

Printane zgrade

Vrančić, Lovro

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:768993>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-05**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Lovro Vrančić

PRINTANE ZGRADE

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Lovro Vrančić

PRINTANE ZGRADE

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: izv. prof. art. dr. sc. Silvio Bašić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Lovro Vrančić

PRINTED BUILDINGS

FINAL EXAM

Supervisor: izv. prof. art. dr. sc. Silvio Bašić

Zagreb, 2024.



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica :

Lovro Vranjčić

(Ime i prezime)

0082067497

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Printane zgrade

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

Printed buildings

(Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

16.09.2024.

Mentor:

izv.prof.art.dr.sc. Silvio Bašić

Potpis mentora:

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Lovro Vrančić, 0082067497

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

Printane zgrade

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

17.9.2024.

Potpis:

Vrančić



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja :

Lovro Vrančić, 95429372343

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

Printane zgrade

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

izv. prof. art. dr. sc. Silvio Bašić

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

24.9.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

17.9.2024.

Potpis:

Vrančić

SAŽETAK

Trodimenzionalni (3D) pisaci u današnje vrijeme imaju sve veću primjenu u medicini, strojarstvu, industriji, dizajnu te u graditeljstvu. Ono što je nekad zvučalo pomalo nezamislivo, postalo je rezultatom stvarnosti. Ideje koje su nekada bile isključivo u povojima, danas se sve više primjenjuju razvijajući na taj način nove suvremene metode gradnje kuća te višekatih objekata. Metoda trodimenzionalnog printanja zgrada još je uvijek u razvoju te zahtijeva stalno praćenje novih građevinskih tehnologija i svojstava materijala, kao i znanja iz područja računalstva, projektiranja i dizajna. U ovom završnom radu obrađena su osnovna načela gradnje zgrada printanjem, odlike i prednosti te metode kao i problemi te ograničenja njenog korištenja. Spominju se i materijali kojima se izvode 3D printane zgrade. U posljednjem poglavlju dani su primjeri suvremenih građevina izvedenih metodom 3D printanja.

Ključne riječi: trodimenzionalni (3D) pisaci, trodimenzionalno printanje zgrada, materijali za 3D printanje, suvremene građevine izvedene metodom printanja

SUMMARY

Three-dimensional (3D) printers are nowadays increasingly used in medicine, mechanical engineering, industry, design and construction. What once sounded a bit unimaginable has become the result of reality. Ideas that were once exclusively in their infancy, are now increasingly being applied, thus developing new modern methods of building houses and multi-storey buildings. The method of three-dimensional printing of buildings is still under development and requires constant monitoring of new construction technologies and material properties, as well as knowledge in the field of computing, design and design. This final paper deals with the basic principles of building construction by printing, features and advantages of this method, as well as the problems and limitations of its use. The materials used to make 3D printed buildings are also mentioned. The last chapter gives examples of modern buildings made using the 3D printing method.

Keywords: three-dimensional (3D) printers, three-dimensional printing of buildings, materials for 3D printing, modern buildings made by the printing method

SADRŽAJ

SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
SADRŽAJ	iii
1. UVOD	1
2. 3D TEHNOLOGIJA U HRVATSKOJ	4
3. MATERIJALI KOJI SE PRIMJENJUJU U 3D TEHNOLOGIJI U GRADITELJSTVU	6
3.1. Beton	6
3.2. Polimeri	7
3.3. Metal	8
3.4. Kompozitni materijali	9
3.5. Geopolimeri	9
3.6. Keramika	10
3.7. Reciklirani materijali	10
3.8. Biomaterijali	10
4. PRIMJERI PRINTANIH ZGRADA	11
4.1. Office of the Future – Dubai, UAE	11
4.2. Apis Cor House – Rusija	13
4.3. Yhnova House – Nantes, Francuska	16
4.4. The 3D Print Canal House – Amsterdam, Nizozemska	17
4.5. ICON’s 3D-Printed Homes – Austin, Texas, SAD	19
4.6. Projekt Milestone – Eindhoven, Nizozemska	21
4.7. WinSun Apartment Building and Mansion – Suzhou, Kina	23
5. ZAKLJUČAK	24
POPIS LITERATURE	25
POPIS SLIKA	26

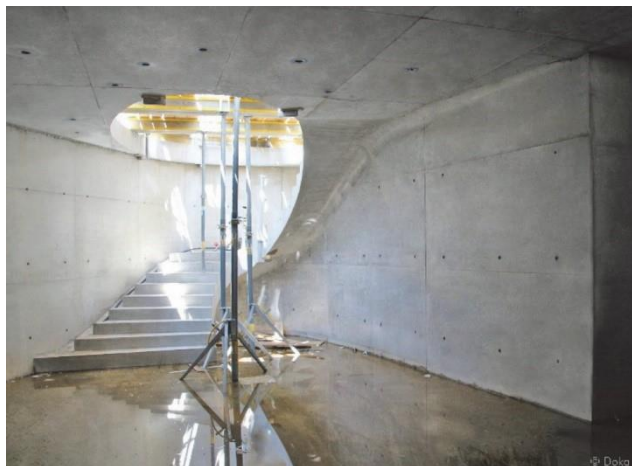
1. UVOD

Već se neko vrijeme graditeljstvo susreće s upotrebom 3D printera za inovativnu tehnologiju printanja zgrada, odnosno pojavom sve poznatijih 3D printanih zgrada. Ta metoda primjenjuje posebne vrste betona ili drugih građevnih materijala koji se slojevito nanose kako bi se izgradila konstrukcija. U literaturi se ističu brojne prednosti 3D printanja zgrada. Na prvom je mjestu brzina izgradnje. Naime, 3D printanje može značajno ubrzati proces izgradnje. Neke konstrukcije, koje bi se gradile nekoliko tjedana ili čak mjeseci, mogu biti završene u samo nekoliko dana. Tehnologija 3D printanja smanjuje troškove izgradnje eliminirajući potrebu za velikim brojem radnika te smanjujući količinu otpada. Nadalje, 3D printanje omogućava stvaranje kompleksnih i inovativnih oblika koji bi bili teško izvedivi ili preskupi tradicionalnim metodama. Prisutna je i ekološka održivost jer mnogi 3D printeri upotrebljavaju materijale koji su ekološki prihvatljiviji i stvaraju manje otpada nego tradicionalne metode gradnje.

Pregledom literature uočava se kako primjena tehnologije trodimenzionalnog (3D) ispisa nudi mnoge prednosti, uključujući smanjenu količinu materijala i smanjenu potrošnju energije, proizvodnju na licu mjesta s manje zahtjeva za resursima te niže emisije ugljičnog dioksida tijekom cijelog vijeka trajanja proizvoda u odnosu na proizvode izvedene tradicionalnim tehnikama. Tehnologija također potiče i pozitivne promjene u strukturama rada, uključujući sigurnije radno okruženje, a pomaže u postizanju većeg broja digitalnih i lokaliziranih opskrbnih lanaca. Tehnologija 3D ispisa može skratiti cikluse oblikovanja, projektiranja i razvoja te omogućiti proizvode koji odgovaraju točno određenim zahtjevima konkretnih klijenata. Potiče se realizacija složenih oblika i brzo upravljanje potrebnim promjenama [1].



Slika 1.: 3D ispisana oplata stubišta [1]

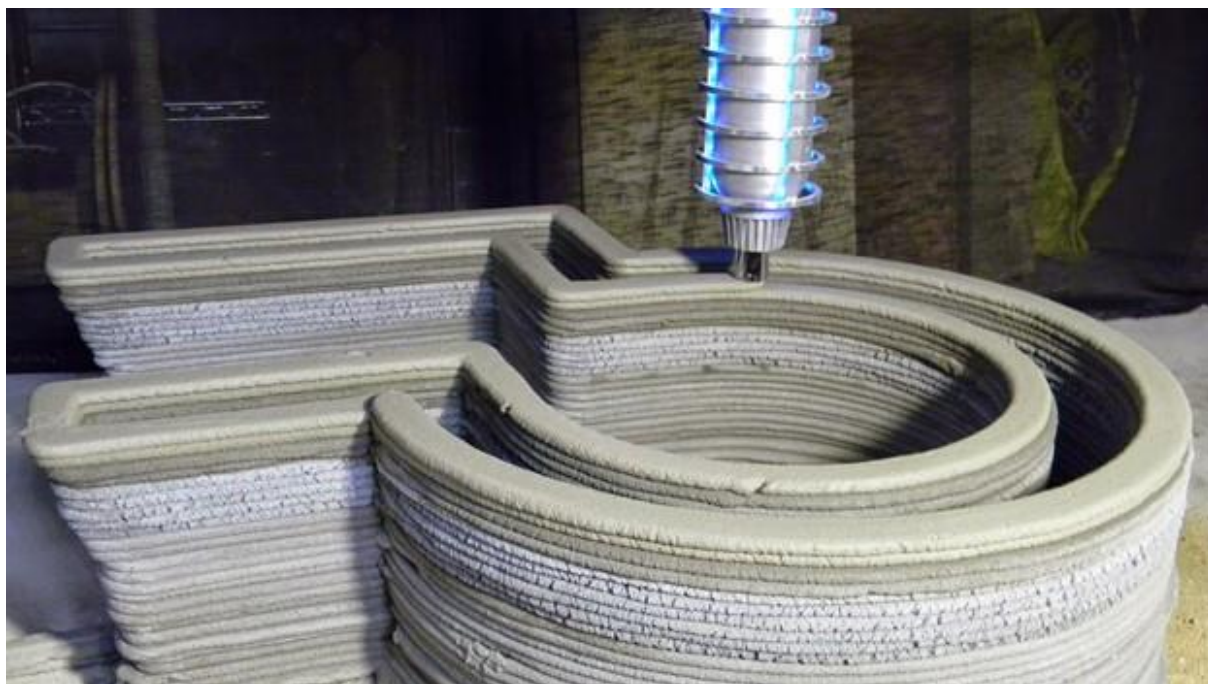


Slika 2.: Izgled stubišta nakon skidanja oplata [1]

Tehnologija 3D ispisa automatizirana je proizvodna tehnika popraćena kontrolom “sloj po sloj”, koja je posljednjih godina poboljšana. Ta se tehnologija zove stereolitografija i već se desetljećima primjenjuje u proizvodnoj industriji, a nedavno je primijenjena i u građevinskoj industriji za ispis kuća i vila, što će pokazati primjeri navedeni u nastavku rada. Poboljšana se tehnologija 3D ispisa može primjenjivati za ispis velikih arhitektonskih modela i zgrada, no ipak ima i neka ograničenja zbog nemogućnosti izvedbe velikih razmjera, razvoja informacijskog modeliranja zgrade, potrebe za masovnom prilagodbom i troškova vijeka trajanja ispisanih projekata [1].



Slika 3.: 3D pisač ispisa trokatnicu (vanjske i unutarnje zidove) [1]



Slika 4.: Proces stereolitografije, metode ispisivanja sloj po sloj [2]

Stoga, ako se spominju prednosti 3D izgradnje, treba navesti i njezine nedostatke. Trenutačno je 3D printanje u građevinarstvu ograničeno na određene vrste materijala, što može ograničiti vrste konstrukcija koje se mogu izgraditi na takav način. Postoje i izazovi vezani uz usklađivanje s postojećim građevinskim normama i propisima, jer se regulativa tek počinje prilagođavati ovoj novoj tehnologiji. Potrebno je istaknuti i tehnička ograničenja jer su 3D printeri za upotrebu u graditeljstvu još uvijek u fazi razvoja i često su ograničeni veličinom konstrukcije koju mogu izgraditi. Međutim, auditivna proizvodnja (3D printeri) primjenjuje se i za razvoj prototipova i individualnih komponenti neophodnih za pojedini proizvod. Postoje razne metode 3D ispisa koje se koriste u građevinskim razmjerima, a uključuju sljedeće glavne metode: ekstruziju (beton/cement, vosak, pjena, polimeri), vezivanje u prahu (polimerna veza, reaktivna veza, sinteriranje) i aditivno zavarivanje. Potencijalne prednosti ovih tehnologija uključuju bržu gradnju, niže troškove rada, veću složenost i točnost, veću integraciju funkcija te manje proizvedenog otpada.

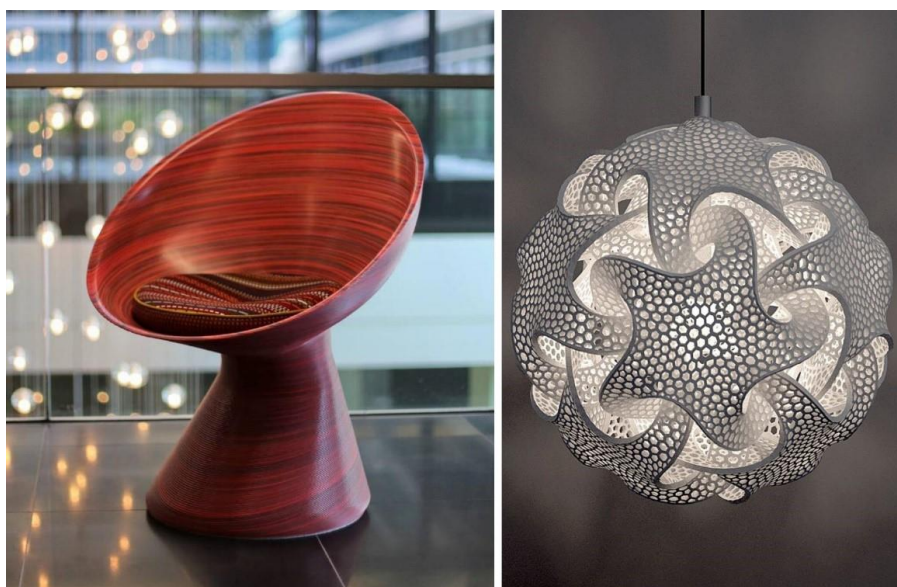
Novu revoluciju u današnjemu graditeljstvu zaista predstavljaju golemi 3D printeri koji u tvornicama printaju dijelove zgrada koji se potom sastavljaju na gradilištu. Vjerojatno će iz novih 3D printera u budućnosti nastajati i neboderi. Sve te metode ulaze u utrku dokazivanja jeftine i brze metode građenja, no postoji još mnogo dvojbi oko stabilnosti, ekonomičnosti i brzine gradnje, kao i fleksibilnosti izmjena dizajna u procesu. U budućnosti se očekuje široko korištenje aditivne proizvodnje za proizvodnju malih količina jedinstvenih proizvoda koji zadovoljavaju specifične potrebe i želje kupaca [3].

2. 3D TEHNOLOGIJA U HRVATSKOJ

Može se reći da 3D printanje sve više napreduje i u Hrvatskoj, prateći globalne trendove. Ti su trendovi ponajprije prepoznati u obrazovanju i brojnim istraživanjima. Hrvatska sveučilišta, poput Sveučilišta u Zagrebu i Sveučilišta u Splitu, aktivno istražuju i razvijaju 3D tehnologije. Postoji nekoliko laboratorija i istraživačkih centara koji se bave 3D printanjem i njegovim primjenama u različitim industrijama. Fakultet strojarstva i brodogradnje te Fakultet elektrotehnike i računarstva imaju programe i projekte koji uključuju 3D printanje i aditivne tehnologije.

Dakle, integracija tehnologije trodimenzionalnog (3D) ispisa u građevinske projekte potencijalno donosi mnoge prednosti kao što su smanjeni zahtjevi za radnom snagom na gradilištu, sigurnije upravljanje projektnim rokovima i budžetom te učinkovitije gospodarenje otpadom. Međutim, zamah tehnologije još uvijek nije prema očekivanjima zbog nedostatka standardiziranih procesa i metodologija, ali i zbog izazova koje nameće nova tehnologija. Organizacijsku strukturu takvih projekata potrebno je sveobuhvatno proučavati, mišljenje je hrvatskih stručnjaka [1].

Postoji nekoliko hrvatskih start-up tvrtki koje se bave 3D printanjem poput tvrtke Include, poznate po pametnim klupama koje uključuju 3D printane dijelove te Gideon Brothers, koji koriste 3D tehnologiju za razvoj autonomnih robota. Postoje i industrijske tvrtke koje primjenjuju 3D printanje za prototipove i proizvodnju složenih dijelova. Tvrtke kao što su Končar i Podravka eksperimentiraju s aditivnim tehnologijama kako bi poboljšale svoje proizvodne procese.



Slika 5.: Pogled na 3D printane ukrasne elemente za dom [2]

Nadalje, poznata je upotreba 3D tehnologije u medicini. U Hrvatskoj se 3D printanje rabi za izradu prilagođenih medicinskih implantata, ortopedskih pomagala i dentalnih proteza. Specijalizirane klinike i laboratoriji koriste 3D printanje za izradu preciznih i individualiziranih medicinskih rješenja. Neke bolnice i medicinski centri koriste 3D printanje za izradu modela koji pomažu u planiranju operacija i edukaciji.

Iako Hrvatska još uvijek nema velike projekte 3D printanih zgrada kao što su neki globalni primjeri, postoji interes za istraživanjem ove tehnologije u građevinskoj industriji. Građevinske tvrtke i arhitektonski studiji prate trendove i mogućnosti primjene 3D printanja.

Radi se i na obrazovanju i popularizaciji ove tehnologije. Organiziraju se različite radionice, tečajevi i konferencije posvećene 3D printanju. Institucije poput Tehničkog muzeja Nikola Tesla u Zagrebu i FabLab Hrvatska aktivno promoviraju i educiraju javnost o 3D tehnologijama. Sve veći broj osnovnih i srednjih škola uvodi 3D printanje kao dio STEM programa, što pomaže u ranom obrazovanju novih generacija o ovoj tehnologiji.

Što se tiče financiranja, Hrvatska koristi EU fondove za financiranje inovacijskih projekata uključujući 3D printanje. Ovi fondovi pomažu tvrtkama i istraživačkim institucijama u nabavi opreme i provođenju istraživanja. Postoje i vladine inicijative za poticanje inovacija i poduzetništva koje uključuju podršku razvoju 3D tehnologija.

Razvoj 3D tehnologije u Hrvatskoj još je uvijek u ranoj fazi, ali napreduje brzim tempom. Sve više institucija, tvrtki i pojedinaca prepoznaje potencijal ove tehnologije, što obećava daljnji rast i inovacije u budućnosti.

3. MATERIJALI KOJI SE PRIMJENJUJU U 3D TEHNOLOGIJI U GRADITELJSTVU

U graditeljstvu, 3D tehnologija koristi različite materijale prilagođene specifičnim potrebama i zahtjevima građevinskih projekata. U nastavku se navode najčešće korišteni materijali u 3D printanju u građevinarstvu.

3.1. Beton

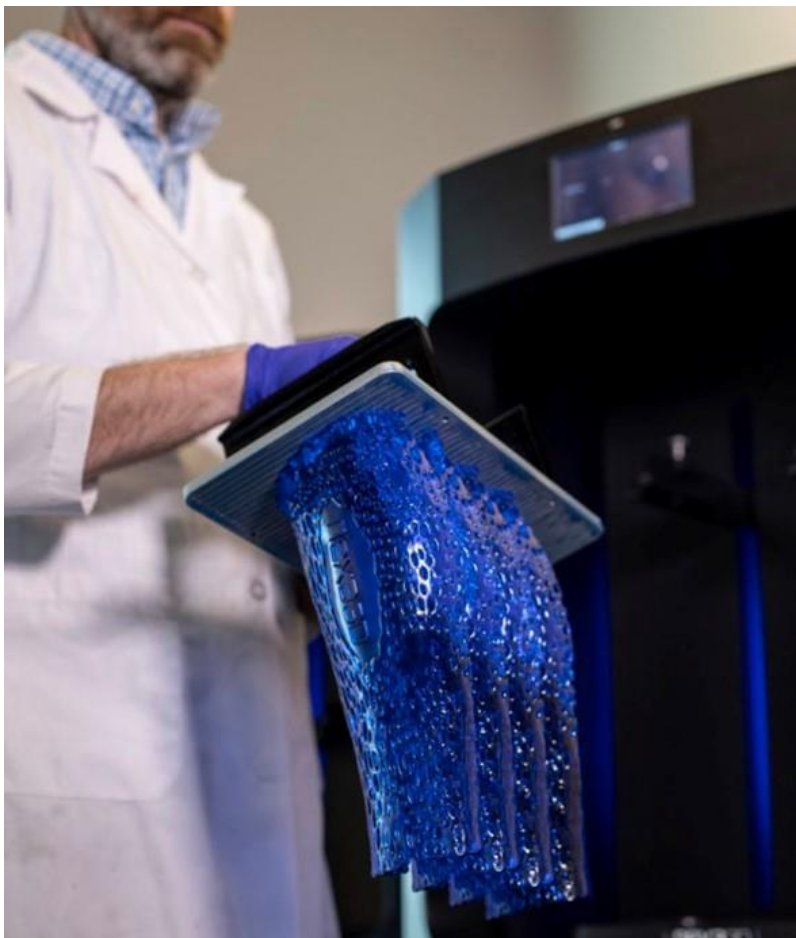
Beton je najčešće korišten materijal u 3D printanju građevina. Za potrebe 3D printanja razvijene su posebne vrste betona, uključujući mješavine koje se brzo stvrdnjavaju i imaju visoku čvrstoću. Mnogi primjeri uključuju Cemex D.fab, mješavinu razvijenu posebno za 3D printanje, s dodatkom polimera za poboljšanje performansi. Spominje se i LafargeHolcim's TectorPrint, inovativna betonska mješavina koja omogućuje slojevitú izgradnju. Treba istaknuti kako je 3D ispis u građevinarstvu promijenio način ugradnje betona jer se više ne primjenjuje oplata, pervibrator i ugradnja armaturnih šipki i mreža već se beton ispisuje kroz mlaznicu 3D printera. Potrebno je pripaziti da beton ne izlazi kroz pumpu prekomjernom brzinom i snagom jer nema oplata koja će ga zadržati već se mora istiskivati kontrolirano. Kako se sastav betona ne povezuje unutar oplata već se direktno ispisuje sloj po sloj, sastav betona mora biti optimalno proračunat sa svim sastavnicama kako ne bi došlo do deformacija i urušavanja [4].



Slika 6.: Betonski stup Krypton, Aix-en-Provence, 2016., Holcim [5]

3.2. Polimeri

Polimeri, kao što su različite vrste plastike, također se primjenjuju u 3D printanju u graditeljstvu, iako manje u velikim konstrukcijama i više za detalje, dijelove interijera i manje građevinske elemente. Najčešće korišteni polimeri su PLA (Polilaktična kiselina), Bioplastika, koja se često koristi zbog svoje ekološke prihvatljivosti te ABS (Akrilonitril butadien stiren), poznat po svojoj čvrstoći i otpornosti na udarce [6].



Slika 7.: Tehnologije 3D ispisa polimera dominiraju industrijom aditivne proizvodnje [6]

3.3. Metal

Iako manje uobičajen za izgradnju cijelih konstrukcija, metal se koristi za specijalizirane građevinske elemente i dijelove. Tehnologije poput selektivnog laserskog taljenja (SLM) koriste metale kao što su čelik, titan i aluminij.

Selektivno lasersko taljenje (SLM) i izravno lasersko sinteriranje metala (DMLS) dva su procesa proizvodnje s dodacima metala koji pripadaju obitelji 3D ispisa fuzije praha. Dvije tehnologije imaju puno sličnosti. Naime, obje upotrebljavaju laser za skeniranje i selektivno spajanje (ili topljenje) čestica metalnog praha, spajajući ih zajedno i gradeći dio sloj po sloj. Također, materijali koji se koriste u oba procesa su metali koji dolaze u obliku granula.

Razlike između SLM-a i DMLS-a svode se na osnove procesa vezivanja čestica (također patenata): SLM koristi metalne prahove s jednom temperaturom taljenja i potpuno topi čestice, dok je u DMLS metodi prah sastavljen od materijala s promjenjivim točkama taljenja koji se spajaju na molekularnoj razini pri povišenim temperaturama [7].



Slika 8.: Isprintani metalni dijelovi [7]

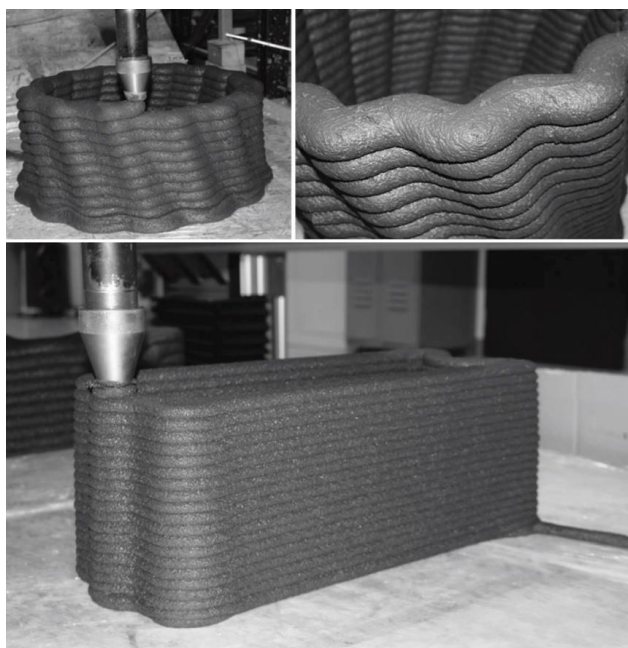
3.4. Kompozitni materijali

Kompozitni materijali kombiniraju dva ili više različitih materijala kako bi se poboljšale karakteristike kao što su čvrstoća, fleksibilnost i otpornost na vremenske uvjete. Primjeri uključuju beton ojačan vlaknima gdje se kombinira beton s vlaknima (npr. staklenim ili karbonskim) za poboljšanje mehaničkih svojstava te polimer-beton kompozite gdje se kombiniraju polimeri s betonom kako bi se postigla bolja fleksibilnost i otpornost.

3.5. Geopolimeri

Geopolimeri su inovativni materijali koji upotrebljavaju industrijske otpadne materijale poput letećeg pepela ili troske, miješane s alkalnim otopinama. Ti materijali su ekološki prihvatljiviji i imaju dobra mehanička svojstva.

Geopolimeri se sve više ispituju kao alternativa cementu u 3D ispisu za ekološki prihvatljivu gradnju. Geopolymer 3D printing (G3DP) obećava zelenu gradnju i naprednu proizvodnju. Znanstvenici istražuju reološka svojstva, sposobnost tiska i analizu mikrostrukture. Njihovi rezultati ukazuju na središnju ulogu reoloških svojstava u mogućnosti ispisa, uključujući parametre kao što su sposobnost pumpanja, mogućnost ekstrudiranja te zadržavanje oblika. Niža viskoznost i odgovarajuća granica tečenja su ključni. Konstrukcijska izvedba G3DP-a, s obzirom na njegovu strukturalnu anizotropnu prirodu i tehnike procjene, pomno se ispituje [8].



Slika 9.: Otisak isprintanog geopolimera, detalj otiska te gotov dio [9]

3.6. Keramika

Keramika se primjenjuje za specifične građevinske elemente koji zahtijevaju otpornost na visoke temperature i kemijsku stabilnost. 3D printanje keramike upotrebljava se uglavnom za dekorativne i funkcionalne elemente u građevinarstvu.

3.7. Reciklirani materijali

Postoji sve veći interes za upotrebom recikliranih materijala u 3D printanju. Reciklirana plastika i betoni mogu se koristiti za izradu novih građevinskih elemenata, smanjujući ekološki otisak gradnje.

Industrija 3D ispisa primjenjuje različite reciklirane materijale, ali procjenjuje se da se manje od 10% tih materijala trenutačno reciklira. Postoje materijali koji se mogu reciklirati za korištenje u 3D ispisu, primjerice termoplastika. Stoga je prilika da industrija 3D ispisa postane održivija, s projekcijama da se 40% do 60% 3D ispisanih predmeta može reciklirati. Ekološki filament za 3D ispis izrađen je od održivih materijala. Materijali koji su biorazgradivi i ne zahtijevaju upotrebu opasnih kemikalija te koji su obnovljivi i mogu se reciklirati su PLA (polilaktična kiselina), PETG (modificirani polietilen tereftalat glikolom), najlon, HIPS (polistiren visoke otpornosti), PP (polipropilen), PVA (polivinil alkohol), TPU (termoplastični poliuretani), filament na bazi metala, bambusovo punjenje i drveno punjenje [10].

3.8. Biomaterijali

Istražuju se biomaterijali kao što su smjese bazirane na drvetu ili bambusu za održivu izgradnju. Ovi materijali još su uvijek u fazi istraživanja, ali predstavljaju obećavajuću alternativu tradicionalnim građevinskim materijalima.

3D printanje u građevinarstvu nastavlja se razvijati, a s njim i materijali koji se koriste. Inovacije u materijalima omogućuju izgradnju čvrstih, održivih i ekonomičnih struktura, otvarajući nove mogućnosti za budućnost građevinske industrije.

4. PRIMJERI PRINTANIH ZGRADA

3D printanje u zgradarstvu može se podijeliti na stambene zgrade, javne građevine i eksperimentalne projekte.

- Stambene zgrade: 3D printane kuće postaju sve popularnije kao rješenje za brzo i povoljno stambeno zbrinjavanje, posebno u područjima pogođenim prirodnim katastrofama.
- Javne građevine: postoje projekti izgradnje škola, bolnica i drugih javnih objekata koji koriste 3D printanje, posebno u udaljenim ili siromašnim regijama.
- Eksperimentalni projekti: postoje brojni istraživački projekti i pilot-programi koji ispituju mogućnosti 3D printanja za izgradnju mostova, parkova i drugih infrastrukturnih objekata.

Printane zgrade su revolucionarni korak u građevinarstvu s potencijalom da znatno promijene način na koji se grade i projektiraju prostori budućnosti. Te zgrade postale su poznate širom svijeta kao pionirski projekti koji demonstriraju potencijal spomenute tehnologije. U nastavku je navedeno nekoliko svjetskih primjera 3D printanih zgrada.

4.1. Office of the Future – Dubai, UAE

Zgrada nazvana Office of the Future izgrađena u Dubaiju 2016. godine, prva je funkcionalna 3D printana poslovna zgrada u svijetu. Izgradnja je trajala svega 17 dana, a predstavlja poslovnu zgradu za Dubai Future Foundation [11]. Zgrada je 3D printana primjenom cementne smjese i tehnologije koja je razvijena u suradnji s kineskom tvrtkom WinSun.

Killa Design je razvio prvi potpuno funkcionalan i stalno nastanjen 3D printani ured u svijetu u Dubaiju. Zgrada Ureda budućnosti trenutno je dom Dubai Future Foundation, kao i izložbeni prostor te inkubator za buduće tehnologije u nastajanju u regiji. Inicijativa dolazi kao dio strategije 3D ispisa u Dubaiju koja se fokusira na razvoj 3D ispisa za poboljšanje života ljudi u građevinskom i medicinskom sektoru.

Cjelokupna konstrukcija zgrade proizvedena je aditivnom tehnikom ispisa betona pomoću 3D pisača visine 6 metara, dužine 36 metara i širine 12 metara. Pisač ima automatiziranu robotsku ruku za provedbu procesa ispisa koji je trajao 17 dana, a instaliran je na licu mjesta u dva dana. Naknadni radovi na građevinskim servisima, interijerima i krajobrazu trajali su otprilike tri mjeseca. Kao rezultat ove inovativne građevinske tehnike, trošak rada smanjen je za više od 50 % u usporedbi s konvencionalnim zgradama slične veličine, a gubitak na gradilištu sveden je na najmanju moguću mjeru što je pomoglo smanjenju ukupnog utjecaja projekta na okoliš.

Uredski kompleks u sjeni drveća sastoji se od salona i galerije za izložbe, događaje i radionice, fleksibilnog prostora za timsko razmišljanje i dizajnerski rad te privatne sobe za sastanke i za miran rad. Niz otvora kroz cijeli projekt dovodi prirodnu dnevnu svjetlost duboko u prostor, a istovremeno omogućuje stanaarima da ostanu povezani s vanjskim okruženjem. Tlocrt zgrade dizajniran je tako da omogućuje kreativne susrete, miran rad i spontana druženja. Jedinstven po svom oblikovanju i modularnosti, Office of the Future Dubai hvaljen je kao prva velika inicijativa i revolucionarni primjer računalno kontrolirane proizvodnje u izgradnji zgrada. Projekt je preteča Muzeja budućnosti (koji je također dizajnirao Killa Design). To je dio strategije Dubai Future Agenda, koju su pokrenuli Ujedinjeni Arapski Emirati kako bi postali glavni inkubator inovacija i tehnologije budućnosti u svijetu.



Slika 10.: Ured budućnosti, Killa Design, Gensler [11]

4.2. Apis Cor House – Rusija

Apis Cor, ruska tvrtka za 3D printanje, izgradila je kuću za 24 sata u Moskvi 2017. godine. Ova kuća ima površinu od 38 kvadratnih metara i izgrađena je pomoću mobilnog 3D printera. Ukupni troškovi izgradnje bili su izuzetno niski u usporedbi s tradicionalnim metodama. Projekt je realiziran primjenom mobilnog građevinskog 3D pisača tvrtke, prvog takve vrste, za ispis i izgradnju zgrade od 38 kvadratnih metara u potpunosti na licu mjesta [12].

Kako je već spomenuto, tiskanje nosivih zidova, pregrada i ovojnice zgrade završeno je za manje od jednog dana, a strojno vrijeme tiskanja iznosilo je samo 24 sata. Oblikovanje kuće donekle je neočekivano, raspoređeno u otprilike kružni oblik, a izbočine pod pravim kutom stvaraju tlocrt izgledom sličan rotoru. Istodobno je mobilni 3D printer radio zgradu iznutra i izvana. Njegova mala veličina čini ga lakim za transport, a njegova je točnost blizu potpunog uklanjanja rizika od ljudske pogreške. Budući da se betonska smjesa koristila kao tinta, oko mjesta izvođenja morao se izgraditi zaštitni šator kako bi se održavala visoka temperatura.

Krov tiskane kuće je ravan, može izdržati velika opterećenja od snijega. Krovni tepih izrađen je pomoću polimernih membrana, zavarenih vrućim zrakom. Kao izolacijski sloj korištene su čvrste ploče od tvrdog polistirena. Rezultat su niske toplinske vodljivosti, a debljina i ukupna težina krovnog sustava puno je manja od tradicionalnih izolacijskih materijala.

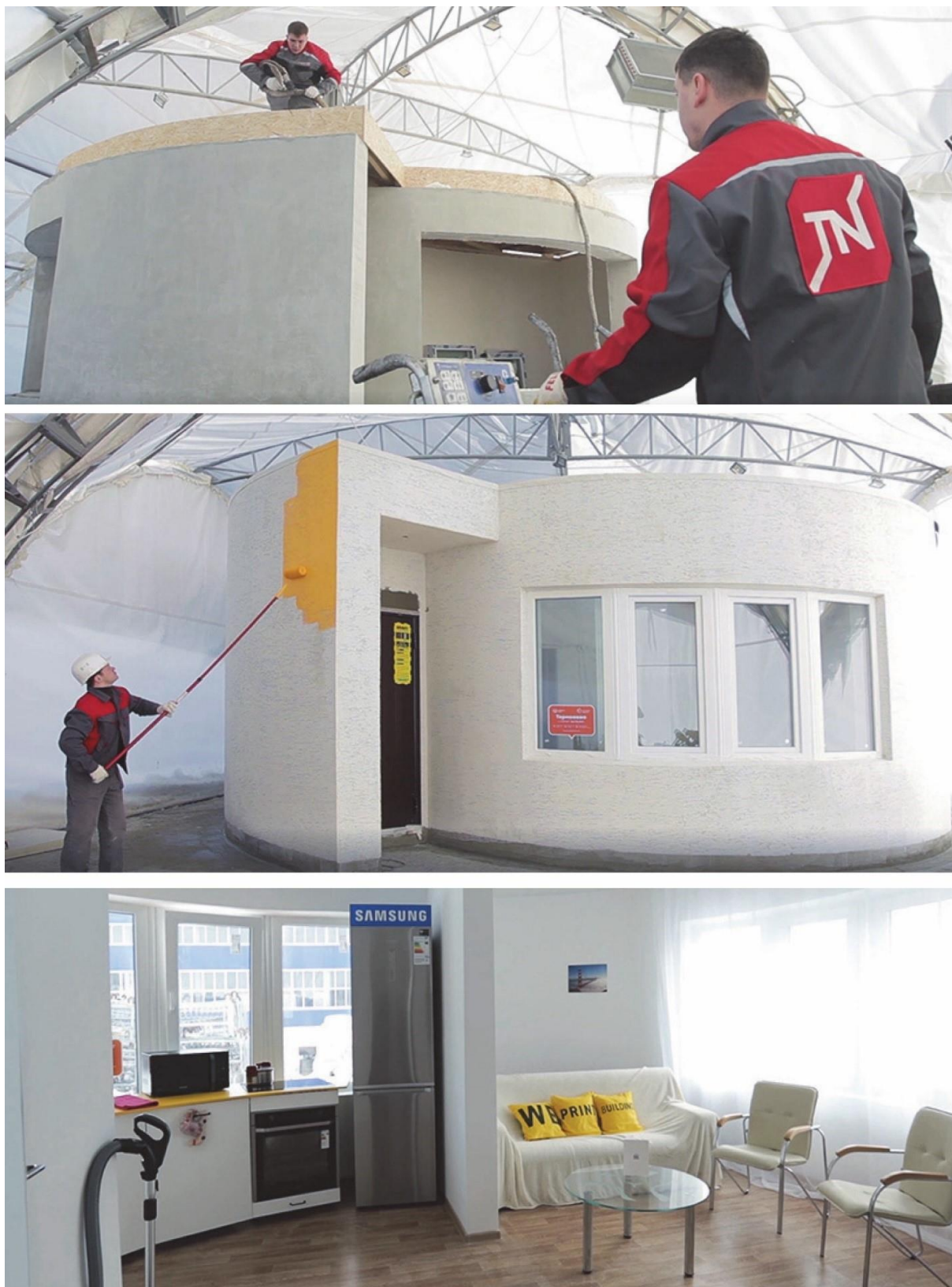
Toplinsku izolaciju kuće čine čvrsti izolacijski materijal za jedan dio kuće te tekući poliuretanski sastav za drugi. Zahvaljujući svojstvima tih materijala, bio je potreban samo mali sloj za stvaranje ugodne mikroklimе u unutrašnjosti što je uvelike pojednostavilo konstrukciju. Zidovi su obloženi mineralnom dekorativnom žbukom, sastavljenom od bijelog cementa te mramornih i granitnih mrvica, koja djeluje kao gornji sloj toplinske izolacije. Ukupno je izgradnja zgrade stajala 10.134 USD, otprilike 275 USD po kvadratnom metru.



Slika 11.: Apis Cor, Rusija [12]



Slika 12.: Apis Cor, Rusija – izvedba detalja [12]



Slika 13.: Apis Cor, Rusija – pogled na eksterijer i interijer kuće [12]

4.3. Yhnova House – Nantes, Francuska

Yhnova je prva 3D printana socijalna kuća u Francuskoj, završena 2018. godine. Ovaj projekt dio je istraživačkog programa nazvanog “Batiprint3D”, a cilj mu je pokazati kako se 3D printanje može koristiti za stvaranje pristupačnih i održivih stambenih rješenja [13].

3D printana kuća pokazuje prednosti 3D ispisa u građevinarstvu i sve veću prisutnost robotizacije u budućnosti. S druge strane, smanjuje se potreba za obrtničkim radovima, što je danas sve veći problem jer kvalitetnih majstora nedostaje na tržištu rada.

Kada je riječ o procesu izgradnje ove 3D tiskane kuće, treba istaknuti da se primijenjena napredna tehnologija sastoji od nanošenja tri sloja materijala pomoću poliartikuliranog industrijskog robota – dva sloja ekspanzivne pjene služe kao oplata za treći sloj od betona. Nakon što su zidovi izgrađeni, pjena se drži na mjestu kako bi se kuća izolirala bez toplinskog mosta. Na kraju operacije, mobilni robot izlazi kroz otvor predviđen za ugradnju stolarije. Inženjeri smatraju kako je pitanje vremena kada će svi gradovi usvojiti ovaj proces ili barem primjenjivati 3D inovaciju za dobrobit društva.



Slika 14.: Yhnova House – Nantes [13]

4.4. The 3D Print Canal House – Amsterdam, Nizozemska

Ovaj projekt započeo je 2014. godine u Amsterdamu s ciljem istraživanja kako se 3D printanje može koristiti za izgradnju održivih i inovativnih stambenih rješenja. Projekt vodi nizozemska tvrtka DUS Architects, koja koristi bioplastiku za izgradnju konstrukcija [14-16].

3D Print Canal House je istraživački i dizajnerski projekt u kojem međunarodni tim partnera iz različitih sektora surađuje na 3D ispisu kuće na kanalu u punoj veličini u Amsterdamu. To je jedinstveni projekt u kojem se povezuju znanost, dizajn, gradnja i zajednica kroz 3D printanje kuće na izložbenom mjestu u samom središtu Amsterdama. U travnju 2013. godine potpisano je pismo namjere s ciljem izgradnje prve 3D tiskane kuće na kanalu na svijetu.

3D printanje kuće, simbola Amsterdama, pokazuje svijetu kako kombinirati tradicionalne lokalne vrijednosti s inovativnim idejama. Izgradnja 3D Print Canal House započela je u siječnju 2014. godine u Amsterdam Noordu. Svaki novi 3D ispis koji izađe iz printera izlaže se i testira na gradilištu. Cilj je koristiti materijale koji su održivi, biološkog podrijetla, lako se tope na niskim temperaturama te su čvrsti i stabilni. Trenutno se istražuju mogućnosti korištenja recikliranih materijala za ispis.

3D Print Canal House trogodišnji je istraživački i razvojni projekt. Znanje stečeno tijekom izgradnje kuće bit će podijeljeno sa zajednicom putem web stranice i izložbenog centra. Sudionici projekta nadaju se da će konačna zgrada postati središtem inovacija i novih proizvodnih tehnika i materijala u građevinskoj industriji.

Neki tvrde da je istoj kompaniji potreban samo jedan dan za ispis jednog kata, pri čemu se uglavnom koristi građevinski otpad poput čelika, staklenih vlakana, cementa i aditiva. Kuća je izgrađena uz pomoć printera koji je pojedinačno ispisao svaku sobu. Inženjeri su prvo morali izraditi kvalitetan 3D printer, što samo po sebi predstavlja tehnološko dostignuće. Printer, nazvan KamerMaker, što u prijevodu znači "proizvođač soba", izrađen je od brodskog kontejnera, a dugačak je 6 metara kako bi mogao proizvoditi sobe prosječne veličine te koristi plastiku i drvena vlakna. Tijekom gradnje, prvo su proizvedeni vanjski zidovi, zatim stropovi, podovi i ostali dijelovi pojedinačnih soba, a na kraju namještaj za te sobe. U drugoj fazi projekta, sobe su povezane zajedničkim podom i uklopljene u kuću. U slučaju preseljenja kuće, svaka se soba može odvojiti radi bržeg i jeftinijeg premještanja. Gotovi elementi kuće izravno se slažu na gradilištu poput slagalice, zahvaljujući posebno dizajniranim rubovima koji omogućuju spajanje poput lego kockica, a dodatno se povezuju i učvršćuju čeličnim kabelima. Svaki se element izrađuje metodom ispisa sloj po sloj, a tim iz DUS Architects tvrdi da KamerMaker printer može izraditi cijelu sobu bez prekida u radu.

Mladi arhitekti pokrenuli su ovaj projekt prije deset godina, a tijekom tog razdoblja morali su razviti tehnologiju, izraditi detaljne nacрте i pribaviti sve potrebne dozvole za gradnju. Upravo je to bio najteži zadatak, jer su zahtjevi sigurnosti isprintanih građevina još uvijek nedovoljno istraženi.



Slika 15.: Canal House – Amsterdam [14]



Slika 16.: Canal House – Amsterdam – detalji [14]

4.5. ICON's 3D-Printed Homes – Austin, Texas, SAD

Američka tvrtka ICON, poznata po razvoju pristupačnih stambenih rješenja pomoću 3D printanja, izgradila je prve legalno odobrene 3D printane kuće u SAD-u. Njihov projekt, nazvan "Community First! Village", kao cilj pružanje domove za beskućnike i osobe s niskim prihodima [17].

Kuća je smještena u stambenoj četvrti za jednu obitelj u istočnom Austinu u Teksasu, a izgrađena je korištenjem ICON-ova građevinskog sustava Vulcan. Sustav koristi 3D ispis, tehnologiju koja mehanički nanosi slojeve materijala na temelju računalnog programa, za postavljanje zidova kuće od 2000 četvornih stopa (186 četvornih metara). Za ispis 3D ispisanih zidnih aspekata bilo je potrebno 10 dana. Ojačani čelikom, zidovi su otisnuti vlastitim materijalom ICON-a koji naziva Lavacrete, što je tvar nalik cementu koja je nepropusna za zrak, a istovremeno pruža povećanu izolaciju.

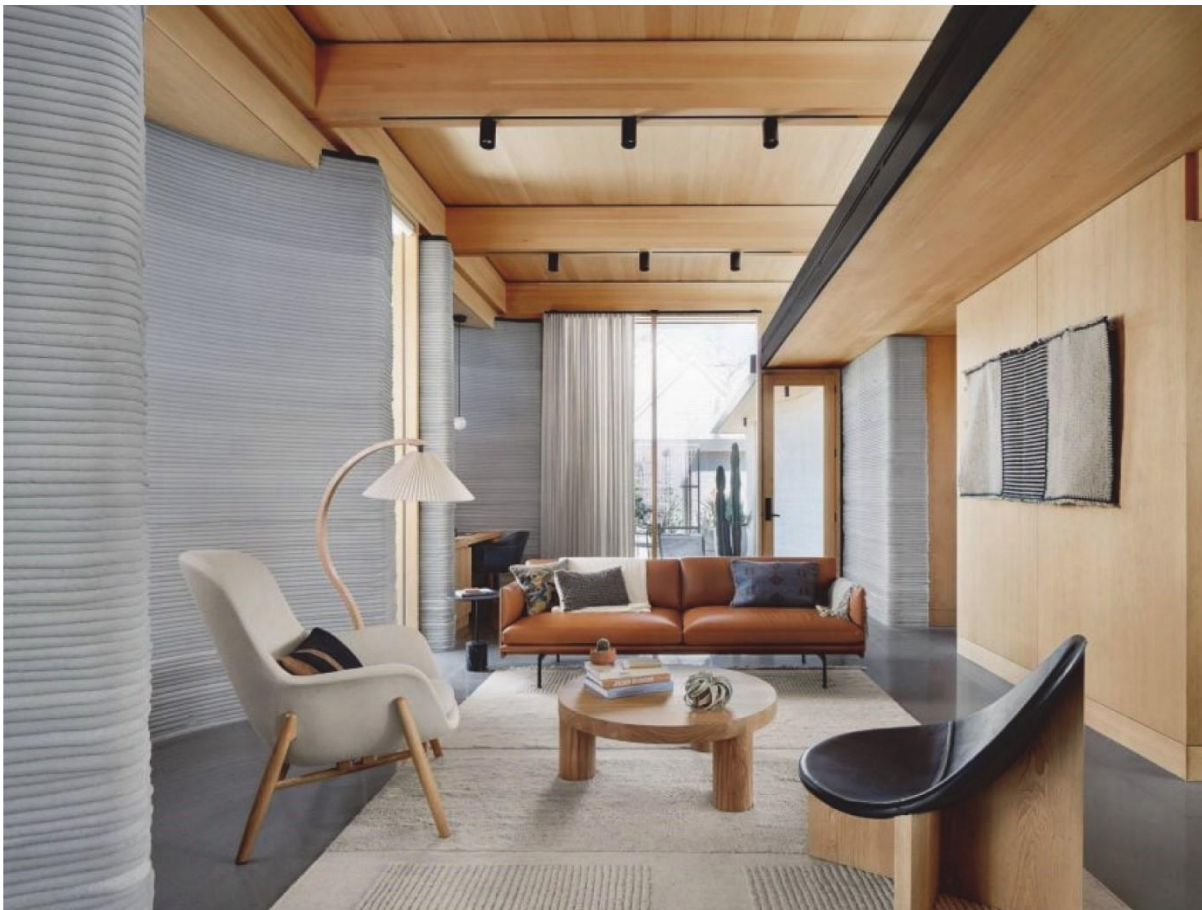
Iako su organska priroda 3D printanog betona i zakrivljeni zidovi novi dizajnerski oblici, House Zero je u potpunosti u skladu s prirodom. Dom izražava zajedničku strast prema zanatu i performansama u primamljivoj i udobnoj obiteljskoj kući izgrađenoj na potpuno nov način gradnje. Kuća je izgrađena korištenjem biofilnih načela oblikovanja, prema kojima meke krivulje 3D printanih potpornih zidova stvaraju prirodnu cirkulaciju zraka kroz dom. Uz mogućnost brže gradnje, ovakve kuće mogle bi se graditi po nižoj cijeni u odnosu na konvencionalne kuće.



Slika 17.: Kuća Austin, Texas [17]



Slika 18.: Detalj zida i njegova 3D izvedba [17]



Slika 19.: Unutrašnjost kuće u Austinu, Texas [17]

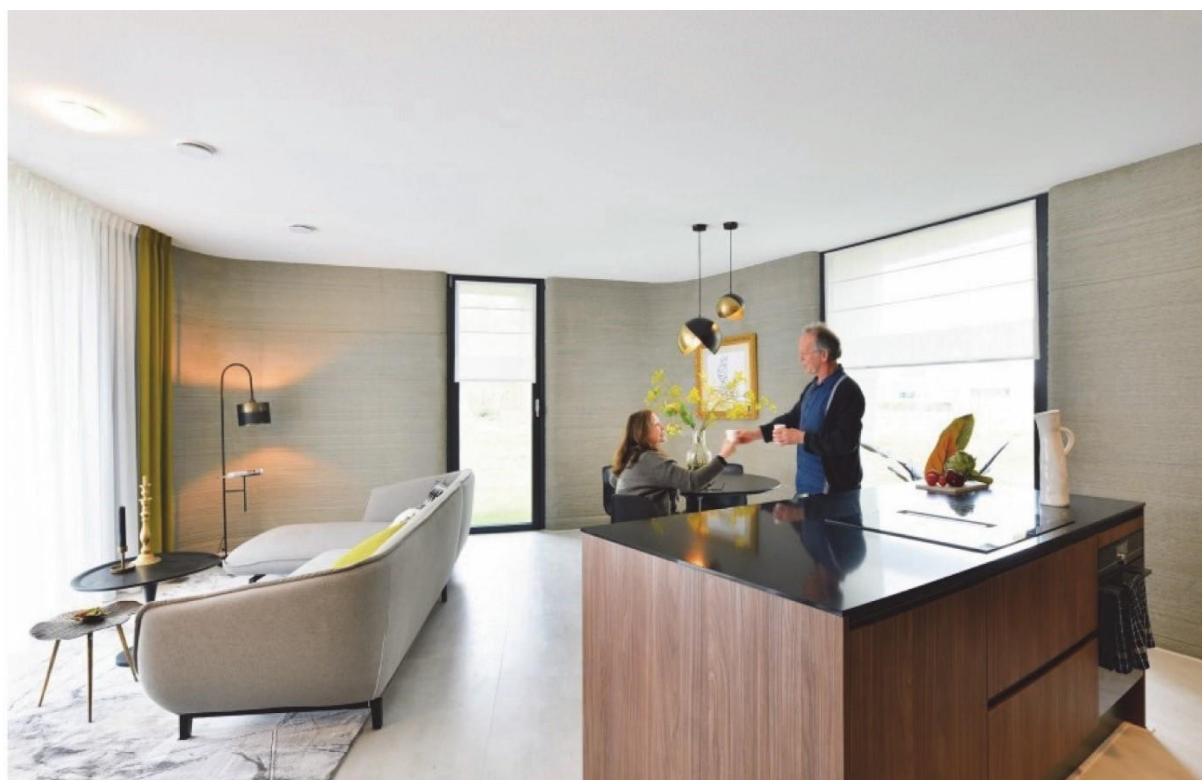
4.6. Projekt Milestone – Eindhoven, Nizozemska

Projekt Milestone – Eindhoven, koji vodi Tehničko sveučilište u Eindhovenu, odnosi se na izgradnju pet 3D printanih kuća. Prva kuća završena je 2019. godine, a projektom se želi pokazati kako se 3D printanje može koristiti za stvaranje složenih i estetski ugodnih stambenih građevina [18].

Ovaj inovativni projekt mijenja budućnost gradnje u novom stambenom naselju Meerhoven u Eindhovenu u Nizozemskoj. Nakon što je 2021. realizirana prva komercijalna 3D printana betonska kuća, 2024. godine bit će isprintane preostale četiri kuće. Očekuje se da će biti dostupni na tržištu do sredine 2025., postavljajući nove standarde u modernoj udobnosti, održivosti i arhitektonskom dizajnu. Projekt Milestone s pravom se može smatrati revolucionarnim iz mnogo razloga, ne samo iz perspektive tehnologije i graditelja, već i dizajna. Kada su stanari prve kuće dobili ključeve, ondje je stajala kuća koja je ispunjavala sve njihove potrebe za udobnošću, napravljena na održiv i energetski učinkovit način u prirodnom, šumovitom okruženju. Cijeli projekt sastoji se od pet kuća, od kojih svaka prikazuje razvoj tehnologije i arhitekture 3D ispisa koji se stalno razvija. Ovaj ambiciozni pothvat podići će standarde 3D ispisa betona na višu razinu i osigurati da ove kuće budu više od eksperimenta. Zajamčeno je da će u njima njihovi vlasnici uživati i udobno živjeti u desetljećima koja dolaze. Oblik proizlazi iz tipičnih mogućnosti nove tehnologije. Naime, tehnika 3D printanja daje slobodu forme, za razliku od konvencionalnog betona vrlo krute forme. Ta sloboda oblika iskorištena je ovdje za stvaranje dizajna s kojim se domovi prirodno stapaju sa svojim šumovitim okruženjem, poput gromada. Dojam je kao da je pet zgrada ostalo i oduvijek postoji u ovoj šumovitoj oazi. Kuće će se nalaziti u Bosrijku, u četvrti Meerhoven. Bosrijk će se razvijati kao "vrt skulptura", s visokokvalitetnim, ambicioznim arhitektonskim projektima postavljenim poput skulptura u kontinuiranom krajoliku. Naravno, ovaj vrt skulptura nije samo za razgledavanje, već i za aktivno uživanje. Krajnji stanovnik koji odabire ovakav dom imat će dinamičan život pun rada, rekreacije i doživljaja prirode u posebnom scenskom okruženju.



Slika 20.: Kuća Milestone [18]



Slika 21.: Kuća Milestone, unutrašnjost [18]

4.7. WinSun Apartment Building and Mansion - Suzhou, Kina

Kineska tvrtka WinSun je izgradila 3D printanu stambenu zgradu s pet katova i 3D printanu vilu. Ove građevine izvedene su primjenom recikliranih materijala i specijalne betonske smjese, demonstrirajući mogućnosti masovne proizvodnje stambenih jedinica pomoću 3D printanja [19].

U ožujku 2023. godine tvrtka WinSun tvrdila je da je ispisala 10 kuća u 24 sata, koristeći vlastiti 3D printer koji koristi mješavinu građevinskog i industrijskog otpada, poput stakla i jalovine, oko baze od brzosušećeg cementa pomiješanog s posebnim sredstvom za stvrdnjavanje.

Sada je WinSun dodatno demonstrirao učinkovitost svoje tehnologije, s peterokatnom stambenom zgradom i vilom od 1.100 četvornih metara, zajedno s ukrasnim elementima iznutra i izvana, izloženima u Suzhou Industrial Parku. Niz 3D pisača, koji je razvio Ma Yihe, izumitelj 3D pisača više od desetljeća, visok je 6,6 metara, širok 10 metara i dugačak 40 metara. Pisači proizvode dijelove u velikim komadima u WinSunovom pogonu. Konstrukcije se zatim sastavljaju na licu mjesta, zajedno s čeličnim ojačanjima i izolacijom, kako bi bile u skladu sa službenim građevinskim standardima.

Zidovi su otisnuti šuplji, s cik-cak uzorkom iznutra radi pojačanja što također ostavlja prostor za izolaciju. Ovim se postupkom štedi između 30% i 60% građevinskog otpada, a može smanjiti vrijeme proizvodnje između 50% i 70%, a troškove rada između 50% i 80%. Sve u svemu, izgradnja vile koštala je oko 161.000 dolara. Primjenjujući reciklirane materijale na ovaj način, zgrade smanjuju potrebu za lomljenim kamenom i drugim materijalima, što rezultira metodom gradnje koja je i ekološki napredna i isplativa.



Slika 22.: Prva stambena zgrada na svijetu izgrađena pomoću 3D printanja u Kini [19]

5. ZAKLJUČAK

3D printeri koji u tvornicama printaju dijelove zgrada koji se kasnije sastavljaju na gradilištima, postaju sve više prisutni u graditeljstvu. Ubrzo bi, kako se čini, ti printeri u konačnici mogli printati puno zahtjevnije građevine poput mostova i nebodera. Metode vezane uz tehnologiju 3D printanja nastoje pokazati kako je ona brža i jeftinija od tradicionalnih, no u obzir još uvijek treba uzeti probleme ekonomičnosti, stabilnosti te fleksibilnosti njenih procesa. Među glavnim se problemima također nameće gubitak radnih mjesta, a osim gradnje betonske kuće ili zgrade, graditelji bi u budućnosti trebali riješiti i probleme s postavljanjem odvoda, električnih instalacija i drugih elemenata bez kojih one ne mogu funkcionirati, no i to je već velik napredak u građevinskoj primjeni tehnologije 3D printanja. Vrijeme je dobar pokazatelj, pa treba pričekati i vidjeti koja su rješenja, mogućnosti i posljedice gradnje kuća i zgrada ovom novom i izazovnom tehnologijom.

POPIS LITERATURE

- [1] Špiček, N., Radujković, M., Skibniewski, M. J.: Organizacija građevinskog projekta za tehnologiju 3D ispisa, GRAĐEVINAR, 75 (2023) 5, pp. 471-482, <https://doi.org/10.14256/JCE.3575.2022>
- [2] Bogdan, A.: Isprintana stambena zgrada s četiri kata, GRAĐEVINAR 67 (2015) 2, pp. 194-198
- [3] Bogdan, A.: Centar robotike, 3D tehnologije i obnovljivih izvora energije, GRAĐEVINAR 74 (2022) 7, pp. 599-604
- [4] <https://www.holcim.hr/3d-printani-beton>
- [5] Betonski stup Krypton, Aix-en-Provence, 2016., Holcim
- [6] <https://nexa3d.com/blog/3d-printing-with-polymers/>
- [7] <https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing/>
- [8] <https://www.frontiersin.org/journals/materials/articles/10.3389/fmats.2023.1241869/>
- [9] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2568/1/012003/pdf>
- [10] <https://www.3ds.com/make/solutions/blog/3d-printing-and-recycled-materials>
- [11] https://www.architectmagazine.com/project-gallery/office-of-the-future_o
- [12] <https://www.designboom.com/architecture/apis-cor-pik-3d-printed-house-24-hours-02-28-2017/>
- [13] <https://3dadept.com/yhnova-the-3d-printed-house-in-nantes/>
- [14] <https://www.ignant.com/2016/09/16/the-worlds-first-3d-printed-canal-house/>
- [15] <https://amsterdamsmartcity.com/updates/project/3d-print-canal-house>
- [16] <https://www.ignant.com/2016/09/16/the-worlds-first-3d-printed-canal-house/>
- [17] <https://www.dezeen.com/2022/03/04/icon-lake-flato-3d-printed-house-zero-austin/>
- [18] <https://www.3dprintedhouse.nl/en/project-info/project-milestone/>
- [19] <https://www.cnet.com/culture/worlds-first-3d-printed-apartment-building-constructed-in-china/>

POPIS SLIKA

Slika 1.: 3D ispisana oplata stubišta [1].....	1
Slika 2.: Izgled stubišta nakon skidanja oplata [1].....	2
Slika 3.: 3D pisač ispisuje trokatnicu (vanjske i unutarnje zidove) [1]	2
Slika 4.: Proces stereolitografije, metode ispisivanja sloj po sloj [2].....	3
Slika 5.: Pogled na 3D printane ukrasne elemente za dom [2]	4
Slika 6.: Betonski stup Krypton, Aix-en-Provence, 2016., Holcim [5].....	6
Slika 7.: Tehnologije 3D ispisa polimera dominiraju industrijom aditivne proizvodnje [6].....	7
Slika 8.: Isprintani metalni dijelovi [7]	8
Slika 9.: Otisak isprintanog geopolimera, detalj otiska te gotov dio [9]	9
Slika 10.: Ured budućnosti, Killa Design, Gensler [11]	12
Slika 11.: Apis Cor, Rusija [12]	14
Slika 12.: Apis Cor, Rusija – izvedba detalja [12]	14
Slika 13.: Apis Cor, Rusija – pogled na eksterijer i interijer kuće [12]	15
Slika 14.: Yhnova House – Nantes [13].....	16
Slika 15.: Canal House – Amsterdam [14]	18
Slika 16.: Canal House – Amsterdam – detalji [14]	18
Slika 17.: Kuća Austin, Texas [17]	19
Slika 18.: Detalj zida i njegova 3D izvedba [17]	20
Slika 19.: Unutrašnjost kuće u Austinu, Texas [17].....	20
Slika 20.: Kuća Milestone [18]	22
Slika 21.: Kuća Milestone, unutrašnjost [18].....	22
Slika 22.: Prva stambena zgrada na svijetu izgrađena pomoću 3D printanja u Kini [19]	23