

Specifičnosti tehnologije 3D printanja betona

Ferenčak, Bruno

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:237:035581>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-30**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

ZAVRŠNI RAD

Specifičnosti tehnologije 3D printanja betona
Specifics of 3D printing concrete technology

Student:

Bruno Ferenčak

Mentor:

prof. dr. sc. Ivana Banjad Pečur

U Zagrebu, 2023.

Sažetak

Cilj ovog rada bio je istražiti novu tehnologiju gradnje u građevinarstvu. Radi se o aditivnoj tehnologiji 3D printerom. Istraživanje tehnologije provedeno je u 6 točaka. U prvom dijelu napisan je razvoj 3D ispisa općenito u svijetu i 3D ispisa izričito u građevinarstvu kako u svijetu tako i u Hrvatskoj. Nakon toga opisan je princip rada 3D pisača u građevinarstvu od početka do kraja građevnog objekta. U sljedećem koraku tehnologija 3D ispisa uspoređena je s tradicionalnim i konvencionalnima metodama u segmentima vremena, novca, okoliša i sigurnosti te usporedba različitih metoda gradnje elementa zida. U sljedećoj točki razrađena je tema budućnosti same upotrebe 3D printera u građevinarstvu te su u zadnjoj točki rada izneseni zaključci.

Ključne riječi: građevinarstvo, 3D ispis, tehnologija gradnje, printani beton, aditivna gradnja

Summary

This work aimed to investigate new construction technology in the construction industry. It is an additive 3D printing technology. The technology research was done in six points. In the first part, the development of 3D printing in general and 3D printing specifically in construction, both in the world and in Croatia, is written. After that, the principle of operation of 3D printers in construction is described from the beginning to the end of the construction object. In the next step, 3D printing technology was compared with traditional and conventional methods in the segments of time, money, environment, and safety, as well as comparing different ways of building the wall element. In the next point, the topic of the future use of 3D printers in construction is elaborated, and in the last point of the work, conclusions are presented.

Keywords: construction, 3D print, construction technology, printing concrete, additive construction

Sadržaj

1	Uvod u 3D printanje.....	3
2.	Početak i razvoj 3D ispisa u građevinarstvu	3
2.1.	U svijetu	4
2.2.	U Hrvatskoj	6
3.	Princip rada 3D pisaa u građevinarstvu	8
3.1.	3D modeliranje.....	8
3.2.	Sistemi rada 3D printera.....	10
3.3.	Rad mlaznice i ispis materijala.....	16
3.4.	Materijali koji se koriste u 3D ispisu	18
4.	Usporedba 3D printera u odnosu na konvencionalne metode	20
4.1.	Vrijeme.....	20
4.2.	Novac	20
4.3.	Okoliš i sigurnost	21
4.4.	Usporedba različitih metoda gradnje zida.....	22
5.	Budućnost 3D printera u građevinarstvu	28
6.	Zaključak.....	29
7.	Reference	30
8.	Prilog.....	33

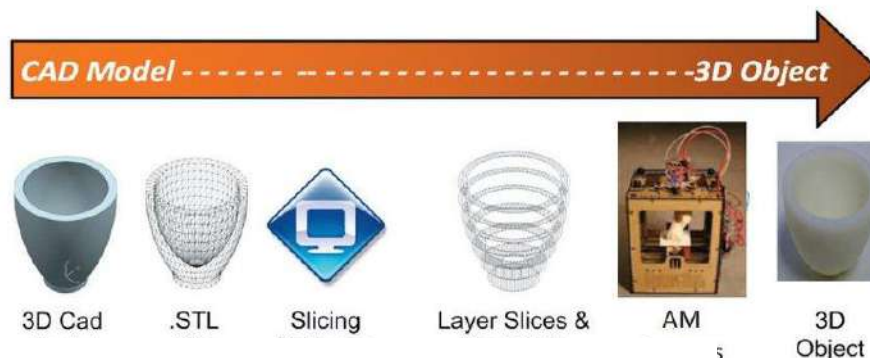
1 Uvod u 3D printanje

3D printer je moderna tehnologija koja omogućava proizvodnju objekata u 3 dimenzije. Proces u kojem se materijal nanosi u tankim slojevima od dna prema vrhu objekta te se tako formira predmet. Osnovni proces 3D ispisa uključuje izrađenu digitalnu podlogu modela pomoću računalnih programa. Na slici 1 prikazan je potpuni proces tehnologije 3D ispisa. 3D ispis javlja se 1980-ih kada je začeta stereolitografija (SLA). SLA radi na principu lasera velike snage pretvarajući tekuću smolu u čvrsti materijal. Stereolitografija je aditivna tehnologija, što znači da uključuje stvaranje proizvoda od temelja do vrha na način sloj po sloj. Uz SLA postoje i druge tehnologije kao što su FDM, SLS i DLP. Svaka od tih tehnologija koristi različite materijale i tehnike za stvaranje 3D objekata. [1]

Danas, u pogledu 3D printera, mašta nema granica te se tako 3D printeri koriste u različite svrhe. Od najsitnijih detalja i predmeta za satove, do zgrada na nekoliko katova. Tehnologija koja je svoje mjesto našla u medicini, arheologiji, modnoj industriji, umjetnosti pa čak i u arhitekturi i građevinarstvu.

Arheolozi koriste 3D printer za rekonstrukciju nepotpunih skeleta izumrlih životinja. Umjetnici sada mogu gledati kako se njihovo zamišljeno djelo pretvara u stvarnost upravo pomoću ove tehnologije. Najveći iskorak 3D printera je u medicini gdje se rade umjetni dijelovi tijela za potrebe ljudi, a isto tako i životinja. 3D printer ima veliku potencijal i budućnost, a to dokazuje zadani cilj medicine da omogući ispis ljudskih organa poput srca ili bubrega.

3D printer je našao svoje mjesto i u građevinarstvu. Grana industrije koja zahtjeva najveće financijske i ljudske resurse. Uspjeh u građevinarstvu se mjeri kao i svemu, kvaliteti, vremenu i o financijskoj isplativosti određenog projekta, osim što je to u građevini izraženo na n-tu potenciju. Ne samo da se radi o velikim novčanim iznosima, velikom broju ljudi već je građevinarstvo najveći zagađivač te najneučinkovitija industrija. Upravo iz tih razloga 3D printer ima potencijal u građevinarstvu i teži ka tome da možda izazove revoluciju u gradnji jer uvelike smanjuje količinu otpada i potrebu za radnom snagom.



Slika 1 Generalizirani proces aditivne tehnologije, T. Campbell, C. Williams, O. Ivanova, B. Garrett, 2011

2. Početak i razvoj 3D ispisa u građevinarstvu

2.1. U svijetu

Kao prvu upotrebu 3D printera u građevinarstvu možemo navesti izrade maketa kao modela u arhitekturi. Razvojem tehnologije ubrzo su se počele razvijati ambicioznije i konkretnije ideje po pitanju primjene 3D ispisa u građevinarstvu tako je 2004. godine profesor Behrokh Khoshnevis sa Sveučilišta u Južnoj Kaliforniji izradio prvi zid uz pomoć robotske ruke priključenom na FDM 3D printer. Tek 2014. tvrtka Dus Architects u Amsterdamu radi kuću dimenzija 2x2x3.5 metara napravljenu cjelokupno od bio-plastike (Slika 2). Zbog potrebe projekta razvili su svoj vlastiti FDM 3D printer *Kamermaker* koji u prijevodu znači „room builder“ izrađen od brodskog kontejnera (Slika 3). [2]



Slika 2 3D Printed House, 2016. godina
(<https://www.buildingcentre.co.uk/news/articles/3d-printed-house-facade-fragment-model-dus-architects>)



Slika 3 Kamermaker, 2013. godina
(<https://3dprintingindustry.com/news/3d-printed-house-a-reality-in-amsterdam-7313/>)

Dvije godine kasnije, tvrtka HuaShang Tengda, u 45 dana isprintala je vilu od 400 m² (Slika 4). Na kineskom tržištu također se i tvrtka WinSun hvalila izradom 3D printanih dijelova stambenih objekata, ali ovo je prva vila u potpunosti isprintana na mjestu gradnje. Za gradnju su koristili

uobičajeni armirani beton. Zidovi vile su 25cm debljine, karakteristične kvalitete betona C30/37. Tvrtka HuaShang Tengda tvrdi da je vila otporna na potres do razine 8 po richterovoj ljestvici. [4]



Slika 4 3D ispisana kuća u Kini, 2016 (<https://www.realestate.com.au/news/totally-3d-printed-house-created-in-china-over-45-days/>)

Iste godine u Dubaiju, Dubai Future Foundation sagradio je Office of the Future pomoću 3D printera koji je prikazan na slici 5. Ured budućnosti se nalazi u sklopu kampusa *Muzeja budućnosti* s ciljem da postane globalno sjedište 3D printa do 2030 te da stavi fokus na razvoj 3D ispisa za poboljšanje života ljudi u medicinskom i građevinskom sektoru. Projekt je imao poteškoće oko izvedbe jer je ovo prva gradnja 3D printerom na tom prostoru te je projekt zahtijevao podršku lokalne vlasti i njihovo odobrenje. Ured budućnosti izgrađen je pomoću najvećeg svjetskog 3D printera koji je bio dimenzija 6m visok, 36 metara dug i 12 metara širok koji je koristio robotsku ruku za print građevinskog materijala, a sam ured ima 2691m² funkcionalnog prostora. Proces je trajao ukupno 19 dana, od toga 17 dana trajao je proces printa i 2 dana sastavljanja te je zahtijevao

samo 18 članova tima. Naknadni radovi na interijeru i eksterijeru trajali su 3 mjeseca. Dakle, cijeli trošak rada smanjen je za 50% u usporedbi s konvencionalnim građevinskim objektima slične veličine. [3]



Slika 5 Office of the Future, 2016 (<https://archello.com/project/office-of-the-future-future-foundation-pavillion>)

Svjetsko tržište 3D ispisa u građevinarstvu zasigurno može bilježiti rast u nekoliko narednih godina. Azijsko-pacifička regija drži najveći udio na globalnom tržištu 3D ispisa zbog postojanja već nekoliko tvrtki i proizvođača. Najviše je za razvoj bitna Kina od koje se očekuje da će pružiti znatan poticaj širenju ove metode građenja u Indiji, Japanu i Južnoj Koreji. Europsko tržište se usporeno i stabilno širi prihvaćajući nove metode. U Velikoj Britaniji, tvrtka Skanska prva je prepoznala prednosti upotrebe 3D ispisa te se odlučila na zajedničko ulaganje sa Sveučilištem Loughborough u Ujedinjenom Kraljevstvu s ciljem povećanja upotrebe te tehnologije. [6]

2.2. U Hrvatskoj

Hrvatsko tržište i industrija uvijek kaska za cjelokupnim svjetskim razvojem pa tako i u pogledu 3D ispisa u građevinarstvu. Svako tržište se bazira na zakonu ponude i potražnje, a trenutno u Hrvatskoj još nije prihvaćena ideja o 3D ispisu građevinskih objekata odnosno kuća. Ne samo da Hrvatska uvijek kasni nekoliko godina u napretku u odnosu na ostatak razvijenijih zemalja, već je ovo područje konzervativnog razmišljanja u kojem se preferiraju tradicionalne i konvencionalne metode građenja. Kao potvrda ove teze mogu nam poslužiti modularni objekti koji obuhvaćaju mnogo veću potražnju na vanjskom tržištu nego kod nas. Bez obzira na prednosti koje 3D ispis objekta uključuje, naposljetku uvijek završnu odluku donosi investitor. Naše tržište trenutno nije

u fazi prihvaćanja ovakvog oblika gradnje. Kupci i investitori su ti koji financiraju projekte te ako oni nisu prihvatili nove moderne ideje, teško da će biti prostora za masovnu upotrebu 3D ispisa u Hrvatskoj u skorije vrijeme. [5]

3. Princip rada 3D pisaača u građevinarstvu

3.1. 3D modeliranje

Prvi korak kod građenja objekta 3D ispisom u građevinarstvu je digitalna podloga koja je izrađena pomoću računalnih programa koji imaju mogućnosti izrađivanja 3D modela. CAD i BIM programi u kojima se modelira u 3 dimenzije već dugo nisu novost u svijetu građevinarstva. Postoje razni programi na tržištu koji osiguravaju upravo takav način programiranja i planiranja.

CAD / BIM programi:

- ArchiCAD
- Revit
- All Plan
- Rhino3D
- CATIA
- SketchUp
- Ostali

BIM (Building information modeling) sve više preuzima tehnološki standard u velikom broju zemalja EU i svijeta te se njegova implementacija zakonski obvezala u struci razvijenih država. Informacijsko modeliranje zgrada je proces izrade projekta iz područja graditeljstva kroz izradu virtualnog trodimenzionalnog informacijskog modela građevine. Kako je BIM zasigurno postaje standard u izradi projekata i projektne dokumentacije, građevinskom sektoru neće biti problem naviknuti se na prvi korak kod građenja 3D ispisom objekata. Na slici 6 prikazan je izgrađeni stambeni objekt pomoću 3D printera, koji je izgrađen po modelu izrađenom u All planu prikazanom na slici 7.



Slika 6 Prva 3D ispisana kuća u Njemačkoj projektirana u AllPlan-u (<https://blog.allplan.com/en/germanys-first-3d-printed-house-is-finished>)



Slika 7 3D model ispisane kuće u AllPlan-u (<https://www.allplan.com/press-reports/press-report/first-3d-printed-house-in-germany-realized-with-support-from-allplan/>)

Države u kojima je BIM u većem postotku usvojen ili obavezan:

- Ujedinjeno Kraljestvo
- SAD
- Francuska
- Njemačka
- Države Skandinavskog poluotoka: Norveška, Švedska, Finska, Danska
- Kina
- Singapur
- UAE
- Australija

Kod 3D printera sve konačne informacije dolaze iz projektne dokumentacije odnosno CAD ili BIM modela koji se naknadno dodatno obrađuju za 3D printer i ispis. Nakon što je projekt i digitalna podloga u potpunosti izrađena dolazi do procesa građenja objekta jer nakon toga više nema promjena kao što je moguće kod tradicionalne gradnje.

3.2. Sistemi rada 3D printera

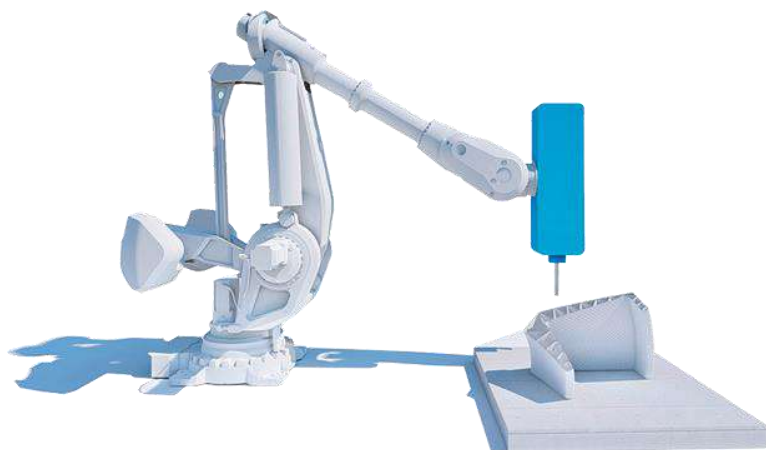
3D pisači rade na tri načina istiskivanja odnosno ispisivanja materijala. Svi modeli rada su već poznati u 3D ispisu manjih predmeta i objekata te su povećanih dimenzija kako bi mogli biti svrsishodni u građevinarstvu. Prilikom rada svih modela 3D printera mora se uračunati određena zauzeta površina po kojoj i oko koje 3D printer obavlja ispis. Svaki od ovih sistema ima na završetku pričvršćenu mlaznicu 3D pisača kroz koji se istiskuje materijal. [7]

1. Robotska ruka
2. Sistem krana
3. Gantry sistem

1. Robotska ruka

Robotska ruka je vrsta 3D pisača kod kojeg je izražena fleksibilnost samog robota (Slika 8). Sastavljena je od više dijelova i spojnih zglobova koji omogućuju zakretanje u svim smjerovima što može biti prednost kod nepristupačnijih terena. Robotska ruka nema mogućnost nadogradnje

u visinu te je u tom dijelu ograničena. Njen radijus rada je opisan lukom određene veličine (Slika 11).



Slika 8 Robotska ruka (<https://toolkittech.com/shop/xtreee-concrete-3d-printing-additive-manufacturing/>)

2. Sistem kрана

Sistem kрана se koncipira na radu robotske ruke i klasičnog kрана u graditeljstvu (Slika 9). Dakle, na klasični kran pričvršćen je 3D printer. Razlikuje se od sistema robotske ruke po tome što nema spojnih zglobova. Kran ima mogućnost rotacije 360° oko svoje osi te skraćivanje ili produljenja dometa aksijalno duž svog kрана. Sistem kрана ima mogućnost lakšeg podizanja same visine 3D printera. Njegova površina rada u tlocrtnom pogledu opisana je kružnicom (Slika 11).



Slika 9 Sistem kрана (<https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/apis-cor-3d-printer/>)

3. Gantry sistem

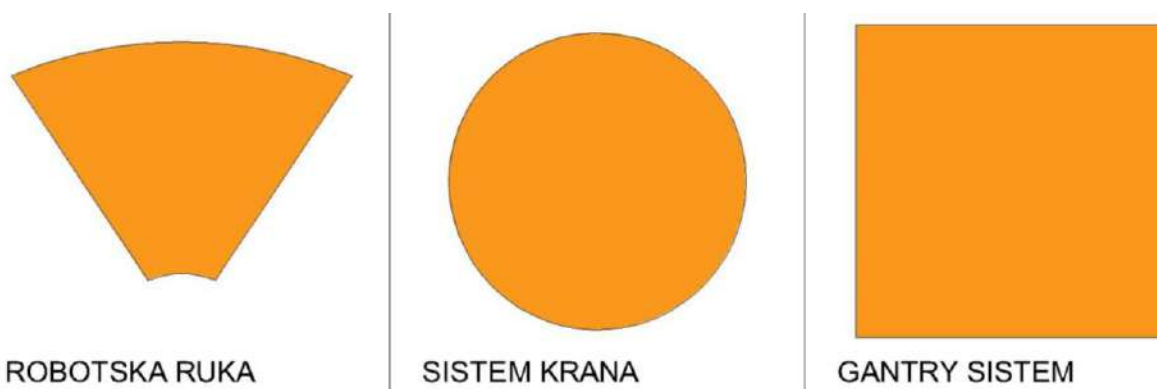
Gantry sistem je najstariji sistem u industriji općenito. Sastoji se od vlastite konstrukcije koja se nalazi oko i van građevine. Pomiče se u smjerovima kartezijevih koordinata x-y-z te se kreće oko građevnog objekta putem tračnica koje služe kao vodič za usmjeravanje vrha 3D printera (Slika 10). Gantry sistem ima prednost što jedna njegova dimenzija u tlocrtnom pogledu ne mora biti određena već je moguća neprekidna kretanja u jednom smjeru, dok je također pogodan za savladavanje većih visina kod izrade objekata. Izvrstan je za vrlo precizne radove i za izradu proizvoda, elemenata istih dimenzija u većim količinama. Mana ovog sistema je njegovo postavljanje, zahtjeva vlastite temelje te treba biti potpunosti u ravnini. Njegova površina rada u tlocrtnom pogledu opisana je pravokutnikom ili kvadratom (Slika 11).



Slika 10 Gantry sistem (<https://cobod.com/solution/bod2/specifications/>)

Svaki sistem rada od ova tri sistema mora imati određene dimenzije za:

- Površinu slobodnog prostora za rad 3D pisača
- Površinu rada 3D pisača
- Površinu prostora za stabilizacijska postolja 3D pisača



Slika 11 Površine rada 3D sistema ispisa

U svijetu su podjednako zastupljeni sva tri sistema rada. U tablici 1 ispisan je popis deset 3D printera sa navedenim sistemom i dimenzijama rada. [12]

Tablica 1 Primjeri 3D printera u građevinarstvu dostupnih na svjetskom tržištu.

3D Printer	Sistem	Dimenzije građenja	Država
BetAbram P1	Gantry sistem	16x8.2x2.5	Slovenija
COBOD BOD2	Gantry sistem	14.62x50.52x8.14	Danska
Constructions-3D	Robotska ruka	13x13x3.8	Francuska
CyBe Construction RC	Robotska ruka	2.75x2.75x2.75	Nizozemska
ICON Vulcan II	Gantry sistem	2.6x8.5xneograničeno	SAD
MudBots 3D	Gantry sistem	1.83x1x83x1.22	SAD
Total Kustom Stroybot 6.2	Gantry sistem	10x15x6	SAD
Apis Cor	Sistem krana	8.5x1.6x1.5	Rusija
Batiprint3D	Robotska ruka	Do 7 metara visine	Francuska
SQ4D – ARCS	Gantry sistem	9.1x4.4xneograničeno	SAD

Građenje objekta:

- a) Objekt izgrađen u cijelosti na gradilištu
- b) Objekt izgrađen u segmentima u proizvodnoj hali

- a) Objekt izgrađen u cijelosti na gradilištu

Prilikom gradnje objekta na gradilištu, cjelokupan proces gradnje je kao kod tradicionalnih metoda premješten na predviđeno mjesto objekta. Ovaj način gradnje se ne razlikuje uopće od tradicionalnih metoda jer ima iste mane i prednosti. Razlika je u radnoj snazi, prilikom tradicionalne gradnje radnu snagu čine ljudi i njihovi alati dok kod 3D ispisa rad izvršava robot

pomoću električne energije. Mane ovakvog pristupa gradnji su vremenske neprilike, nekontrolirani uvjeti rada, opasnost od manjka prostora za kvalitetan rad, onemogućeni uvjeti za rad. Svi sistemi rada: robotska ruka, sistem kрана i gantry sistem mogu biti upotrjebljeni. Robotska ruka i sistem kрана imaju lakšu tehnologiju transporta jer se mogu kretati poput buldožera i bagera putem gusjenica, a do gradilišta se dopreme kamionskom prikolicom (Slika 13). Gantry sistem je složeniji način gradnje jer je veća komplikacija oko transporta većeg broja segmenta te primoranost sastavljanja istih na mjestu građenja (Slika 12). Prednost ove gradnje što se objekt može izvesti u arhitekturi originalnog oblika koji se ne mogu proizvesti u proizvodnoj hali te manji troškovi transporta.



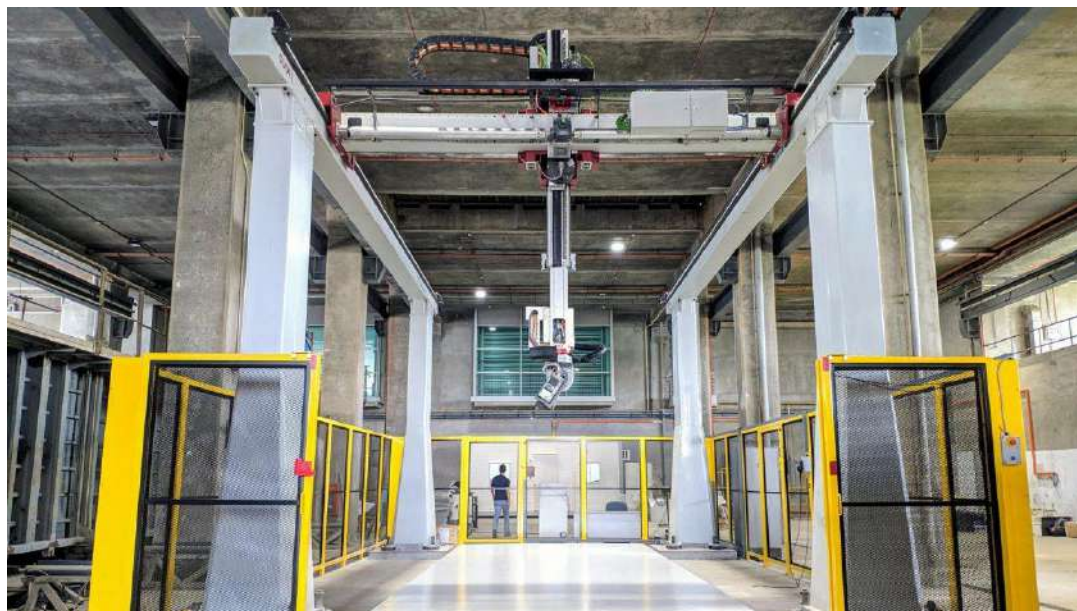
Slika 12 Gantry sistem gradnje na gradilištu (<https://www.re-thinkingthefuture.com/designing-for-typologies/a3563-concrete-3d-printing-10-residential-projects-around-the-world/>)



Slika 13 Sistem krana na gradilištu (<https://blog.apis-cor.com/the-effects-of-cement-and-global-warming-0>)

b) Objekt izgrađen u segmentima u proizvodnoj hali

Objekt koji je sagrađen od segmenta proizvedenih u hali ima prednost jer su ti dijelovi izgrađeni u optimalnim uvjetima rada te nema potrebe za transportom 3D printera na gradilište. Tehnologija gradnje je unaprijed izrađena te je manji utrošak vremena na građenje objekta odnosno elementa. Vremenske prilike su isključene kada se radi u proizvodnoj hali te zbog toga nema gubitaka od posljedica loših uvjeta ili vremena. Pošto se u takvom slučaju radi ujedno i o modularnoj vrsti gradnje, tada se cijela građevina izvede u proizvodnoj hali kao što je prikazano na slici 14, a gradnja i povezivanje tih elemenata se odvija na gradilištu. Veoma sličan proces kao kod tradicionalnih montažnih objekata u graditeljstvu, osim što se sam proces izrade istih odvija pomoću 3D printera. Mane ovakvog načina gradnje je to što su tehnologije gradnje već unaprijed određene te nema puno prostora oko mijenjanja ili izrade posebnih predgotovljenih elemenata objekta. Isto tako treba obratiti pažnju na dimenzije izrađenih elemenata zbog lakšeg transporta na mjesto montaže.



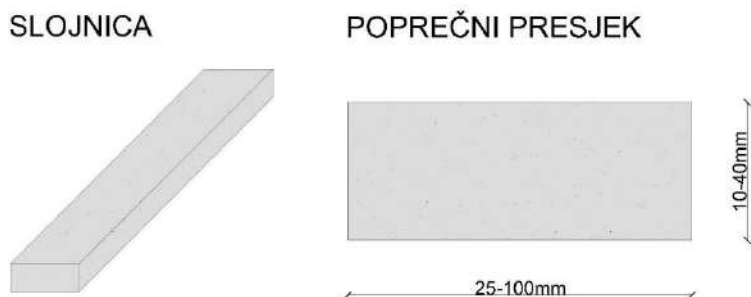
Slika 14 Gantry sistem u proizvodnoj hali (<https://aec-business.com/south-east-asias-largest-3d-printer-for-construction-operational-in-singapore/>)

3.3. Rad mlaznice i ispis materijala

Velika većina strojeva, vrste transporta, prijenos betona odnosno materijala i 3D modeliranje od čega se sastoji 3D printer u građevinarstvu je već viđeno i poznato. Jedini novitet u 3D tehnologiji je završni dio istiskivanja materijala precizno kroz mlaznicu bez upotrebe oplata. To je ujedno i najosjetljiviji dio u ovoj vrsti tehnologije gradnje.

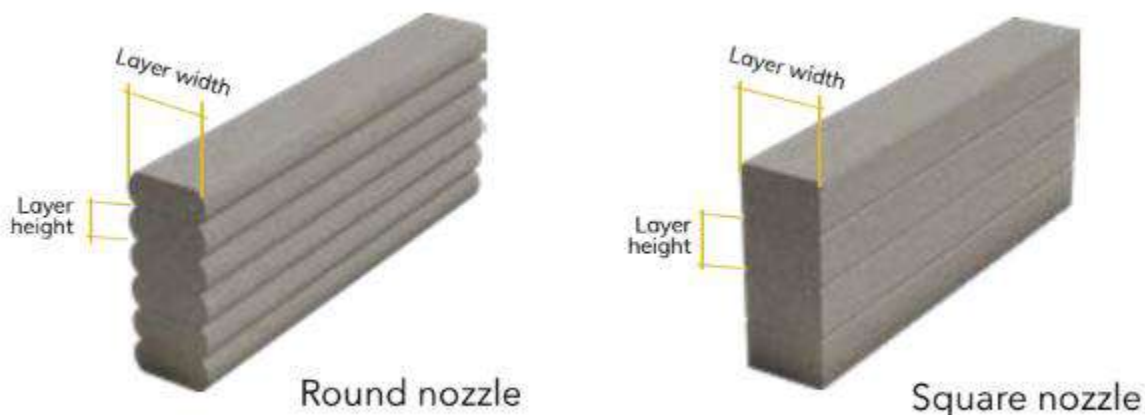
Najčešći materijal koji se koristi u građevinarstvu je beton te je on ujedno i glavni materijal u korištenju tehnologije 3D ispisa. U slučaju 3D ispisa beton više nema oplatu koja ga pridržava dok se ne stvrdne već se beton slaže sloj po sloj jedan na drugi.

Kako u ovoj vrsti tehnologije izrade građevnog elementa od betona nema oplata, ispuštanje materijala kroz mlaznicu je ograničen svojom brzinom, dimenzijama te slojevima. Poprečni presjek slojnice prikazan u slici 15.



Slika 15 Poprečni presjek slojnice

Visina poprečnog presjeka slojnice varira zbog različitih projekata, konfiguracija betona, predispozicija 3D printera i mlaznica. Visina sloja varira od 10 do 40mm, a najčešće korištena visina je 25mm. Širina ispisa sloja je između 25 i 100mm.

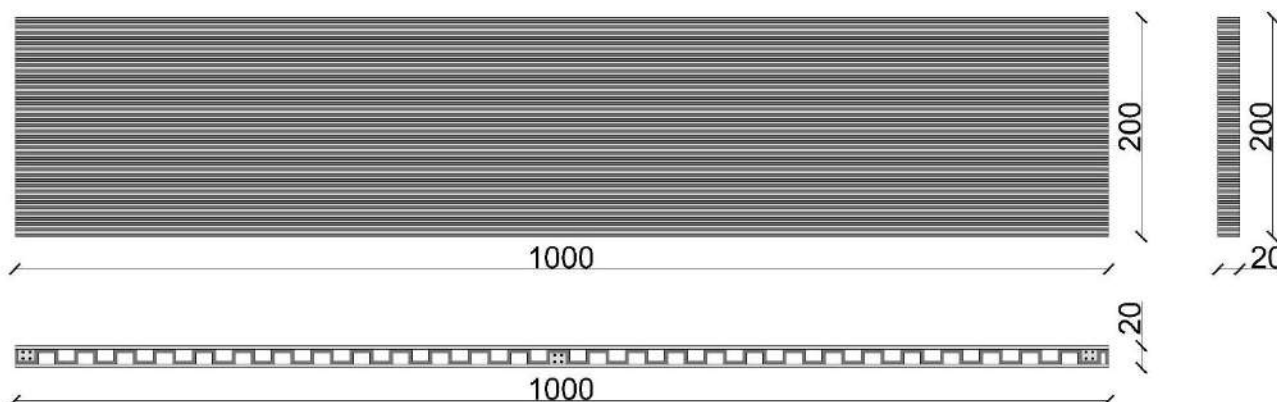


Slika 16 Prikaz ispisa sloja kružnom i kvadratnom mlaznicom (MAXIPRINTER)

Kod kružne mlaznice širina se može odrediti: $2.5 \times$ visina slojnice, dok je kod kvadratne mlaznice mogući ispis jednake širine i visine slojnice. Kvadratna mlaznica ima kvadratni presjek te se tako sloj na sloj nadovezuju jedan na drugi s minimalnim neravninama u odnosu na kružnu mlaznicu. Obje vrste slojnice koje su ispisane kroz dvije različite mlaznice su prikazane na slici 16.

Najveća brzina 3D ispisa doseže do 400mm/s dok je kod betona optimalna brzina od 150mm/s.

3D PRINTER (beton)



Slika 17 Zid ispisan 3D printerom

Zbog različitih sistema rada samih 3D printera te mogućih isprintanih slojeva zida, u izradi norme uzeta je visina zida od 1 metra zbog opasnosti od deformacija i urušavanja slojnice.

Vrijeme izrade zida dimenzija $10 \times 1 \times 0.2$ metara (Slika 17):

- Ukupna dužina slojnice u jednom redu:
Vanjske slojnice 1000×2 (vanjske slojnice) = 2000 cm
Unutarnja stepeničasta slojnica = 1800 cm
Ukupno jedan red = $3800 \text{ cm} \times 10 = 38000 \text{ mm}$
- Visina – $100 \text{ cm} / 2.5 \text{ cm} = 40$ slojnica

Ukupan iznos milimetara slojnica = 1 520 000 mm

$$\frac{1\,520\,000 \text{ mm}}{150 \text{ mm/s}} = 10133,33 \text{ s}$$

U tablici 2 prikazano je vrijeme u minutama i satima te norma vremena izrade zida 3D printerom.

U tablici 3 prikazani su parametri ispisivanja slojnice od betona.

Tablica 2 Vrijeme izrade zida 3D printerom $10 \times 1 \times 0.2 \text{ m}$

Minute	Sati	Ukupni volumen slojnica	Norma vremena (1m^3)
169 min	2 h 49 min	$1,09 \text{ m}^3$	2 h 35 min

Tablica 3 Parametri ispisivanja slojnice

Frakcija agregata	Širina slojnice	Visina slojnice	Brzina ispisa
0-4 mm	25-100 mm	10-40 mm	150 mm/s

3.4. Materijali koji se koriste u 3D ispisu

- Beton
- Metal
- Plastika
- Blato
- Različiti reciklirani materijali

Beton

Najkorišteniji materijal u građevinarstvu i drugi u svijetu nakon vode je beton. Najviša zgrada na svijetu Burj Khalifa mogla je biti izgrađena upravo zbog nove tehnologije pumpanja betona na velike visine. Izrada betonskog elementa u tradicionalnoj gradnji se uvelike razlikuje od izrade 3D printerom. Tradicionalna gradnja zahtjeva izradu oplata i ugradnju armature u koju se zatim ulijeva beton. Beton nakon 7 dana sušenja dobiva 80% vrijednosti svoje karakteristične čvrstoće, a nakon 28 dana 100%-tnu. Kvalitete betona su podijeljene po karakterističnim čvrstoćama istih te se svaki beton izrađuje uz točno određene uvjete. Beton se može razlikovati po udjelu određene frakcije agregata, omjeru vode i cementa, vode, cementa i agregata u metru kubnom. Također radi što boljih svojstava dodaju se različiti aditivi i plastifikatori.

3D ispis u građevinarstvu u potpunosti je promijenio način ugradnje betona. Više se ne koristi oplata, pervibrator i ugradnja armaturnih šipki/mreža već se beton ispisuje kroz mlaznicu 3D printera. Kod 3D ispisa betona više se ne može pristupiti ugradnji kao kod tradicionalne ugradnje. Beton ne smije izlaziti 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. Posebnost betona u 3D ispisu je ograničena najveća frakcija agregata do 4 mm i obavezan dodatak plastifikatora koji pridodaju bolju koheziju kako mogao biti ispisan kroz mlaznicu printera. U tablici 4 prikazan je primjer omjera materijala 3D printanog betona. Kako je maksimalna frakcija agregata 3D printanog betona 0-4 mm u tablici 5 prikazan je omjer materijala potrebnog za izradu klase beton C25/30 s frakcijom agregata do 4 milimetara. [11]

Tablica 4 Primjer omjera materijala u postotku totalne mase 3D printanog betona

Materijali	Cement	Agregat (0-4mm)	Voda	Perlit	Superplastifikator	Ubrzavanje primjesa
Količina (%)	36.8	44.9	14.1	3.0	0.8	0.4

Tablica 5 Primjer izrade betona C25/30 Dmax(0-4mm)

Dmax (mm)	Voda/cement	Voda (l/m ³)	Cement (kg/m ³)	Agregat (kg/m ³)
4	0.605	244	403	1672

4. Usporedba 3D printera u odnosu na konvencionalne metode

Da bi 3D ispis u građevinarstvu opravdao svoju svrhu postojanja mora biti bolji ili u najmanju ruku jednako dobar s tradicionalnim i konvencionalnim metodama gradnje. Kriteriji uspješnosti projekta gradnje i njihovo uspoređivanje dijeli se na:

- 1) Vrijeme
- 2) Novac
- 3) Okoliš i sigurnost

4.1. Vrijeme

Kad se pita investitore, na prvo mjesto kao najbitnije stavke svakog projekta stavljaju vrijeme. Većina investitora radije bi da projekt više košta, a ranije završi nego da bude obrnuto. Vrijeme rada na projektu za sobom povlači brige, odgovornost i naposljetku novac. Kašnjenje je postalo redovna praksa u građevinskoj industriji i ima mnogo primjera gdje projekti svoj rok izvršenja produže dvostruko dulje od predviđenog.

U tradicionalnoj gradnji postoje faze projekata i različitih poslova što uključuje i više subjekata gradnje. Što je više subjekata to je veća vjerojatnost pojavljivanja problema to jest kašnjenja. U građevinskoj industriji sve je manje ljudskih resursa i mladih ljudi koji žele početi raditi u ovoj struci. Naglasak se stavlja na građevinskim i pomoćnim radnicima, gdje na 5 umirovljenih građevinskih radnika građevinskom sektoru priključi se 1 početnik, tako da manjak kvalificirane radne snage spada u problem broj 1 za budućnost graditeljstva. Kako je sve manje radne snage, vremenski rokovi i vrijeme građenja se produljuje.

Glavna prednost 3D ispisa kuća je vremenski rok građenja. Postavljena su rekordna vremena građenja u kojima je kuća izgrađena to jest ispisana u dva dana. Ne radi se o iznimkama, već o redovnoj praksi gdje su projekti širom svijeta izgrađena u kratkom vremenu. Tvrtke koje prednjače tehnologijom 3D ispisa u građevinarstvu sa sigurnošću tvrde da se vrijeme građenja u odnosu na tradicionalnu gradnju skraćuje za pola.

4.2. Novac

Iako je većini investitora vrijeme gradnje najbitniji faktor u izvršenju projekta, postoje investitori kojima na prvo mjesto po važnosti spada novac. Financije u građevinskom sektoru dosežu visoke

novčane iznose te je jedan od najuočljivijih pokazatelja uspješnosti projekta jer se može iskazati brojkama.

Tradicionalni način gradnje zahtjeva velik broj kvalificirane radne snage, a radna snaga treba biti plaćena. Radna snaga se sastoji od ljudi kojima za njihov rad mora biti isplaćena plaća i svi ostali dodaci kao što su zdravstveno i mirovinsko. Uz to dodatno radnici imaju pravo na svoj godišnji odmor i bolovanje. Sve se to mora uračunati u cijenu jednog radnika. Isto tako, dnevna pauza i ručak su neophodni u danu radnika. Ne smije se zaboraviti da građevinski radnik također može biti sklon poteškoćama od svojih privatnih problema i nastajanju pogrešaka. Osim radne snage u tradicionalnom načinu građenja postoje još skele, oplata i kran koji mogu biti najskuplji dio projekta, a one također imaju svoj određeni rok trajanja. Ljudi su skloni greškama, a svaka greška konkretno u ovom primjeru struke, produljuje rok i povećava cijenu gradnje. Kod ovih svih faktora gradnje zahtijevane visoke razine kontrola zbog velikog opsega ljudi i posla.

Glavna ušteda kod tehnologije gradnje 3D ispisom je u količini radne snage koja je potrebna u fazi građenja. Za 3D ispis kuće potreban je 3D pisač, tim od nekoliko ljudi koji upravljaju projektom te materijal i struja na koji se cijelo gradilište pogoni. Nema potrebe za skelama i oplatama jer se kuća ispisuje sloj po sloj. Dakle, sudionici u usporedbi s tradicionalnom gradnjom su svedeni na minimum. Kod tehnologije 3D ispisa ne postoji dan kad će se radnik ozlijediti na gradilištu ili kad će doći do pogreške u izlivanju betona. 3D pisaču nije potrebna pauza za odmor ili ručak niti mu pada efikasnost rada ako se produži u prekovremene sate. Inženjeri imaju puno manje rizika oko gradnje jer je samo jedan sudionik te je potrebno kontrolirati jedino njega i materijal koji oni ispisuje.

4.3. Okoliš i sigurnost

Svjesnost o okolišu i brizi oko njega najveća je prednost 3D ispisa u građevini. Građevni objekt ispisuje robot koji je nepogrješiv uz rijetke iznimke. Ispisivanje kuće i istiskivanje materijala je u centimetarsku točnost. Količina potrebnog materijala u gradnji se istiskuje u točnoj mjeri tako da ne ostane nepotrebnih ostataka otpada nakon gradnje. Razvojem građevinske industrije i sve strožim mjerama zaštite okoliša, struka ulaže u razvoj i osmišljava nove materijala u gradnji. Upravo 3D ispis zbog svoje tehnologije omogućava istiskivanje odnosno ispisivanje novi različitih vrsta materijala. Kod novih potencijalnih materijala traži se 'win-win' situacija u kojoj bi se riješila dva problema jednom gradnjom. Otpadni i moguće reciklirani materijali najviše podliježu

različitim istraživanjima kao što je kuća od rižinog otpada. U tom slučaju riješen je slučaj otpada te je recikliran uz gradnju novog postojećeg objekta. Također, za što boljim karakteristikama podliježe se drugim sintetičkim i umjetnim materijalima koji dodaju veću čvrstoću kao što je primjer bio-plastika.

Građevinska industrija te proizvodnja betona i cementa jedna je od najvećih zagađivača u svijetu. Glavni ciljevi građevinarstva upravo je smanjiti onečišćenja, a tehnologija 3D ispisa nudi rješenja koja bi mogla pomoći u tom cilju.

Osim prednosti u okolišu, 3D ispis i ima veliku prednost i u pogledu sigurnosti. Često se građevinski poslovi obavljaju u veoma teškim i nezahvalnim uvjetima. Građevinski radnici i pomoćnici u većini slučajeva niske razine obrazovanja stoga to podliježe i njihovim navikama zaštite na radu. U tom dijelu 3D ispis je veoma siguran, kako je sve robotizirano, a stručnjaci nadgledaju cjelokupan proces. Po pitanju sigurnosti, 3D ispis sigurno ima prednost u odnosu na tradicionalne metode gradnje.

4.4. Usporedba različitih metoda gradnje zida

U ovom dijelu uspoređivati će se upotreba različitih tehnika gradnje od različitih materijala. Kako se 3D ispisivanje u građevinarstvu bavi visokogradnjom odnosno gradnjom stambenih jedinica poput kuća, 3D printer, isključivo ispisuje materijal kojim se grade nosivi i pregradni zidovi, dakle isti ne obuhvaća sljedeće radove:

- Iskope i zemljane radove
- Izradu temelja
- Vodovodne i odvodne instalacije
- Električarske instalacije
- Strojarske instalacije
- Izolacijske radove (termoizolacija, hidroizolacija, zvučna izolacija)
- Stolarske radove
- Bravarske radove
- Keramičarske radove
- Podopolagačke radove
- Soboslikarske i ličilačke radove

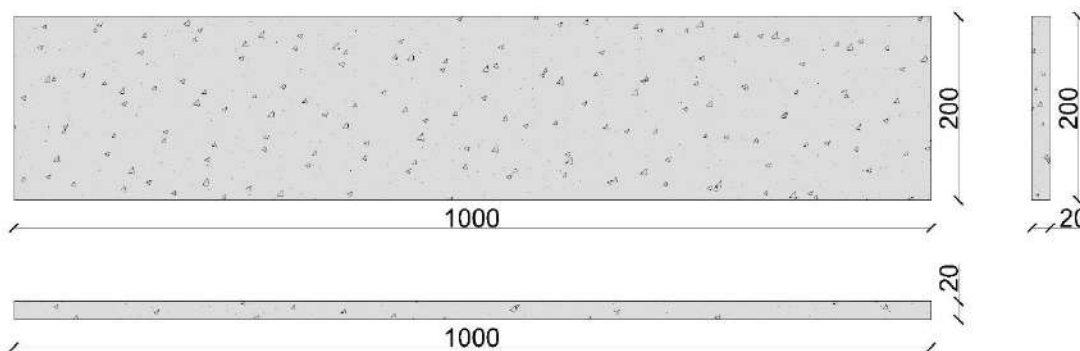
- Izrada krovišta i fasada
- Pripremno završne radove

3D printer ne uključuje nijedne građevinske radove osim izrade nosivih i pregradnih zidova. Zid kao građevni element predstavlja konstrukciju stambenog objekta te ima funkcije nosivosti i toplinske izolacije. Toplinska izolacije je zaseban parametar za sebe koji se ovdje neće uspoređivat zbog toga što se u ovom radu uspoređuje tehnologija gradnje, a ne materijala. Danas, toplinska izolacija, je pojam za sebe u građevinarstvu te je svrstana u osnove kod projektiranja i građenja. Svaki zidani element može poboljšati svoja toplinska svojstva naknadnom nadogradnjom sustava toplinske izolacije. 3D printer u građevinarstvu trenutno najviše upotrebljava građevni materijal beton. Ostali kompozitni materijali s poboljšanim svojstvima su tek u fazi istraživanja te nisu u primjeni. Kod uspoređivanja izrade zida spomenut ćemo nekoliko tehnika i vrsta gradnje.

1. Armirani beton
2. Blok opeka
3. Porobeton
4. 3D ispis (beton)

Zid je određen dimenzijama 10x2x0.2 metara te su navedeni svi faktori u gradnji.

ARMIRANI BETON

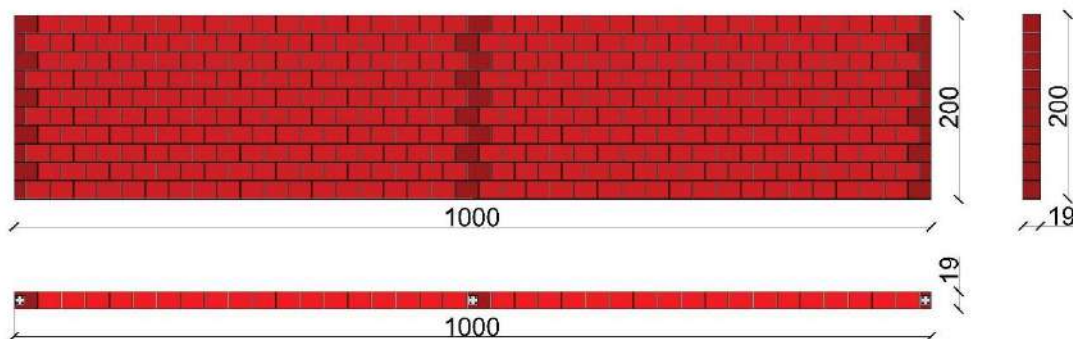


Slika 18 Zid od armiranog betona

Zid od armiranog betona izrađuje se tako da se svježa smjesa betona ulije u oplatu koja je popunjena planirano raspoređenom armaturom (Slika 18). Nakon što se beton ulije u oplatu,

smjesa se vibrira kako bi što više zraka bilo istisnuto te bi se postigla najveća gustoća i optimalna konsolidacija.

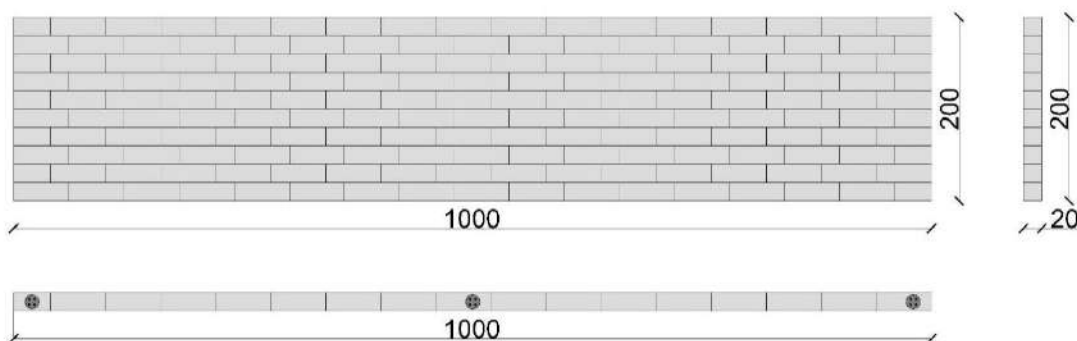
BLOK OPEKA



Slika 19 Zid od blok opeke

Zid od blok opeke sastoji se od više kontinuiran o povezanih blokova veznim sredstvom (Slika 19). Blokovi mogu biti različitih dimenzija, kvaliteta i toplinsko-izolacijskih svojstava. Nosiva konstrukcija raspodijeljena je na tri vertikalna serklaža koji se zidani od posebne blok opeke za serklažne elemente na jednakim razmacima. Serklaži su ispunjeni armaturnim šipkama i betonom.

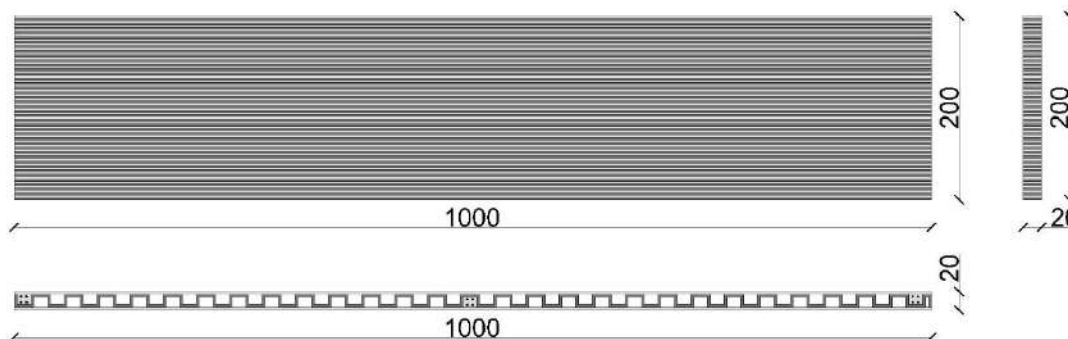
POROBETON



Slika 20 Slika Zid od porobetona

Zid od bloka porobetna sastoji se od više kontinuirano povezanih blokova vezivnim sredstvom (Slika 20). Blokovi mogu biti različitih dimenzija. Nosiva konstrukcija raspodijeljena je na tri vertikalna serklaža koji su zidani od posebnog bloka porobetona koji omogućava prostor za armirano-betonski serklaž.

3D PRINTER (beton)



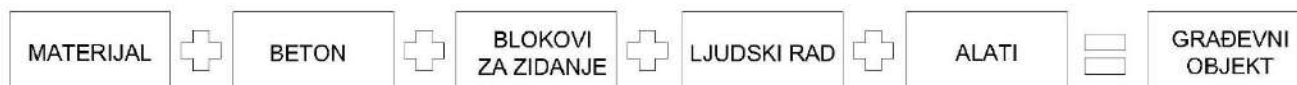
Slika 21 Zid 3D printanim betonom

Tehnologija 3D ispisa izrađuje zid od betona. U tlocrtnom pogledu sastoji se od 3 slojnice (Slika 21) . Dvije vanjske slojnice potpuno ravne i jedne unutarnje stepeničastog oblika radi bolje stabilizacije. Nakon stvrdnjavanja slojnica na rubnim dijelovima i u sredini izvedeni su vertikalni serklaži.

U tablici 6 prikazan su tablično uspoređeni potrebni materijali i radnici za svaku vrstu tehnologije izrade zida, dok je na slici 22 shematski prikaz segmenata gradnje konvencionalnim metodama i metodom 3D printerom. Na slici 23 shematski je prikazan prijenos informacija tijekom gradnje konvencionalnom metodom i metodom 3D printera. [10]

Table 6 Prikaz potrebnih radnika i materijala za pojedinu vrstu izrade zida

ARMIRANI BETON		OPEKA		POROBETON		3D PRINTER (BETON)	
Materijali	Radnici	Materijali	Radnici	Materijali	Radnici	Materijali	Radnici
beton	2 × tesari	blok opeka	3 × zidari	blok porobetona	3 × zidari	beton	1 × tesar
armatura	2 × armirači	mort za zidanje	1 × grad. ing	pur pjena za zidanje	1 × grad. ing		3 × grad. ing
oplata	1 × grad. ing	beton za serklaže		beton za serklaže			
Strojevi		Strojevi		Strojevi		Strojevi	
Kamion miješalica za beton		Miješalica za mort i beton				Kamion miješalica za beton	
Pumpa za beton							
Kran							

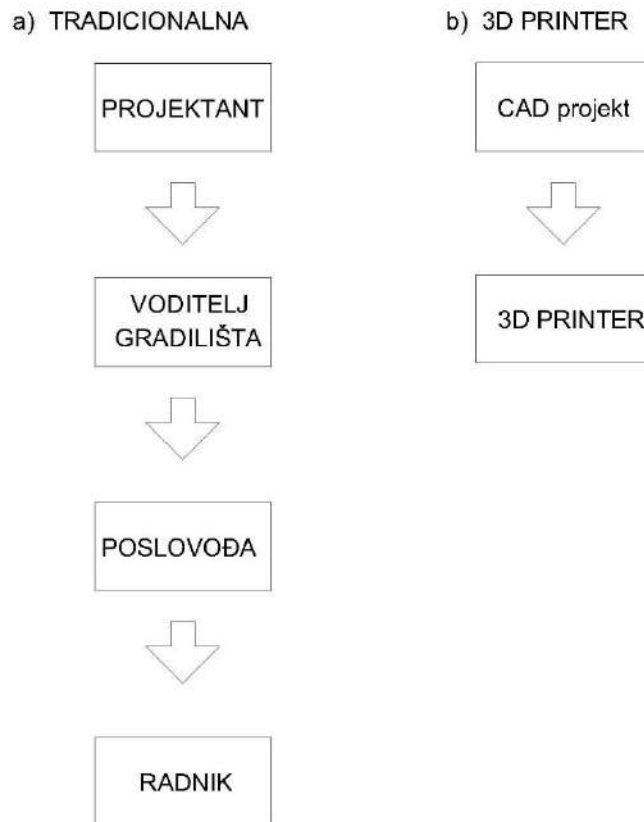


a) građenje objekta tradicionalnom metodom



b) građenje objekta 3D printerom

Slika 22 Shematski prikaz segmenata konvencionalne gradnje i gradnje 3D printerom



Slika 23 Prikaz prijenosa informacija u tradicionalnoj gradnji i gradnji 3D printerom

5. Budućnost 3D printera u građevinarstvu

Tehnologija gradnje 3D printerom smatra se inovacijom u građevinarstvu. Tehnologija 3D ispisa dosegla je određenu razinu primjene te se može smatrati jednim od načina gradnje. Međutim, potrebno je još istraživanja i razvijanja same tehnologije da u potpunosti zamijeni i dostigne tradicionalne metode gradnje.

Mane ove tehnologije su troškovi transporta te ograničene dimenzije građevinski objekata. U budućnosti 3D printer itekako može zauzeti svoje mjesto u građevinarstvu, kao na primjer kamp kućice i kućice u slučaju katastrofalnih nepogoda. U tom slučaju, troškovi transporta 3D printera se smanjuju te se isplativost povećava. Prednost 3D printera je ta da u može zavidnom brzinom u kratkom roku ispisati jednostavne, ograničenih dimenzija građevne objekte. U slučaju katastrofalnih nepogoda, bitna je brza i efektivna gradnja stambenih skloništa koji služe privremenoj svrsi. Objekti poput kamp kućica i kućica za sklonište mogu biti identičnih arhitektura i dimenzija te nije potrebna velika statička otpornost pošto se radi o malim tlocrtnim površinama i visina objekata.

3D printer je učinkovit i koristan u područjima gdje je teško osigurati kvalitetu i kvantitetu radne snage. Iz tog razloga 3D printer ima veliku budućnost u gradnji u teško pristupačnim mjestima na Zemlji te veliki značaj može imati u budućnosti za gradnju u svemiru.

Zbog svoje specifične tehnologije 3D printer može biti veoma koristan u arhitekturi, pošto se radi o tehnologiji gradnje koju teško može zamijeniti bilo koja druga tehnologija. 3D printer ispisuje autentične oblike veoma brzim učinkom koji se lako modeliraju u programima. Osim betona moguće je koristiti i druge materijale koji zadovoljavaju kriterije ispisivanja poput plastike i metala.

Tehnologija 3D ispisa se dodatno proučava i razvija tako se osim ispisivanja betona kao građevnog materijala, robotska automatizacija se može prenamijeniti u drugu svrhu, kao naprimjer najnovija prisutna tehnologija automatskog polaganja blokova robotom.

Kako se radi o građevnim objektima ograničenih dimenzija, niskih visina, tehnologija 3D ispisa može koristiti u većem značaju reciklirane materijale od kojih se zahtjeva manja mehanička otpornost, stoga se recikliranje građevnog materijala u budućnosti uporabom 3D printera može značajno povećati.

6. Zaključak

Na temelju svih točaka rada može se zaključiti da 3D ispis u građevinarstvu je nova tehnologija gradnje građevnog elementa, a ne cjelokupnog objekta. Dakle 3D printer ne ispisa gotove građevne objekte poput kuća već njihove zidove. 3D printer nije u mogućnosti odraditi električne, strojarske instalacije, stolarske ili bilo koje druge obrtničke radove. Tehnologija 3D ispisa može se isključivo uspoređivati sa drugim metodama u pogledu gradnje elementa poput nosivog ili pregradnog zida te kompletna gradnja nije u potpunosti automatizirana. Osim što treba više stručnih osoba za upravljanje 3D printerom u odnosu na potreban broj stručnih osoba kod tradicionalnih metoda, kroz cijeli proces ispisa treba biti radnik koji će postavljati oplata za otvore, ugrađivati vlačnu stabilizaciju poput armature te voditi brigu o čistoći i funkcioniranju stroja. 3D printer u građevinarstvu nije jeftina mehanizacija, stoga cijena gradnje 3D printerom znatno ovisi o njegovoj upotrebi. Što se stroj više koristi u gradnji, to će njegov najam biti jeftiniji. Osim toga 3D ispis ne može uvesti revoluciju u građevinarstvo i zamijeniti sve ostale građevne tehnologije. Građevinarstvo se sastoji od više različitih struktura i objekata te se nikako ne može generalizirati. Ako gledamo visokogradnju, svaki građevni objekt podliježe za sebe vlastitom funkcionalnim i projektnim zahtjevima, klimi i vremenu, financijskom proračunu itd. Ne mogu se uspoređivati različiti parametri gradnje kod gradnje kuće prizemnice i bolnice, hangara ili poslovne zgrade s uredima. Najveći trošak kod gradnje 3D printerom može se smatrati transport. 3D printeri trenutno nisu dostupni svakom gradu na svijetu, dok građevinski radnici – zidari jesu. To dovodi do kompliciranije pripreme cijelog gradilišta od same gradnje objekta. Tehnologija gradnje 3D ispisom zahtjeva dodatna istraživanja i razvoj jer trenutno nije uvedena standardizacija gradnje kao na primjer u Europskoj Uniji (Eurokod) za ostale metode gradnje te je iz tog razloga gradnja kompliciranija.[13] 3D ispis svojim kontroliranim radom i smanjenom količinom građevinskog otpada smanjuje emisiju CO₂, ali trenutno najveća upotreba kod 3D ispisa je materijal beton. Proizvodnja betona zauzima 10% zagađenja od cijele građevinske industrije te kad se pridoda upotreba velika količina struje za korištenje 3D printera i kompletni transport do i od gradilišta, cjelokupno smanjenje zagađenja s 3D ispisom se treba sagledati sa oprezom. Svaka tehnologija i metoda gradnje ima svoje prednosti i mane te svoje funkcionalne sposobnosti i karakteristike. Građevinarstvo je široka industrija s mnogo različitih problema i rješenja. Tehnologija 3D ispisa ne može u potpunosti zamijeniti niti jednu drugu tehnologiju u građevinarstvu već svojim razvojem i napretkom može postati konkurentna tehnologija za određene procese i projekte.

7. Reference

- [1] A. Morić i I. Zjakić, »FDM tehnologija 3D tiska,« Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb, 2019.
- [2] »The World's First 3D printed Canal house,« 16 rujana 2016.. [Mrežno]. Available: <https://www.ignant.com/2016/09/16/the-worlds-first-3d-printed-canal-house/>.
- [3] »Office of the future,« architectmagazine.com, 25 lipanj 2017. [Mrežno]. Available: https://www.architectmagazine.com/project-gallery/office-of-the-future_o. [Pokušaj pristupa 10 travanj 2023].
- [4] »3D Printing in Construction: Growth, Benefits, and Challenges,« Constructionblog.autodesk.com, 4 Kolovoz 2020. [Mrežno]. Available: <https://constructionblog.autodesk.com/3d-printing-construction/>. [Pokušaj pristupa 15 travanj 2023].
- [5] »Daleko je dan kad će se netko u Hrvatskoj useliti u isprintani dom,« lidermedia.hr, 16 listopada 2021. [Mrežno]. Available: <https://lidermedia.hr/teho/daleko-je-dan-kad-ce-se-netko-u-hrvatskoj-useliti-u-isprintani-dom-139217>. [Pokušaj pristupa 10 travanj 2023].
- [6] »3D printing construction market,« straitsresearch.com, [Mrežno]. Available: <https://straitresearch.com/report/3d-printing-construction-market>. [Pokušaj pristupa 6 travanj 2023].
- [7] »The 13 best construction 3D printers in 2023,« aniwaa, [Mrežno]. Available: <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/3d-printers/house-3d-printer-construction/>. [Pokušaj pristupa 15 travanj 2023].
- [8] A. Bogdan, »Isprintana stambena zgrada s četiri kata,« *Građevinar*, veljača 2015.

- [9] Pandi i Kumari, »Effectiveness of 3D Printing In Construction Industry over the Old Conventional Method Regarding Time and Cost,« u *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2021.
- [10] N. Nadarajah, »Development of concrete 3D printing,« 2018.
- [11] Karpova, Skripkiunas, Sedova i Tsimbalyuk, »Additive manufacturing of concrete wall,« Vilnius, 2021.
- [12] »Top10: 3D Construction printing companies,« Constructiondigital.com, 7 lipanj 2023. [Mrežno]. Available: <https://constructiondigital.com/top10/top-10-3d-construction-printing-companies>. [Pokušaj pristupa 15 kolovoz 2023].
- [13] T. Diks, »The roadmap to standards for 3D concrete printing,« University of Twente, 2019.

POPIS SLIKA

Slika 1 Generalizirani proces aditivne tehnologije, T. Campbell, C. Williams, O. Ivanova, B. Garrett, 2011	3
Slika 2 3D Printed House, 2016. godina (https://www.buildingcentre.co.uk/news/articles/3d-printed-house-facade-fragment-model-dus-architects	4
Slika 3 Kamermaker, 2013. godina (https://3dprintingindustry.com/news/3d-printed-house-a-reality-in-amsterdam-7313/)	4
Slika 4 3D ispisana kuća u Kini, 2016 (https://www.realestate.com.au/news/totally-3d-printed-house-created-in-china-over-45-days/)	5
Slika 5 Office of the Future, 2016 (https://archello.com/project/office-of-the-future-future-foundation-pavillion)	6
Slika 6 Prva 3D ispisana kuća u Njemačkoj projektirana u AllPlan-u (https://blog.allplan.com/en/germanys-first-3d-printed-house-is-finished).....	9
Slika 7 3D model ispisane kuće u AllPlan-u (https://www.allplan.com/press-reports/press-report/first-3d-printed-house-in-germany-realized-with-support-from-allplan/)	9
Slika 8 Robotska ruka (https://toolkittech.com/shop/xtreee-concrete-3d-printing-additive-manufacturing/).....	11
Slika 9 Sistem kрана (https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/apis-cor-3d-printer/)	11
Slika 10 Gantry sistem (https://cobod.com/solution/bod2/specifications/)	12
Slika 11 Površine rada 3D sistema ispisa	13
Slika 12 Gantry sistem gradnje na građilištu (https://www.re-thinkingthefuture.com/designing-for-typologies/a3563-concrete-3d-printing-10-residential-projects-around-the-world/).....	14
Slika 13 Sistem kрана na gradilištu (https://blog.apis-cor.com/the-effects-of-cement-and-global-warming-0).....	15
Slika 14 Gantry sistem u proizvodnoj hali (https://aec-business.com/south-east-asias-largest-3d-printer-for-construction-operational-in-singapore/).....	16
Slika 15 Poprečni presjek slojnice	16
Slika 16 Prikaz ispisa sloja kružnom i kvadratnom mlaznicom (MAXIPRINTER)	17
Slika 17 Zid ispisan 3D printerom	17
Slika 18 Zid od armiranog betona.....	23
Slika 19 Zid od blok opeke	24

Slika 20 Slika Zid od porobetona.....	24
Slika 21 Zid 3D printanim betonom	25
Slika 22 Shematski prikaz segmenata konvencionalne gradnje i gradnje 3D printerom.....	26
Slika 23 Prikaz prijenosa informacija u tradicionalnoj gradnji i gradnji 3D printerom	27

POPIS TABLICA

Tablica 1 Primjeri 3D printera u građevinarstvu dostupnih na svjetskom tržištu.....	13
Tablica 2 Vrijeme izrade zida 3D printerom 10x2x0.2 m	18
Tablica 3 Parametri ispisivanja slojnice	18
Tablica 4 Primjer omjera materijala u postotku totalne mase 3D printanog betona.....	19
Tablica 5 Primjer izrade betona C25/30 Dmax(0-4mm)	19

8. Prilog



MAXIPRINTER [
BROCHURE] 2023 EI