24 óra alatt elkészíthetők egy kisebb épület vertikális elemei. A költségtényezőkre bontás alapján a végösszeg legnagyobb részét az anyagköltség teszi ki a speciális tulajdonságú beton miatt (3. ábra).

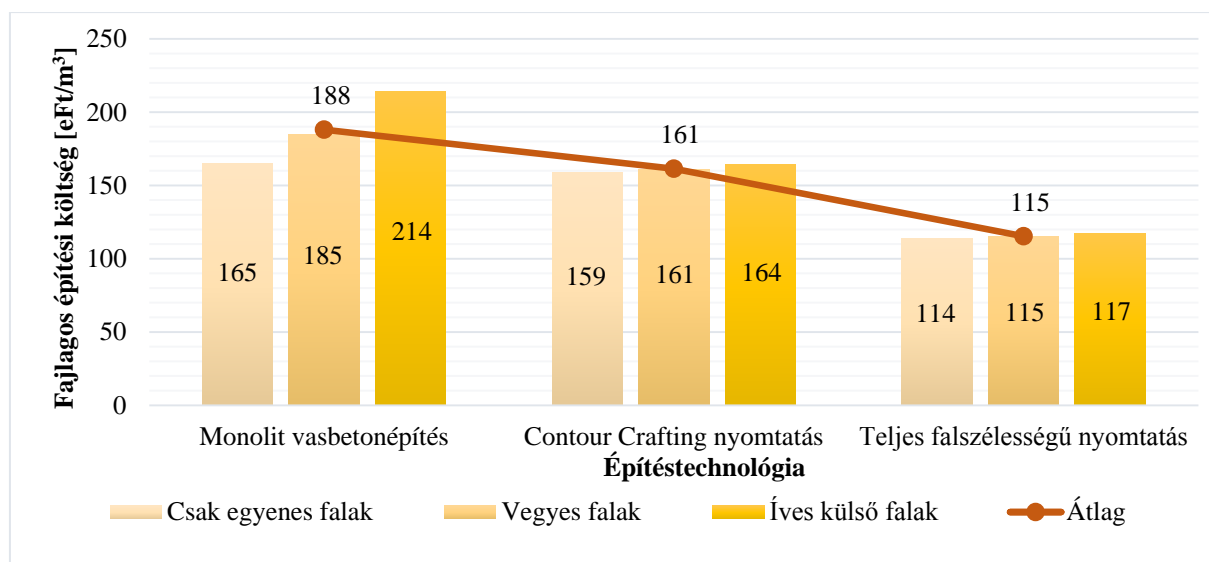
Monolit vasbetonépítési technológiával dolgozva az íves geometriával rendelkező épületek kialakítása többletköltséggel jár az egyeneshez képest, így fajlagosan megemeli a nettó alapterületre vetített négyzetméterárakat. Ezzel szemben betonnyomtatással dolgozva azonos beruházási költség mellett az íves geometriának köszönhetően nagyobb alapterületet vehetünk birtokba. Az 1. ábrán az is látható, hogy a nyomtatott beton épületek mindegyike gazdaságosabb, mint a monolit vasbetonépítéssel készült házak.



3. ábra A modellek becsült építési költsége a tényezők átlagos százalékos megoszlása alapján

Az elemzésből kiderült továbbá, hogy a munkaerőhiányt is képes lehet mérsékelni a technológia elterjedése, ugyanis csak harmadannyi élőmunkaköltség társul a nyomtatáshoz, mint a monolit vasbetonépítéshez. Az egységnyi felhasznált betonmennyiségre vetített fajlagos építési költségek szintén kedvezőbbnek bizonyultak a nyomtatott beton elemek esetében (4. ábra).

Kutatásom során egy általános költségmodell megalkotása mellett több különböző modellen keresztül sikerült igazolni a kisléptékű 3D betonnyomtatott épületek gazdaságosságát. Feltehetően az ilyen technológiával megvalósuló építmények költségbecslésének kidolgozását is hasonló rendszerben lehet majd elvégezni, mellyel a továbbiakban érdemes részletesebben is foglalkozni.



4. ábra: 1 m³ betontermék fajlagos előállítási költsége technológiák szerint

6. JÖVŐKÉP

6.1. Hazai piac

A technológia adaptálásának szempontjából felmérést végeztem a magyar cégek körében is, hogy átfogó képet alkossak a betonnyomtatás valós piaci terjedésével kapcsolatban.

A dvb Délmagyarországi Vasbetonipari Kft. egy kísérleti 3D betonnyomtató üzembe helyezésével és a teljes mértékben saját fejlesztésű berendezéssel komoly elköteleződést mutat a technológia iránt. 2022-ben már termelni is szeretnének ilyen eszközzel szegedi telephelyükön. A PERI Kft. pedig az első németországi és ausztriai projekteket követően a következő évben hazánkban is tervezi egy betonnyomtató beszerzését, valamint az ilyen technológiával készült épületek megvalósítását.

6.2. Kihívások

Jelenleg a technológia az alátámasztás nélküli horizontális elemek in-situ nyomtatására nem képes, így főként falak, pillérek, és egyéb függőleges szerkezetek esetében alkalmazható. A 3D betonnyomtatott házak kivitelezésével kapcsolatban kevés információ áll rendelkezésünkre még, így a mérnököknek is újdonságot jelent az ezzel kapcsolatos problémák megoldása. Ennek megfelelően érdemes nagyobb léptékben, ténylegesen megvalósuló épületek esetén is megvizsgálni a technológia sajátosságait, a megvalósítási folyamat elemeit.

7. ÖSSZEGZÉS

A 3D betonnyomatás tömeges gyakorlati alkalmazásának egyik kritikus tényezője a piacvezető cégek stratégiai hozzáállása az innovációhoz és a technológiához. Ennek megfelelően a technológia elterjedését nagymértékben befolyásolja a gazdaságossága is. Mivel a technológiát alkalmazó cégek előrejelzéseikben eltérő mértékű költségmegtakarítással számoltak, szerettem volna egy kutatással magyar viszonylatban is felmérni egy 3D betonnyomató költségének megtérülési lehetőségeit.

Alkalmazását tekintve a kiemelkedően rövid átfutási idővel rendelkező építési mód döntő szerepet vállalhat a globális lakhatási krízis megoldásában, a katasztrófa sújtotta területek újjáépítésében, valamint az emberi beavatkozásra alkalmatlan területeken történő munkavégzés esetében is.

A következő években várhatóan tovább fog nőni azon projektek száma, amelyek nyomtatással valósultak meg, ugyanis az élőköltség tovább emelkedik, és előtérbe kerülnek a fenntarthatóság szempontjából előnyösebb építési módok. A szakterületen még számos fejlesztés zajlik, melyek néhány éven belül átformálhatják a betonépítés iparágát.

8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani TDK kutatásom témavezetéséért dr. Vidovszky Istvánnak, valamint az Építéstechnológia és Építésmenedzsment Tanszéknek.

9. FELHASZNÁLT IRODALOM

Agarwal, R. – Sridhar, M. – Chandrasekaran, S. (2016.06.24.), „Imagining construction’s digital future” <https://www.mckinsey.com> (2021.11.12.)

COBOD weblap, <https://cobod.com> (2021.11.12.)

ÉVOSZ weblap, <https://evosz.hu> (2021.11.12.)

McKinsey weblap, The Construction Industry is Ripe for Disruption Infographic (2016), <https://www.mckinsey.com> (2021.11.12.)

Paul, S.C., van Zijl, G.P.A.G., Tan, M.J. and Gibson, I. (2018), „A review of 3D concrete printing systems and materials properties: current status and future research prospects”, Rapid Prototyping Journal, Vol. 24 No. 4, pp. 784-798.

Zhang, X. – Flood, I. – Zhang, Y. – Moud, H. I. – Hatami, M. (2019), „A Cost Model to Evaluate the Economic Performance of Contour Crafting.”, Computing in Civil Engineering 2019, pp. 618-625.

3D NYOMTATÁS ALKALMAZÁSA AZ ÉPÍTŐIPARBAN

Téglás Csaba, MSc hallgató
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
1111, Budapest, Műegyetem rkp. 3.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ugyan a konferencia középpontjában a 3D betonnyomtatás áll, de a beton mellett számos más alapanyag felhasználásával is készíthetünk 3D nyomtatott szerkezeteket, szerkezeti elemeket, építőelemeket. A cikk témája ennek megfelelően a különböző építőipari 3D nyomtatási eljárások (angol nyelvű gyűjtőfogalommal: *Construction 3D Printing*) legfőbb irányzatainak, eljárásainak, megoldásainak áttekintő jellegű bemutatása, kiemelve a 3D nyomtatás építőipari alkalmazásában rejlő lehetőségeket, jelenlegi ötleteket, projekteket és fejlesztési irányokat.

Kulcsszavak: építőipar, 3D nyomtatás, beton, C3DP, 3DCP, large-scale nyomtatás

1. BEVEZETÉS

A különböző építőipari 3D nyomtatási technológiákra az angol nyelvben általánosságban a *Construction 3D Printing (C3DP)* vagy *3D Construction Printing (3DCP)* megnevezéssel hivatkoznak. Ez egy gyűjtőnév, mely magába foglal anyagtól és konkrét technológiától függetlenül minden olyan építőipari eljárást, mely esetén a tartószerkezet vagy annak adott elemei, esetleg az egyes építőelemek (pl. téglák) előállításánál, gyártásánál 3D nyomtatási technológiát alkalmaznak. Találkozhatunk további, gyakran (némi helytelenül) szinonimaként használt kifejezésekkel is, mint *Additive Construction (AC)*, *Large Scale Additive Manufacturing (LSAM)* vagy *Freeform Construction (FC)*. Előbbi két kifejezés adott anyagú rétegek egymáshoz „adásával”, egymásra nyomtatásával megvalósuló kivitelezési és gyártási módszereket takarja, utóbbi pedig a 3D nyomtatási technológia révén alkalmazható szabad formájú építésre utal. Szigorúan véve tehát ezek a C3DP gyűjtőfogalmon belüli eseteknek, kategóriáknak tekintendők, valójában viszont gyakran helytálló ezek szinonimaként való értelmezése, hiszen a technológia jelen pillanatban legfejlettebb, legismertebb és talán leginkább kecsegtető jövő előtt álló irányultságára, a *3D betonnyomtatásra* mindegyik jelző érvényes és korrekt módon használható. Emiatt jelen cikkben viszont az építőiparban alkalmazható egyéb 3D nyomtatási lehetőségekre szeretnék kitékintést nyújtani.

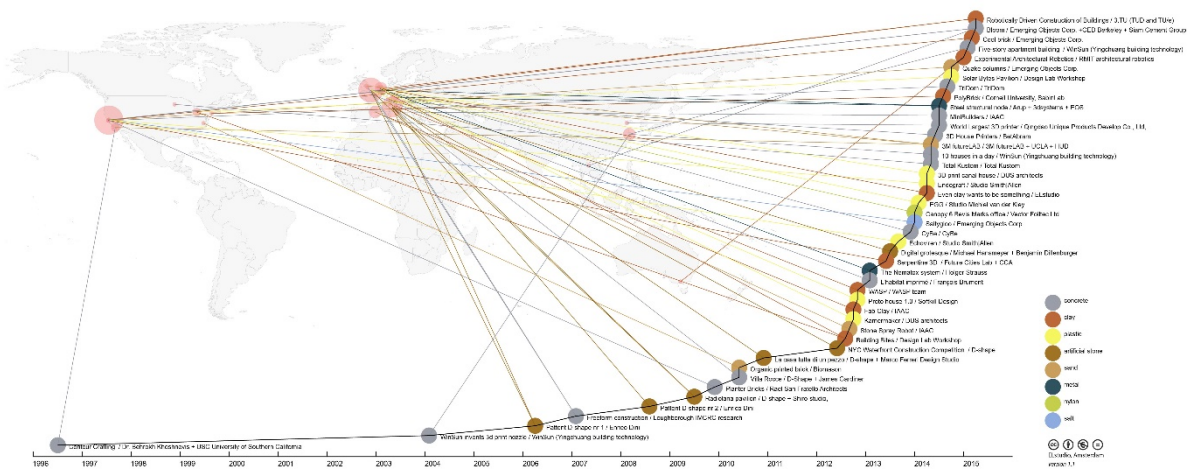
2. A 3D NYOMTATÁSI TECHNOLÓGIA

A *3D nyomtatás* vagy idegen kifejezéssel *Additive Manufacturing* („additív gyártás”) terminológia alá tartozik minden olyan eljárás, mely esetén, rendszerint rétegről rétegre haladva, anyag hozzáadásával, anyagok egyesítésével vagy folyékony halmazállapotú anyag szilárdításával háromdimenziós tárgyat hoznak létre. A technológia különlegessége tehát, hogy gyakorlatilag a semmiből kiindulva, jellemzően belülről kifelé, lentől felfelé haladva hoz létre rétegeket és ezáltal térbeli alakzatokat, szemben a hagyományos megmunkálási eljárásokkal, mikor egy eredetileg tömör testből választják le a végeredmény szempontjából felesleges részeket (analóg módon ezt nevezhetnénk akár szubtraktív gyártásnak). A különböző rétegek

egymásra nyomtatásával, egymáshoz adásával olyan összetett keresztmetszetek, olyan bonyolult geometria is megvalósítható, mely normál gyártástechnológiával vagy egyáltalán nem lenne kivitelezhető, vagy aránytalan módon növelné a költségek és a szükséges időráfordítás mértékét. Fontos gazdaságossági szempont az is, hogy egy-egy nyomtatott elem előállításához jellemzően csak a kész termékhez ténylegesen szükséges anyagmennyiséget kell felhasználni, nem keletkezik hulladék a gyártás során, illetve az elem belső szerkezetének a módosításával tovább optimalizálhatók annak tulajdonságai. A 3D nyomtatás további különleges előnye az összetett alakzatok alkalmazása mellett, hogy az ez irányú kutatások, fejlesztések előrehaladtával lehetőség nyílt több anyagból vagy változó anyagi jellemzőkkel rendelkező anyagokból álló keresztmetszetek előállítására is, így tovább optimalizálva a szerkezeti viselkedést.

3. A C3DP TECHNOLÓGIÁK TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE

Mint minden más ipari területen, az építőiparban is mindenkori igény a minél nagyobb fokú automatizáltság elérése, a termelékenység növelése. Így a 3D nyomtatás 1980-as évekbeli megjelenése, és a technológia meglehetősen gyors fejlődése láttán a kutatómérnökökben hamar felmerült a 3D nyomtatás építőipari alkalmazásának gondolata is. A technológia adaptálására vonatkozó első próbálkozások 1995-2000 között mentek végbe, de ekkor még csak laborkörülmények között, kis méretű tárgyak megalkotására volt lehetőség. A C3DP első generációjának időszaka (2000-2010) így ezen probléma megoldásának jegyében telt; a fő cél az volt, hogy a „hagyományos” 3D nyomtatás megfelelő „felnagyításával” egyáltalán lehetővé váljon annak építőipari léptékű alkalmazása. A kutatásoknak a 2010-es évek elejére sikerült olyan szintre jutni, hogy az már az ipar szélesebb körű érdeklődését is felkeltse, és profitorientált magánvállalatok vágjanak bele saját fejlesztésekbe, vagy azok finanszírozásába. Ezúton pedig hatalmas lökést adva a C3DP területnek, útjára indítva annak *második*, egészen napjainkig tartó és rohamosan fejlődő generációját.



1. ábra – A C3DP fejlesztési irányainak alapanyag szerinti időrendi áttekintése [1]

Az első generáció során még alapvetően beton (cementpép) és mesterséges kő anyagok nyomtatásával kísérleteztek. A második fázisban már az egyetemi kutatások egyre inkább ipari cégek és startupok nagyobb volumenű kutatás-fejlesztési projektjeivé avansáltak, ezáltal pedig olyan új potenciális alapanyagok is előtérbe kerültek, mint az agyag, a homok, különböző fémek, illetve műanyagok. Az utóbbi évekből pedig egészen rendhagyó anyagokat is említhetünk példaként, ilyen a tengeri só vagy különböző újrahasznosított faanyagok. (1. ábra)

4. A C3DP ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

Az építőipari léptékű (*large-scale*) 3D nyomtatással foglalkozó ágazat alapvetően két részre bontható: míg egyes cégek, egyes eljárások kifejezetten helyszínen (*on-site*) történő 3D nyomtatás alkalmazásával előállítható épület(rész)ekre specializálódnak, addig más, jellemzően kisebb, startup-jellegű cégek gyárban készíthető (*off-site*), de a 3D nyomtatás előnyeit kiaknázó innovatív építőelemekre szakosodnak. Az alkalmazott nyomtatási módszerek további kategorizálásra adnak lehetőséget: fémek esetén a 3D nyomtatás gyakorlatilag minden esetben additív hegesztést (*additive welding*) jelent, más alapanyagok esetén viszont beszélhetünk extrudálásos (*extrusion*) vagy kötőanyag segítségével szilárduló por (*powder bonding*) alapú technikákról is. A lehetőségek sokszínűségéről azonban talán jobb képet ad, ha az alkalmazható alapanyagokat vesszük sorba. Ennek megfelelően jelen fejezetben egy-egy figyelemre méltó projekten keresztül kerülnek bemutatásra az alkalmazható anyagok, eljárások.

4.1. Contour Crafting technológia

A *Contour Crafting* elnevezés nem csupán egy céget, egy márkanévet, egy technológiai megoldást takar, hanem egy teljes jövőképet. Az elképzelései szerint a Contour Crafting révén egy olyan komplex, extrudálásos, helyszíni technológiai folyamatot sikerül megalkotniuk, mely a jövőben alkalmas lehet több szintes lakóépületek és infrastruktúra szerkezetek teljes körű, költséghatékony kivitelezésére, a távolabbi jövőben pedig akár a Hold vagy Mars kolonizálása során is segítséget nyújthatna az idegen bolygókon történő építkezésben. És ha ez nem lenne elég ambiciózus, akkor hozzá kell tenni, hogy a projekt igazi különlegessége, hogy olyan 3D építőrendszert terveznek létrehozni, mely nem csak szerkezetépítésre alkalmas, de képes valós időben elhelyezni a falakban a szükséges cső- és elektromos vezetékrendszert is. Ugyan a Contour Crafting technológia (alapja) ténylegesen létezik, és az építőipari léptékű 3D nyomtatási ágazat úttörőjeként több, mint 20 éve fejlesztés alatt áll, de a kitűzött futurisztikus célokhoz képest még a mai napig meglehetősen gyerekcipőben jár. (2. ábra) [2]



2. ábra – A CC technológia fejlesztési irányai: (1) és (2) lakóépületek, (3) infrastruktúra szerkezetek, (4) űrbéli alkalmazás [2]

4.2. Beton

A C3DP ágazat másik úttörője a kínai *Winsun* vállalat. A cég fő profilja teljes egészében nyomtatott eljárással, helyszínen vagy előgyártásban készülő, elsősorban beton épületekre fókuszál. Referenciamunkáik közt szerepel nyomtatott nyilvános mosdó, háromszintes villa, hagyományos kínai házreplika és kormányzati épület is. Világelsőként fejlesztettek ki univerzális beton alapú „nyomtatóanyagot” és nyomtatófejet építészeti célokra. Szintén elsők közt fejlesztettek és alkalmaztak nyomtatható SRC (*Special Reinforced Concrete*, szálerősített beton) és FRP (*Fiber Reinforced Plastic*, szálerősített műanyag) anyagokat. Előbbi a szerkezetépítésben használható, különleges építészeti megoldások megvalósításához, utóbbi pedig jellemzően kivételes megjelenésű dizájnelemek, bútorok alapanyaga. A cég rendelkezik emellett egy saját fejlesztésű, szerényen csak *Crazy Magic Stone* (CMS) névre keresztelt mesterséges (szervetlen) kőanyaggal. A CMS legfontosabb jellemzője, hogy nagy méretek, de kis vastagság mellett is kimagasló szilárdsággal bír. A CMS alapját speciális, modifikált cement adja, nagy szilárdsága pedig üvegszálerősítésnek köszönhető. (3. ábra) [3]



3. ábra – Alkalmazási példák: (1) és (2) SRC, (3) FRP, (4) CMS [3]

4.3. Mesterséges kő

A mesterséges kő alapú projektek közül talán az egyik legérdekesebb a *D-Shape* nevű cég megoldása. A D-Shape technológia gyakorlatilag az MIT által az 1980-as években kifejlesztett „porágyas” 3D nyomtatás felnagyításával született meg. Az alapelv, hogy a nyomtatandó tárgy, elem vagy szerkezet befoglaló méreteit meghaladó térfogatú lehatárolt terület megtöltésre kerül a porszerű alapanyaggal, a nyomtató fej pedig egy megfelelő folyékony kötőanyagot fecskendezve gyakorlatilag „megrajzolja” a nyomtatandó geometriát. Értelemszerűen, ahol a porszerű alap és a kötőanyag keverednek, ott adott méretű szilárd vonalakat / felületeket / testeket kapunk. Építőipari méreteket és alkalmazást tekintve szinte bármilyen szemcsés alapanyag alkalmazható 0,1 – 5 mm-es (speciális esetben akár max. 20 mm-es) tartományban, amely folyékony kötőanyag révén szilárdítható. A kötőanyag konzisztenciájára sincs túl szigorú előírás; bármi megfelelhet víz és cementpép között. Elméleti szinten a nyomtatáshoz használt keverékben alkalmazható homok, kavics, újrahasznosított frakciók (aprított téglá, üveg, építési törmelék, aprított fa, műanyag) és agyag is – természetesen az egyvelegnek megfelelő kötőanyag mellett. A szilárdság szálerősítéssel növelhető. [4]

4.4. Kerámia

Európában jellemzően a családi házak és kisebb társasházak falazott téglá teherhordó szerkezettel készülnek, így jogosan felmerülő kérdés, hogy lehet-e téglafalat nyomtatni? Bár a C3DP legfejlettebb irányzata, a 3D betonnyomtatás tart jelenleg a családi ház, társasház léptékű helyszíni nyomtatás megoldásánál, de a válasz ennek ellenére igen. Ha komplett falat nem is, de falazóelemet lehet. Az ez irányú törekvések közül kiemelhető a kifejezetten 3D nyomtatással készülő, építészeti alkalmazású kerámia építőelemekre szakosodott *Building Bytes* projekt. Az anyagmodellre, gyártástechnikára és egyedi dizájnról vonatkozó fejlesztések 2012 óta tartanak, cél a falazóelemes építési eljárás teljeskörű megreformálása. A különleges, egyedi dizájn mellett minden egyes építőelem prototípus esetén törekednek a súly minimalizálására és az optimális erőjáték biztosítására. Terv, hogy a rendszer alkalmas legyen helyszíni gyártásra és helyi alapanyagok felhasználására, így tovább csökkentve a költségeket és javítva a fenntarthatóságot. (4. ábra) [5]



4. ábra – 3D nyomtatással készült kerámia építőelemek [5]

4.5. Fémek

A fém alapú 3D nyomtatás gyakorlatilag additív hegesztést jelent, azaz a kívánt térbeli alakzat vékony rétegek egymásra hegesztésével formálódik meg. Jó alakíthatóságuk és magas szilárdságuk miatt a szerkezetépítésben jellemzően alacsony széntartalmú acél anyagokat

alkalmaznak, de 3D nyomtatáshoz egyéb különféle fémek, ötvözetek is használhatók, értelemszerűen fő feltétel a hegeszthetőség. A technológia ötvözi a hagyományos gyártás gyakorlatilag minden elemét és lépését: a formázás, vágás, darabolás, illesztés, marás és bevonatképzés mind elvégezhető egyetlen folyamat során, ezáltal jelentősen csökkentve a gyártáshoz szükséges időt és költségeket. Napjainkban elsősorban igen bonyolult geometriájú vagy nagyon összetett keresztmetszetű alkatrészek, gépelemek gyártásához alkalmazzák, de említésre méltó építőmérnöki példa, hogy rúdszerkezetek, tensegrity szerkezetek csomópontjai szoftveresen egyedileg optimalizálva és 3D nyomtatással kialakítva a hagyományos tervezéshez képest jóval gazdaságosabbá tehetők. (5. ábra)



5. ábra – Szerkezeti csomópont optimalizálása: mindhárom csomópont azonos kapcsolati erő felvételére képes (1) hagyományos tervezés és gyártás, (2) és (3) szoftveres optimalizálás és 3D nyomtatás [6]

4.6. Műanyagok

A 3D technológia fejlesztését polimerekkel kezdték meg, és *nem large-scale* nyomtatás esetén a mai napig ezeket használják a legszéleskörűbben. Ennek tükrében nem meglepő, hogy építőipari alkalmazás céljából is folynak kísérletek, kutatások műanyagok nyomtatással történő felhasználására. Erre tettek, tesznek kísérletet a *De Montfort Egyetem* (Leicester, Anglia) tudósai is: 3D nyomtatás segítségével készítettek téglát kizárólag háztartási műanyag hulladék felhasználásával, újrahasznosításával. Az így megalkotott építőelem számtalan előnnyel rendelkezik: hagyományos téglákat meghaladó nyomószilárdság érhető el jóval kisebb önsúly mellett; műanyag lévén rendkívül magas a hőszigetelő képessége; az előállítás pedig gyors, olcsó, az alapanyag pedig folyamatosan termelődik. [7]

4.7. Egyéb anyagok, érdekességek

3D nyomtatás segítségével egészen különleges alapanyagok újfajta, érdekes, építészeti jellegű felhasználására is találhatunk példákat. Alkottak már nyomtatott építőelemeket tengeri só, valamint újrahasznosított faanyag felhasználásával is, de valósult már meg 3D nyomtatással készült tetőterasz fedés is. Előbbiek esetében az alapanyag adalékanyagoknak felel meg, a kötőanyagot pedig jellemzően valamilyen ragasztó adja. Az ilyen különleges anyagú, újító jellegű nyomtatott építőelemek egyelőre leginkább csak a nevükben alkalmasak építésre, de könnyen lehet, hogy a közeljövőben extravagáns építészeti megoldásokká válnak. [8], [9]

5. 3D BETONYOMTATÁS

A C3DP területei közül kétségkívül a 3D betonnyomtatás a legkiemelkedőbb, legfejlettebb és a közvetlenül építőipari célokra legjobban alkalmazható. A 3D betonnyomtatás számos előnnyel rendelkezik a hagyományos technológiákkal szemben: Jelentősen csökkenthetők az építési költségek és hulladékok a zsaluzat szükségességének megszűnésével. Ezzel párhuzamosan csökken a helyszíni élőmunkaigény, nő az építéshelyi biztonság. A gépi építésnek, nyomtatásnak köszönhetően drasztikusan csökkenhet az építési idő, a konstans munkavégzés miatt pedig az egyes építési fázisok időben sokkal pontosabban tervezhetők, optimalizálhatók. Az építési hibák és az utólagos javítási igény minimalizálható. Optimális anyagfelhasználás és optimális keresztmetszeti kialakítás révén a teljes építési folyamat

környezetbarátabbá válhat. A betonnyomtatáshoz speciális, újrahasznosított anyagok is alkalmazhatók, ezáltal fokozva a fenntarthatóságot. Az építészeti tervezés formavilága (idővel) teljesen kötetlenné válhat. Az eljárás fejlesztésével a későbbiekben akár további integrációk (pl. vezetékek, csövek elhelyezése, felületképzés) is szóba jöhetnek.

6. KONKLÚZIÓ

A cikkben röviden összefoglalásra kerültek az építőipar léptékű 3D nyomtatás legfőbb irányzatai, eljárásai, megoldása, bemutatva a 3D nyomtatás építőipari alkalmazásában rejlő lehetőségeket és példa jellegű projekteket. Látható, hogy az alkalmazott különféle anyagoknak és technikáknak gyakorlatilag csak a képzelet szab határt – a technológiai korlátok ugyanis, a terület utóbbi időszakban mutatott exponenciális fejlődésének köszönhetően, szinte biztos, hogy az elkövetkezendő években el fognak járulni.

7. HIVATKOZÁSOK

- [1] EL Studio, *Mapping 20 Years of 3D Printing in Architecture*, forrás: elstudio.nl, 2015.
- [2] Contour Crafting, *Building Construction*, forrás: contourcrafting.com, 2021.
- [3] Winsun, *Product Description*, forrás: winsun3d.com, 2021.
- [4] D-Shape, *3D Printing*, forrás: d-shape.com, 2021.
- [5] Architizer, *Building Bytes*, forrás: architizer.com, 2013.
- [6] ARUP, *Design method for critical structural steel elements*, forrás: arup.com, 2015.
- [7] Construction Manager, *3D-printed plastic waste brick*, forrás: constructionmanagermagazine.com, 2019.
- [8] Emerging Objects, *3D Printed Design & Material Innovations*, forrás: emergingobjects.com, 2021.
- [9] Vector Foiltec, *Impressive Covered ETFE Roof Terrace*, forrás: vector-foiltec.com, 2013.

3D CONCRETE PRINTING – STRUCTURAL AND NON-STRUCTURAL SOLUTIONS

SUMMARY

Keywords:

1 INTRODUCTION

1.1 3D Concrete Printing Geometry

3D concrete printing or Cementitious 3D construction printing (3DCP) is a form of additive manufacturing used to fabricate buildings or construction components in completely new shapes not previously possible with traditional. Concrete is extruded through a nozzle to build structural components layer-by-layer without the use of formwork or any subsequent vibration.

Figure 1 shows the extrusion/deposition of 3D printing process, as clear that the material has three planes, with perpendicular symmetry between these planes. Thus, it is an orthotropic material. Hence, its mechanical behavior differs on the basis of the three axes as defined by the direction of the deposition, the layer width and the structure height to be printed. In addition, the interfacing between layers conjectural appears to be a critical zone, which can have a large effect on the overall mechanical characteristics of the printed material (Arnaud Perrot, 2019).

1.2 Dose The 3D Printing Material Able to Carry The Applied Load?

As Engineers when design structures there are requirements must be taken in a count, one of these requirements is: Structural Requirements, dealing with safety, the different external actions (climatic loads, gravity loads, etc), and to completely understand the mechanical properties of printed structures, we should consider the degree of orthotropy. This should be possible by contrasting its mechanical behavior in different directions of loads or by comparing the properties of a 3D printed material with those of the same conventional cast material as shown in Figure 2.

Many of studies measured the perpendicular and parallel compressive strength and compared to the cast concrete. All the results were higher than the conventionally cast samples. The compressive strength in the parallel direction is little lower than the cast samples while the perpendicular is the same. They concluded that anisotropy in terms of compressive strength is

due to defects at the interface of the layers. Meanwhile the flexural strength in all direction is higher than the cast concrete. The authors highlight those printed materials have a better bending strength than conventional poured concrete (Lim et al. 2012, Malaeb et. al. 2015, Nerella 2016, Nerella et. al.2017, Amziane et. al.2018,).

Also, several authors have proposed combinations that contain fibers, to improve tensile characteristics to the printed cementitious materials (Ogura et. al. 2018). Figure 3 shows the effects of natural fiber (NF) and silica fume (SF) on compressive strength after 7 days (Sonebi et. al. 2018). It was found that the compressive strength of the printed material was reduced by about 25–30% with respect to the normal cubes utilized for reference. The increase in the dosage of fibers did not influence compressive strength. For all the dosages of fibers and superplasticizers tested, the addition of silica fume resulted in a slight improvement in the compressive strength of the reference mortars. The same authors proofed, that the increase in the percentage of natural fibers has led to 20% decreases in the bending resistance of a printed layer as shown in Figure 4 (Sonebi et. al. 2018)., which is clarified by the possibility that extra cracks might show up in mixtures containing more fibers. In fact, an increased fiber dosage reduced workability, and could increase surface defects, air bubbles, and drainage phenomena. However, extra fibers increased the direct tensile strength by about 28%.

In conclusion it is possible to print concrete or mortars with very good mechanical characteristics that can be qualified as high or very high performance by choosing the best methods of printing (Lowke et. al. 2015, Xia and Sanjayan 2016, Weger et. al. 2016, Shakor et. al. 2017, Weger et. al. 2018, Pierre et. al. 2018), reducing time intervals between layers to improve the bonding between the layers to prevent cold joints to formed (Wangler et. al. 2016) also spraying the water on the layer before the print of a new layer increase the compressive strength compared to the sample printed without wetting (Sanjayan et. al. 2018).

But, it is right to use the same standards and test methods of the conventional concrete?!

As clear behavior of 3D printing concrete is orthotropic, changing the conventional concrete behavior which exhibits as isotropic and monolithic material.

Thus, the utilization of the principles and test techniques utilized for traditional concrete may not be suitable for printed materials and structures. It will be important to modify the standards and the new regulations to measure and assess the mechanical exhibition of the 3D concrete printing, as well as to develop new theoretical models to evaluate their structural behavior. New evaluation criteria and design standards are very important for ensuring the use of 3D printing elements and structures in order to be able to support all loads.

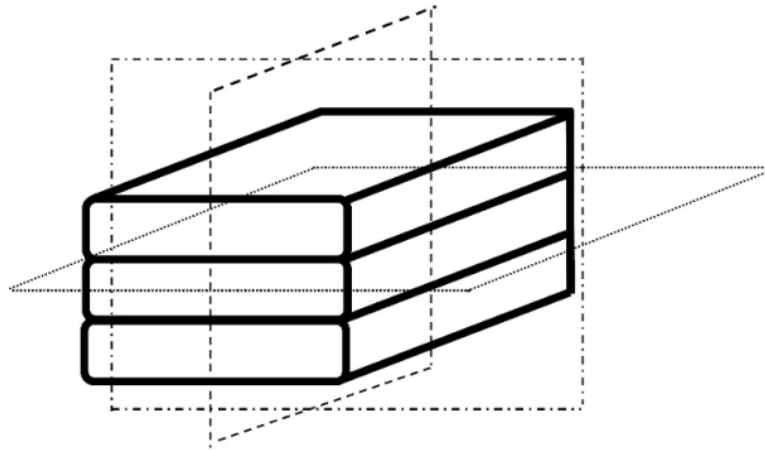


Fig. 1 A sample of printed cement material shows the three planes of symmetry (Arnaud Perrot, 2019).

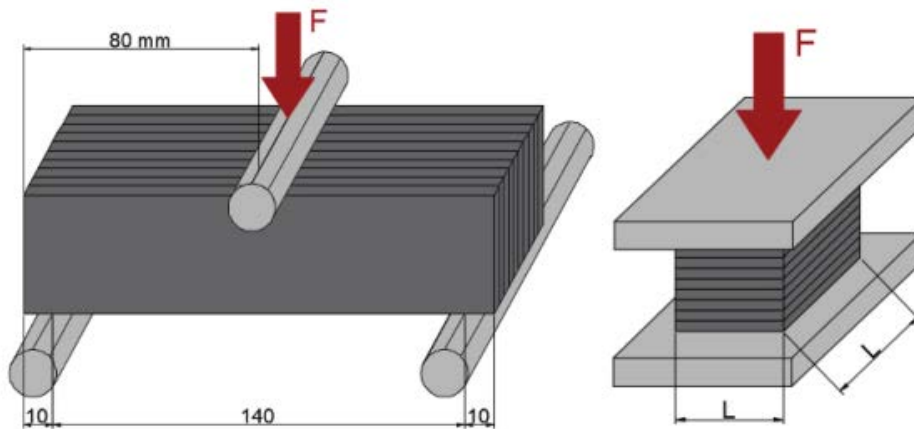


Fig. 2 compressive strength perpendicular to the layers and flexural strength parallel to the layers (Arnaud Perrot, 2019).

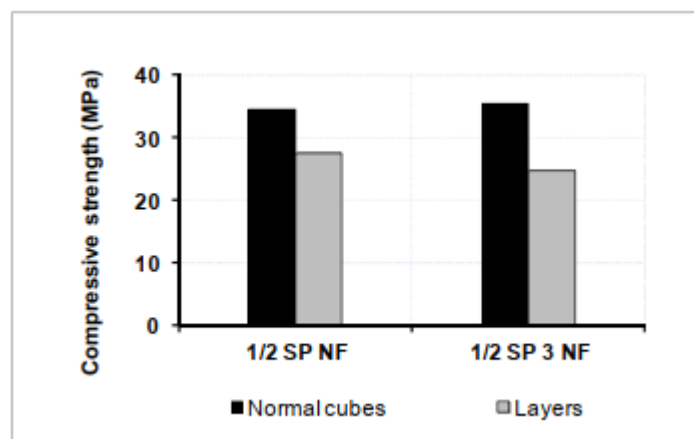


Fig. 3 Impact of the fiber and silica fume on the compressive strength of normal cubes and layers (Sonebi et. al. 2018).

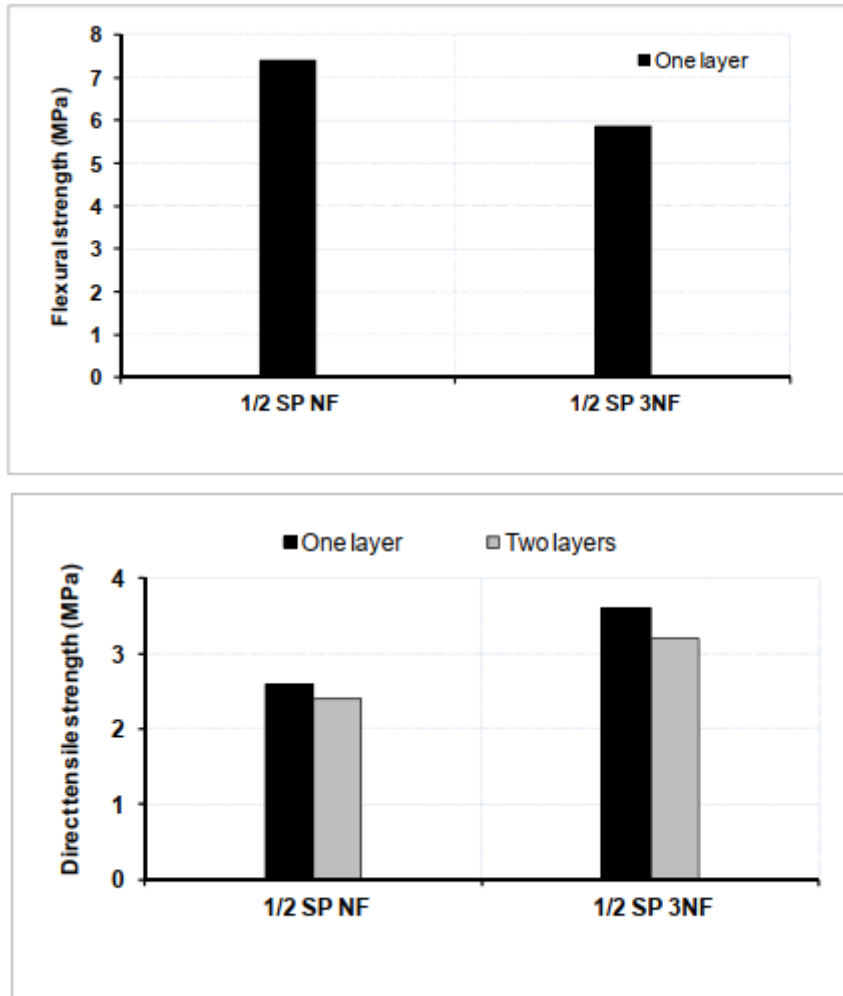


Fig. 4 Impact of the fiber dosage on the tensile and flexural strengths of normal cubes and layers (Sonebi et. al. 2018).

2 STRUCTURAL APPLICATION

2.1 Formwork freedom

As we know the architects and designers always attend to create especial structure but it's not easy to cast a complex structure. Nevertheless, the 3D printing of concrete provides matchless freedom of form for architects and designers of concrete elements.

From this point of view, this new digital production might open up new fields of chances that were previously difficult to architects. Figure 5, the case of the DFAB House in Switzerland shows the freedom that architects can accomplish with these new tools of digital production, by designing structures with shapes that are both original and complex (DFAB HOUSE 2018). Also it has a better environmental effect, since the production and management of forms, can produce a large amount of waste, particularly in the case of forms for complex structures with assembly components that are utilized just a single time.



Fig. 5 The DFAB House in Switzerland: shows the 3d printing concrete application (DFAB HOUSE 2018).

But this method do not provide completely freedom from the formwork, one of the challenges of the 3d printing is the overhanging parts of structures as shown in Figure 6, because they are limited by the elastic properties of the material while it is in a fresh state (Wolfs et. al. 2018, William 2019). A common way to deal with overhangs is by generating support structures. These are towers that rise up from the ground to hold the sections that can't hold themselves up, Figure 7. They can come in a variety of patterns and forms, depending on what software was used to generate them. After the print is finished, they can be ripped out to leave the model as intended. As ideal as it sounds, this is also the downside to this method — the places where the model had support structures attached will have a rougher, less clean finish (Baptiste 2018) Some printers have two nozzles and are able to print two separate materials in the same print! Special foundation materials can be used in these prints to make support structures that come cleanly off the rest of the print without hassle. Many research projects today focus on simultaneous and collaborative works performed by a team of robots with two different materials, Figure 8 (Duballet et. al. 2018).

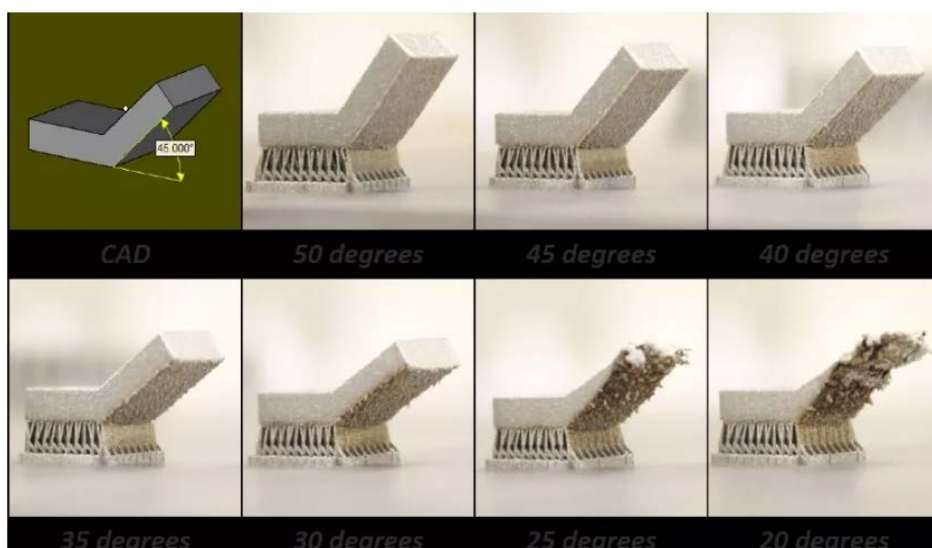


Fig. 6 A 3D-printed overhang of less than 45 degrees generally needs support structures to prevent it from crumbling (William 2019).



Fig. 7 Different software will have different algorithms for support structures (Baptiste 2018).

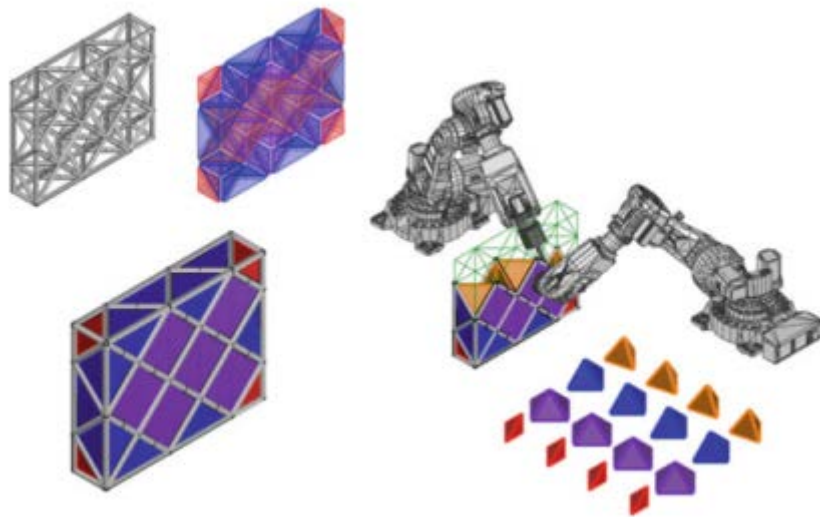


Fig. 8 Production of concrete walls with two robots working together (Duballet et. al. 2018).

2.2 Structures with shape optimization

2.2.1 Topological optimization

Digital manufacturing can also help to optimize the amounts of materials installed because the materials are only placed where they are important for the structural stability. Thus, the building design and structural construction can be done using the concept of topological optimization. In many areas of application, digital manufacturing is related to a design using this topological optimization (Hollister 2005, Brackett et. al. 2011). Topological optimization is a design tool that uses mathematical methods that allow the amounts of materials to be minimized in a given volume subjected to mechanical stress (Bendsoe 2001). Figure 9 shows the application of topological optimization on simply supported beam subjected to concentrated load at the mid-span (Vantighem et. al. 2018). While Figure 10 shows the reduction in quantities of materials using topological optimization during the design phase (Sakya Tripathy 2016).

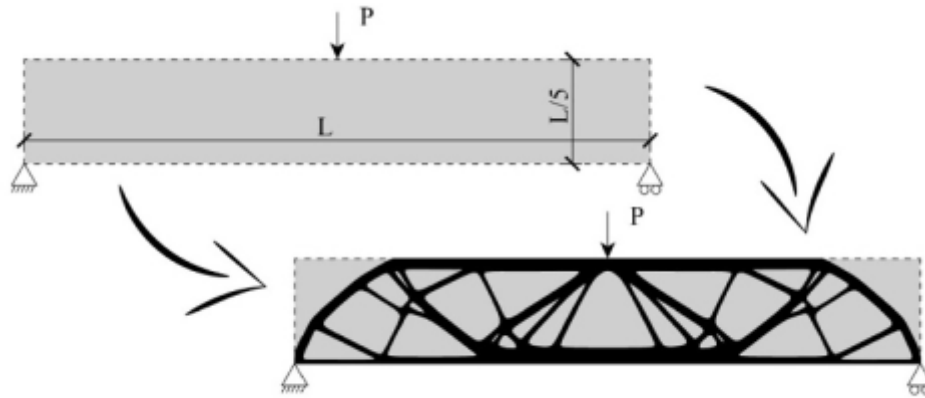


Fig. 9 Topological optimization on a simply supported beam, with a load placed on the mid-span (Vantghem et. al. 2018).

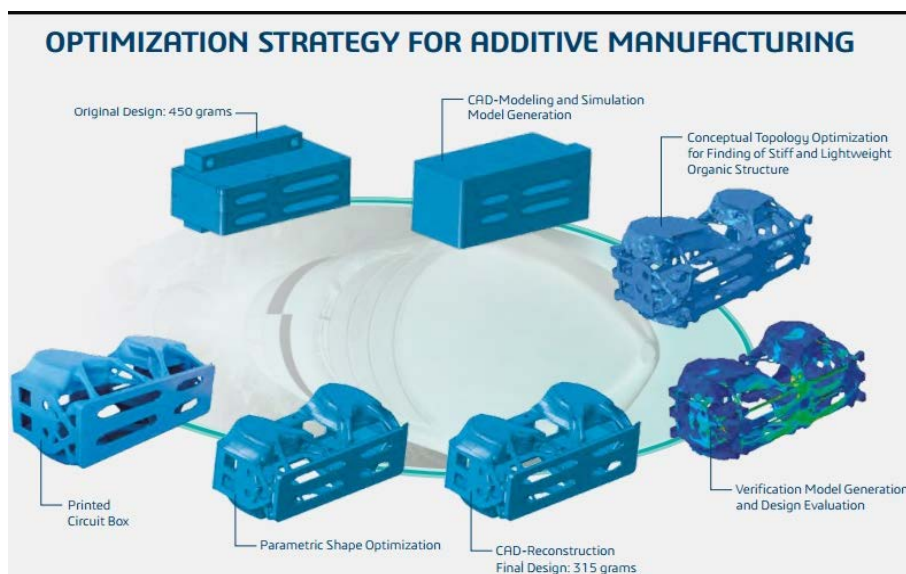


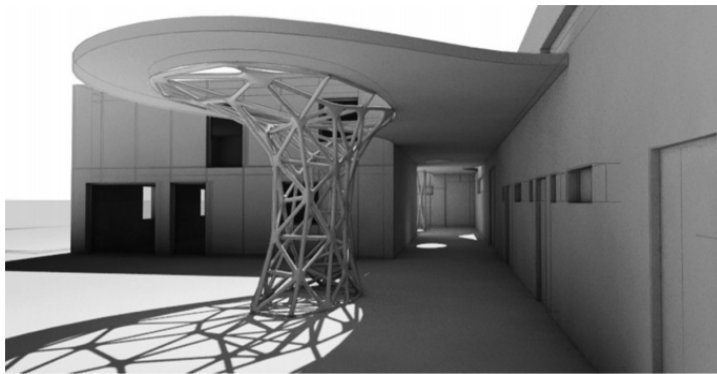
Fig. 10 Using topological optimization to reduce the amounts of materials during the design phase (Sakya Tripathy 2016).

2.2.2 Inspired by nature

It is also possible to print designs from the living world and inspired by nature, through a slow process of natural selection, has ultimately been able to produce structures that optimize the use of materials to design load bearing elements that can decrease the volume of the material. From this point of view, a comparison between the human bones and porous structure as shown in the (Figure 11) the 3d print support column with porous structure by the XtreeE company (Nadja et. al. 2019).

The shape optimization offers the advantage of a potential reduction in the supplies of raw materials, especially aggregates, which have become increasingly scarce. However, it is important to note that the formulas of cement-based materials tested in the literature often use reduced maximum grain sizes, which significantly increases the cement dosage. Similarly, a significant use of chemical admixtures has also been reported in many cases. As a result, the environmental impact of the printable material is greater than that of conventional concrete. Thus, for the printed concrete to have less of an impact, the design must be optimized, in order to, at a minimum, compensate for the higher environmental cost of the formulas used for printing. Therefore, this technology encourages us to reconsider the way in which

buildings are designed, in order to have structures that optimize the forms and the quantities of materials used.



(a) Initial sketch



(b) After printing

Fig. 11 Support column inspired from human bones produced by the XtreeE company (Nadja et. al. 2019).

2.3 Possibility to print shell element

One more component of 3D concrete manufacturing is to print structures that are only subjected to compression loads, like masonry structures in the form of a dome or an arch. Since the concrete tensile strength is low this method allows to overcome on the natural tensile fragility of the concrete. This technique has been especially utilized by the group of Prof. Block of ETH Zurich (Rippmann and Block 2013, Veenendaal and Block 2014). The thought is to utilize the strategies of the digital production of forms dependent on reinforcing cables and fabrics as a help for the projection of a thin layer of concrete to be utilized in compression (Figure 12). Other digital production methods using concrete (extrusion/deposition or by injection into particle beds) may be utilized in the future in an attempt to reprinting traditional structural forms, working in compression, as in cathedrals (keystones and arches without steel reinforcements).

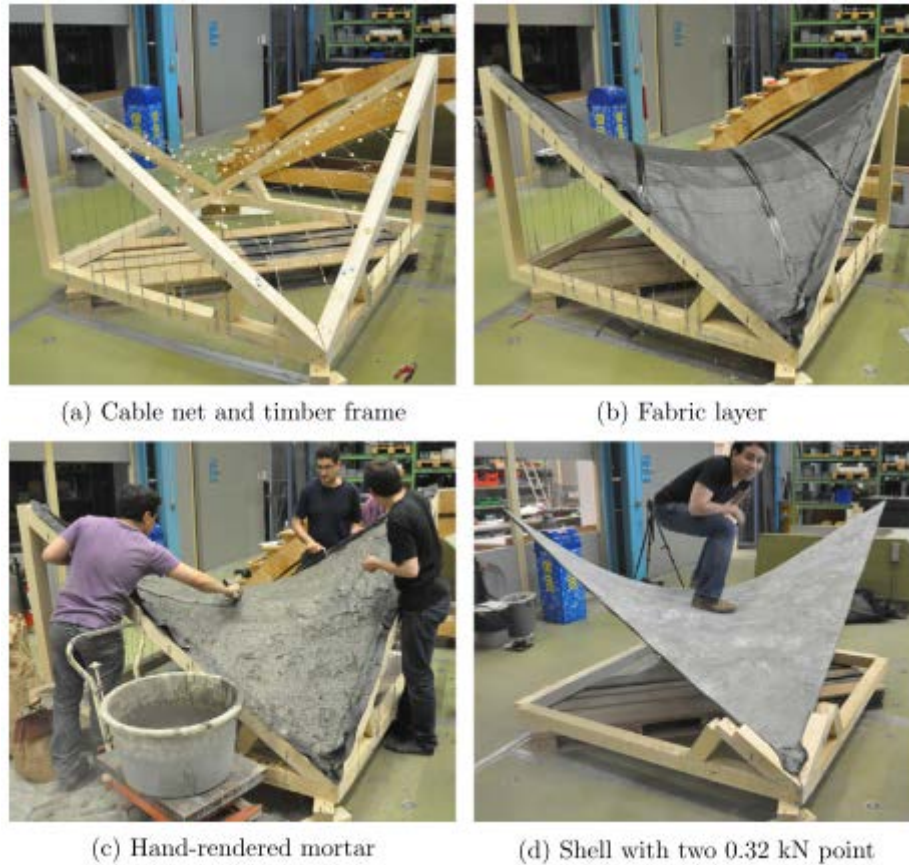


Fig. 12 Shell construction by reducing the tensile forces (Veenendaal and Block 2014).

2.4 3D concrete printing furniture

Commissioned by interior designer Kara Mann, Philipp Aduatz has created a large collection of custom-made 3D printed concrete furniture pieces for a private client in Chicago.

The biggest challenge and innovation for this project was to develop a suitable reinforcement technology to provide the load capacity for the design language of Philipp Aduatz. by its nature, concrete is a material with very little tensile strength; therefore, it should be reinforced. in this case, a customized semi-automatic strategy was developed.

The required pay loads had been calculated, tested and proved by the high performance of a specific combination of glass fiber rods and carbon textile reinforcement. This was visually perfectly integrated into the design. The commission consists of two large sofas, two chairs and a 24-foot-long bench divided into three segments. Each item has been produced in one piece with a minimum thickness, and has been placed in a permanent outdoor environment as shown in Figure 13 (Philipp Aduatz 2020).



Fig. 13 3D printing concrete furniture (Philipp Aduatz 2020).

3 NON-STRUCTURAL APPLICATION

Current 3D concrete printing technology limits its applications to non-structural applications like: stamped concrete, outdoor living area, fountains, pool areas. However, one of the possible uses of 3D printing is making statues or interior decorations as shown in Figure 14.

But one of the amazing examples of 3d printing non-structural concrete is the artificial reefs. The new formation of 3d concrete printing artificial reefs by the XtreeE company (Xtree 2018). Figure 15 shows intricacy of the shapes and surfaces that can be made through the digital manufacturing methods of 3d concrete printing. The several air holes produced by the concrete encourage underwater fauna to settle in the region.



Fig. 14 Non-structural examples.



Fig. 15 Artificial underwater reefs (Xtree 2018).

4 CONCLUSIONS

The 3D concrete printing is an innovative construction method that promises to be highly advantageous in the construction field in terms of optimizing construction time, cost, design flexibility, error reduction, and environmental aspects.

It can be used to build military bunker in the wild, construct the affordable housing in low-income countries, build in Lunar or Mars using in-situ material, and print the complex construction when the formwork is difficult to manufacture, repair or restore.

Furthermore, combined with nanotechnology and advanced material composition technology, 3D printed concrete technology is more suitable for the fabrication of (ultra) high

performance and smart/multifunctional concrete, such as reactive powder concrete, polymer modified concrete.

At present, many buildings have been successfully printed and even put into practice, but it still requires a lot of efforts to promote the development of 3D printed concrete technology.

Please have some sentences about non-structure use: sculpture, furniture, marine appl,....

ACKNOWLEDGMENT

Authors acknowledge the support by the Hungarian Research Grant VKE 2018-1-3-1_0003 “Development of advanced concrete elements”.

5 REFERENCES

- Amziane S., Perrot A., Sonebi M. (2018), “On some challenges to design printed formwork”, *ETH Zurich, 1st International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, September 9–12, 2018, pp. NN-MM
- Arnaud Perrot (2019) " *State of the Art and Challenges of the Digital Construction Revolution*" First published 2019 in Great Britain and the United States by ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- Baptiste Higgs, " 3D Print Overhangs and How To Deal With Them", available online, <https://medium.com/bravovictornovember/3d-print-overhangs-and-how-to-deal-with-them-9eed6a7bcb5d>, last edit Feb 21, 2018.
- Bendsoe M.P., “Topology optimization”, in *Encyclopedia of Optimization*, Springer, pp. 2636–2638, 2001.
- Brackett D., Ashcroft I., Hague R., “Topology optimization for additive manufacturing”, in *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*, Austin, TX, vol. 1, pp. 348–362, 2011.
- DFAB HOUSE "Building with robots and 3D printers", Available at: <http://dfabhouse.ch/>, 2018.
- Duballet R., Baverel O., Dirrenberger J., *Design of Space Truss Based Insulating Walls for Robotic Fabrication in Concrete*, 2018.
- Hollister S.J., “Porous scaffold design for tissue engineering”, *Nature Materials*, vol. 4, no. 7, p. 518, 2005.
- Lim S., Buswell R.A., Le T.T. *et al.*, Developments in construction-scale additive manufacturing processes, *Automation in Construction*, vol. 21, pp. 262–268, 2012.
- Lowke D., Weger D., Henke K. *et al.*, “3D-Drucken von Betonbauteilen Durch Selektives Binden Mit Calciumsilikatbasierten Zementen – Erste Ergebnisse Zu Beton Technologischen Und Verfahrenstechnischen Einflüssen”, *Tagungsbericht ‘19. Internationale Baustofftagung*, P. D.-I. H.-M. Ludwig, Weimar, 2015.
- Malaeb Z., Hachem H., Tourbah A. *et al.*, “3D concrete printing: Machine and mix design”, *International Journal of Civil Engineering*, vol. 6, pp. 14–22, 2015.

- Nadja Gaudillière, Romain Duballet, Charles Bouyssou, Alban Mallet, Philippe Roux, Mahriz Zakeri, and Justin Dirrenberger, " Large-Scale Additive Manufacturing of Ultra-High-Performance Concrete of Integrated Formwork for Truss-Shaped Pillars", in *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design*, pp. 459–472, 2019.
- Nerella V.N., "CON Print3D- 3D printing technology for onsite construction", *Concr Australia*, vol. 42, pp. 36–39, 2016.
- Nerella V.N., Schroefl C., Yazdi M.A. *et al.*, "Micro-and macroscopic investigations of the interface between layers on the interface of 3D-printed cementitious elements", *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 29, 2017.
- Ogura H., Nerella V.N., Mechtcherine V., "Developing and testing of strain-hardening cement-based composites (SHCC) in the Context of 3D-Printing", *Materials (Basel)*, vol. 11, no. 8, August 2018.
- Philipp Aduatz " philipp aduatz creates 3D printed concrete outdoor furniture" available at <https://www.designboom.com/design/philipp-aduatz-3d-printed-outdoor-concrete-furniture-07-27-2020/>, jul 27, 2020.
- Pierre A., Weger D., Perrot A. *et al.*, "Penetration of cement pastes into sand packings during 3D printing: analytical and experimental study", *Materials and Structures*, vol. 51, no. 22, available at: <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1148-5>, 2018.
- Rippmann M., Block P., "Rethinking structural masonry: Unreinforced, stone-cut shells", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, vol. 166, no. 6, pp. 378–389, December 2013.
- Sakya Tripathy " Topology Optimization for Additive Manufacturing Applications", available at <https://blogs.3ds.com/simulia/topology-optimization-for-additive-manufacturing-applications/>, August 23, 2016
- Sanjayan J.G., Nematollahi B., Xia M. *et al.*, "Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 172, pp. 468–475, 2018.
- Shakor P., Sanjayan J., Nazari A. *et al.*, "Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing", *Construction and Building Materials*, vol. 138, pp. 398–409, 2017.
- Sonebi M., Rubio M., Amziane S. *et al.*, "Mechanical properties of 3d printing bio-based fiber cement-based materials", *RILEM 1st International Conference on Digital Fabrication with Concrete, Extended Abstracts*, pp. 50–51, September 9-12, 2018.
- Vantghem G., Boel V., Decorte W. *et al.*, "Compliance, Stress-based and multi-physics topology optimization for 3D-Printed concrete structures", in *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, pp. 323–332, 2018.
- Veenendaal D., Block P., "Design process for prototype concrete shells using a hybrid cable-net and fabric formwork", *Engineering Structures*, vol. 75, pp. 39–50, 2014.
- Wangler T., Lloret E., Reiter L. *et al.*, "Digital concrete: Opportunities and challenges", *RILEM Technical Letters*, vol. 1, 2016DO - 1021809rilemtechlett201616, 2016.
- Weger D., Lowke D., Gehlen C., "Additive manufacturing of concrete elements using the selective paste intrusion – effect of layer orientation on strength and durability", *Proceedings of RILEM 1st International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, 2018.

- Weger D., Lowke D., Gehlen C., “3D printing of concrete structures using the selective binding method—Effect of concrete technology on contour precision and compression strength”, *Proceedings of 11th Fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, The University of Tokyo, Tokyo, pp. 403–410, 2016.
- William Leventon, "Less support is a good thing—when 3D printing" available online <https://www.thefabricator.com/additivereport/article/additive/less-support-is-a-good-thingwhen-3d-printing>, last edit October 4, 2019
- Wolfs R.J.M., Bos F.P., Salet T.A.M., “Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: Numerical modelling and experimental testing”, *Cement and Concrete Research*, vol. 106, pp. 103–116, April 2018.
- Xia M., Sanjayan J., “Method of formulating geopolymers for 3D printing for construction applications”, *Materials & Design*, vol. 110, pp. 382–390, 2016.
- Xtree company “Project – Rexcor Artificial Reef | XtreeE”, available at: <http://www.xtree.eu/>, 2018.