



Kasik Tamás

<https://doi.org/10.32969/VB.2022.3.1>

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 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 támasztani, 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 szokványos elem esetében a költségek körülbelül 50%-a, egy nem szokványos 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.

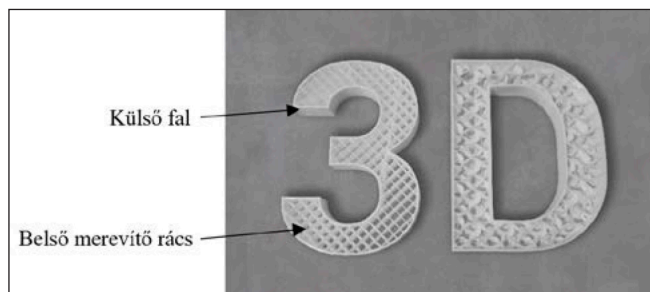
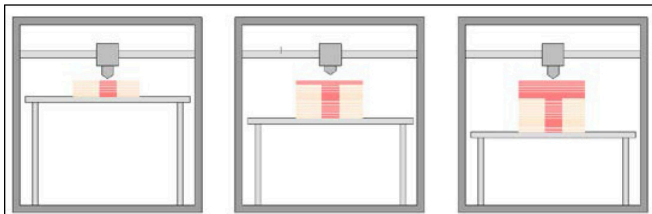
2. 3D NYOMTATÁS

3D nyomtatás ötlete az 1950-es évekre tehető, de gyakorlati fogalomként 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 (filament nyomtatás)



2. ábra: 3D nyomtatott elem (filament nyomtatás)

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.

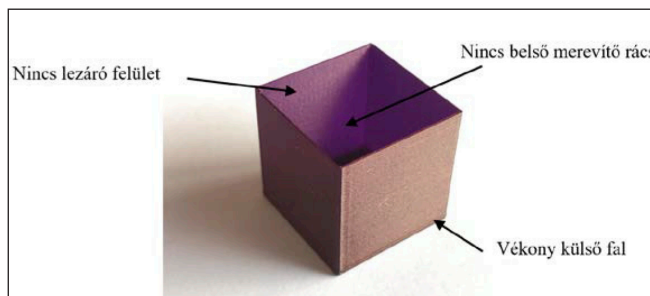
Az extruder két dimenzióban, X és Y tengelyen mozog, hogy egyszerre egy vízszintes síkon, egy nyomtatási réteget helyezzen el. Ezután a gép vagy az extrudert vagy magát a nyomtatási felületet függőlegesen, Z tengelyen elmozdítja egy kis mértékben, hogy újabb és újabb rétegeket helyezhessen el. Ezekből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

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 rácsokat és külső felvastagság is minimumra van csökkentve (1-2 réteg).

3. ábra: 3D nyomtatott kocka váza módban (PrusaTester2020) (filament nyomtatás)



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

3. ZSALUZAT KÉSZÍTÉSHEZ HAZSNÁLHATÓ NYOMTATÁSI MÓDOK ÉS ANYAGOK

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

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

FDM – Fused Deposition Modelling anyaga lehet: 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 anyaga lehet: Polypropylene, HDPE, PS, PMMA, PC, ABS, HIPS, EDP.

MJF – Multi Jet Fusion anyaga lehet: nylon, Polypropylene.

SLS – Selective Laser Sintering anyaga lehet: nylon.

SLA – Stereolithography, ill. DLP – Digital Light Processing anyaga lehet: fotopolimer

4. 3D NYOMTATOTT ZSALUZAT KIALAKÍTÁSA

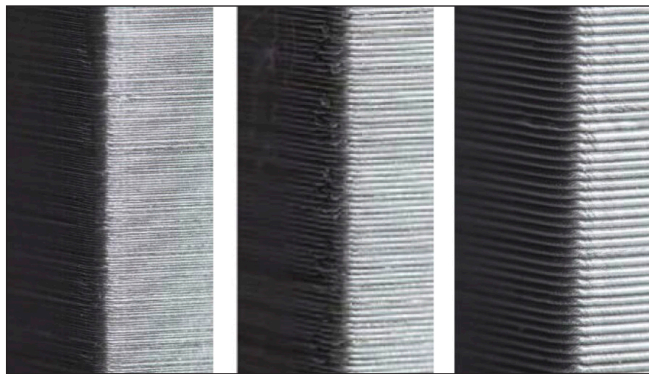
Nyomtatott zsaluzatok kialakításának két féle módját lehet megkülönböztetni: többször használható zsaluzat (4. ábra), egyszer használható zsaluzat (5. ábra).

A többször használható zsaluzat vastagabb fallal, általában belső merevítéssel kerül kialakításra és célszerűen rögzítő és kapcsolódó pontokat is tartalmaz. *Előnye:* többször újra felhasználható, könnyebb betonozás előkészítés, könnyű zsalutisztíthatóság, kevesebb hulladék, benmaradó zsaluzat

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



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



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

is kialakítható. *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.

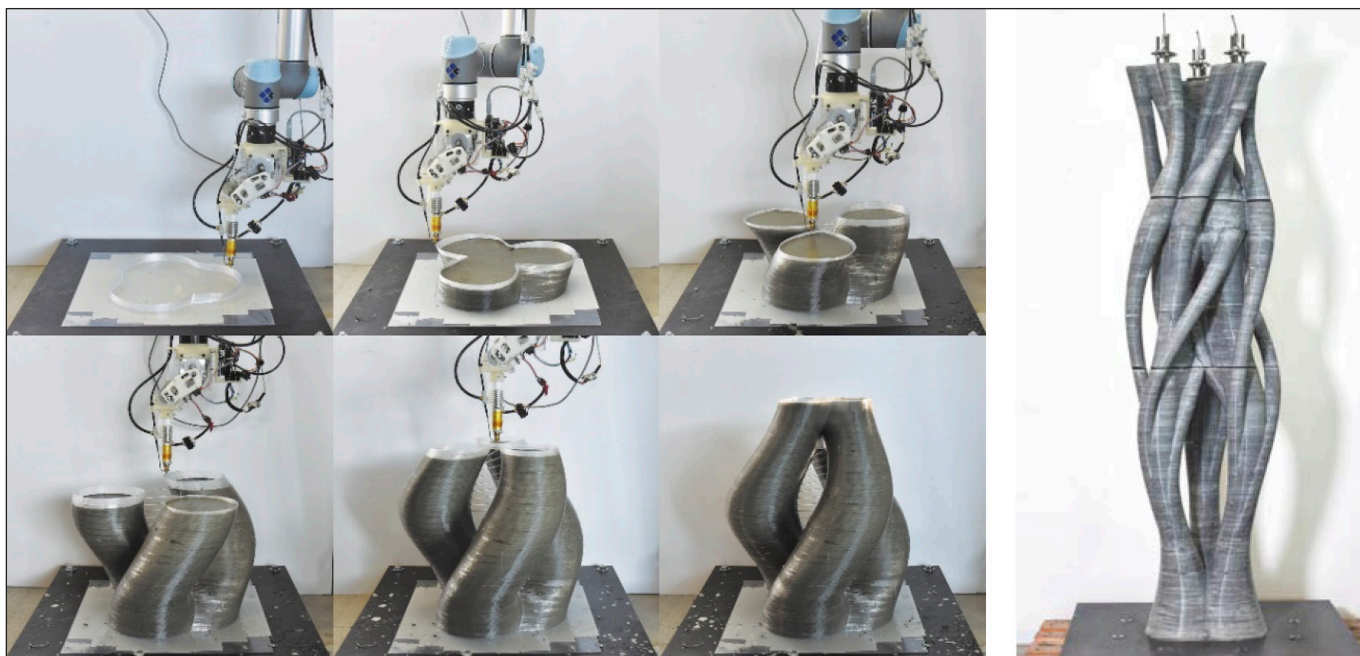
Fontos figyelembe vennünk, hogy mind a két módszernél, ha a nyomtatott zsaluzat semmilyen utókezelést (kittelést, csiszolást, festést) nem kap a betonozást megelőzően, úgy a nyomtatás rétegmagasságának képe meg fog jelenni a kész beton felületén is.

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.

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



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

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.

5.2 Future tree - svájc

A projekt Esslingenben Svájc egyik városában, Gramazio Kohler Research és ETH Zurich közreműködésével, a Basler & Hofmann új iroda bővítmenyének 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.

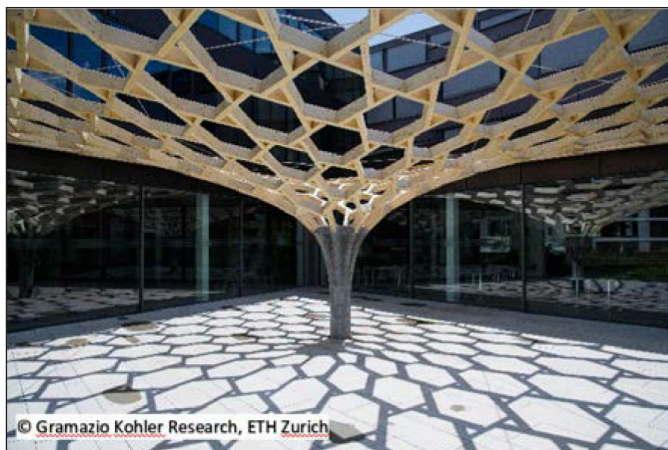
5.3 Geiger GmbH - NOWlab Kempton épület felújítás

„Az épületfelújítási folyamat gyakran nehéz kihívásokat vet fel. Ilyen helyzetbe került a Geiger Group, amikor egy műemlék épület helyreállításához közeledett a dél-németországi



9. ábra: Future Tree zsaluzat nyomtatása (Future Tree “3D printing” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich, 2021)

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



Kempenben. 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 mérleghetett. 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 mami, 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 m 3-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

5.4 ETH Zürich - DFAB House

„Az ETH Zürich Építész Karának Digitális Építési Technológiák Tanszéke élen jár az építészeti 3D nyomtatás kutatásában. ...

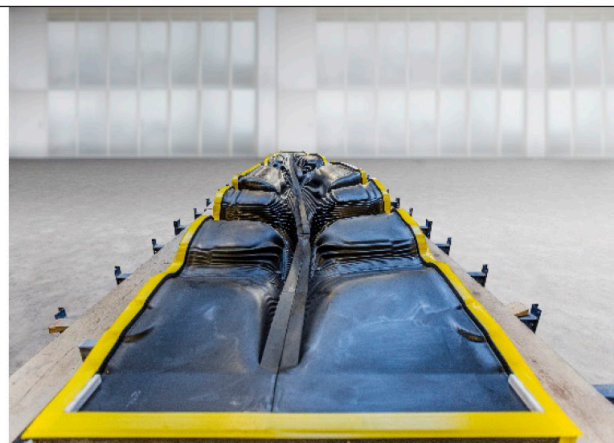
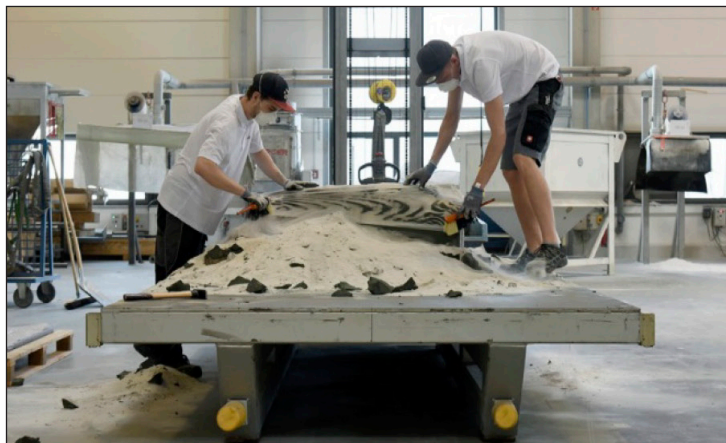
...Svájci kutatók előállítottak egy 80 négyzetméteres, kis súlyú betonfödémét, a világon elsőként használva 3D homok nyomtatót egy valós léptékű építészeti projekt öntőformáinak elkészítéséhez. A legvékonyabb pontján mindössze 20 milliméteres ‘okos födém’ a DFAB HOUSE névre keresztelt, folyamatban lévő 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,

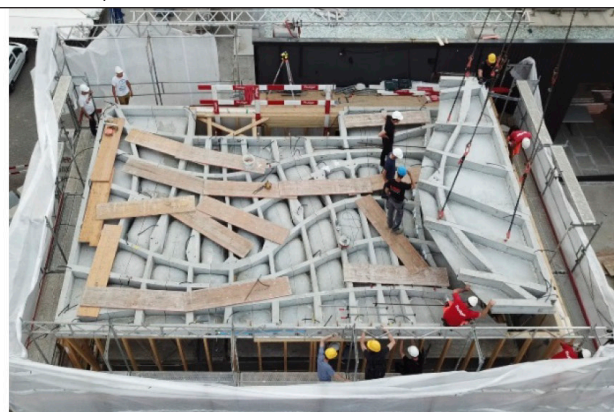
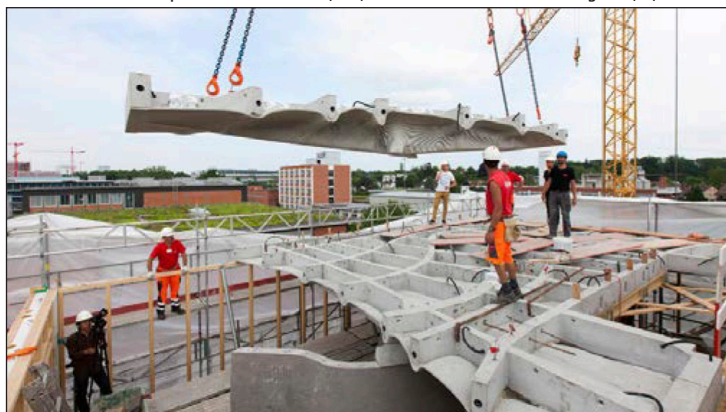
11. ábra: Betonozás utáni roncsolásos zsaluzat eltávolítás (The Smart Slab, 2022)



10. ábra: Nyomtatás utáni felesleg homok eltávolítása (bal), elkészült zsaluzat (jobb) (The Smart Slab, 2022)



12. ábra: Födémpanel beemelése (bal) és kész födém szerkezet (jobb). (The Smart Slab, 2022)



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 földem felső részének formáját meghatározó fa zsaluzatot gyártotta le.

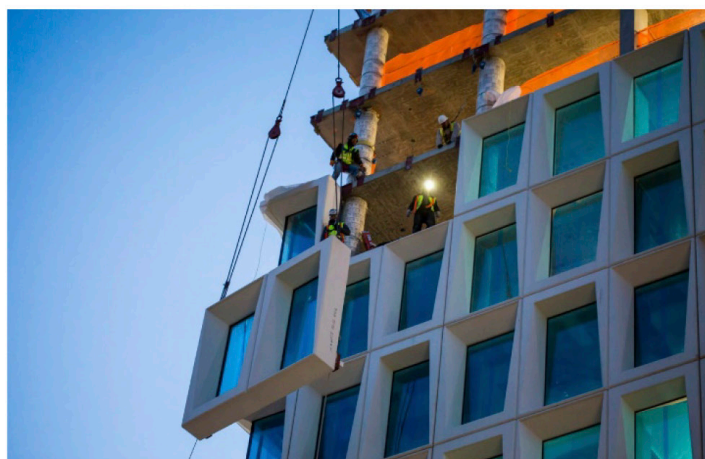
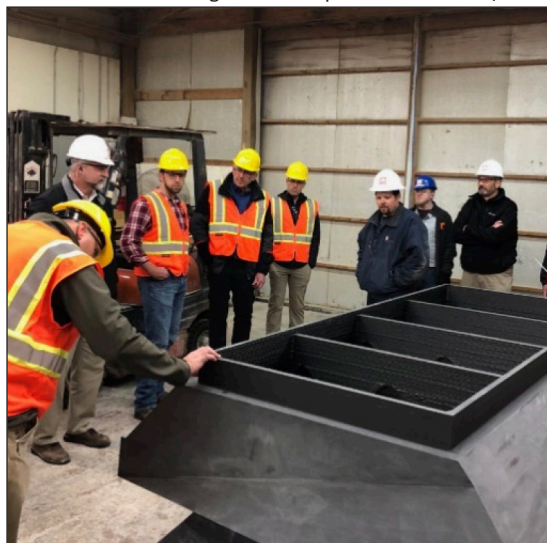
A kibetonozáshoz készült kétfajta zsaluzat végül egy harmadik cég segítségével állt össze: először a homok zsaluzatra vitték fel az üvegszállal megerősített betont, létrehozva ezzel az alsó betonhéz finoman bordázott felületét, majd a maradék betont a fa zsaluzatba öntötték. A kéthetes szilárdulási folyamatot követően a 11 különálló betonszegmens végül készen állt a beépítésre” (Tábi, 2018). A zsaluzat a projekt során roncsolással távolították el a kész felületről (10-12. ábra).

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 karcsú beton kereteket eredményezett, a változó ablakszélesség és magasság, a szintről szintre változó építészeti jellemzők, amelyek

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



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 nyomtatók zsaluzatok kerültek kialakításra. A Projekthez készített zsaluzat 20% szénszállal erősített ABS műanyagból készül. 0,4 inch (~10 mm) átmérőjű nozle (nyomtatófej) felhasználásával. A nyomtatási rétegmagasságok eltűntetése 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 szaluforma került kinyomtatásra, amivel elkészíthetővé vált a 42 emeletes épület teljes homlokzata (13. ábra).

5.6 Slicelab - Delicate Density Table

„A Slicelab, a digitális gyártásra szakosodott amerikai multidiszciplináris tervezőstúdió a közelmúltban mutatott be egy betonszalt, amelyet 3D nyomtatott öntőformával építettek meg. A Delicate Density Table néven a Concrete Works és a Hummingbird 3D együttműködésével készült. Ez a projekt



14. ábra: Nyomatott zsaluzat összeszerelése (ball) és roncsolásos kizsaluzás (jobb) (Delicate Density - R&D, 2022)



15. ábra: Kész termék (Delicate Density - R&D, 2022)

finom és részletgazdag módon kíván beton 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 nyomatott 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 (14. ábra).

A forma szétbontása után, gyémánt párnás nedves csiszolással, tükörfényes felületet alakítottak ki. Az asztal merész-, lekerekített formái és összetett alapja túlvilági megjelenést kölcsönöznek” (15. ábra) (Jasta, 2021).

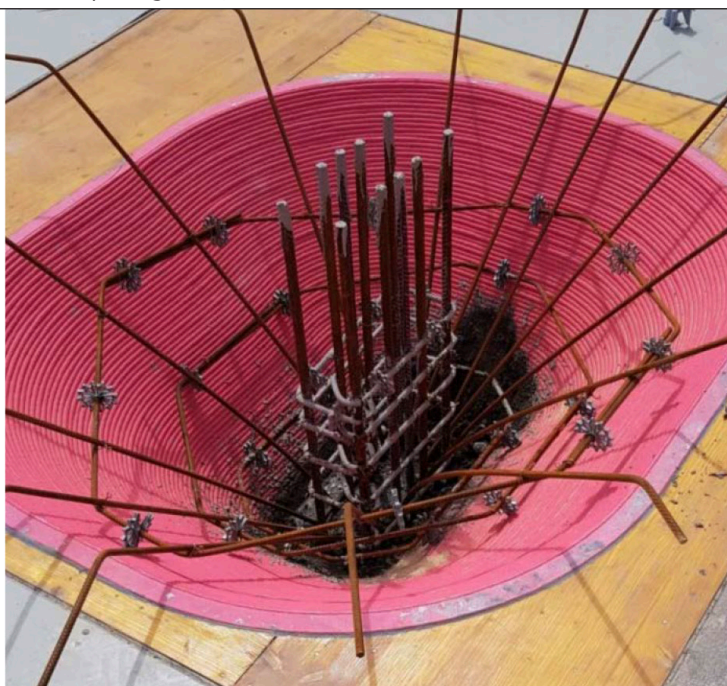
5.7 Beton 3D nyomatott zsaluzat

Sika Group az Affentranger 3dcp céggel együttműködve készített el több beton 3D nyomatással előállított zsaluzatot (16-17. ábra). Ezzel a technológiával egy benmaradó, látszó vagy akár vakolható/burkolható zsaluzat készíthető

Az előre gyártott gombafejes fillérek a helyszínen szállítás után betonacél vasalást kaptak, majd helyszíni betonozással kerültek feltöltésre.

Az eljárás nagy előnye, hogy nincs szükség az elemekhez semmiféle többlet zsaluanyagra és zsaluzó szakemberre, hátrányuk viszont, hogy a beton nyomatáshoz szükséges gépek drágák és a zsaluzat betonnyomásra történő méretezése -a technológia kiforratlansága miatt - még problémás.

16. ábra: Előregyártott beton nyomatással készült zsaluzat (SIKA 3D concrete printing, 2022)





17. ábra: Beépített nyomtatott beton zsaluzat (Schalungen für Stützen in Beton, Stützen mit Pilzkopf, dekorative Stützen, 2022)

6. SAJÁT TAPASZTALATOK

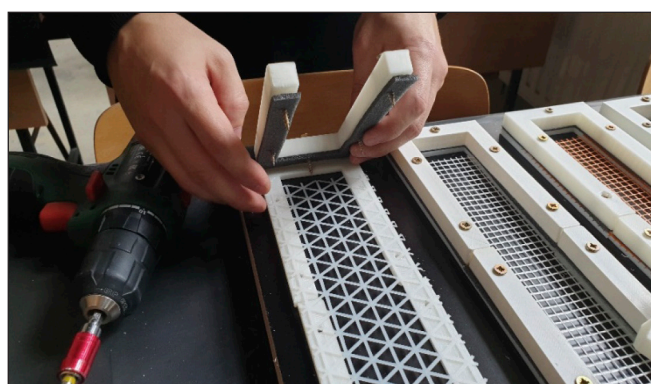
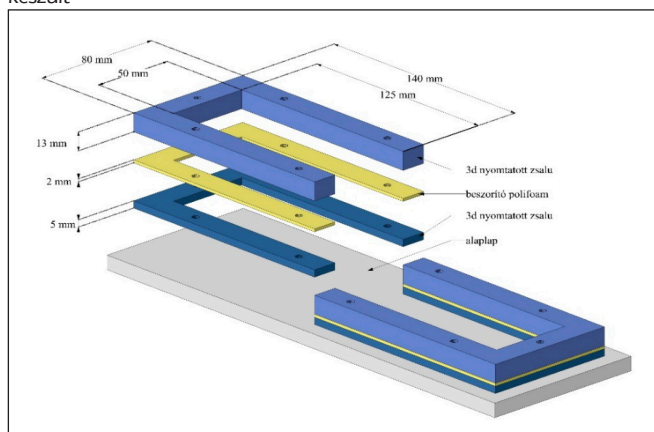
6.1 2020. Diplomamunka

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 disszertációm 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.

Mind két 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 (18-19. 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: Próbatest zsaluzatának felépítése, ami műanyag nyomtatással készült



19. ábra: 3D nyomtatott zsaluzatok összeállítása (felső), zsaluzatok szétbontása (alsó)





20. ábra: Héj nyomtatással készült szabad formák zsaluzata (bal) és a zsaluzatban készített betontermékek (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 próbatest 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 kiszaluzás 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 2021. évi kutatás

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.

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A 3D nyomtatás szélesebb körű használata az építőiparban 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 egy-

szer 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 lehetetlenek 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. HIVATKOZÁS

- 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. Forrás: https://www.pci.org/PCI_Docs/Papers/2019/2_Final_Paper%20Brock.pdf, Letöltés dátuma: 2022
- Burger, J., Lloret-Fritschi, E., Scotto, F., Demoulin, T., Gebhard, L., Mata-Falcón, J., . . . Flatt, R. (2020. április 1.). 3D Printing and Additive Manufacturing. Forrás: Eggshell: Ultra-Thin Three-Dimensional Printed Formwork for Concrete Structures, (Megjelenés 2020. április 16). Forrás: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/3dp.2019.0197>
- Cain, P. (dátum nélkül.). The impact of layer height on a 3D print., Forrás: <https://www.hubs.com/knowledge-base/impact-layer-height-3d-print/>, Letöltés dátuma: 2022
- Delicate Density - R&D. (2022. 07.). Forrás: Slicelab: <https://slicelab.com/work/delicatedensity>, Letöltés dátuma: 2022
- Future Tree “3D printing” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich. (dátum nélkül.). Forrás: Arch20: <https://www.arch20.com/future-tree-3d-printing-gramazio-kohler-research-eth-zu%cc%88rich/>, Letöltés dátuma: 2021
- GANNON, D. (2019. február 4.). Amazing photos show COOKFOX’s Domino Sugar tower getting its crystalline facade. Forrás: <https://www.6sqft.com/amazing-photos-show-cookfoxs-domino-sugar-tower-getting-its-crystalline-facade/>, Letöltés dátuma: 2021
- Jasta, H. (2021. május 13.). Slicelab 3D Prints Delicate Density Table Using Concrete. Forrás: <https://www.homecrux.com/SLICELAB-3D-PRINTED-CONCRETE-TABLE/153815/>, Letöltés dátuma: 2021
- Octahedron Planter Mold - 3D Printed PLA - Sacred Geometry. (dátum nélkül.). Forrás: <https://edgehill3d.com/products/octahedron-planter-mold-3d-printed-pla-sacred-geometry>, Letöltés dátuma: 2021
- PrusaTester2020. (2020. december 24.). Strange extrusion problem using Bondtech extruder and heat break on Prusa Mini. Forrás: <https://forum.prusa3d.com/forum/user-mods-octoprint-enclosures-nozzles/strange-extrusion-problem-using-bondtech-extruder-and-heat-break-on-prusa-mini/>, Letöltés dátuma: 2021

Schalungen für Stützen in Beton, Stützen mit Pilzkopf, dekorative Stützen. (2022. 07. 22.). Forrás: Affentranger 3dcp: <https://www.affentranger3dcp.ch/anwendungen/stuetzen>, Letöltés dátuma: 2022

SIKA 3D concrete printing. (2022). Sika.

Smyth, L. (2018. március 20). 3D printed framework helps quick production of complex concrete elements. Forrás: <https://www.engineerlive.com/content/3d-printed-framework-helps-quick-production-complex-concrete-elements>, Letöltés dátuma: 2021

Tábi, E. (2018. augusztus 14). Okos födém 3D nyomtatással. Forrás: <https://lechnerkozpont.hu/cikk/okos-fodem-3d-nyomtatással>, Letöltés dátuma: 2022

The Smart Slab. (2022. 07.). Forrás: Digital Building Technologies: <https://dbt.arch.ethz.ch/project/smart-slab>, Letöltés dátuma: 2022

Kasik Tamás (1987.) BSc diplomámat a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karán 2013-ban szereztem meg, majd 2017-ben az MSC képzést is elvégeztem ezen az egyetemen. Munkahelyi pályafutásomat a Budakeszi Építés Hatóságnál kezdtem, ahol magas szintű építőipari jogi ismeretekre tettem szert. A közigazgatás után karrieremet több kisebb tervezőirodában folytattam, ahol software ismereteimet tudtam kamatoztatni és tapasztalatokat szereztem egyéni munkavégzés és tervezés terén. 2017-től 2019-ig az EB Hungary Invest Kft.-nél dolgozom először, mint építésvezető, majd tervező és termelés előkészítő. A cég több építkezési beruházásán is voltam építésvezető, így nem jelent problémát az alvállalkozókkal történő

együttműködés, irodai munkám során pedig a projektek előkészítésébe is volt szerencsém belekóstolni. 2019. második felében egy rövid időt eltölthettem az IVANKA Factory Zrt. kötelékén belül, projekt menedzser pozícióban, ahol közelebbről is megismerkedhettem a látszó beton elemek készítésével. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 2019-ben megkezdtem Betontechnológusi képzésemet, amit 2021. elején sikeres diplomával zártam. 2019-óta a PREbeton Zrt-nél dolgozok fejlesztési mérnök pozícióban, ahol ipari és egyedi beton elemek gyártásával foglalkozok és emellett betontechnológiai ismereteimet próbálom szélesíteni.

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 development of strength. 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.