

3D NYOMTATOTT HÁLÓVAL ERŐSÍTETT BETON



Kasik Tamás - Dr. Sólyom Sándor - Dr. Balázs L. György

<https://doi.org/10.32969/VB.2021.3.1>

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 szerte ágazóbb ipari alkalmazására.

Ebben a cikkben rövid betekintés adunk a 3D nyomtatás világába és a 2020. őszi félévében Kasik Tamás által készített betontechnológus szakmérnöki diplomamunkába, melyben 3D nyomtatott hálókval és szövetekkel erősített lemez alakú beton próbatestekkel végeztünk kísérleteket (konzulensek voltak: dr. Sólyom Sándor és dr. Balázs György).

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

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 nyomtatót 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.)

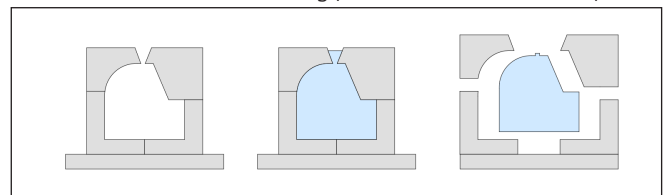
Subtractive Manufacturing [SM]

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

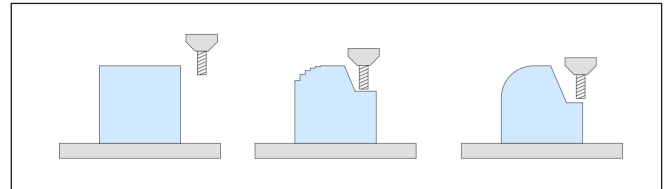
Additive Manufacturing [AM]

Az alapanyagot a késztermék alakjára formáljuk át (3. ábra). Kis számú, többnyire prototípus gyártásra vagy nagyon bo-

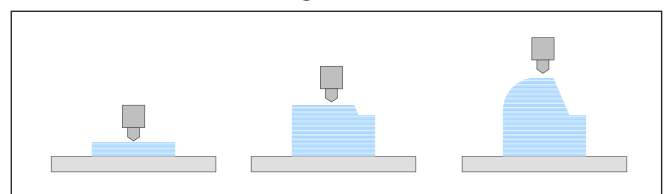
1. ábra: Formative Manufacturing (Ben, Filemon és Brian, 2017)



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

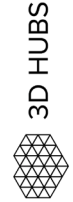
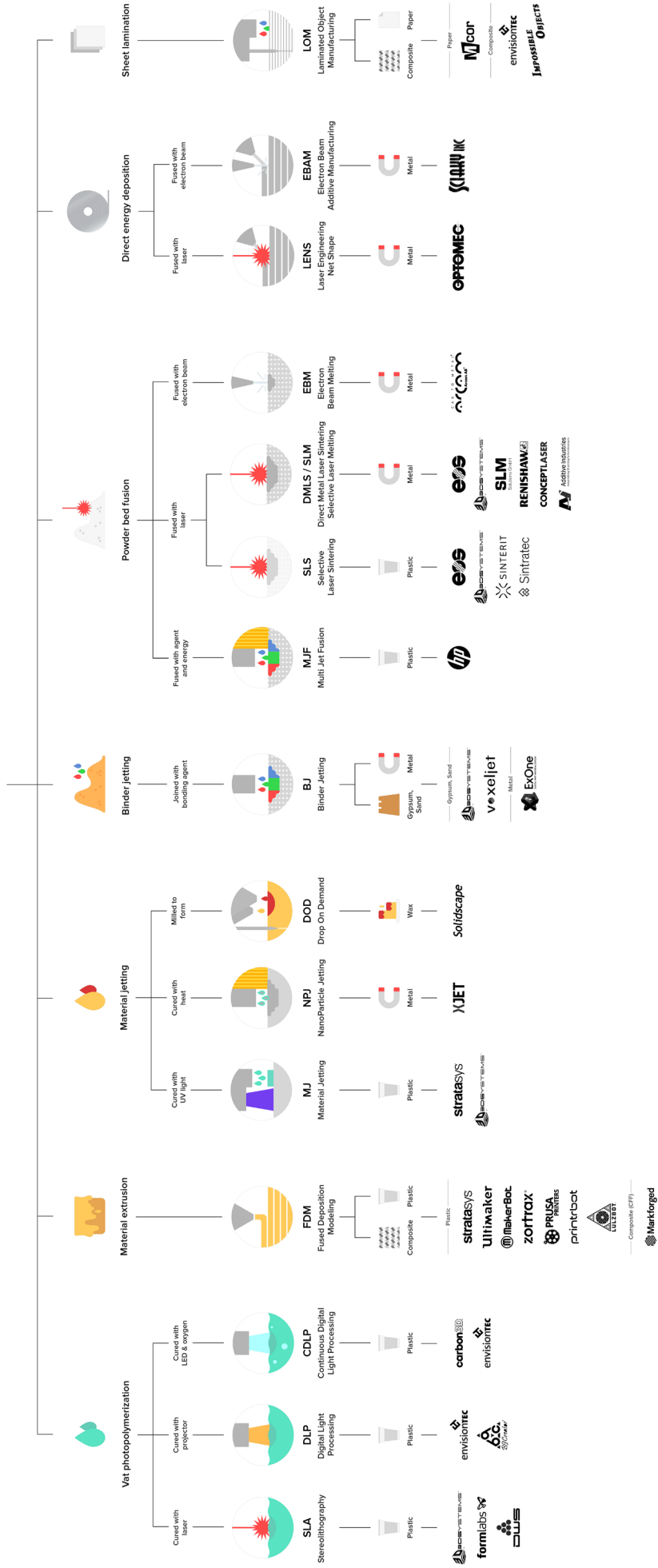


3. ábra: Additive Manufacturing (Ben, Filemon és Brian, 2017)



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

ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES



Find out more at www.3dhubs.com/what-is-3d-printing

nyolult testek előállítására alkalmas módszer (például gépi: 3D nyomtatás)

Napjainkig a gyártási folyamatok többsége a *Formative Manufacturing* és *Subtractive Manufacturing* kategóriákba tartoznak, de a 20. század végén jelentős előrelépések 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 anyagvesztéséig nullára is csökkenthető.

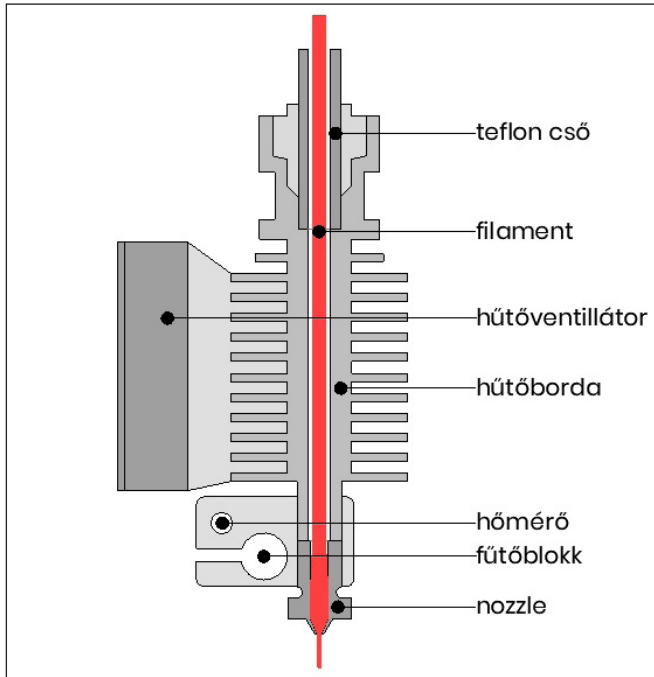
3. 3D NYOMTATÁS

Annak ellenére, hogy a 3D nyomtatási technológiák nagyban eltérnek egymástól, alapvető metodikájuk megegyezik. 3D nyomtatás során egy számítógép vezérelt gép, az alapanyagból

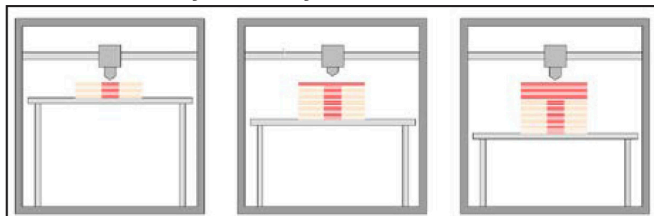
5. ábra: Filament tekerecs (Ultra Shop, 2020)



6. ábra: „Hotend” kialakítása



7. ábra: FDM/FFF nyomtatás folyamata



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.

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

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

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 fűvókán (nozzle) keresztül a munkaasztalra juthasson.

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

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 meghiúsulását. 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.

Nyomtatástechnológia 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 munkasztal 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.

Kísérletsorozatok

A diplomamunka során két kísérletsorozatot terveztünk meg és végeztünk el.

1. táblázat: Kísérlethez használt betonösszetétel

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

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

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

A vizsgálatokhoz az 1. táblázatban látható betonreceptúrát használtuk fel.

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 négyszöggrács
3. PLA hatszöggrács
4. PLA dupla hatszöggrács
5. ABS négyszöggrács
6. ABS hatszöggrács
7. ABS dupla hatszöggrács
8. Dryvit üvegszövet háló
9. üvegszövet
10. bazaltszövet
11. szénszövet
12. szén-kevlárszövet.

Nyomtatott hálók

2. táblázat: Felhasznált filament tulajdonságai

Anyag neve	Szál átmérő mm	Szín	Ajánlott nyomtatási hőmérséklet:	Ajánlott munkasztal 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, hatszöggrács és dupla hatszöggrács mintával kerültek kialakításra. (3. táblázat) A rácsszál szélesség a nozle (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.

Szövetek


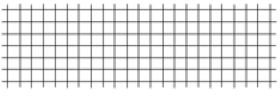
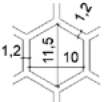
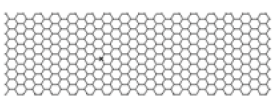
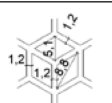
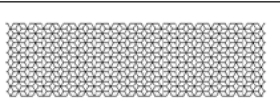
A kísérletsorozatban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemnek a VKE 2018-1-3-1_0003 “Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése” című pályázat által biztosított szöveteket is használtunk.

Próbatest zsazuzata

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

3. táblázat: Nyomatott hálók méretei

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

4. táblázat: Felhasznált szövetek tulajdonságai

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

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 közbelső beszorító polifoam csikból 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).

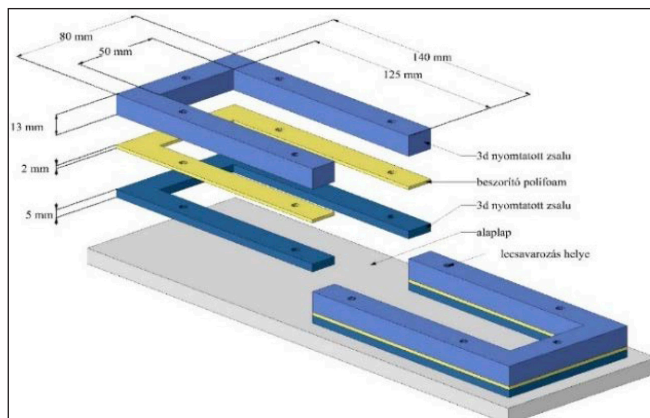
Terhelési séma

A hajlító-húzószilárdság vizsgálatot hét napos korban (kiszaluzás 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.

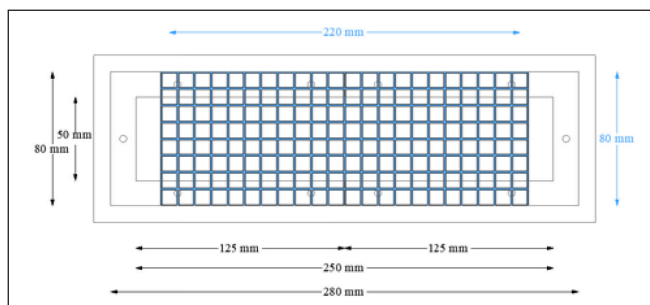
Vizsgálati eredmények kiértékelése

Nyomatott hálók

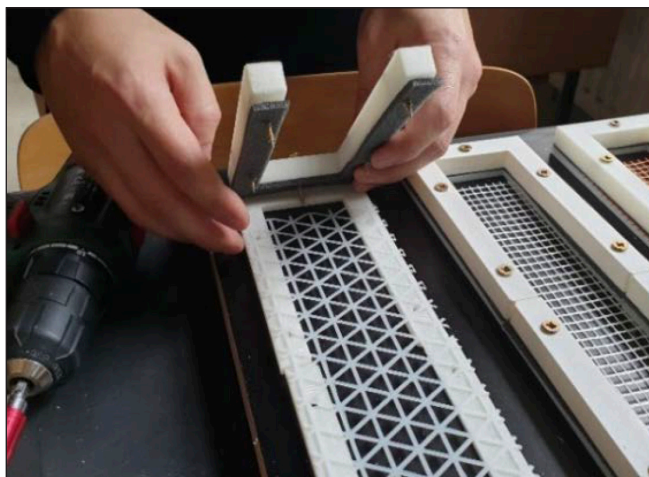
A 3D nyomtatott hálók erő-elmozdulás görbéin látható (13. ábra), hogy a próbatest hajlítási teherbírása csökkent a betétek hatására. A beton elrepedése után minimális a maradt a teherbírás. A vizsgált PLA és ABS anyagú hálókval készült próbatestek eredményei között különbség nem volt látható.



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



9. ábra: Háló elhelyezkedése a zsaluzatban



10. ábra: A műanyag nyomtatással készült zsalu összeállítás

A vizsgált hálók mintázata és teherbírás között minimális összefüggés volt tapasztalható. A sűrűbb rácsávolság esetén nagyobb volt a berepedés utáni teherbírás.

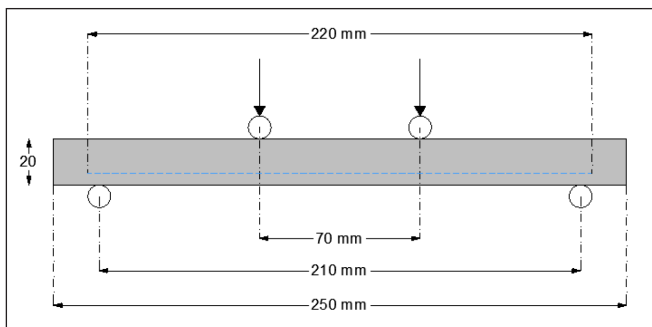
Szövet erősítés

Szövet erősítésű próbatesteknél nagyon eltérő eredmények mutatkoztak (14. ábra). Kiemelkedő teherbírást a szén szövetrel erősített próbatestek esetében figyelhetünk meg.

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.

6. NYOMOSZILÁRDSÁG VIZSGÁLATI KÍSÉRLET

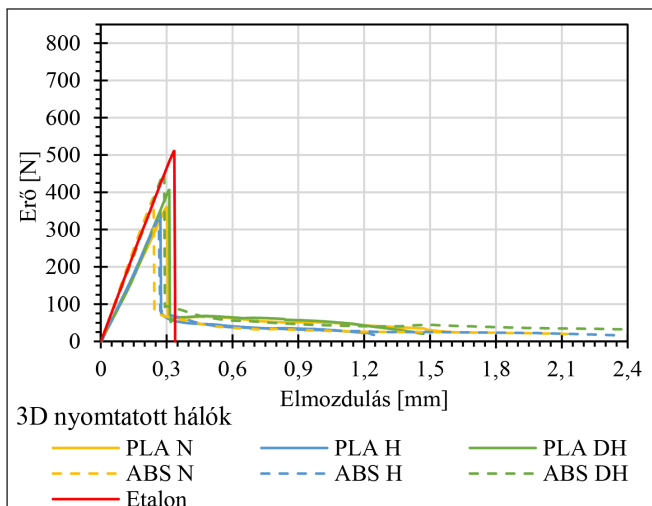
A második kísérlet sorozatban 3D nyomtatott térhálóval kiegészített próbakockák nyomószilárdságát és törésképét vizsgáltuk.



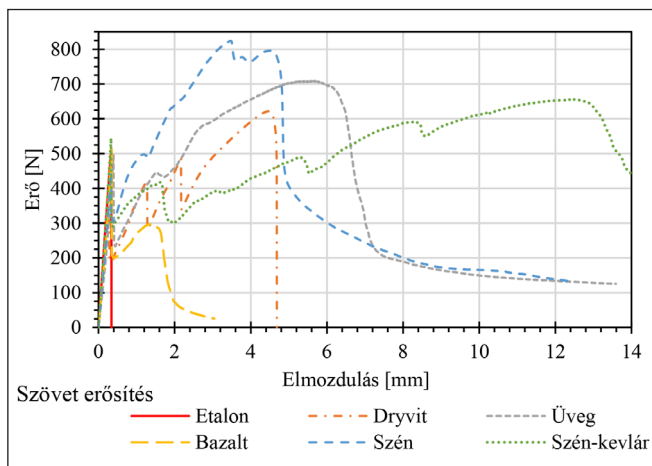
11. ábra: Próbatess terhelési sémája



12. ábra: Próbatess terhelése



13. ábra: 3D nyomtatott hálókval erősített próbatess erő-lehajlás ábrája. Jellegzetes görbe az egyes sorozatokból.



14. ábra: Szövetvel erősített próbatess erő-lehajlás ábrája. Jellegzetes görbe az egyes sorozatokból.



15. ábra: Szövet erősítésű próbatess tönkremenetele

Kísérleti paraméterek

A kísérlethez 15 db mintát készítettünk, minden nyomtatott anyagtipushoz 3 próbatesset.

Próbatess 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 próbatess elállításához 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 felületet. 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-inverzios 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).

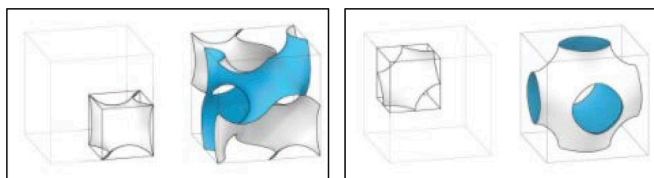
Azért e két térháló lett kiválasztva, mert felületei elősegítik a beton bejutását a legkisebb résekbe is, illetve a nyomtatás során alátámasztás (azaz anyagvesztés nélkül) kinyomathatóak. A minimál felületek 3D modelljei, matematikai képletek alapján Rhinoceros 3D - Grasshopper programmal készültek.

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

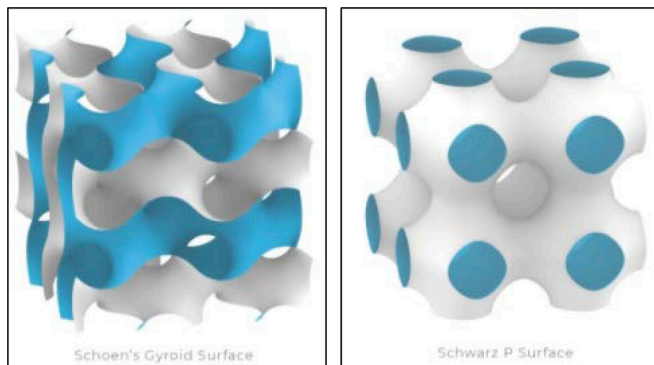
$$\text{Schwarz P: } \cos(x) + \cos(y) + \cos(z) = 0$$

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 síkhálókhöz hasonlóan.

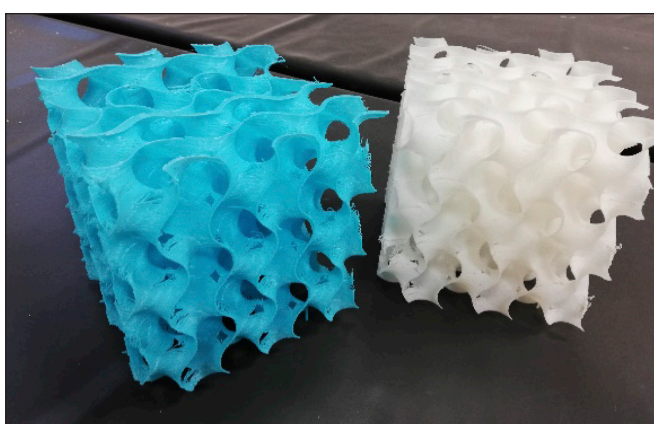
A térrács mindegyike 130 mm x 130 mm x 130 mm méretben lett kialakítva (18. ábra). Ahhoz, hogy öntésközben a belső rács ne tudjon elmozdulni egy 3D nyomtatott központosító keresztet használtunk. A kereszt közvetlenül a kocka zsalu élére ül fel, és 5 mm távolságot tart a próbatess felületétől.



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



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



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



19. ábra: Próbakocka öntése

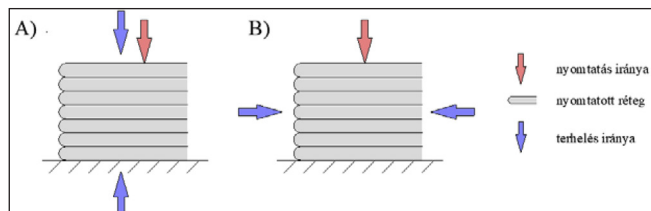
A térrács ehhez a keresztbe lett hozzáöngítve 4 db, 15 mm hosszú filament szállal, a zsalu fenéklemezétől pedig 4 db, 10 mm hosszú filament távtartószál biztosítja a térrács egységes betonfedését (19. ábra).

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

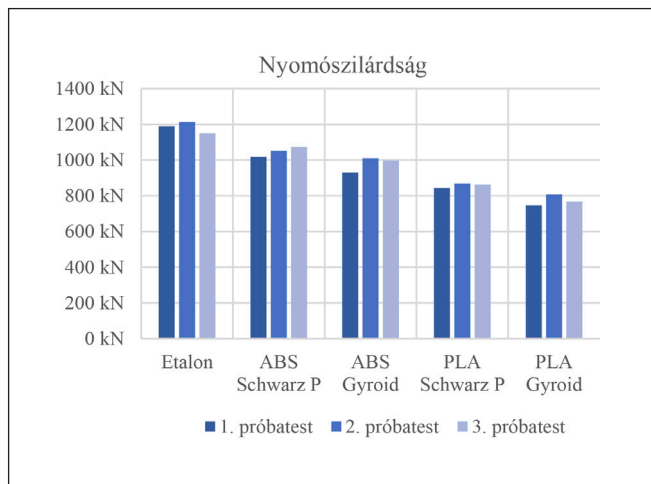
A nyomószilárdsági vizsgálat eredményeit a 21. és 22. ábra foglalja össze.

Vizsgálati eredmények kiértékelése

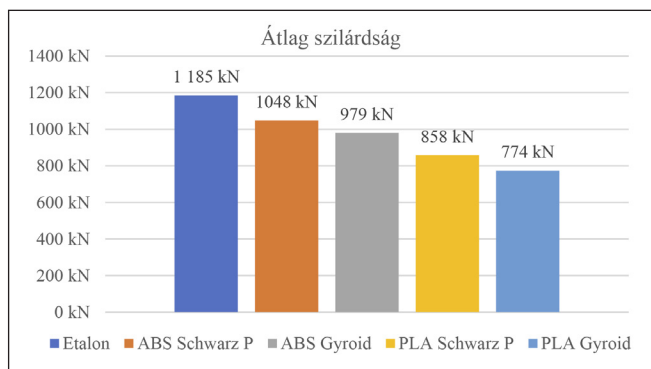
A kísérleti eredményekből jól látható, hogy a nyomószilárdság tekintetében a próbatételbe helyezett 3D műanyag háló, nem tudta segíteni a próbatétel teherbírását. Ezzel ellentétben gyen-



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



21. ábra: Próbakockák törési eredményei egy hetes korban



22. ábra: Próbakockák átlag nyomószilárdsága egy hetes korban



23. ábra: Térráccsal erősített próbakocka törésképe

gítette azt. A hajlító-húzószilárdsághoz képest azonban itt már megfigyelhető volt anyagbeli és forma beli eltérés. Látható volt, hogy az ABS anyag szilárdsága nagyobb a PLA-hoz képest és a Schwarz P mintázat erősebbnek bizonyult a Gyroid mintánál. A próbatételek törésképe nem mutatkozott lényeges különbség az etalon beton törésképehez képest.

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A cikk célja a betontechnológia és a 3D műanyag nyomtatás ötvözése volt, amelyhez nyomtatással készítettünk a kísérleti beton lemezek zsaluzatait és hálót, 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 hálóval 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 zsaluzat 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 érintettük 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 filamenttel is célszerű lenne kísérleteket végezni. Feltételezhetően – a nagyobb szilárdságú alapanyagoknál – 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, igénybevételei 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 szál erősítésű 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.ultrafuseeff.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.).

Kasik Tamás BSc (2013) és MSc (2017) diplomákat szerzett a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karán. Munkahelyei: EB Hungary Invest Kft., Ivanka Zrt. 2019 év végétől a Market Zrt. új leányvállalatánál a Prebeton Zrt-nél dolgozok, mint projektkoordinátor és betontechnológus. A betontechnológusi szakmérnöki diplomámat 2020. januárjában szerezte a BME-n. Emellett nagy érdeklődést mutat a 3D nyomtatási és CNC megmunkálási folyamatok, valamint a betontechnológia új irányainak lehetőségei iránt.

Dr. Sólyom Sándor okleveles építőmérnök, betontechnológus szakmérnök, PhD, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. Fő érdeklődési területei: szál erősítésű polimer betétek alkalmazása, tapadása és lehorgonyzása betonban; szálak alkalmazása betonban. Tagja a *fib* Magyar Tagozatának és a *fib* TG5.1 munkacsoportnak. Vezetője a *fib* Magyar Tagozat YMG (fiatal mérnökök) csoportjának.

Dr. Balázs L. György (1958) okl. építőmérnök, mérnöki matematikai szakmérnök PhD, Dr. habil., egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék vezetője. MTA műszaki tud. kandidátusa. Fő kutatási területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), roncsolásmentes vizsgálatok. Speciális betonok és betétek: szál erősítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FRP) betétek, megerősítések anyagai és módjai, HPC, UHPC, LWC. Tűzállóságra való tervezés, tűzállóság fokozása. Fagyállóság fokozása. Kémiai ellenállóképesség fokozása. Tartósság. Használati élettartam. Fenntartható építés. Erőátadódás betonban, vasbeton tartók repedezettségi állapota. Fáradás. Lökésszerű terhelés. Nukleáris létesítmények. *Afib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozat elnöke. Az Int. PhD Symp. in Civil Engineering megalkotója. A *fib* Com 9 „Dissemination of knowledge” elnöke. A *fib* elnöke (2011-2012), jelenleg tiszteletbeli elnöke.

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