

Potencijal 3D tiska u izgradnji obiteljskih kuća

Jukić, Tonči

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:664244>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Tonči Jukić

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Tonči Jukić

Zagreb, 2025.

ZADATAK

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 25 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 25 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Tonči Jukić** JMBAG: **0035228083**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Potencijal 3D tiska u izgradnji obiteljskih kuća**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The potential of 3D printing in the construction of family houses**

Opis zadatka:

Iako su tehnologije 3D tiska prisutne više desetljeća, njihov je razvoj sa širenjem primjena i nadalje vrlo intenzivan.

U radu je potrebno:

1. objasniti značaj primjene 3D tiska u graditeljstvu
2. istražiti i navesti tehnologije 3D tiska u građevinskom sektoru
3. istražiti potencijal primjene 3D tiska pri izgradnji obiteljskih kuća u Republici Hrvatskoj.

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.
2. rok: 10. i 11. 7. 2025.
3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.
2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025.
3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Damir Godec

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici na savjetima i komentarima tijekom pisanja i izrade ovog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na podršci tijekom preddiplomskog studija.

U Zagrebu, 20. veljače 2025.

Tonči Jukić

SAŽETAK

U radu je istražen potencijal 3D tiska u građevinarstvu, koji je ishodio nastankom i razvojem poslovne ideje za gradnju obiteljskih kuća PrintMyHome. Analizom tehnologija poput konturnog tiska, betonskog tiska i D-oblika, utvrđeno je da 3D tisak omogućuje bržu, ekonomičniju i ekološki održiviju gradnju u odnosu na tradicionalne metode. Koncept PrintMyHome sadrži katalog s četiri modela obiteljskih kuća, nudeći prilagodljiva, energetska učinkovita i cjenovno pristupačna rješenja. Svaka od kuća iz kataloga je s tri spavaće sobe, pri čemu dvije kuće imaju terasu, jedna garažu, dok je posljednja modelirana kao osnovni oblik bez dodatnih specifičnosti. Daljnji razvoj poslovne ideje uključuje proširenje ponude modela kuća i uvođenje digitalnog konfiguratora, čime bi se dodatno unaprijedila personalizacija i dostupnost rješenja.

Ključne riječi: 3D tisak, aditivne tehnologije, građevinarstvo, obiteljska kuća, informacijsko modeliranje zgrada, modularna gradnja

SUMMARY

The paper explores the potential of 3D printing in construction, which has led to the creation and development of the business idea for building family homes—PrintMyHome. Through the analysis of technologies such as contour crafting, concrete printing, and D-shape printing, it has been determined that 3D printing enables faster, more cost-effective, and environmentally sustainable construction compared to traditional methods. The PrintMyHome concept includes a catalog featuring four family home models, offering adaptable, energy-efficient, and affordable housing solutions. Each house in the catalog has three bedrooms, with two models featuring a terrace, one including a garage, and the last designed as a basic structure without additional features. The further development of the business idea involves expanding the range of house models and introducing a digital configurator, which would further enhance personalization and accessibility of housing solutions.

Key words: 3D printing, additive technologies, construction, family house, building information modeling (BIM), modular construction

SADRŽAJ

ZADATAK.....	I
IZJAVA.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY	IV
POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA	VII
POPIS SLIKA	IX
1. UVOD.....	1
2. POVIJEST I EVOLUCIJA 3D TISKA U GRAĐEVINARSTVU	3
2.1. Rani razvoj i ključne tehnologije 3D tiska.....	3
2.1.1. Stereolitografija (SLA) [9]	4
2.1.2. Digitalna obrada svjetla (DLP) [10].....	4
2.1.3. Tisak taljenjem filameta (FDM/FFF) [11]	5
2.1.4. Selektivno lasersko sinteriranje (SLS) [12]	5
2.2. Primjena 3D tiska izvan prototipiranja [13]	5
2.3. Prijelaz na građevinski sektor	6
3. MATERIJALI I TEHNOLOGIJE POVEZANE S 3D TISKOM.....	7
3.1. Materijali	7
3.2. Uređaji za prijenos i pripremu materijala za 3D tisak [16]	9
3.3. Robotski sustavi [17].....	10
3.4. Informacijsko modeliranje zgrada (BIM)	11
4. VRSTE 3D TISKA U GRAĐEVINARSTVU	13
4.1. Konturni tisak (CC) [25]	14
4.2. Betonski tisak (CP) [26].....	14

4.3. D-oblik [27]	15
5. EKOLOŠKI I EKONOMSKI ASPEKTI 3D TISKA U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI	17
5.1. Ekološki aspekti [29]	17
5.1.1. Metodologija procjene ekološkog otiska i ekonomske isplativosti [29]	18
5.1.2. Rezultati [29]	19
5.2. Ekonomski aspekti [30]	21
6. MODELI OBITELJSKIH KUĆA ZA GRADNJU PRIMJENOM 3D TISKA	22
6.1. Kuća Mira – 130 m ²	23
6.2. Kuća Andrej – 100 m ²	25
6.3. Kuća Frane – 79 m ²	28
6.4. Kuća Duje – 78 m ²	30
7. POSLOVNA IDEJA: <i>PrintMyHome</i>	33
7.1. Misija i vizija	33
7.2. Proizvodi i usluge	33
7.3. Tržište i konkurencija	34
7.4. Poslovni model	34
7.5. Financijski plan	35
7.6. Daljnje širenje i razvoj tvrtke	35
7.7. Marketing	36
8. ZAKLJUČAK	37
9. LITERATURA	39

POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
£	GBP	britanska funta, novčana jedinica Ujedinjenog Kraljevstva
3D		trodimenzionalni
AEC		eng. Architectural Engineering and Construction – arhitektura i građevinarstvo
AM		eng. Additive Manufacturing – aditivna proizvodnja (izradba)
BIM		eng. Building Information Modeling – informacijsko modeliranje zgrada
CAD		eng. Computer-Aided Design – oblikovanje pomoću računala
CC		eng. Contour Crafting – izrada konture
CP		eng. Concrete Printing – betonski tisak
DLP		eng. Digital Light Processing – digitalna obrada svjetla
DMD		eng. Digital micromirror device – digitalni mikrozrcalni uređaj
eng.		engleski
FDM		eng. Fused Deposition Modeling – komercijalan naziv za tehnologiju FFF
FFF		eng. Fused Filament Fabrication – tehnologija 3D tiska taljenjem filameta
HVAC		eng. Heating, Ventilation and Air Conditioning – grijanje, ventilacija, klimatizacija

LCA	eng. Life Cycle Analysis – analiza životnog ciklusa (proizvoda)
LCCA	eng. Life-Cycle Cost Analysis – analiza troškova životnog ciklusa (proizvoda)
LCI	eng. Life Cycle Inventory – inventar životnog ciklusa
LCIA	eng. Life Cycle Impact Assessment – procjena utjecaja životnog ciklusa (proizvoda)
NASA	eng. National Aeronautics and Space Administration – Državna civilna uprava SAD-a za zrakoplovna i svemirska istraživanja
SAD	Sjedinjene Američke Države
SLA	eng. Stereolithography – stereolitografija
SLS	eng. Selective Laser Sintering – selektivno lasersko sinteriranje
STL	eng. Standard Tessellation Language – format datoteke za 3D modele
UK	Ujedinjeno Kraljevstvo
USD	američki dolar, novčana jedinica SAD-a
UV	ultraljubičasto zračenje

POPIS SLIKA

Slika 1. Uređaji za prijenos i pripremu materijala [16]	9
Slika 2. Portalni robotski sustav [17]	10
Slika 3. Zglobni robotski sustav [17]	11
Slika 4. Proces 3D tiska.....	12
Slika 5. Vrste 3D tiska u građevinarstvu.....	13
Slika 6. Konturni tisak [25].....	14
Slika 7. Betonski tisak [26]	15
Slika 8. D-oblik [27].....	16
Slika 9. Tlocrt kuće [29].....	18
Slika 10. Rezultati istraživanja [29]	20
Slika 11. Usporedba cijena konvencionalno izgrađene kuće i 3D tiskane kuće [30].....	21
Slika 12. Kuća Mira – tlocrt.....	24
Slika 13. Kuća Mira – izvedba <i>Roh-Bau</i>	24
Slika 14. Kuća Mira – konačan izgled	25
Slika 15. Kuća Mira – alternativan konačan izgled	25
Slika 16. Kuća Andrej – tlocrt.....	26
Slika 17. Kuća Andrej – izvedba <i>Roh-Bau</i>	27
Slika 18. Kuća Andrej – konačan izgled	27
Slika 19. Kuća Frane – tlocrt.....	28
Slika 20. Izvedba <i>Roh-Bau</i> kuće Frane	29
Slika 21. Kuća Frane – konačan izgled	30

Slika 22. Kuća Duje – tlocrt.....	31
Slika 23. Izvedba Roh-Bau kuće Duje	32
Slika 24. Kuća Duje – konačan izgled	32

1. UVOD

Građevinski sektor jedan je od najznačajnijih segmenata globalnog gospodarstva, s godišnjim prihodom od približno 10 trilijuna USD, što čini oko 6 % svjetskog bruto domaćeg proizvoda [1]. Unatoč primjetnom napretku u području tehnoloških inovacija i metodoloških pristupa tijekom posljednja tri desetljeća, industrija se suočava sa sustavnim izazovima, uključujući stagnaciju produktivnosti radne snage te eksponencijalni rast operativnih troškova. Prema analizama [2], temeljni uzrok ovih nedostataka leži u presporoj implementaciji inovativnih tehnoloških rješenja u građevinskim praksama.

Kako bi odgovorila na ove izazove, industrija se okreće inovacijama koje donosi Četvrta industrijska revolucija, poznata kao Industrija 4.0. Ovaj koncept obuhvaća digitalizaciju, automatizaciju i integraciju novih tehnologija u postojeće sustave, a jedan od najperspektivnijih elemenata je aditivna proizvodnja tj. izradba. Aditivna proizvodnja obuhvaća sve tehnologije koje stvaraju objekte dodavanjem materijala sloj po sloj, a 3D tisak je specifična metoda unutar tog šireg okvira. Ova tehnologija omogućuje izradu objekata izravno iz digitalnih modela, čime se smanjuje potreba za tradicionalnim metodama obrade materijala. U građevinarstvu, tako se ne samo skraćuje vrijeme izgradnje objekata, već i smanjuje otpad te povećava fleksibilnost u izradi složenih geometrijskih oblika [3].

Primjena 3D tiska u građevinskom sektoru značajno se povećala posljednjih godina. Neki od ključnih razloga za to su ubrzanje procesa izgradnje, sniženje troškova rada i ušteda materijala te rješavanje problema nedostatka radne snage. Osim toga, ova tehnologija ima značajan potencijal za poboljšanje održivosti u građevinskoj industriji, koja tradicionalno ima visok utjecaj na okoliš zbog velike potrošnje resursa i emisija [4].

Softverski alati kao što su Google SketchUp, Inventor, SolidWorks te BIM (eng. Building Information Modeling) programi poput Autodesk Revita već se koriste za izradu digitalnih

modela i planiranje projekata. Integracija ovih alata s tehnologijama poput 3D tiska dodatno unapređuje mogućnosti projektiranja i izvedbe [5]

2. POVIJEST I EVOLUCIJA 3D TISKA U GRAĐEVINARSTVU

Razumijevanje šire pozadine 3D tiska ključno je za cjelovito vrednovanje njegove važnosti u građevinskoj industriji. Tehnologija 3D tiska, koja je svoje začetke imala u ranim 1980-ima kao alat za brzu izradu prototipova, značajno se razvila i proširila svoju primjenu u brojnim industrijama. Ova evolucija omogućila je usvajanje 3D tiska u različitim sektorima, donoseći prednosti poput brze proizvodnje, prilagodljivosti i sniženja troškova.

Razumijevanje tehnologija poput stereolitografije, izrade taloženjem filamenta (FFF, eng. Fused Filament Fabrication), selektivnog laserskog sinteriranja i digitalne obrada svjetla ključno je za prepoznavanje njihovog utjecaja na prototipiranje i širenje primjene 3D tiska. Sve ove tehnologije doprinose različitim aspektima konstruiranja, izradbe i proizvodnje, što omogućava njihovu primjenu u novim područjima, uključujući građevinarstvo.

U ovom radu će se opisati kako svaka od ovih tehnologija funkcionira i kako pridonosi širenju primjene 3D tiska u različitim sektorima, s posebnim naglaskom na građevinsku industriju.

2.1. Rani razvoj i ključne tehnologije 3D tiska

Godine 1981. Hideo Kodama proizveo je prvi 3D printer, uređaj za brzu izradu prototipova koji koristi smolu koja se može UV-polimerizirati za stvaranje dijelova sloj po sloj [8]. Chuck Hull, kojeg se smatra izumiteljem 3D tiska, podnio je prvu patentnu prijavu za stereolitografiju 1986. godine, bivajući odgovoran za njen razvoj i komercijalizaciju, a i za format .stl, koji je najčešće korišten u datotekama za 3D tisak [8].

2.1.1. Stereolitografija (SLA) [9]

Stereolitografija (SLA, eng. Stereolithography), jedna od najpriznatijih tehnika rapidnog prototipiranja, odlikuje se visokom preciznošću i mogućnošću izrade kompleksnih 3D struktura. Razvijena 1984. godine zahvaljujući Charlesu Hullu, ova tehnologija postavila je revolucionarni standard u proizvodnji komponenti izravno iz digitalnih modela, čime je značajno potaknula razvoj moderne aditivne proizvodnje.

Platforma za izradu prototipa uranja se u posudu s tekućom fotoosjetljivom smolom kako bi se započeo SLA proces. Platforma se nalazi malo iznad površine smole. Tehnologija prenosi poprečni presjek početnog sloja modela na smolu pomoću koncentriranog ultraljubičastog (UV) lasera, čime se stvrdnjava materijal u blizini lasera, dok smola ostaje tekuća na dijelovima koji nisu izloženi laserskoj zruci.

Platforma za izradu prototipa spušta se točno za debljinu prvog sloja nakon što je gotova. Preko skrnutog dijela, uređaj za ponovno nanošenje premaza nanosi novi sloj tekuće smole. Laser ponovno iscrtava presjek modela na ovom svježem sloju, gdje se stvrdnjava i prijanja uz prethodni sloj. Sloj za slojem, ovaj proces se nastavlja sve dok se model ne završi.

Po završetku, model se pažljivo vadi iz posude. Kako bi se uklonili svi tragovi tekuće smole, dio se ispire odgovarajućim otapalom. Nakon uklanjanja svih potpornih struktura korištenih tijekom tiska, proizvod prolazi kroz završni postupak stvrdnjavanja u UV pećnici, čime se osigurava da smola postigne svoju krajnju čvrstoću.

2.1.2. Digitalna obrada svjetla (DLP) [10]

Digitalna obrada svjetla (DLP, eng. Digital Light Processing) koju je razvio Larry Hornbeck 1987. godine predstavlja jedan od ključnih napredaka u 3D tisku. DLP projicira sliku svakog sloja modela na tekuću fotopolimernu smolu pomoću digitalnog mikrozrcala (DMD). Za razliku od stereolitografije (SLA), koja koristi intenzivni UV laser, DLP koristi konvencionalniji izvor svjetlosti, poput LED svjetiljke. Tisuće malih zrcala unutar DMD reflektiraju svjetlost kako bi se smola stvrdnula u sloj s uzorkom.

U usporedbi sa SLA-om, DLP nudi niz prednosti, uključujući veću brzinu tiska i mogućnost stvrdnjavanja cijelog sloja odjednom, umjesto stvaranja svakog dijela laserskom zraku. Nadalje, DLP pisari često koriste manje materijala od SLA pisara, što smanjuje troškove i otpad. Za aplikacije koje zahtijevaju detaljne i dugotrajne komponente, DLP je izvrsna opcija zbog svoje visoke rezolucije i sposobnosti proizvodnje robusnih dijelova.

2.1.3. Tisak taljenjem filameta (FDM/FFF) [11]

Za stolna računala i osnovne 3D pisaae, jedan od najraširenijih postupaka 3D tiska je postupak FDM (eng. Fused Deposition Modeling), koji je izumio Scott Crump 1989. godine. U procesu FDM-a, grijana mlaznica koristi se za ekstrudiranje termoplastične niti, koja se taloži sloj po sloj prema digitalnom dizajnu.

FDM se ističe zbog svoje jednostavnosti u uporabi i konkurentne cijene, što ga čini pristupačnim malim poduzećima i entuzijastima. Ova tehnologija koristi različite termoplastične materijale, što omogućava izradu funkcionalnih dijelova i prototipova. Iako tehnologija FDM nudi nižu razlučivost u usporedbi sa SLA i DLP, njezina pristupačnost i jednostavnost upotrebe osiguravaju joj široku primjenu.

2.1.4. Selektivno lasersko sinteriranje (SLS) [12]

Drugi značajan napredak u 3D tisku je selektivno lasersko sinteriranje (SLS, eng. Selective Laser Sintering), koje je prvi predstavio Carl Deckard 1989. godine. Za razliku od tehnologija SLA i DLP, koje koriste tekuće smole, SLS koristi praškaste materijale kao što su metal, keramika ili polimeri. Proces uključuje sinteriranje čestica praha sloj po sloj pomoću snažnog lasera, koji oblikuje materijal prema računalnom modelu.

SLS tehnologija je prepoznatljiva po svojoj sposobnosti proizvodnje funkcionalnih dijelova s izvrsnim mehaničkim svojstvima i složenom geometrijom. Budući da nesinterirani prah podržava kompleksne dizajne i geometrije, uklanja potrebu za potporama tijekom izrade. Stoga je SLS posebno koristan za proizvodnju prototipova i finalnih proizvoda koji zahtijevaju visoku čvrstoću i dugotrajnost.

2.2. Primjena 3D tiska izvan prototipiranja [13]

Ključna primjena 3D tiska izvan prototipiranja je proizvodnja krajnjih proizvoda. U industriji zrakoplovstva, na primjer, 3D tisak omogućava proizvodnju lakih i kompleksnih dijelova za avione koji poboljšavaju učinkovitost i performanse. U automobilskoj industriji, proizvođači koriste 3D tisak za stvaranje prilagođenih dijelova i komponenti, što doprinosi smanjenju troškova i vremena razvoja novih vozila.

Zdravstveni sektor sve više primjenjuje 3D tisak za medicinske implantate, proteza i ortopedskih pomagala. Mogućnost izrade složenih tvorevina osigurava njihovu individualizaciju prema specifičnim potrebama pacijenata.

U industriji mode i nakita, 3D tisak omogućava stvaranje kompleksnih i jedinstvenih dizajna koji bi tradicionalnim metodama bili teže izvedivi. Dizajneri mogu brzo testirati i proizvoditi prilagođene komade, što otvara nove mogućnosti za kreativnost i inovaciju.

Osim toga, 3D tisak se koristi u proizvodnji alata i opreme u industriji. Korištenje 3D tiska za izradu prilagođenih alata može sniziti troškove i vrijeme potrebno za izradu, dok istovremeno omogućava brzu prilagodbu specifičnim potrebama proizvodnje.

2.3. Prijelaz na građevinski sektor

Prototipovi zgrada i eksperimentalni projekti bile su prve upotrebe 3D tiska u građevinskoj industriji, dokazujući da se tehnologija može koristiti za stvaranje građevinskih objekata. Kako bi se procijenio potencijal tehnologije, rani napori bili su usmjereni na izgradnju malih struktura i arhitektonskih modela. Ove su inicijative ponudile pronicljive informacije o potencijalu i ograničenjima 3D tiska u građevinskoj industriji [14].

Tijekom razvoja tehnologije, brojni pilot-projekti, stambenih i javnih građevina, demonstrirali su primjenu 3D tiska u građevinskom sektoru. Ove inicijative pružile su uvide u tehnički potencijal, ekonomsku održivost i operativna ograničenja 3D tiska u kontekstu građevinskih projekata [14].

Na primjer, završetak projekta tvrtke Winsun u Kini 2014. godine uključivao je korištenje tehnologije 3D tiska za izradu deset kuća. Ovaj je projekt pokazao kako se 3D tisak može koristiti za izradu prilagođenih arhitektonskih rješenja, omogućujući dizajn kuća prema specifičnim potrebama korisnika, uz skraćenje vremena i sniženje troškova izgradnje [14]. Daljnje šireći potencijalne upotrebe ove tehnologije, "3D-Printed Habitat Challenge" koji su provele NASA i druge organizacije, istraživale su upotrebu 3D tiska za izgradnju ljudskih staništa na drugim planetima [15].

3. MATERIJALI I TEHNOLOGIJE POVEZANE S 3D TISKOM

Razvoj 3D tiska u građevinarstvu omogućava inovativne pristupe u izgradnji, oslanjajući se na sofisticirane tehnologije i specifične materijale. Kako bi se razumjela kompleksnost ove tehnologije, važno je razmotriti različite aspekte, poput korištenih materijala, tehničkih ograničenja, troškova i regulatornih izazova, koji utječu na uspješnost i primjenu 3D tiska u građevinskim projektima. U nastavku su prikazani ključni elementi koji čine ovu tehnologiju, uključujući materijale koji se koriste, vrste tiskarskih tehnika te različite tipove 3D printera prilagođenih za građevinske svrhe.

3.1. Materijali

Prema istraživanjima, metalni, polimerni i cementni materijali najčešće se koriste u 3D tisku [20]. U ovom radu fokus će biti stavljen na cementni materijal, budući da je najčešće primijenjen u građevinarstvu, osobito za izgradnju zgrada.

Postoje četiri fizikalna svojstva materijala koja je potrebno zadovoljiti za uspješan tisak struktura:

- Stlačivost – svojstvo koje određuje koliko se lako materijal može transportirati pumpom do mlaznice.
- Viskoznost – svojstvo koje opisuje lakoću prolaska materijala kroz mlaznicu.
- Čvrstoća – otpornost tiskanog materijala na deformacije pod opterećenjem.
- Vrijeme obradivosti (eng. '*Open time*') – vremenski period u kojem ostala svojstva materijala ostaju unutar prihvatljivih granica.

Osim navedenih karakteristika, i drugi elementi igraju važnu ulogu u uspjehu 3D tiskanja betona. Na kvalitetu otisnutog betona utječe brzina tiska, koja također određuje čvrstoću spojeva između slojeva. Također, orijentacija tiska može utjecati na opće karakteristike betona [21], poput čvrstoće, vodopropusnosti, mikrostrukture i adhezije slojeva. Razumijevanje tih utjecaja ključno je za optimiranje procesa 3D tiskanja te osiguranje da betonski elementi zadovolje potrebne performanse i sigurnosne standarde.

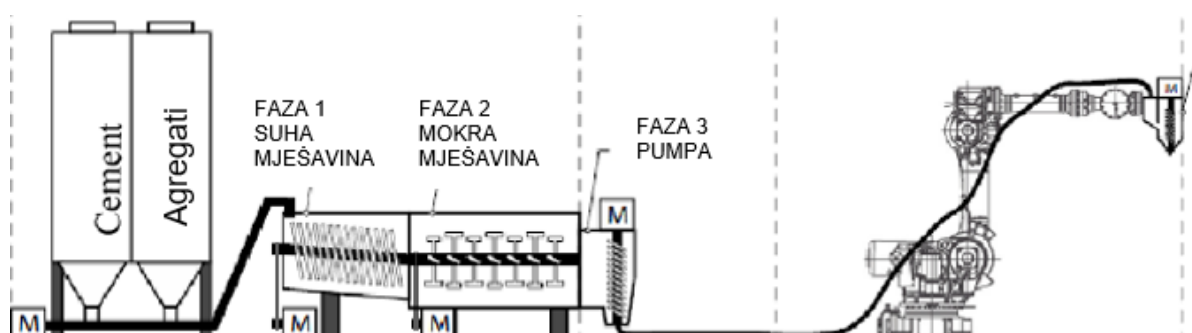
Rasuti materijali, poput zemlje ili drobljenog kamena, u kombinaciji s Portland cementom ili letećim pepelom (fly ash), te dodacima za obradivost, često se koriste u betonskim smjesama koje su kompatibilne s 3D tiskom. Leteći pepeo je sitni prah nastao sagorijevanjem ugljena u kotlovima i često se koristi kao dodatak u građevinskoj industriji, osobito u betonu.

Ojačanja su još jedna značajka materijala koju treba uzeti u obzir. Ovo je ključna komponenta za osiguranje da se zgrada ne uruši. Jedna od trajnih poteškoća s 3D tiskom u građevinskoj industriji je armatura. Ručno postavljanje čeličnih šipki za armiranje između slojeva prije ili tijekom tiska jedan je od načina za ojačavanje 3D tiskanih struktura [22]. Međutim, ovaj pristup može biti izazovan jer čelična armatura može ometati kretanje glave pisaača. Kao alternativno rješenje, može se tiskati šuplja konstrukcija, a čelična armatura se može dodati kasnije spajanjem armaturnih šipki pomoću ispunjenog betona [23]. Alternativna tehnika armiranja koja je prikladnija za 3D tisak je uporaba betona ojačanog vlaknima. Ovaj pristup nudi poboljšanu geometrijsku točnost, kraće vrijeme proizvodnje i niže troškove rada uz potpunu automatizaciju procesa [22]. Čelična vlakna korištena su za stvaranje betona ojačanog vlaknima iznimno visokih performansi. Prema studiji provedenoj s ovom vrstom betona, on pokazuje dobre kvalitete i stoga može zadovoljiti potrebe većine konstrukcijskih primjena [24]. Iako se čelik koristi kao armatura za ovu vrstu betona, mogu se koristiti i druga vlakna, uključujući ugljik ili staklo [22].

S uvođenjem betona armiranog vlaknima u 3D tiskanje u građevinarstvu, pojavljuje se potreba za usklađivanjem s novim normama. Trenutni standardi u građevinskoj industriji nisu prilagođeni novim materijalima i tehnologijama poput betona armiranog vlaknima [22]. Da bi se osigurala sigurnost i učinkovitost ovih novih materijala, potrebno je razviti specifične smjernice za upotrebu čelične armature u kombinaciji s 3D tiskanim strukturama. Također je potrebno uspostaviti propise koji će regulirati projektiranje betona armiranog vlaknima, uključujući detalje kao što su omjer mješavine i druge relevantne karakteristike [22].

3.2. Uređaji za prijenos i pripremu materijala za 3D tisk [16]

U tehnologiji 3D tiskanja u građevinarstvu, uređaji kao što su mlaznica, crpka i miješalica (Slika 1.), imaju presudnu ulogu u procesu proizvodnje i oblikovanja građevnih elemenata. Njima se omogućuje precizna kontrola materijala te podešavanje radnih parametara tiskarskih uređaja, poput regulacije protoka betona, brzine ekstruzije i konzistencije materijala.



Slika 1. Uređaji za prijenos i pripremu materijala [16]

Mlaznica je osnovni element 3D tiskarskog sustava, koji direktno utječe na kvalitetu i točnost završnih proizvoda. U kontekstu građevinarstva, mlaznice su specijalno konstruirane za isporuku materijala poput betonskih smjesa ili drugih građevinskih materijala. Njihova funkcija je da reguliraju protok materijala, omogućujući postizanje željenih dimenzija i detalja u tiskanim strukturama. Različite mlaznice mogu biti korištene za različite vrste materijala, a njihova veličina i oblik su prilagođeni specifičnim zahtjevima projekta.

Glavna funkcija pumpe je transport materijala iz miješalice do mlaznice. Pumpa mora biti izuzetno snažna i pouzdana zbog visoke viskoznosti i težine materijala kao što su betonske smjese, treba biti sposobna održavati konstantan pritisak i protok materijala kako bi se osigurala ravnomjernost i kontinuitet u tiskanju.

Uloga miješalice je da pripremi i homogenizira materijale koji se koriste u procesu tiskanja. U slučaju betona ili drugih kompozitnih materijala, miješalica mora osigurati da se svi sastojci ravnomjerno pomiješaju kako bi se postigla potrebna konzistencija i svojstva materijala. Kvaliteta smjese direktno utječe na čvrstoću i dugovječnost gotovih građevinskih elemenata, stoga je važno da miješalica bude učinkovita i precizna u svom radu.

3.3. Robotski sustavi [17]

U 3D tiskanju konstrukcija, mlaznice se najčešće instaliraju na portalnim (Slika 2.) i zglobnim robotskim sustavima (Slika 3.).

Portalni robotski sustavi jesu jedan od najraširenijih oblika nanošenja materijala u 3D tiskanju građevinskih objekata. Ovi sustavi koriste stabilnu strukturu s pomičnim dijelovima koji omogućavaju tiskanje velikih i ravnih površina s visokom točnošću. S obzirom na svoju konstrukciju, portalni sustavi omogućuju rad u većem radnom prostoru bez potrebe za čestim repozicioniranjem ili premještanjem. Međutim, njihova veličina i stabilnost znače da zauzimaju više prostora na gradilištu i mogu biti manje fleksibilni u pogledu prilagodbe na složene geometrijske oblike. Ovi sustavi su posebno učinkoviti za projekte koji zahtijevaju tiskanje velikih struktura, gdje stabilnost i točnost dolaze do izražaja.



Slika 2. Portalni robotski sustav [17]

Zglobni robotski sustavi predstavljaju alternativan pristup nanošenju materijala u 3D tiskanju, koristeći robotske ruke s više stupnjeva slobode, koje omogućuju kretanje u različitim smjerovima. Ovi sustavi su izuzetno fleksibilni i prilagodljivi, što ih čini pogodnima za tiskanje složenih geometrijskih oblika i preciznih dizajna. Robotska ruka može se lako montirati na prijenosnu platformu, što omogućava veću mobilnost i manju zauzetost prostora u usporedbi s portalnim sustavima

Ipak, radni prostor kod robotskih sustava s više stupnjeva slobode obično je manji zbog ograničenja u maksimalnom dosegu ruke, kako bi se izbjeglo stvaranje velikih momenata na bazi robota. Ovo ograničenje znači da fiksni 3D printer temeljen na robotskoj ruci nije sposoban tiskati velike strukture poput cijelih kuća u jednom potezu. Za prevladavanje ovog problema postoje dva glavna pristupa: prvo, tiskanje manjih komponenti koje se kasnije sastavljaju na gradilištu; drugo, ponovno pozicioniranje robotske ruke oko strukture kako bi se tiskali različiti dijelovi zgrade.

U oba slučaja, veličina i oblik tiskane zgrade donekle su ograničeni mogućnostima robotskih sustava, što može utjecati na efikasnost i brzinu izgradnje. Iako pružaju značajnu fleksibilnost, ovi sustavi zahtijevaju pažljivo planiranje i koordinaciju kako bi se maksimalno iskoristile njihove prednosti.



Slika 3. Zglobni robotski sustav [17]

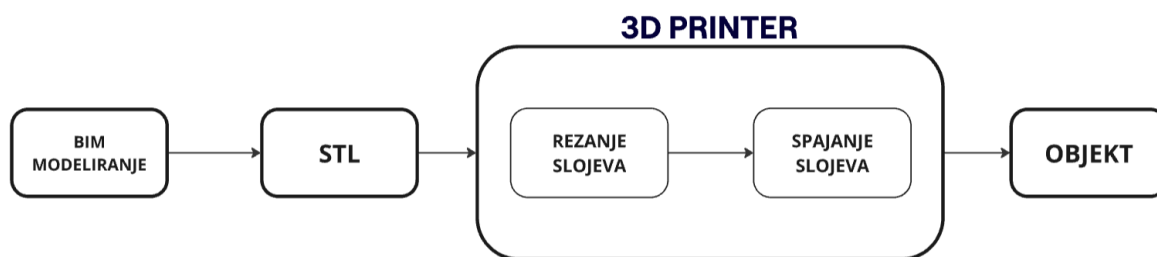
3.4. Informacijsko modeliranje zgrada (BIM)

3D model je potreban za 3D tisak bilo kojeg građevinskog objekta. Informacijsko modeliranje zgrada (BIM) najraširenija je softverska platforma u građevinskom sektoru [18]. Korištenjem informacijskih i komunikacijskih tehnologija za optimiranje životnog ciklusa

projekta, postiže se sigurniji i učinkovitiji projekt [18]. BIM je već široko prihvaćen u konvencionalnim građevinskim projektima, gdje se koristi za projektiranje [19].

CAD datoteku preuzetu iz BIM programa potrebno je pretvoriti u strojni jezik za 3D tisk. Najčešće korišteni format za ovaj prijenos podataka je STL, koji je dobio ime po stereolitografiji, prvoj metodi korištenoj za 3D tisk. Proces prijenosa podataka iz BIM modela, preko STL formata, te postupci rezanja i spajanja slojeva koji vode do konačnog tiska objekta (Slika 4.). Rezanje slojeva (eng. slicing) je proces u kojem se 3D model iz BIM-a razlaže na tanke horizontalne slojeve, kako bi ih 3D printer mogao tiskati jedan po jedan. Nakon toga slijedi spajanje slojeva, gdje printer svaki novi sloj materijala povezuje s prethodnim, čime se postupno gradi konačni objekt.

Također, BIM omogućuje izvođenje potrebnih vrijednosnih procjena za izgradnju održivije infrastrukture [18]. Održivi dizajn koristi se u izgradnji s ciljem unapređenja održivosti. Glavni cilj održivog dizajna je smanjiti štetne učinke na okoliš uz istovremeno poboljšanje kvalitete izgrađenog okoliša [18].



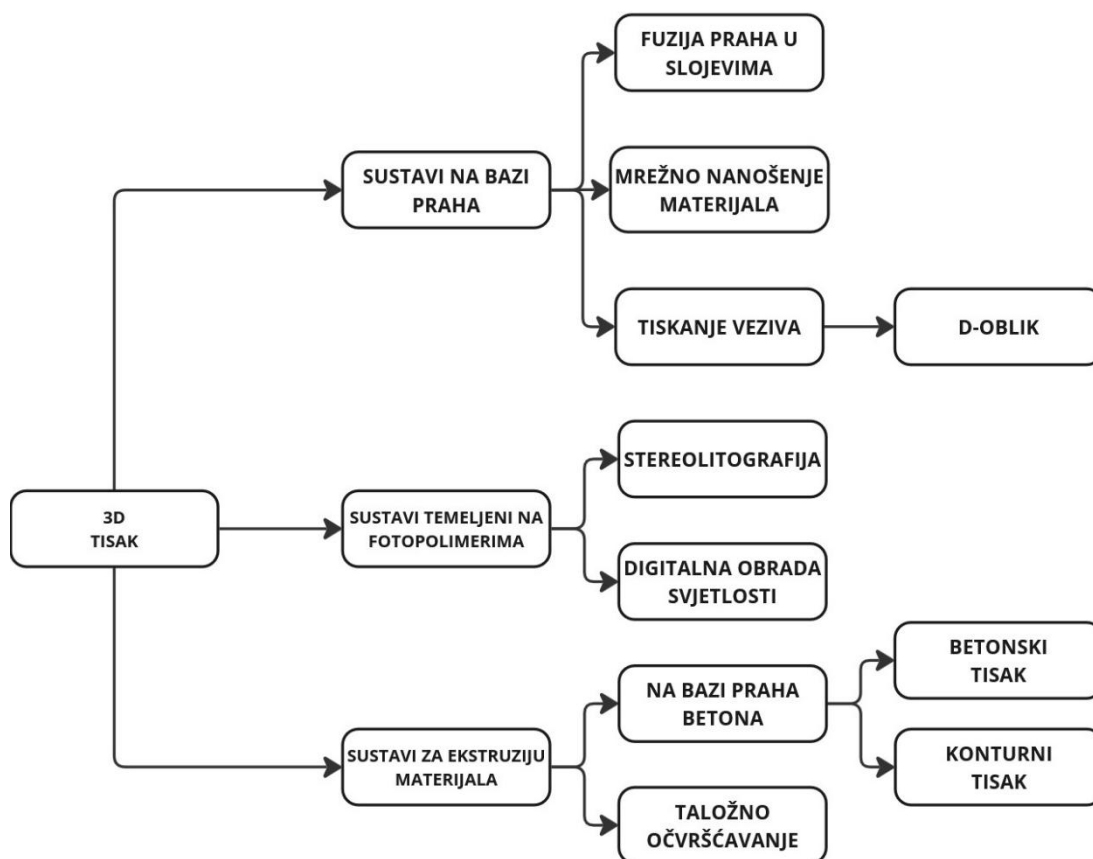
Slika 4. Proces 3D tiska

Sektor arhitekture, inženjeringa i gradnje (AEC) koristi Bentley Systems MicroStation i Autodesk Revit kao dva BIM programa [18]. Mehaničke i strukturne karakteristike betona, kao što su njegova gustoća i tlačna čvrstoća, moraju se opisati i uključiti u BIM model za korištenje u 3D tiskanim građevinskim projektima [19].

Osim smanjenja troškova i vremena isporuke, korištenje BIM tehnologije u 3D tisku povećava produktivnost, učinkovitost i kvalitetu [18]. Skraćeno vrijeme proizvodnog ciklusa, brže predviđanje troškova, energetski učinkovitija dizajnerska rješenja i manje pogrešaka u koordinaciji dizajna neke su od drugih prednosti [19].

4. VRSTE 3D TISKA U GRAĐEVINARSTVU

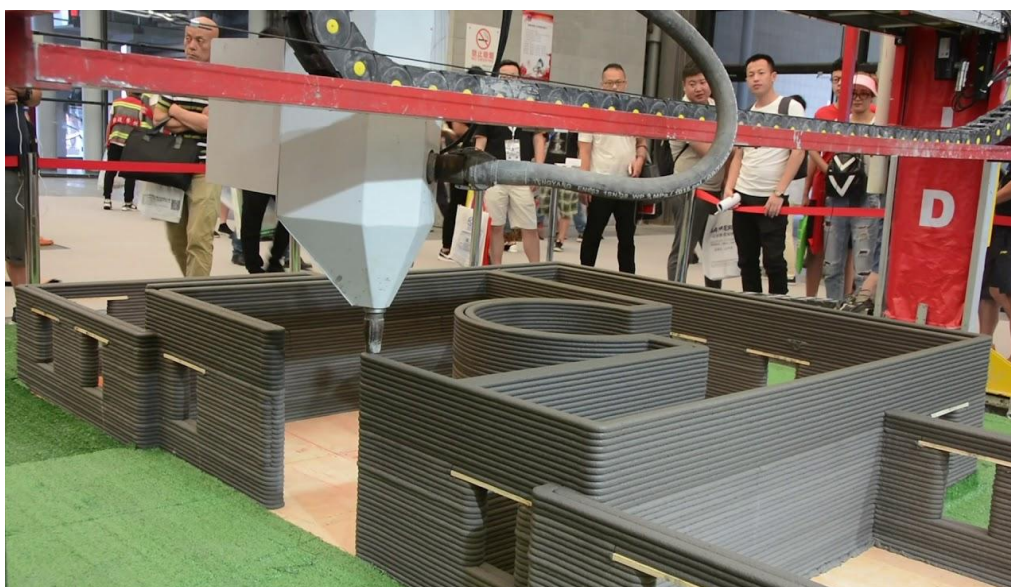
Tri najčešće korištene tehnologije 3D tiska u građevinarstvu jesu: konturni tisak (eng. Contour Crafting, CC), betonski tisak (eng. Concrete Printing, CP) i D-oblik (eng. D-Shape). Ove tehnologije predstavljaju različite primjere aditivne izradbe (Slika 5.), gdje se materijal dodaje sloj po sloj kako bi se izradili građevni elementi.



Slika 5. Vrste 3D tiska u građevinarstvu

4.1. Konturni tisak (CC) [25]

Konturni tisak najnovija je i najperspektivnija tehnologija 3D tiska koju je izumio Behrokh Khoshnevis sa sveučilišta Southern California. CC je proces na licu mjesta gdje se materijal (obično pasta na bazi cementa) ekstrudira sloj po sloju (Slika 6.). CC sustav sastoji se od portalnog sustava i mlaznice. Sustav portala u CC tehnologiji vrlo je sličan onome koji se koristi u proizvodnji montažnih betonskih elemenata. Međutim, za razliku od tradicionalne montaže, gdje su radnici na terenu, u CC procesu zaposlenici na licu mjesta teoretski nisu potrebni jer je cijeli postupak u potpunosti automatiziran. Skup pokretanih i računalno kontroliranih lopatica koristi se za manipulaciju tiskanog materijala istisnutog iz mlaznice. Ovo je učinjeno kako bi se osigurala glatke i točne ravne površine slobodnog oblika. Jedan od ključnih izazova u izgradnji kontura jest održavanje jednolikost viskoznosti materijala, koja je presudna za postizanje strukturne čvrstoće i završnu glatkost površine [16].



Slika 6. Konturni tisak [25]

4.2. Betonski tisak (CP) [26]

Betonski 3D tisak temelji se na ekstruzijskom sustavu za taloženje betonskih slojeva, pri čemu nadmašuje tehnologiju Contour Crafting (CC) u preciznosti geometrijske kontrole i

rezoluciji tiska. Analogno FDM tehnici, ovaj pristup zahtijeva primjenu privremenih potpornih struktura kako bi se spriječilo deformiranje slojeva tijekom procesa izgradnje [17]. Ali zahtijeva dodatno održavanje i naknadnu obradu, poput uklanjanja potporne strukture. Razlučivost pisača je od 4 do 6 mm.

Tehnologija ekstruzije materijala vrlo je slična modeliranju taloženja (FDM) ili *inkjet* tiskanju, gdje se zagrijani materijal ekstrudira duž unaprijed određene putanje i zatim stvrdnjava. Sustav ekstruzije koristi pumpu za stvaranje tlaka unutar dovodne cijevi i ekstrudira (Slika 7.). Veličina čestica agregata je ključna jer vrlo velika veličina čestica može začepiti mlaznicu. Nasuprot tome, vrlo mala veličina čestica može uzrokovati porast hidratacije topline cementa. Zbog toga je odabir prave veličine čestica agregata ključan i ovisi o veličini mlaznice koja se koristi.



Slika 7. Betonski tisak [26]

4.3. D-oblik [27]

Tehnologija D-oblika predstavlja pionirski pristup u 3D tisku velikih arhitektonskih struktura, primjenjujući robotski sustav za slojevito taloženje pijeska i neorganskih veziva, kao što su mješavine morske vode i magnezijevih spojeva. Ova metoda omogućuje izradu složenih geometrijskih formi, uključujući nosače mostova, skulpturalne instalacije ili čak cjelovite

građevine, s preciznošću koja nadmašuje konvencionalne graditeljske tehnike [19]. Ova tehnologija funkcionira tako da se na slojeve praha raspršuje vezivni materijal, koji uzrokuje skrućivanje i stvrdnjavanje praha u čvrstu strukturu. Proces skrućivanja traje oko 24 sata. Nakon što se ispiše jedan sloj, dodaje se novi sloj praha, i postupak se ponavlja dok se cijela struktura ne završi.

D-oblik pisači mogu izraditi objekte dimenzija do 6×6×6 metara, što je dovoljno za velike građevinske projekte. Ova tehnologija omogućava stvaranje struktura s tlačnom čvrstoćom od 235 do 242 MPa, što ih čini izuzetno izdržljivima. Prah koji se ne učvrsti ostaje oko strukture kao potpora tijekom tiskanja, a kasnije se može reciklirati za izradu drugih objekata.

Ova tehnologija se uglavnom koristi u tvornicama za izradu složenih građevinskih elemenata, ali se istražuje i mogućnost njezine primjene izravno na gradilištima, gdje bi se mogli koristiti lokalno dostupni materijali poput pijeska.



Slika 8. D-oblik [27]

5. EKOLOŠKI I EKONOMSKI ASPEKTI 3D TISKA U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI

Građevinska industrija značajno doprinosi ekološkom stresu jer godišnje troši 36 % globalno potrošene energije i masovno iskorištava neobnovljive prirodne resurse [28]. Osim toga, proizvodnja građevinskog materijala i operacije na terenu odgovorne su za 39 % globalnih emisija stakleničkih plinova [28]. Zbog toga je ključno kontinuirano pratiti moguće zdravstvene rizike i emisije povezane s građevinskim praksama kako bi se postigli ciljevi održivog razvoja. Razumijevanje utjecaja građevinskih praksi i infrastrukture na okoliš omogućuje dizajniranje energetski učinkovitih rješenja koja mogu značajno smanjiti negativan ekološki učinak.

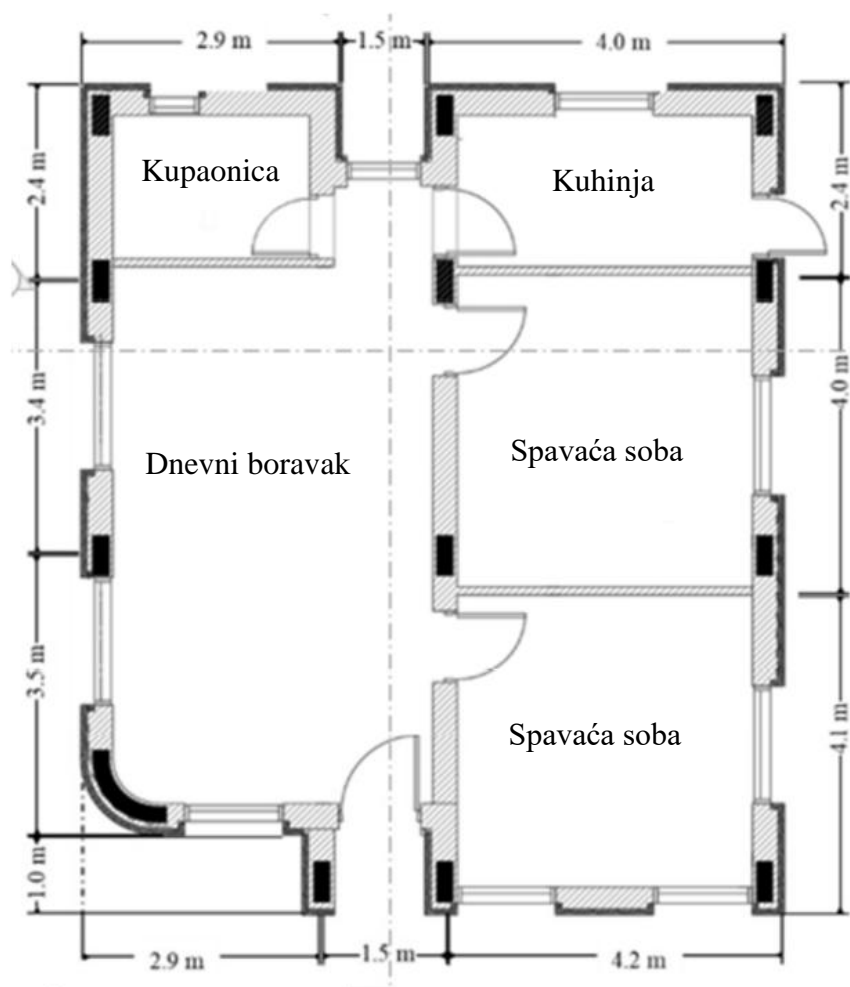
Istraživanje pod nazivom "Environmental Footprint and Economics of a Full-Scale 3D-Printed House" (2021) [29] analizira utjecaj tehnologije 3D tiska na okoliš, ističući smanjenje otpada i potrošnje energije u usporedbi s tradicionalnim metodama gradnje. S druge strane, članak "Cost Viability of 3D Printed House in UK" (2018) [30] detaljno istražuje ekonomsku održivost 3D tiska, pokazujući kako ova tehnologija može značajno smanjiti troškove gradnje, osobito u kontekstu britanskog tržišta.

Navedena će se istraživanja, u nastavku pobliže opisati, zbog njihove važnosti, a koja se sastoji u tome da 3D tisak ne samo da doprinosi ekološkoj održivosti, već također nudi financijsku isplativost, čineći ga privlačnim rješenjem za budućnost građevinarstva.

5.1. Ekološki aspekti [29]

Studija slučaja bila je samostojeća prizemnica u Ujedinjenim Arapskim Emiratima. Tlocrt i visinski izgled odabrane kuće, koja ima neto površinu od 90 m² i ukupnu visinu od 4,5 m,

prikazani su na slici 9. Predložena konstrukcijska rješenja uključuju dvije metode gradnje: (1) tradicionalna gradnja s betonskim zidovima i ravna ploča s gredama i stupovima izlivenim na mjestu; i (2) aditivna proizvodnja sa samoojačavajućim mortom za tiskanje. Treba spomenuti da je, prema riječima lokalnih izvođača radova, tradicionalno izgrađena kuća trebala četiri mjeseca da se dovrši, dok je za 3D tiskanu zgradu bilo potrebno samo dva tjedna. Budući da su završni radovi poput vodovoda, termotehnički sustavi (HVAC, eng. Heating, Ventilation, Air Conditioning) i elektroinstalacije bili jednaki u oba slučaja, oni nisu uračunati u ukupni vremenski rok.



Slika 9. Tlocrt kuće [29]

5.1.1. Metodologija procjene ekološkog otiska i ekonomske isplativosti [29]

Studija uspoređuje ekološki učinak kuće izgrađene 3D tiskom i tradicionalnim metodama, koristeći 1 m² površine prizemnice kao funkcionalnu jedinicu za izračun inventara. Ograničenja

sustava koji se ispituju, uključujući materijalnu proizvodnju i konstrukciju, rad, održavanje i fazu završetka životnog vijeka. Ipak, kroz fazu rada, analiza životnog ciklusa (LCA, eng. Life Cycle Analysis) bila je ograničena na vađenje materijala, izgradnju, potrošnja energije i transport. Slični dijelovi, kao što su završna obrada, termotehničkih sustava (HVAC) i zemljani radovi, izostavljeni su iz oba konstrukcijska sustava. Faze proizvodnje i završetka životnog ciklusa također nisu uključene u studiju, budući da su smatrane zanemarivima.

Autori su primijenili niz metodologija kako bi procijenili ekološki otisak i ekonomsku isplativost izgradnje kuće pomoću 3D tiska. Korištena metodologija obuhvaćala je analizu životnog ciklusa (LCA), procjenu potrošnje energije, procjenu utjecaja na okoliš (LCIA, eng. Life Cycle Impact Assessment) te analizu troškova životnog ciklusa (LCCA, eng. Life-Cycle Cost Analysis).

Inventar životnog ciklusa (LCI, eng. Life Cycle Inventory) bila je temeljna metoda koja se koristila za prikupljanje podataka o svim resursima i energiji potrebnim u procesu izgradnje kuće. Ovaj pristup uključuje sve faze, od nabave sirovina, preko procesa 3D tiska, do završne obrade, kao i generiranje otpada i emisija. Na temelju ovih podataka, autori su mogli dobiti sveobuhvatan uvid u cjelokupan proces i njegov utjecaj na okoliš.

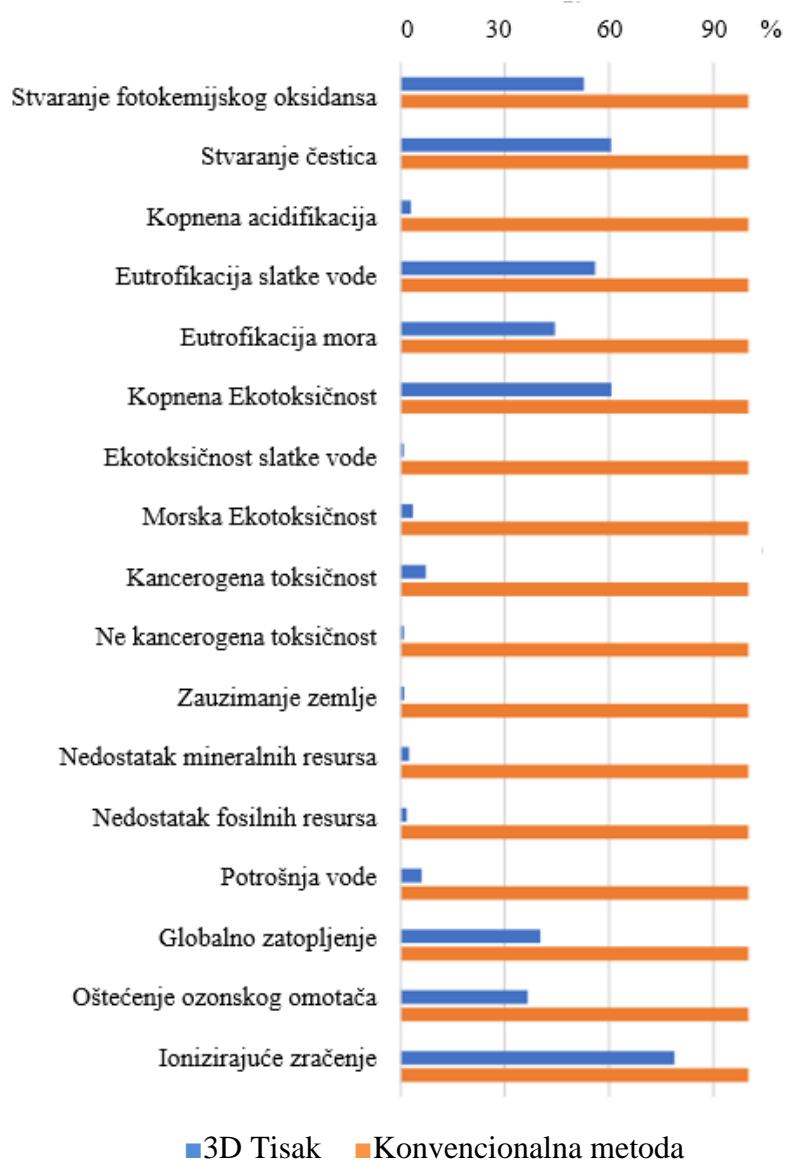
Potrošnja energije mjerena je tijekom svih faza izgradnje, uključujući pripremu materijala, sam 3D tisak, transport i montažu. Mjerenje potrošnje energije omogućilo je detaljnu analizu koliko je energije potrebno za izgradnju kuće korištenjem 3D tiska u usporedbi s tradicionalnim metodama gradnje.

Koristeći prikupljene podatke, provedena je procjena utjecaja na okoliš (LCIA) kako bi se kvantificirao ekološki utjecaj procesa 3D tiska. Ova procjena obuhvaćala je analizu emisija ugljikovog dioksida, potrošnje resursa, generiranog otpada i drugih faktora koji doprinose ukupnom ekološkom otisku.

5.1.2. Rezultati [29]

Analizom rezultata istraživanja, prikazani su relativni utjecaji različitih građevinskih sustava na okoliš prema različitim kategorijama utjecaja (Slika 10.). Jasno je da 3D tisak ima manje značajan ukupni učinak u svakoj kategoriji. Za većinu kategorija scenarij 3D tiska nadmašio je konvencionalni scenarij za više od 50 %, što se može objasniti učinkovitošću materijala. Oplate i armaturni čelik obično su potrebni za konvencionalnu konstrukciju, iako nisu potrebni u slučaju 3D tiska. Kao rezultat toga, sve emisije povezane s proizvodnjom,

otpremom, transportom i izradom materijala su smanjene. Dok su srednje kategorije za slatkovodne morske i kopnene vrste imale relativno niske postotke (od 0 do 7 %), utjecaj na ekosustav bio je zanemariv. Kategorija potrošnje vode bila je samo 20 % bolja za 3D tiskanu kuću, unatoč činjenici da su sve kategorije 3D tiska pokazale smanjene utjecaje. Razlog tome je u intenzivnoj upotrebi vode u procesima koji su zajednički za obje metode: proizvodnji cementa (koja ovisi o energiji iz ugljena i prirodnog plina) i transportu materijala.

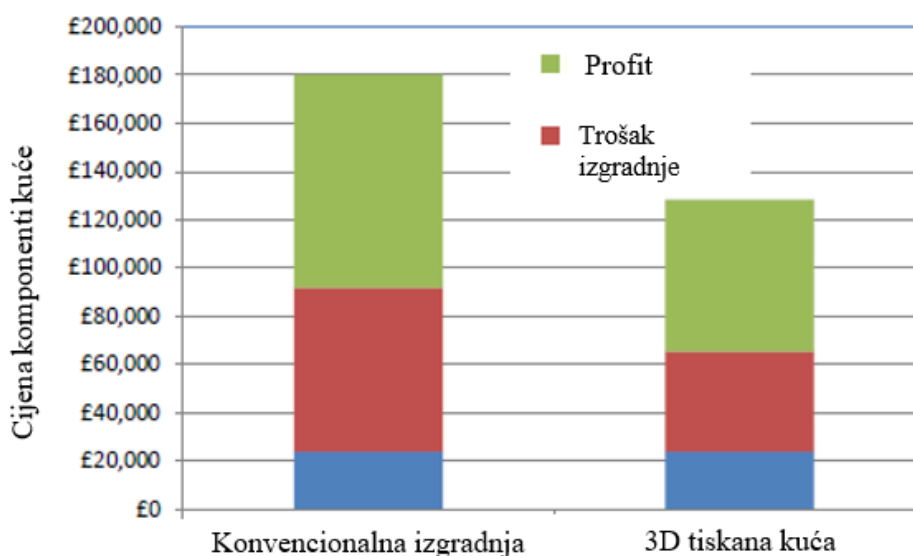


Slika 10. Rezultati istraživanja [29]

5.2. Ekonomski aspekti [30]

Rad [30] ispituje cijene izgradnje samostojećih, dvojnih i terasastih kuća u Ujedinjenom Kraljevstvu. Trošak izgradnje kuće može se podijeliti u četiri kategorije: rad, materijali, energija i dobit investitora. Dvojna kuća u Velikoj Britaniji s korisnom površinom od 90 m² koštala bi otprilike 68 000 GBP. Dok su 52 % od toga troškove rada, a preostalih 37 % su troškovi materijala, manje od 1 % su troškovi energije, a preostali dio su dobit građevinske tvrtke. Troškovi izgradnje unutarnjeg zida, vanjskog zida i temelja za dvojni kuću iznose otprilike 36 000 GBP u troškovima materijala i rada. To je otprilike 53 % od prethodno navedenih 68 000 GBP ukupnih troškova izgradnje. Očekivana ušteda je 19 000 GBP od troškova rada i 7 400 GBP od troškova materijala, uz pretpostavku smanjenja rada od 90 % i 50 % smanjenja materijala. To doprinosi smanjenju troškova izgradnje za 26 400 GBP po kući. Prosječna cijena kuće u Velikoj Britaniji je približno 180 000 GBP, dok je cijena zemljišta 24 000 GBP, a cijena izgradnje je 68 000 GBP.

3D tiskanje štedi više od 26 400 GBP na troškovima izgradnje, kako je prethodno izračunato. Cijena nove 3D tiskane kuće može biti 30 % niža od nove kuće, građene konvencionalnim metodama uz pretpostavku da će investitor uzeti isti omjer dobiti i troškova i da će cijena zemljišta ostati ista (Slika 11.). Treba istaknuti da ovaj izračun ne uzima u obzir trošak opreme za 3D tisak koja će se koristiti.



Slika 11. Usporedba cijena konvencionalno izgrađene kuće i 3D tiskane kuće [30]

6. MODELI OBITELJSKIH KUĆA ZA GRADNJU PRIMJENOM 3D TISKA

Izgradnja kuća pomoću 3D tiska, kako je opisano, otvara brojne mogućnosti, osobito u pogledu prednosti: brzine izgradnje, prilagodljivosti i energetske učinkovitosti. Stupanj izgradnje obiteljskih kuća *Roh-Bau* osigurava osnovu za daljnje prilagodbe i personalizaciju kuća prema željama investitora. Korištenje 3D tiska za izgradnju obiteljskih kuća omogućava brzu realizaciju osnovne strukture, ali i ostavlja prostor za kasniji dodatan rad na unutrašnjem uređenju, čime se optimira sveukupan proces gradnje.

Estetska dimenzija također ima ključnu ulogu u prihvaćanju novih tehnologija. Iako tragovi mlaznica stvaraju jedinstveni, futuristički izgled, dodatna obrada površina kako bi se primijenili tradicionalni materijali poput kamena i cigle omogućava da se obiteljske kuće bolje uklape u specifične okvire i estetske preferencije svakog lokalnog tržišta. Tako spoj tehnologije i tradicije čini 3D tiskane obiteljske kuće prihvatljivima i za konzervativnije kupce, zadržavajući istovremeno prednosti moderne gradnje.

U ovome radu, prizemnica s tri spavaće sobe, uzeta je kao standardni tip obiteljske kuće, nudeći funkcionalnost i organizaciju prostora prema obiteljskim potrebama. Pravokutnog oblika s jednostavnim krovom, ne samo da snižava troškove gradnje, već i doprinosi boljoj energetske učinkovitosti. Oblikovane su četiri izvedbe standardne obiteljske kuće, čineći osnovni katalog.

Kuće u katalogu oblikovane su u programu *SketchUp*, čime je omogućena točnost dimenzija a potom i fleksibilnost u kreiranju kupcu prilagođenih rješenja. Važno je naglasiti da tlocrt kuće ne mora nužno biti pravokutnog oblika, već može uključivati i zakrivljene linije, što može dodatno pridonijeti estetskoj vrijednosti i funkcionalnosti prostora. Ova sloboda u

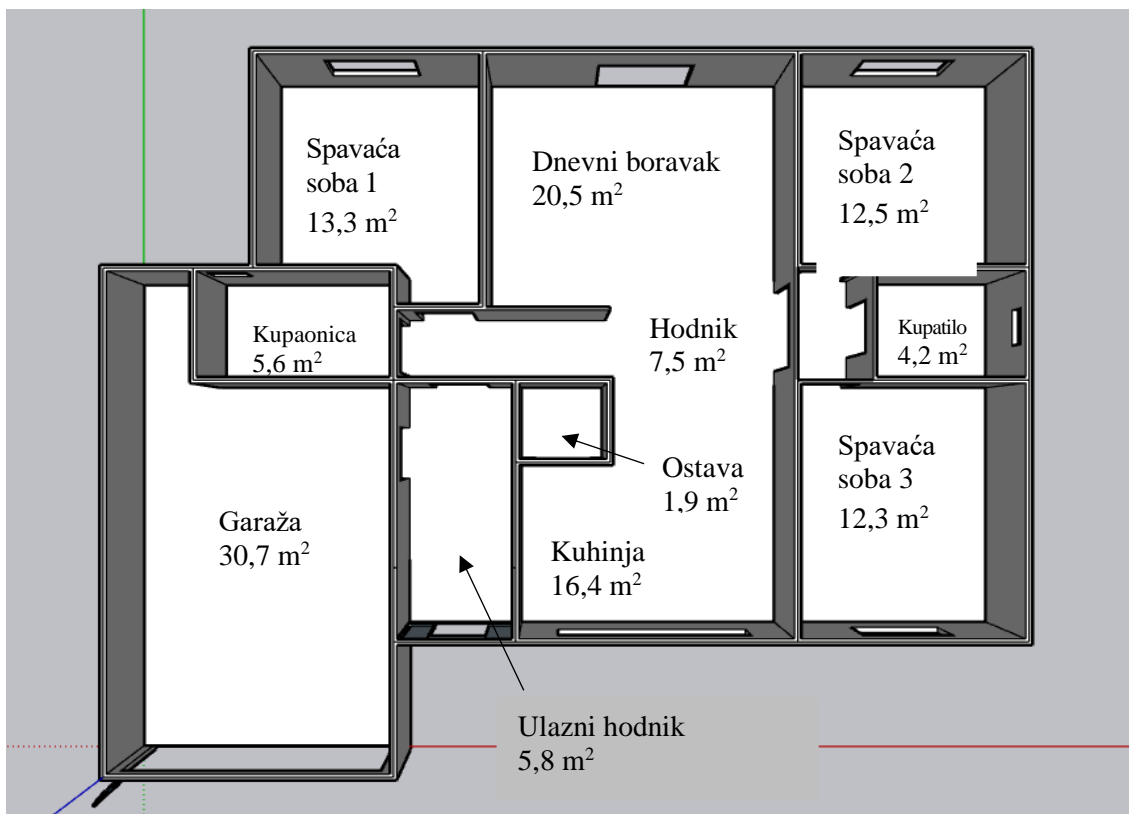
oblikovanju omogućuje prilagodbu tlocrtnih rješenja specifičnim potrebama i željama kupaca, dok 3D tiskanje i dalje osigurava preciznost i učinkovitost u izgradnji.

Za implementaciju ovog koncepta, u izradi kataloga u stvarnom svijetu koristila bi se tehnologija betonskog tiska, a za tu svrhu angažirani bi bili roboti poput COBOD-ovog BOD3 [31], čime se osigurava precizna i učinkovita gradnja prema unaprijed definiranim planovima.

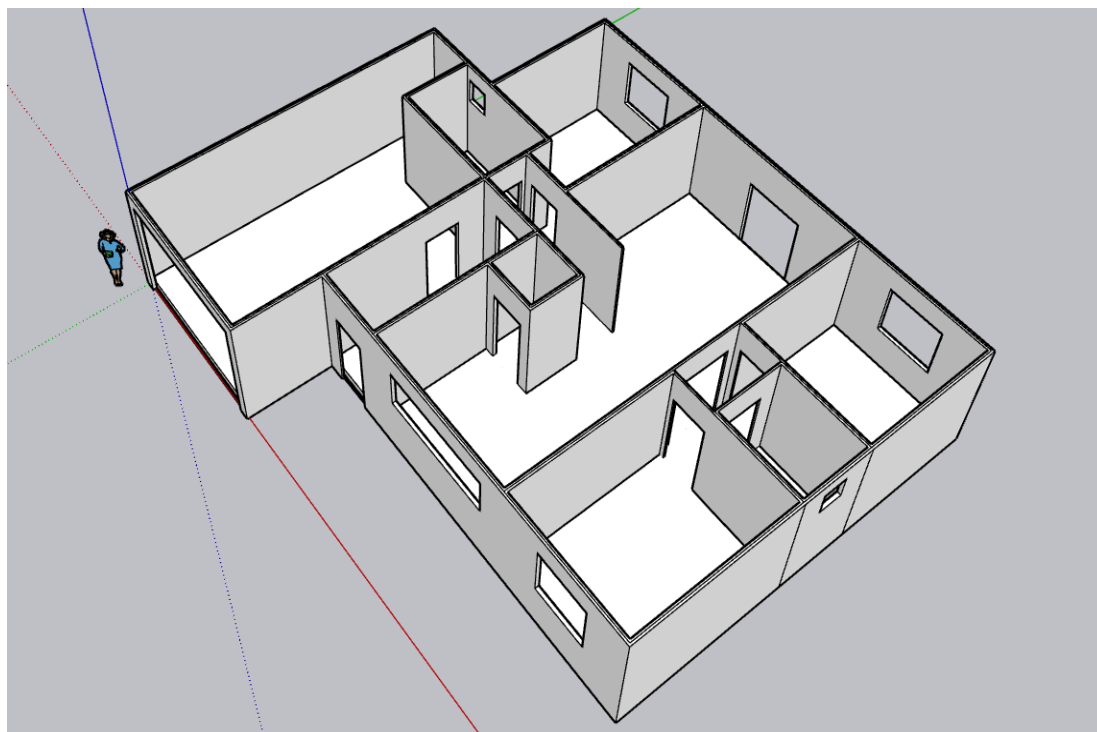
S obzirom na sve ove prednosti, 3D tiskane kuće mogu ponuditi izuzetno učinkovit i ekološki prihvatljiv način gradnje, koji istovremeno zadovoljava potrebe suvremenih obitelji i tržišta.

6.1. Kuća Mira – 130 m²

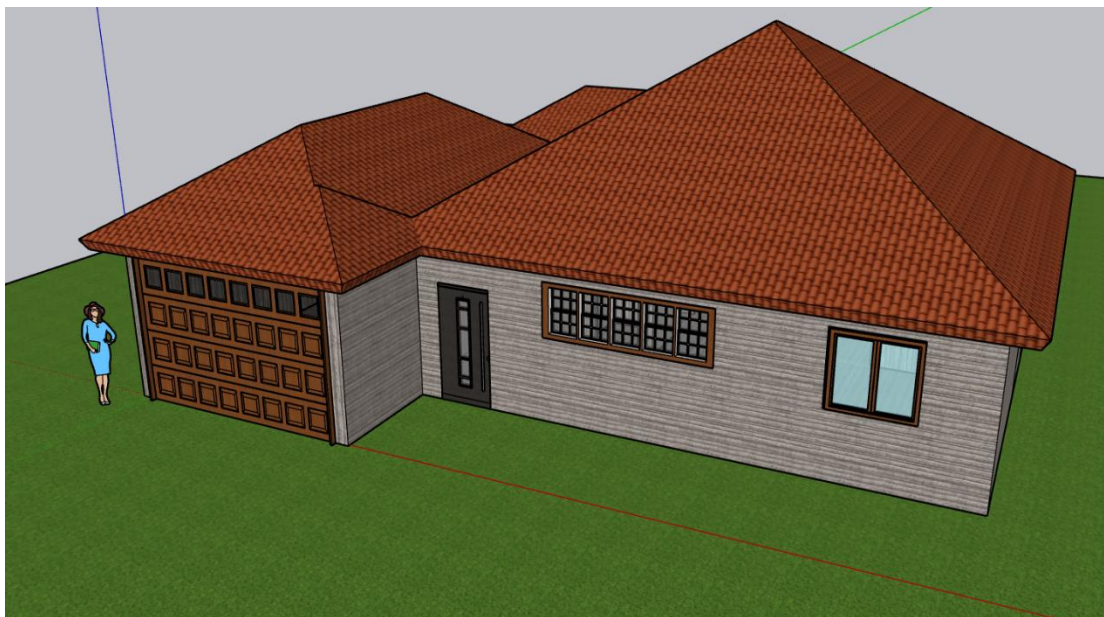
Kuća Mira (Slika 12.) prostrana je četverosobna kuća s većim dnevnim boravkom i garažom. Pri pogledu na prizemlja, kuća se može podijeliti na tri funkcionalne cjeline. Prva cjelina obuhvaća dnevni boravak, blagovaonicu i kuhinju, koji su povezani u otvorenom prostoru. Druga cjelina uključuje spavaći dio s tri sobe i dvije kupaonice, što omogućuje privatnost i udobnost za cijelu obitelj. Treća cjelina, koja obuhvaća garažni dio s kotlovnicom, smještena je na istoj strani kao i ulaz, što olakšava pristup i povezanost s ostatkom kuće.



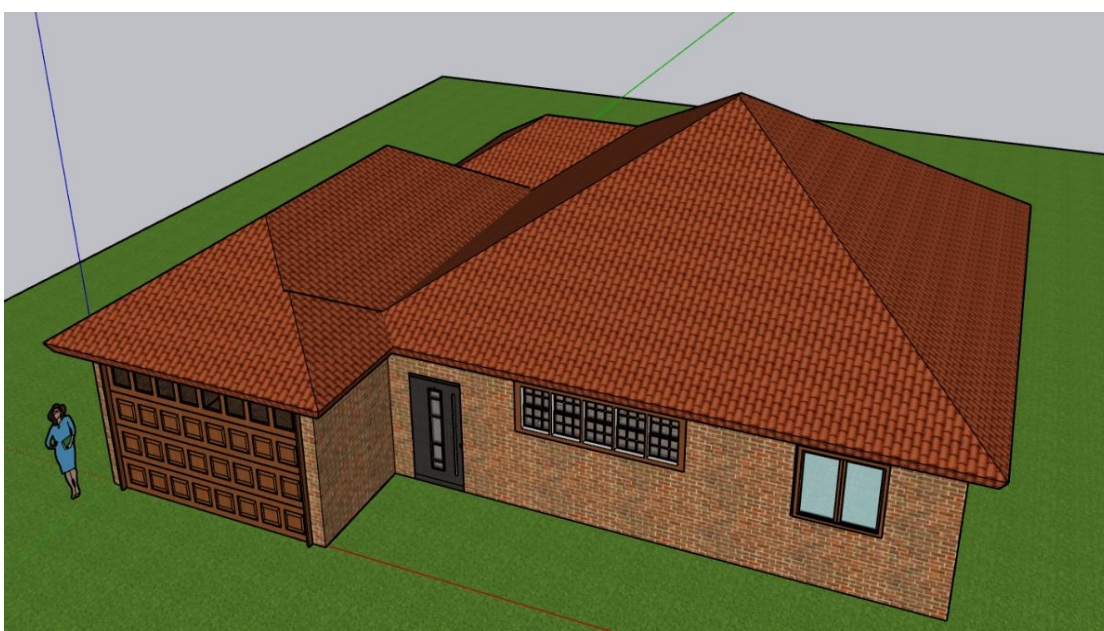
Slika 12. Kuća Mira – tlocrt



Slika 13. Kuća Mira – izvedba Roh-Bau



Slika 14. Kuća Mira – konačan izgled



Slika 15. Kuća Mira – alternativan konačan izgled

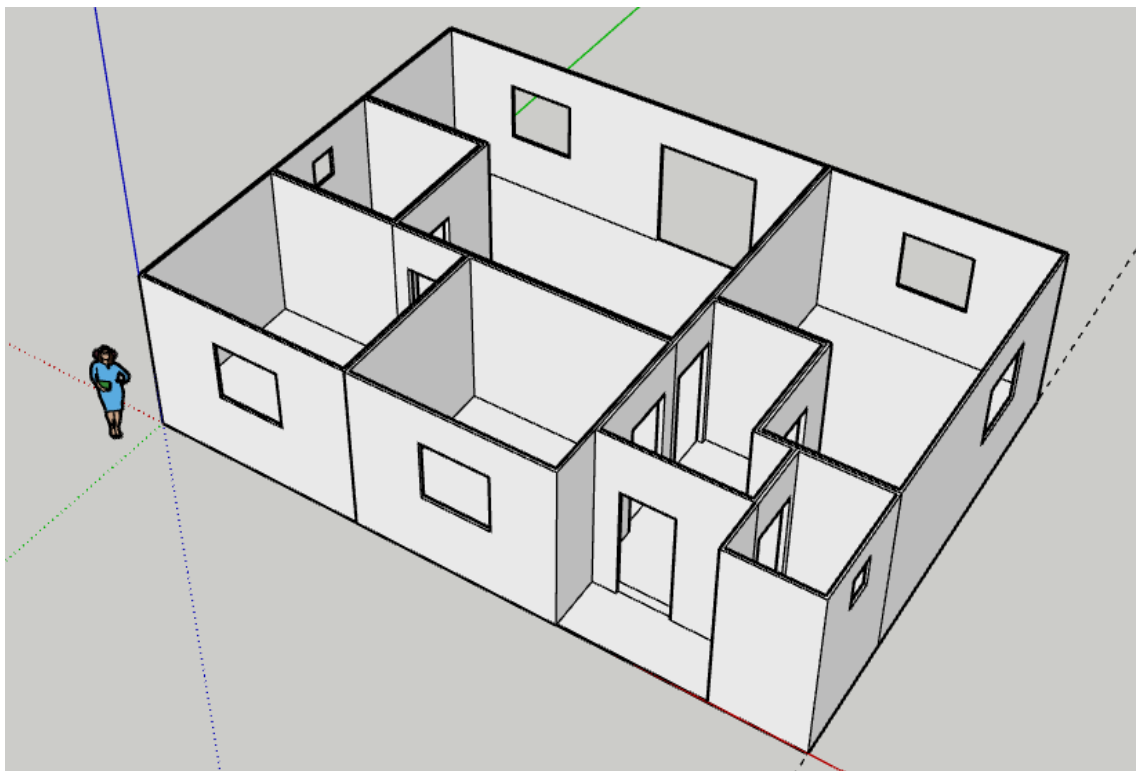
6.2. Kuća Andrej – 100 m²

Kuća Andrej predstavlja spoj tradicionalnog i modernog dizajna, prilagođena suvremenom načinu života. Ova četverosobna kuća uključuje prostrani dnevni boravak i velik

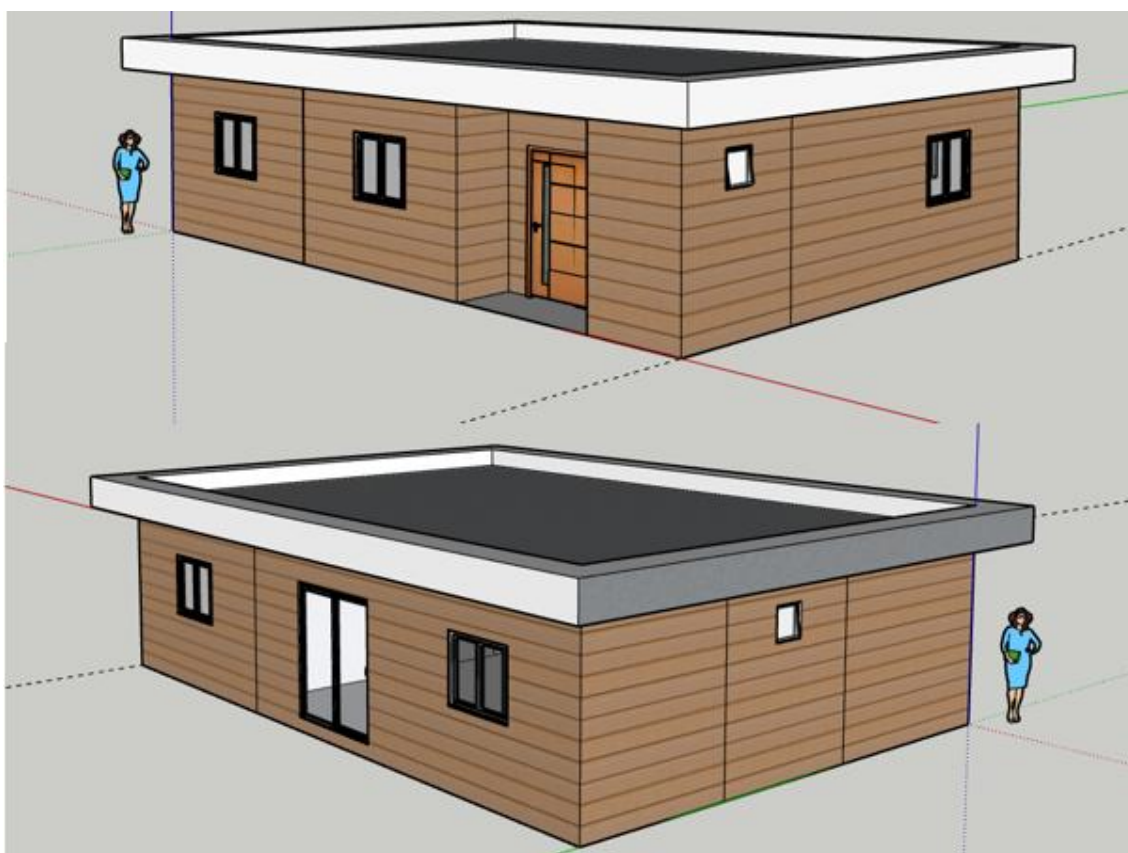
broj svjetlosnih otvora koji osiguravaju ugodan i osvjetljen ambijent. Spavaći dio sastoji se od tri spavaće sobe, svaka s vlastitim kupaonicama. Krov jednostavnog oblika dodatno pridonosi šarmu i eleganciji cijelog objekta.



Slika 16. Kuća Andrej – tlocrt



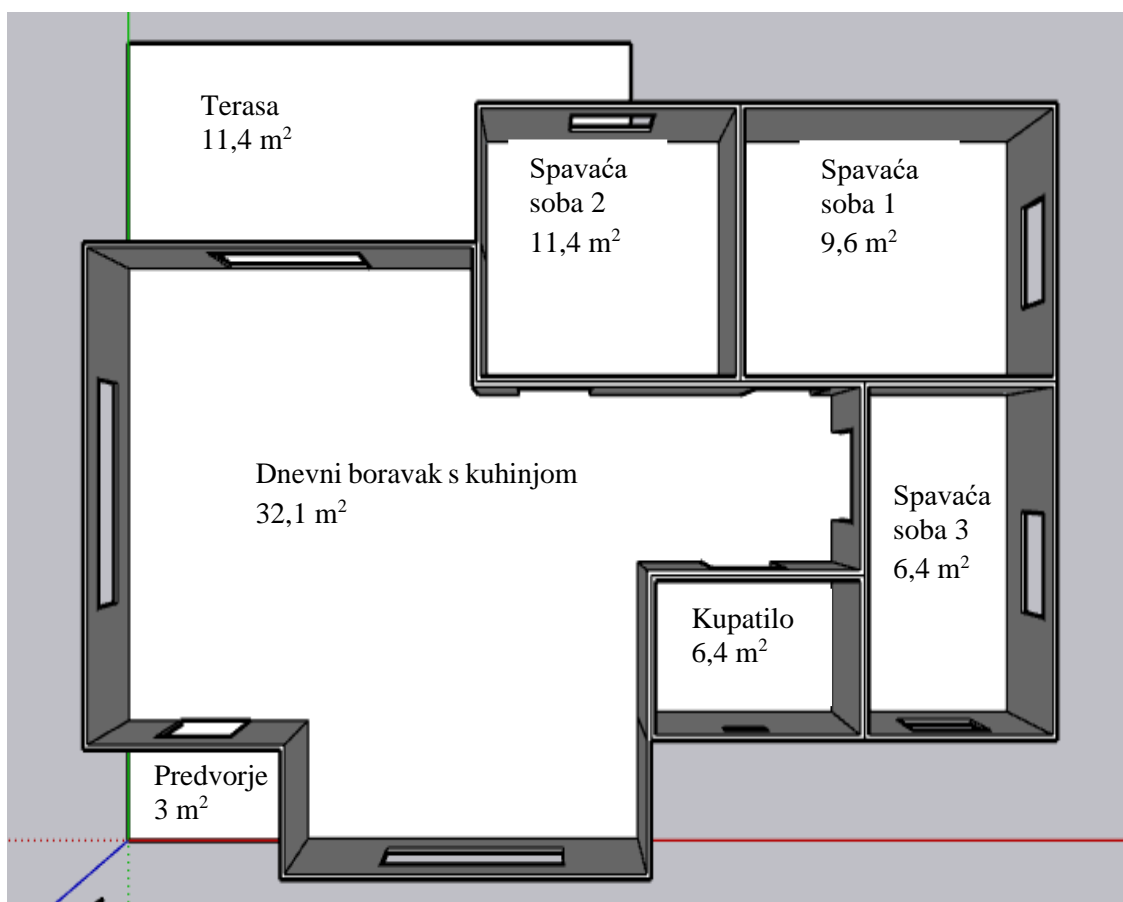
Slika 17. Kuća Andrej – izvedba Roh-Bau



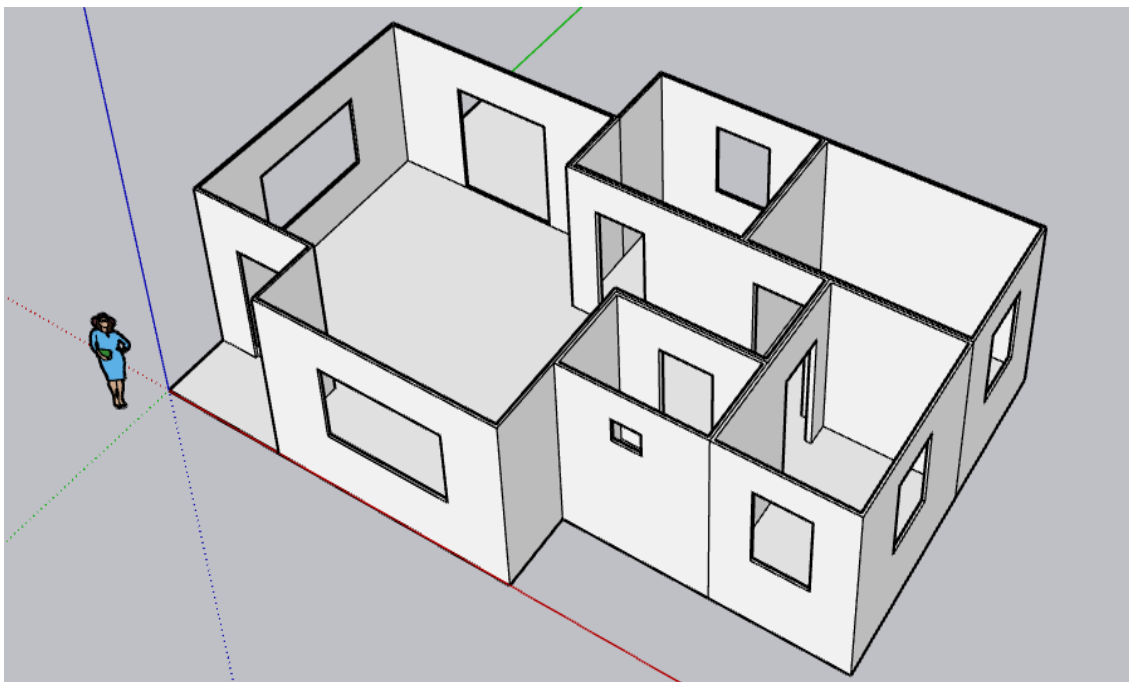
Slika 18. Kuća Andrej – konačan izgled

6.3. Kuća Frane – 79 m²

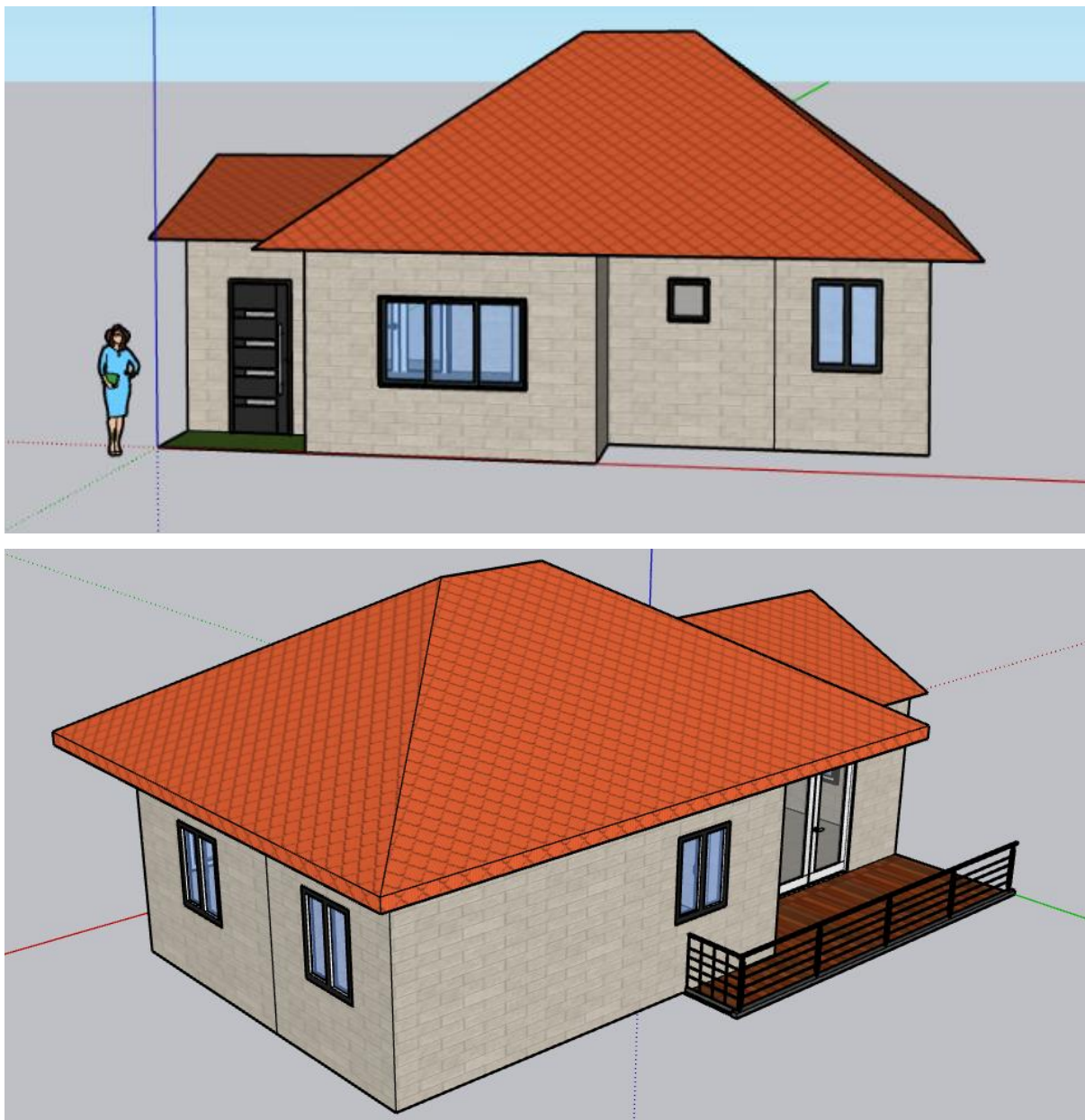
Kuća Frane je kompaktna obiteljska kuća koja nudi tri spavaće sobe, kupaoonicu i dnevni boravak. Unatoč svojoj manjoj površini, kuća je funkcionalno raspoređena kako bi pružila udobnost i praktičnost za svakodnevni život. Krov kuće Frane dodatno obogaćuje cjelokupni eksterijer, dajući mu jedinstven izgled u usporedbi s drugim kućama.



Slika 19. Kuća Frane – tlocrt



Slika 20. Izvedba Roh-Bau kuće Frane



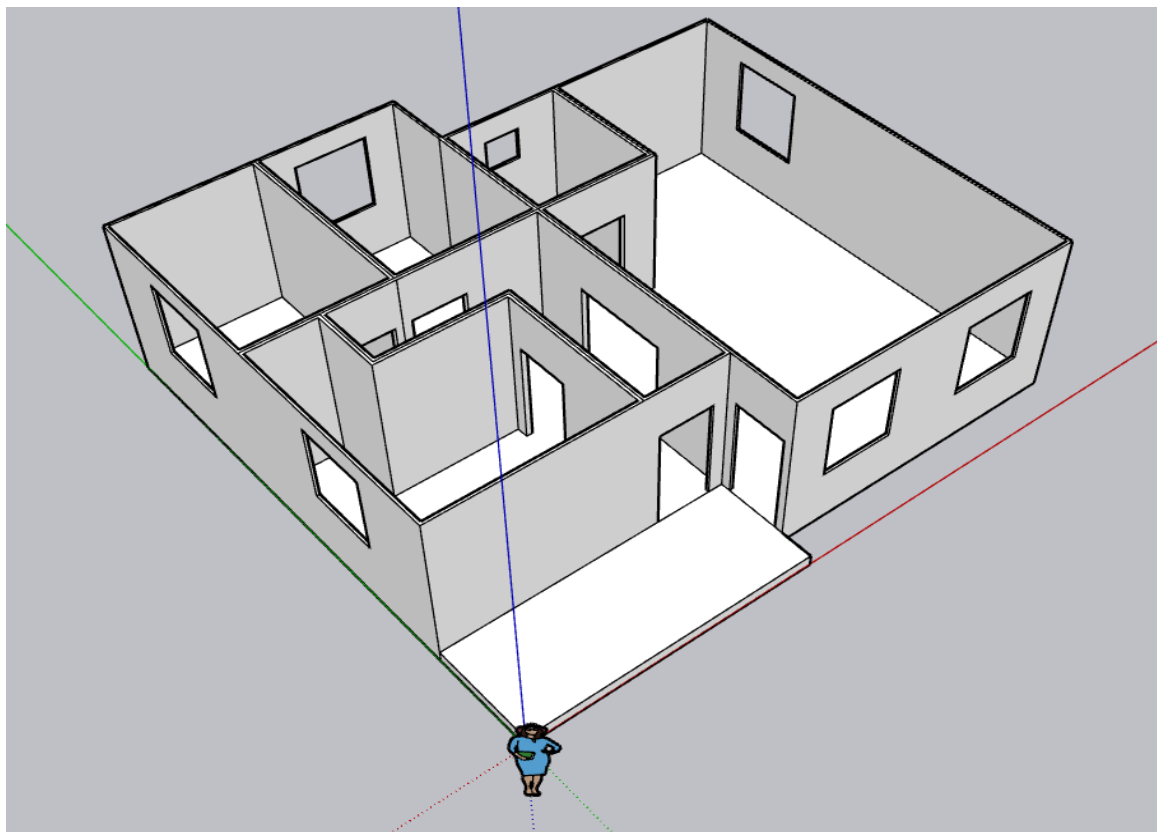
Slika 21. Kuća Frane – konačan izgled

6.4. Kuća Duje – 78 m²

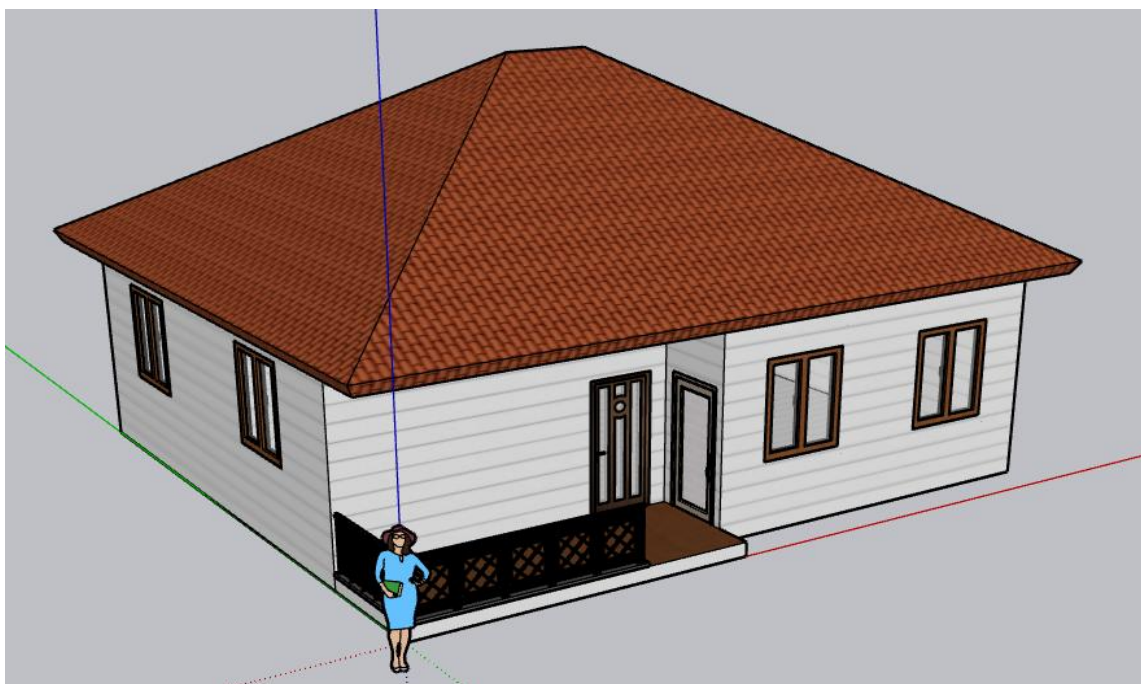
Kuća Duje kompaktna je obiteljska kuća koja nudi tri spavaće sobe, kupaonicu te otvoren dnevni prostor koji obuhvaća dnevni boravak, blagovaonicu i kuhinju. Dvije veće spavaće sobe pružaju dodatnu udobnost, dok manja soba može služiti kao radna soba ili dječja soba.



Slika 22. Kuća Duje – tlocrt



Slika 23. Izvedba Roh-Bau kuće Duje



Slika 24. Kuća Duje – konačan izgled

7. POSLOVNA IDEJA: *PrintMyHome*

U poglavlju 6. predstavljen je katalog s četiri kuće kao potencijalno rješenje za tržište obiteljskih kuća. U ovom poglavlju iznijet će se konkretna poslovna ideja odnosno model koji bi se mogao realizirati na tržištu.

Predloženi naziv poslovnog modela je PrintMyHome, a glavni cilj je omogućiti cjenovno pristupačnu, brzu, prilagodljivu i ekološki održivu izgradnju obiteljskih kuća koristeći tehnologiju 3D tiska.

7.1. Misija i vizija

Misija PrintMyHomea je pružiti pristupačna, moderna i održiva stambena rješenja putem 3D tehnologije, omogućujući kupcima da brzo i efikasno izgrade svoj dom iz snova uz niže troškove i ekološku odgovornost.

Vizija poslovanja je postati regionalni predvodnik u korištenju 3D tiskanja za izgradnju kuća, pružajući inovativna i prilagodljiva rješenja za stambenu izgradnju koja će zadovoljiti potrebe obitelji sada i u budućnosti.

7.2. Proizvodi i usluge

Temelj poslovne ideje su 3D tiskane kuće iz kataloga kuća, koje nude visoku razinu prilagodbe i brzinu izgradnje. Poslovni model uključuje sljedeće ključne proizvode i usluge:

- 3D tiskane obiteljske kuće: Ponuda uključuje gotove modele kuća iz kataloga koji omogućavaju brz odabir, dizajn i izgradnju. Korištenje 3D tehnologije smanjuje vrijeme i troškove izgradnje.
- Personalizacija oblikovanja: Kupcima se nudi mogućnost prilagodbe dizajna kuća prema osobnim preferencijama. Ova opcija omogućuje prilagodbu interijera i eksterijera kuće prema željama kupca, čime se osigurava personalizirano stambeno rješenje.
- Ekološki materijali: 3D tiskanje omogućuje korištenje ekološki prihvatljivih i recikliranih materijala, što dodatno doprinosi održivosti projekta.
- Brza izgradnja: Tehnologija 3D tiska omogućuje bržu izgradnju u usporedbi s tradicionalnim metodama, čime se ubrzava proces useljenja i smanjuju ukupni troškovi.

7.3. Tržište i konkurencija

Tehnologija 3D tiska u građevinskom sektoru u Republici Hrvatskoj, kao i šire, još je u fazi razvoja, ali pokazuje velik potencijal. Trenutno nema preciznih procjena o proizvodnoj količini u RH ili pojedinim županijama, no očekuje se rast usvajanja ove tehnologije. Ciljna skupina za ovaj poslovni model su obitelji koje traže brze i cjenovno pristupačne stambene jedinice, s naglaskom na ekološki prihvatljive opcije. Također, ciljano tržište uključuje ruralna područja, otoke i manja naselja gdje je potreba za pristupačnim stanovanjem velika.

PrintMyHome ima potencijal za smanjenje troškova gradnje, ubrzanje izgradnje i smanjenje ekološkog otiska, čime zadovoljava rastuću potrebu za pristupačnim stanovanjem u različitim dijelovima Hrvatske.

7.4. Poslovni model

Poslovni model temelji se na nekoliko ključnih aspekata:

- Prodaja gotovih kuća: Kupcima se nude gotovi modeli kuća iz kataloga, čime se osigurava brza isporuka i montaža na licu mjesta.
- Prilagodljiv dizajn: Kupci imaju mogućnost odabrati osnovne modele iz kataloga, ali i dodatno prilagoditi dizajn prema vlastitim potrebama i željama.

- Modularnost u dizajnu i proizvodnji: Uvođenje modularnosti u poslovni model otvara mogućnost proizvodnje kuća koje se sastoje od međusobno povezanih modula. Ovaj pristup omogućuje fleksibilnost u dizajnu kuća, njihovu prilagodbu veličini i funkcionalnosti prema potrebama kupaca te olakšava buduće nadogradnje ili promjene u prostoru. Također, modularni dizajn smanjuje troškove proizvodnje i vremena montaže, povećavajući efikasnost i održivost projekta.
- Instalacija i održavanje: Osim samog tiskanja i izgradnje kuća, tvrtka nudi usluge instalacije tehnoloških sustava poput solarnih panela te post prodajnu podršku i održavanje objekata.

7.5. Financijski plan

Financijski plan uključuje inicijalno ulaganje u nabavu 3D printera, potrebnih materijala i obuku zaposlenika. Glavni troškovi uključuju:

- Inicijalna ulaganja: Nabava 3D printera i licenci za korištenje softvera te ulaganja u materijale za tiskanje kuća.
- Operativni troškovi: Troškovi osoblja, održavanje opreme i troškovi energije.
- Prihod: Prihod se ostvaruje kroz prodaju gotovih kuća iz kataloga i dodatnih usluga prilagodbe dizajna i instalacije pametnih sustava.

Uz prilagodljive cjenovne modele, moguće je ostvariti značajan prihod kroz prodaju standardnih i vrhunskih modela kuća, ovisno o potrebama kupaca.

7.6. Daljnje širenje i razvoj tvrtke

Kako bi osigurala dugoročnu održivost i rast, PrintMyHome planira uvesti nekoliko strateških inicijativa za širenje poslovanja:

- Proširenje proizvodne ponude: Uz obiteljske kuće, tvrtka planira razviti i dodatne proizvode poput pomoćnih objekata (garaže, vrtne kućice) i prilagodljivih modula koji se mogu koristiti za turističke ili komercijalne svrhe.
- Regionalna ekspanzija: Planira se širenje na međunarodna tržišta u regiji gdje postoji potražnja za ekološkim, cjenovno pristupačnim i brzim građevinskim rješenjima.

Prioritet će biti tržišta sa sličnim uvjetima kao u Hrvatskoj, poput zemalja jugoistočne Europe.

- Razvoj modularnih sustava: Uvođenje modularnih rješenja omogućit će dodatnu fleksibilnost u proizvodnji i povećanje efikasnosti, dok će kupci imati mogućnost nadogradnje svojih kuća u budućnosti.
- Suradnja s tehnološkim i građevinskim partnerima: Tvrtka će nastojati ostvariti partnerstva s proizvođačima 3D printera, dobavljačima ekoloških materijala i građevinskim firmama kako bi unaprijedila procese proizvodnje i proširila ponudu proizvoda i usluga.
- Implementacija konfiguratora: Digitalni alat za personalizaciju kuća dodatno će povećati konkurentnost PrintMyHomea, a potencijalno bi mogao biti licenciran i drugim tvrtkama za dodatne prihode.

7.7. Marketing

U svrhu privlačenja kupaca, marketing strategija bit će usmjerena na sljedeće kanale:

- Digitalni marketing: Korištenje društvenih mreža, Google oglasa i *web* stranice koja će nuditi interaktivni pregled dostupnih modela kuća te alat za personalizaciju dizajna.
- Sajmovi i izložbe: Sudjelovanje na relevantnim sajmovima građevinske industrije i nekretnina kako bi se tehnologija 3D tiska prikazala potencijalnim investitorima i kupcima.
- Suradnja s lokalnim vlastima: Tvrtka će surađivati s lokalnim vlastima i ponuditi rješenja za izgradnju pristupačnih kuća u ruralnim i manje razvijenim područjima.

8. ZAKLJUČAK

U radu razvijen koncept gradnje obiteljskih kuća 3D tiskom – PrintMyHome, poslovna je ideja koja odgovara na suvremene izazove u stambenoj izgradnji – visoke troškove, dugotrajne procese i ekološku neodrživost. Korištenjem 3D tehnologije, ovaj koncept omogućuje bržu, pristupačniju i prilagodljiviju izgradnju. Prednost koncepta leži u spoju tehnološke inovacije i prilagodljivog dizajna, omogućujući rješenja prilagođena različitim korisničkim potrebama. Osim što nudi rješenja za područja s ograničenim resursima, poput hrvatskih otoka, njegova primjena može biti korisna i u urbanim sredinama ili regijama s visokom potražnjom za brzim i održivim stambenim rješenjima. PrintMyHome koristi betonski tisak i unaprijed pripremljene materijale kako bi ubrzao proces gradnje i smanjio potrebu za velikim građevinskim timovima.

Kroz razvijeni katalog s četiri modela obiteljskih kuća, PrintMyHome pruža temelj za prilagodbu kuća prema specifičnim željama korisnika, uz održavanje ravnoteže između standardizacije i fleksibilnosti dizajna. Katalog uključuje osnovnu verziju prizemnice s tri spavaće sobe, s mogućnostima prilagodbe dimenzija i unutarnjeg rasporeda prostora, čime se optimizira funkcionalnost i estetika. Planirani daljnji razvoj poslovanja, koji uključuje proširenje ponude modela kuća, uvođenje dodatnih građevinskih rješenja poput pomoćnih objekata i modula za turističke ili komercijalne svrhe te implementaciju digitalnog konfiguratora, omogućit će PrintMyHome da učvrsti svoju poziciju kao pionir 3D tiska u hrvatskom građevinskom sektoru. Konfigurator, koji omogućava online personalizaciju kuća, mogao bi postati ključan za privlačenje novih kupaca, a također bi otvorio mogućnost licenciranja drugim tvrtkama, čime bi se ostvarili dodatni izvori prihoda.

Zaključno, 3D tisak predstavlja tehničko-tržišno zanimljivu mogućnost unutar građevinske industrije, ali njegova praktična primjena ovisi o tehnološkim, ekonomskim i regulatornim faktorima. PrintMyHome može poslužiti kao osnova za daljnje istraživanje i

unaprjeđenje 3D tiska u građevinskoj industriji, s posebnim fokusom na prilagodbu tržišnim potrebama i tehnološkom napretku.

9. LITERATURA

- [1] Gerbert, P., Castagnino, S., Rothballer, C., Renz, A., i Filitz, R. "The Transformative Power of Building Information Modeling." Boston Consulting Group, 8. ožujka 2016. Dostupno na: <https://www.bcg.com/publications/2016/engineered-products-infrastructure-digital-transformative-power-building-information-modeling>. Pristupljeno: 14. ožujka 2024.
- [2] Bock, T. "The Future of Construction Automation: Technological Disruption and the Upcoming Ubiquity of Robotics." *Automation in Construction* 59 (2015). Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051500165X?via%3Dihub>. Pristupljeno: 14. ožujka 2024.
- [3] García de Soto, B., Agustí-Juan, I., Hunheviz, J., Joss, S., Graser, K., Habert, G., Adey, B. T. "Productivity of Digital Fabrication in Construction: Cost and Time Analysis of a Robotically Built Wall." *Automation in Construction* 92 (2018). Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051731124X?via%3Dihub>. Pristupljeno: 16. ožujka 2024.
- [4] Davtalab, O., Kazemian, A., i Khoshnevis, B. "Perspectives on a BIM-Integrated Software Platform for Robotic Construction through Contour Crafting." *Automation in Construction* 89 (2018). Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580517307975?via%3Dihub>. Pristupljeno: 17. ožujka 2024.
- [5] Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., i Rosenberg, N. "How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective." *International Journal of Science, Engineering and Technology* 8 (2014): 37-44. Dostupno na:

- https://www.researchgate.net/publication/285495324_How_virtualization_decentralization_and_network_building_change_the_manufacturing_landscape_An_Industry_4.0_Perspective. Pristupljeno: 17. ožujka 2024.
- [6] Lim, S., Buswell, R. A., Le, T. T., Austin, S. A., Gibb, A. G. F., Thorpe, T. "Developments in Construction-Scale Additive Manufacturing Processes." *Automation in Construction* 21 (2012). Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580511001221?via%3Dihub>. Pristupljeno: 17. ožujka 2024.
- [7] Wu, P., Wang, J., i Wang, X. "A Critical Review of the Use of 3-D Printing in the Construction Industry." *Automation in Construction* 68 (2016). Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580516300681?via%3Dihub>. Pristupljeno: 17. ožujka 2024.
- [8] "The History of 3D Printing and its Development." Dostupno na: <https://garuda3d.com/the-history-of-3d-printing-and-its-development>. Pristupljeno: 20. ožujka 2024.
- [9] Beyca, O. F., Hancerliogullari, G., i Yazici, I. "Additive Manufacturing Technologies and Applications." U *Industry 4.0*, 173-196. Cham: Springer, 2018. Dostupno na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-57870-5_13#citeas. Pristupljeno: 25. ožujka 2024.
- [10] 3DSOURCED. "The Complete Digital Light Processing (DLP) 3D Printing Guide." 2024. Dostupno na: <https://www.3dsourced.com/3d-printing-technologies/digital-light-processing-dlp/>. Pristupljeno: 25. ožujka 2024.
- [11] Hamzah, H. H., Shafiee, S. A., Abdalla, A., i Patel, B. A. "3D Printable Conductive Materials for the Fabrication of Electrochemical Sensors: A Mini Review." *Electrochemistry Communications* 96 (2018). Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1388248118302212?via%3Dihub>. Pristupljeno: 25. ožujka 2024.
- [12] "Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing." Formlabs, 2024. Dostupno na: <https://formlabs.com/eu/blog/what-is-selective-laser-sintering/>. Pristupljeno: 25. ožujka 2024.
- [13] Kerr, T. "3D Printing Applications Across Industry." U *3D Printing. Synthesis Lectures on Digital Circuits & Systems*. Cham: Springer, 2022. Dostupno na: https://doi.org/10.1007/978-3-031-19350-7_2. Pristupljeno: 25. ožujka 2024.

- [14] AY2020. "Winsun: Revolutionizing The Construction Industry with 3D Printing." 2018. Dostupno na: <https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/winsun-revolutionizing-the-construction-industry-with-3d-printing/>. Pristupljeno: 26. ožujka 2024.
- [15] NASA. "3D-Printed Habitat Challenge." 2024. Dostupno na: <https://www.nasa.gov/prizes-challenges-and-crowdsourcing/centennial-challenges/3d-printed-habitat-challenge/>. Pristupljeno: 9. travnja 2024.
- [16] Guamán-Rivera, R., Martínez-Rocamora, A., García-Alvarado, R., Muñoz-Sanguinetti, C., González-Böhme, L. F., i Auat-Cheein, F. "Recent Developments and Challenges of 3D-Printed Construction: A Review of Research Fronts." *Buildings* 12, br. 2 (2022): 229. Dostupno na: <https://doi.org/10.3390/buildings12020229>. Pristupljeno: 12. travnja 2024.
- [17] COBOD. "What Are the Differences Between Robotic Arm and Gantry 3D Concrete Printer?" 2023. Dostupno na: <https://cobod.com/robotic-arm-vs-gantry-3d-concrete-printer/>. Pristupljeno: 12. travnja 2024.
- [18] Arayici, Y., Egbu, C. O., i Coates, S. P. "Building Information Modelling (BIM) Implementation and Remote Construction Projects: Issues, Challenges, and Critiques." *Journal of Information Technology in Construction* 17 (2012): 75–92. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/277120657_Building_information_modelling_BIM_implementation_and_remote_construction_projects_issues_challenges_and_critiques. Pristupljeno: 13. travnja 2024.
- [19] Davtalab, O., Kazemian, A., i Khoshnevis, B. "Perspectives on a BIM-Integrated Software Platform for Robotic Construction through Contour Crafting." *Automation in Construction* 89 (2018). Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580517307975?via%3Dihub>. Pristupljeno: 22. travnja 2024.
- [20] Delgado Camacho, D., Clayton, P., O'Brien, W. J., Seepersad, C., Juenger, M., Ferron, R., i Salamone, S. "Applications of Additive Manufacturing in the Construction Industry – A Forward-Looking Review." *Automation in Construction* 89 (2018). Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580517307847?via%3Dihub>. Pristupljeno: 23. travnja 2024.
- [21] CEMEX Ventures. "Benefits of 3D Printing in Construction." 2018. Dostupno na: <https://www.cemexventures.com/benefits-of-3d-printing-in-construction/>. Pristupljeno: 1. svibnja 2024.

- [22] Paul, S. C., van Zijl, G. P. A. G., Tan, M. J., i Gibson, I. "A Review of 3D Concrete Printing Systems and Materials Properties: Current Status and Future Research Prospects." *Rapid Prototyping Journal* 24, br. 4 (2018): 784–798. Dostupno na: <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2016-0154>. Pristupljeno: 12. lipnja 2024.
- [23] Wangler, T., Lloret, E., Reiter, L., Hack, N., Gramazio, F., Kohler, M., Bernhard, M., Dillenburger, B., Buchli, J., Roussel, N., i Flatt, R. "Digital Concrete: Opportunities and Challenges." *RILEM Technical Letters* (2016). Dostupno na: <https://letters.rilem.net/index.php/rilem/article/view/16>. Pristupljeno: 15. lipnja 2024.
- [24] Yoo, D. Y., i Yoon, Y. S. "A Review on Structural Behavior, Design, and Application of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete." *International Journal of Concrete Structures and Materials* 10 (2016): 125–142. <https://doi.org/10.1007/s40069-016-0143-x>. Pristupljeno: 17. lipnja 2024.
- [25] Contour Crafting Corporation in the Media Dostupno na: <https://www.contourcrafting.com/media>. Pristupljeno: 5. veljače 2025.
- [26] Turner, P. "The Role of Robotics in Construction." *American Society of Civil Engineers (ASCE)*, 2018. Dostupno na: <https://www.asce.org/robotics-in-construction/>. Pristupljeno: 20. lipnja 2024.
- [27] "Guide to Concrete 3D Printing." *3D Printing Industry*, 2024. Dostupno na: <https://3dprintingindustry.com/news/guide-to-3d-printing-concrete-149406/>. Pristupljeno: 22. lipnja 2024.
- [28] Szewczyk, R. A. "3D Concrete Printing in Construction." *Journal of Civil Engineering & Technology* 11, br. 6 (2019). Dostupno na: <https://www.journals.sagepub.com/doi/10.1177/2042673519851851>. Pristupljeno: 23. lipnja 2024.
- [29] Abdalla, H.; Fattah, K.P.; Abdallah, M.; Tamimi, A.K. "Environmental Footprint and Economics of a Full-Scale 3D-Printed House." *Sustainability* 2021, 13, 11978. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/323863227_Cost_viability_of_3D_printed_house_in_UK. Pristupljeno: 25. lipnja 2024.
- [30] Mohd Tobi, A.L.; Omar, S.; Yehia, Z.; Al-Ojaili, S.; Hashim, A.S.; Orhan, O. "Cost Viability of 3D Printed House in UK." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 319 (2018): 012061. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/222539948_Automated_construction_by_cont

[our crafting - Related robotics and information technologies](#). Pristupljeno: 15. svibnja 2024.

[31] COBOD. "The BOD3." Dostupno na: <https://cobod.com/the-bod3/>. Pristupljeno: 25. lipnja 2024.