

Primljeno/Submitted: 18.03.2023.

Prihvaćeno/Accepted: 24.05.2023.

Izvorni znanstveni rad

Original scientific paper

JEL Classification: R00

DIGITALNA PREZENTACIJA MODELA GRAĐEVINE

DIGITAL PRESENTATION OF THE BUILDING MODEL

Vjekoslav Vujanić*

Zlata Dolaček-Alduk**

SAŽETAK

Europski opservatorij građevinskog sektora (ECSO) prepoznao je tehnologiju 3D ispisa kao jednu od budućih strategija razvoja digitalne Europe. Uz ubrzanu urbanizaciju, nedostatak resursa i klimatske promjene, tehnologija 3D ispisa predstavlja jedno od mogućih načina za postizanje jeftinijeg i bržeg procesa gradnje. Inherentne karakteristike tehnologije 3D ispisa čine ju prirodno kompatibilnom s građevinarstvom. Zbog višenamjenske prirode BIM tehnologije, njezina primjena nije samo u vizualizaciji informacijskog modela građevine, nego i u povezivanju i prikazivanju pripadajućih procesa u različitim fazama projekta.

Cilj rada je istražiti mogućnosti povezivanja tehnologije informacijskog modeliranja građevina (BIM tehnologije) s tehnologijom 3D ispisa te prikazati prednosti i nedostatke integracije navedenih tehnologija. Na praktičnom primjeru prikazat će se postupak 3D ispisa informacijskog modela građevine, od pripreme za ispis do realizacije.

Ključne riječi: 3D ispis, BIM model, format, datoteka, tehnologija

ABSTRACT

The European Construction Sector Observatory (ECSO) has recognized 3D printing technology as one of the future strategies of digital Europe development. With accelerated urbanization, lack of resources and climate change, 3D printing technology is one of the possible ways to achieve a cheaper and faster construction process. The inherent characteristics of 3D printing technology make it naturally compatible with civil engineering. Due to the multi-purpose nature of BIM technology, its application is not only in the

* Student, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, e-mail: vvujanic@gfos.hr

** Prof. dr. sc., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, e-mail: zlatad@gfos.hr

visualization of the information model of the building, but it also connects and displays the associated processes in different phases of the project.

The paper aims to research the possibilities of connecting building information modelling technology with 3D printing technology and show the advantages and disadvantages of the integration of the mentioned technologies. A practical example will show the process of 3D printing of an information model of a building, from preparation for printing to realization.

Keywords: 3D print, BIM model, format, file, technology

UVOD

Europska unija aktivno promiče implementaciju tehnologije 3D ispisa u građevinarstvu. Posljednjih godina EU je pokrenula različite inicijative te financirala projekte s ciljem istraživanja potencijala primjene tehnologije 3D ispisa u građevinskoj industriji. Pri tome, ključna strategija je potpora istraživanju i razvoju ovog područja. To uključuje financiranje projekata koji imaju za cilj poboljšanje pouzdanosti, učinkovitosti te isplativosti tehnologije 3D ispisa, kao i projekte s ciljem razvoja novih materijala i metoda gradnje. Osim toga, EU radi na promicanju razvoja standarda tehnologije 3D ispisa u građevinarstvu kako bi se osigurala sigurnost, pouzdanost i kompatibilnost navedene tehnologije s postojećim građevinskim procesima, propisima i standardima. Uspješna provedba standardizacije potaknula bi povećanje prihvaćanja tehnologije 3D ispisa u građevinarstvu i potaknula više tvrtki na ulaganje u spomenuto područje. EU promiče primjenu tehnologije 3D ispisa i u obrazovanju s ciljem pripreme sljedeće generacije inženjera i građevinskih stručnjaka za budućnost u kojoj će tehnologija 3D ispisa igrati važnu ulogu. Općenito, strategija EU za implementaciju tehnologije 3D ispisa u građevinarstvu temelji se na potpori istraživanju i razvoju, promicanju standardizacije te povećanju svijesti i kvalitete obrazovanja u ovom području. Na taj način EU nastoji ubrzati proces implementacije te potaknuti inovacije.

Republika Hrvatska planira ažurirati svoje strategije istraživanja i inovacija (RIS3) s ciljem nadogradnje onoga što je do sada razvijeno te implementirati poboljšanja regionalnih i nacionalnih inovacijskih ekosustava koji će se financirati putem ERDF-a. Pri tome će se posebna pozornost posvetiti podršci regijama u industrijskoj tranziciji koje poduzimaju korake za proširenje svojih gospodarskih aktivnosti na inovativnija i održiva područja. Jedan od koraka prema ostvarenju Strategije digitalne Hrvatske za razdoblje do 2032. godine je i ulaganje u istraživačke i inovacijske kapacitete te primjenu naprednih tehnologija poput umjetne inteligencije, virtualne stvarnosti, analize velikih skupova podataka ali i tehnologije 3D ispisa.

Cilj ovog rada je istražiti mogućnosti povezivanja tehnologije informacijskog modeliranja građevina (BIM tehnologije) s tehnologijom 3D ispisa te prikazati prednosti i nedostatke integracije navedenih tehnologija. Na praktičnom primjeru prikazat će se postupak 3D ispisa informacijskog modela građevine, od pripreme za ispis do realizacije.

1. PRIPREMA INFORMACIJSKOG MODELA GRAĐEVINE ZA 3D ISPIS

Integracija tehnologije informacijskog modeliranja građevina (BIM tehnologije) i tehnologije 3D ispisa

Zonglin (2021) sugerira da se kroz proces prilagođavanja budućem razvoju građevinske industrije stvorila inovativna i nova teorija i metoda koja učinkovito integrira BIM tehnologiju i tehnologiju 3D ispisa, pri čemu se iskorištavaju prednosti informacijskih tehnologija. Naglašava kako je ključ uspješne primjene BIM tehnologije i tehnologije 3D ispisa potreba za rješavanjem izazova koji se javljaju u njihovoj integraciji. Konkretno, BIM tehnologija pruža informacije o digitalnom modelu građevine, dok 3D pisači koriste unaprijed definirani algoritam kako bi ispisali odgovarajući oblik. Međutim, kako bi se podaci iz BIM modela uspješno prenijeli na 3D pisač, potrebna je određena priprema podataka iz BIM računalnog programa kako bi se pretvorili u odgovarajući podatkovni kod ili programski jezik koji 3D pisač može razumjeti i koristiti u proizvodnji montažnih građevinskih elemenata. Ovaj proces zahtijeva suradnju između inženjera, arhitekata i drugih stručnjaka kako bi se osigurao kvalitetan i pouzdan izvor podataka za 3D ispis. Stoga, integracija ovih dviju tehnologija zahtijeva multidisciplinarni pristup i vrlo pažljivo planiranje kako bi se ostvarile sve njihove prednosti i maksimizirao njihov potencijal za daljnji razvoj građevinske industrije.

Nadalje, prema Zonglinu (2021), informacije o komponentama također se mijenjaju unutar sustava obrade podataka. Nakon što je definirana putanja ispisa, BIM računalni program koristi te podatke kako bi sastavio trodimenzionalni model od svih grafičkih elemenata. Ovaj model može se vizualizirati u svrhu mogućih izmjena dizajna i praćenja te kontrole procesa ispisa. Uređaj za 3D ispis koristi upravljački sustav koji generira programski kôd za ispis, koji navodi alat za nanošenje materijala za ispis po unaprijed definiranoj putanji, određenim redoslijedom.

Slika 1. Informacijski model konstrukcije višestambene zgrade



Izvor: vlastita izrada autora u računalnom programu Allplan 2021.

BIM tehnologija se proteklih nekoliko godina pokazala kao učinkovita metoda koja olakšava implementaciju 3D ispisa u građevinskoj industriji. Osim što omogućava brzu proizvodnju 3D elemenata bez potrebe za specijaliziranom ili skupom opremom, BIM se razlikuje od konvencionalnih računalnih alata za 3D modeliranje po tome što ne obuhvaća samo geometrijske informacije o modelu, već i karakteristike materijala sadržanih u svakom BIM elementu. Autodesk i drugi poznati proizvođači računalnih programa surađuju s pružateljima usluga 3D ispisa kako bi pojednostavnili postupak 3D ispisa iz BIM-a, ističu Alzarrad i Elhouar (2019).

Prema Europskom opservatoriju građevinskog sektora (ECSO), tehnologija 3D ispisa je prepoznata kao jedna od budućih strategija digitalne Europe. S ubrzanom urbanizacijom, nedostatkom resursa i klimatskim promjenama, tehnologija 3D ispisa može biti jedan od mogućih načina za postizanje jeftinijeg i bržeg procesa građenja. Zbog svojih inherentnih karakteristika, tehnologija 3D ispisa je prirodno kompatibilna s građevinskom industrijom (tablica 1).

Tablica 1. Poveznica tehnologije 3D ispisa i građevinske industrije

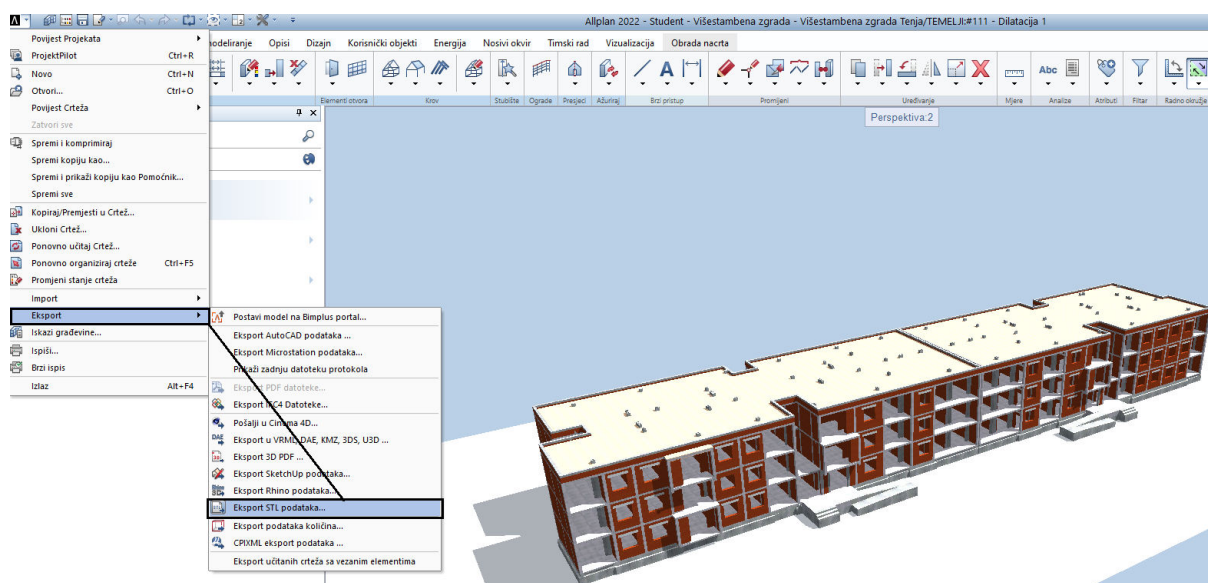
Tehnologija 3D ispisa	Građevinska industrija
Precizna proizvodnja zasnovana na 3D modelima izrađenim pomoću računala	Sve veće oslanjanje arhitekata i projektanata na informacijsko modeliranje građevina
Unikatan dizajn i geometrijski oblici ne ostvarivi konvencionalnim metodama	Potražnja investitora za unikatnim dizajnom i sofisticiranim rješenjima
Brza i relativna jeftina realizacija složenog dizajna	Zahtjevi za smanjenjem troškova i ubrzanje isporuke projekta
Autonomna proizvodnja, uz minimalnu uključenost čovjeka	Povećana automatizacija zbog nedostatka kvalificirane radne snage u mnogim zemljama
Mogućnost rada sa širokim spektrom materijala za ispis	Primjena širokog spektra materijala

Izvor: vlastita izrada autora

Priprema modela i 3D ispis

Pri bilo kojem postupku 3D ispisa građevine, neophodna je prethodna izrada 3D modela pomoću nekog od računalnih programa za informacijsko modeliranje (slika 1). Zatim je model potrebno izvesti u obliku datoteke koja je prikladna za razmjenu 3D podataka. Jedan od najčešće korištenih formata u industriji 3D ispisa je STL (Standard Tessellation Language format) (slika 2).

Slika 2. Izvoz 3D modela iz BIM računalnog programa u datoteku formata STL

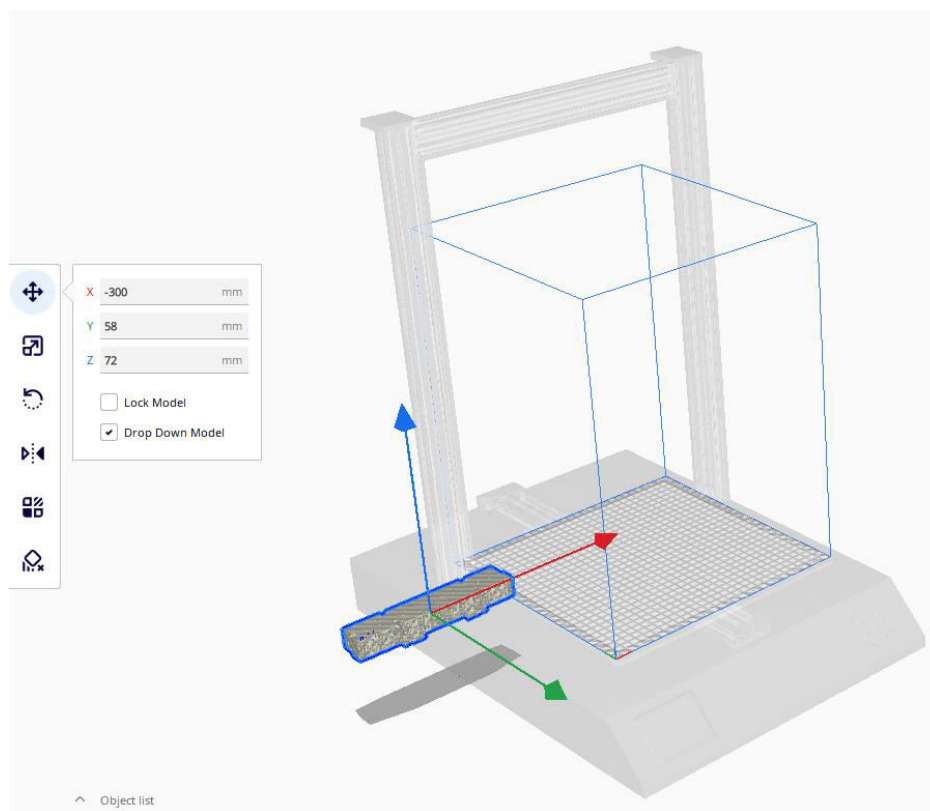


Izvor: vlastita izrada autora

Osim toga, potrebno je prilagoditi podatke sadržane u STL datoteci te ih prevesti u 3D pisaču razumljivi programski jezik uz pomoć odgovarajućeg računalnog programa. Ovaj proces obično uključuje pretvorbu 3D modela u slojeve, nakon čega se stvara putanja ispisa koju 3D pisac slijedi. Ova putanja obično se sastoji od 2D konturnih linija koje određuju poziciju alata za ispis i kretanje 3D pisača, kako Alzarrad i Elhouar navode (2019).

G-kod je programski jezik koji se koristi za upravljanje 3D pisačem i sadrži naredbe za upravljanje kretanjem dijelova pisača. Naredbe su obično označene kao G i M, a svaka naredba ima funkciju pokretanja ili izvođenja neke radnje. Ultimaker Cura je računalni program za pripremu 3D ispisa korišten pri izradi primjera za potrebe ovog rada. Spomenuti alat automatski generira G-kod iz datoteke u formatu STL koja sadrži 3D model. U postupku pripreme 3D ispisa, prvi korak je odabrati željeni model 3D pisača u računalnom programu, poput Ultimaker Cura. Potom se otvara STL datoteka u istom programu. Nadalje, dimenzije 3D modela se prilagođavaju, a zatim se model pozicionira na odgovarajući način kako bi se pripremio za 3D ispis (slika 3).

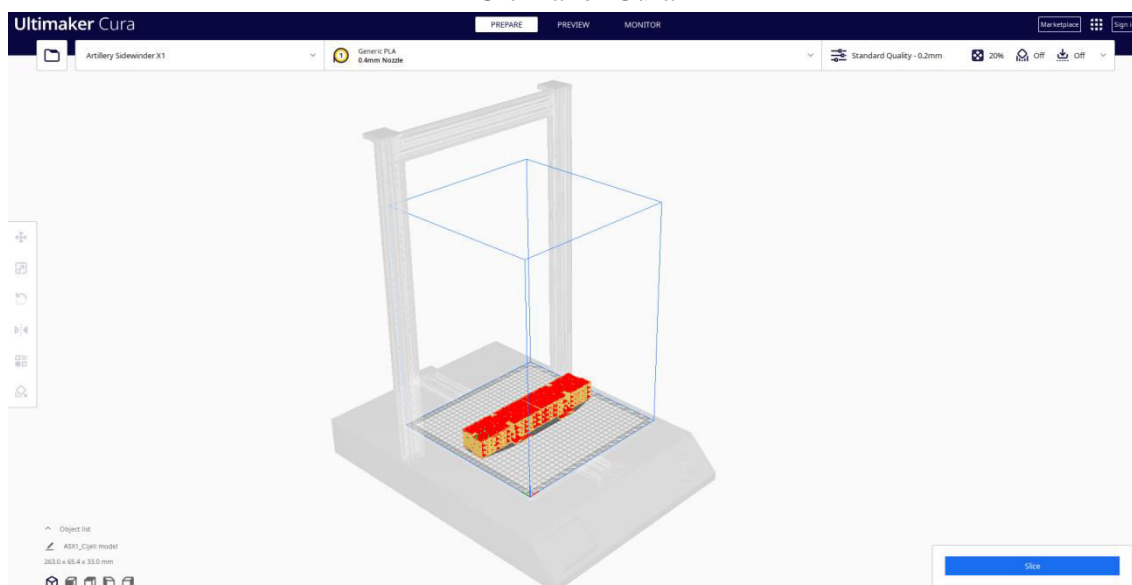
Slika 3. Prostorno pozicioniranje informacijskog modela građevine u računalnom programu Ultimaker Cura



Izvor: vlastita izrada autora

Nakon što je 3D model uspješno pozicioniran s dimenzijama prilagođenim prostornim ograničenjima pripadajućeg 3D pisača, potrebno je generirati G kôd primjenom postupka koji se naziva „rezanje“ (eng. slicing) i predstavlja poveznicu između ulazne datoteke i generiranja G kôda. Hu (2017) opisuje spomenuti postupak kao proces u kojem dolazi do „rezanja“ modela u horizontalu slojeva te generiranja putanje alata za njihovo ispunjavanje. Pri tome računalni program za pripremu 3D ispisa izračunava količinu materijala koju je potrebno otisnuti. U trenutnoj praksi 3D ispisa, najčešća tehnika rezanja je izrada konture podataka iz STL datoteka. STL model se u tom postupku reže, pri čemu se siječe s horizontalnim ravninama, od kojih svaka rezultira komadima linearne konture odsječka modela.

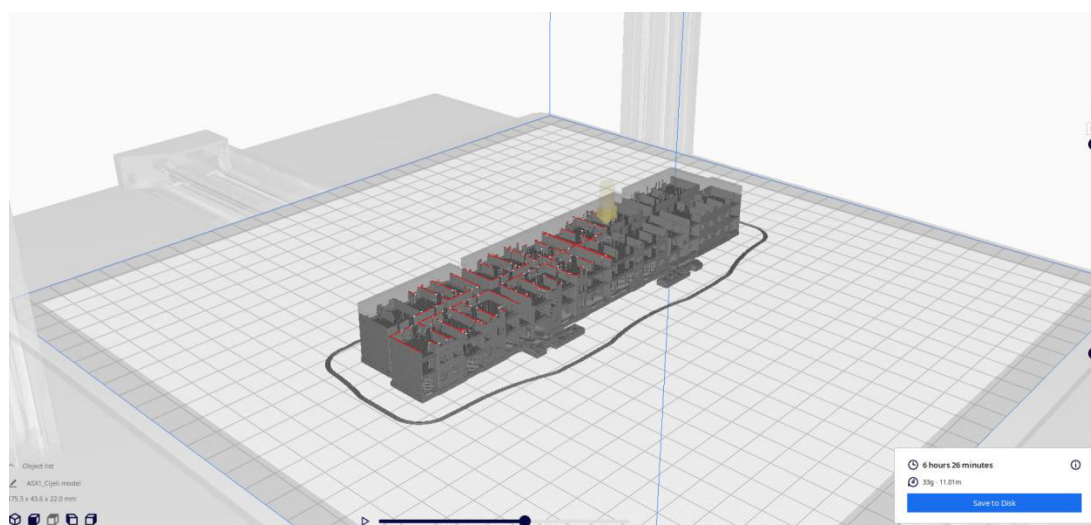
Slika 4. Informacijski model građevine pripremljen za ispis u računalnom programu Ultimaker Cura



Izvor: vlastita izrada autora

Nakon uspješnog pozicioniranja 3D modela u skladu s ograničenjima prostora odabranog 3D pisača, sljedeći korak je generiranje G kôda. Prije početka 3D ispisa, moguće je izvesti probnu simulaciju pomoću prethodno generiranog G kôda. Simulacija omogućuje pregled putanje kretanja 3D pisača u bilo kojem trenutku, kao i predviđanje vremena potrebnog za dovršetak 3D ispisa. Ova simulacija pomaže u ranom otkrivanju mogućih nepravilnosti i omogućuje pravovremeno ispravljanje eventualnih nedostataka i problema koji bi mogli ugroziti kvalitetu ispisa (slika 5).

Slika 5. Simulacija 3D ispisa u računalnom programu Ultimaker Cura



Izvor: vlastita izrada autora

Potrebno je prenijeti "G kod" datoteku, koja je pripremljena na prethodnom koraku, na 3D pisač pomoću USB prijenosnika podataka. Ispis se može pokrenuti izravno s 3D pisača preko zaslona s naredbama (slika 6).

Slika 6. Početak 3D ispisa na 3D pisaču Artillery Sidewinder X1 i pisač u radu



Izvor: vlastita izrada autora

2. FORMATI DATOTEKA

Prema Sakin i Kiroglu (2017) STL je format datoteke koji se najčešće koristi za 3D ispis. Naziv STL je akronim koji označava sterolitografiju – popularnu tehnologiju 3D ispisa. Naziva se još i standardnim jezikom teselacije. STL format aproksimira površine čvrstog modela trokutima. Što je dizajn složeniji, koristi se više trokuta i veća je razlučivost. STL je poznat po svojoj sposobnosti prijenosa geometrijskog sastava 3D dizajna. Gotovo svi 3D pisači mogu koristiti i podržavaju STL format datoteke. Budući da je univerzalno prepoznat, pouzdan je izbor za dizajn i ispis 3D modela i objekata. STL je moguće koristiti za izradu širokog spektra objekata, uključujući i modele građevina. Zbog nedostatka boje i teksture, STL datoteke su obično manje, ali se brže obrađuju od drugih formata.

Iako je STL format izvrstan u 3D ispisu složenih oblika, ima relativno ograničene mogućnosti u drugim područjima, uključujući boju i teksturu. Iz tog razloga, još uvijek se uglavnom koristi za izradu prototipa, a ne konačnog proizvoda. Nadalje, IFC podatkovni model omogućuje razmjenu BIM podataka neovisno o tome u kojem računalnom programu je model izrađen. Temelji se na objektno orijentiranom programskom jeziku za modeliranje podataka EXPRESS, definiranom u standardu ISO 10303, navode O Davtalab, Kazemian i

Khoshnevis (2018). Unatoč značajnim prednostima integriranja BIM-a s tehnologijom 3D ispisa, O Davtalab, Kazemian i Khoshnevis (2018) ističu kako je opseg istraživanja ovog područja još uvijek mali. Strategije za planiranje procesa 3D ispisa na temelju BIM podataka razvijene su i implementirane. U oba slučaja, IFC format datoteka se koristi za prijenos podataka iz računalnog programa za informacijsko modeliranje u računalni program za pripremu procesa 3D ispisa. O Davtalab, Kazemian i Khoshnevis (2018) predlažu nadopunu BIM modela dodavanjem parametara koji opisuju materijal koji će se koristiti za ispis i tehničkih karakteristika uređaja za ispis kako bi se osigurali podaci neophodni za planiranje procesa.

3. PREDNOSTI I NEDOSTACI INTEGRACIJE BIM TEHNOLOGIJE I 3D ISPISA

Yin, Suo, Lv, Ma, Wang i Zhang (2021) navode kako primjena tehnologije 3D ispisa u građevinarstvu, u usporedbi s tradicionalnim metodama gradnje, ima brojne prednosti (tablica 2).

Tablica 2. Prednosti tehnologije 3D ispisa u građevinarstvu

Prednost	Tumačenje
Ušteda materijala	<u>Materijali</u> : građevine izrađene pomoću 3D pisača mogu se formirati odjednom, bez izrade oplata, što smanjuje otpad betonskih materijala i poboljšava stopu iskorištenja materijala. <u>Vrijeme građenja</u> : u usporedbi s tradicionalnom tehnologijom, 3D ispis uvelike poboljšava učinkovitost proizvodnje, što može smanjiti vrijeme potrebno za izgradnju za 50% i skratiti rok povrata investicije.
Zaštita okoliša	Proces 3D ispisa smanjuje buku, oslobađanje prašine i jake vibracije.
Preciznost	Prema unaprijed definiranoj putanji ispisa u računalnom programu, građevina se izrađuje sloj po sloj, pri čemu je moguće u velikoj mjeri izbjeći faktor ljudske pogreške te osigurati kvalitetu gotovog proizvoda.
Neposrednost	Građevine ispisane 3D pisačem skraćuju razdoblje od izrade do isporuke gotovog proizvoda.
Primjena u ekstremnim vremenskim uvjetima	Ekstremni uvjeti odnose se na okruženje u kojem tradicionalne građevinske tehnike nisu više primjenjive, a vanjski uvjeti otežavaju ljudski rad, kao na primjer bestežinsko stanje ili ekstremna hladnoća.

Međutim, zbog činjenice da se 2D CAD tehnologija još uvijek smatra glavnom metodom izrade projekata u građevinskoj industriji, za stvaranje digitalnih modela za 3D ispis potrebno je uložiti dodatni trud i vrijeme. Korištenje tradicionalnih metoda za pretvorbu 2D projektne dokumentacije u 3D modele donosi brojne probleme, kao što su niska kvaliteta i relativno niska učinkovitost, navode Alzarrad i Elhouar (2019). U tehnologiji

informacijskog modeliranja se komunikacija, razmjena informacija i kolaboracija svih sudionika u projektu odvija preko platformi za kolaboraciju, kao što su Volum3, Asana i slično. Međutim, trenutno na tržištu ne postoji softverska podrška koja bi omogućila povezivanje BIM-a i tehnologije 3D ispisa. Razlog tome je što postoje različite vrste podatkovnih datoteka koje se koriste između različitih BIM platformi, kao i između platformi na razini primjene, odnosno ispisa. Stoga, za sada, postoji isključivo jednosmjerni način procesa ispisa BIM modela.

Zonglin (2021) zaključuje kako je potrebno uložiti dodatan trud u istraživanje i razvoj softvera i hardvera te platformi za interoperabilnost BIM-a i tehnologije 3D ispisa s ciljem postizanja integracije ovih tehnologija. Prema navedenom autoru, jedinstvenost i kontinuitet informacija između BIM-a i 3D ispisa mogu se postići samo kroz uvođenje i primjenu standarda koji bi povezali ove dvije tehnologije.

ZAKLJUČAK

Iz svega navedenog može se zaključiti kako će implementacija tehnologije 3D ispisa u građevinarstvu vjerojatno nastaviti rasti u budućnosti. Mogućnost stvaranja složenih i specifičnih elemenata, smanjenje otpada materijala i pojednostavljenje procesa gradnje čine integraciju tehnologije 3D ispisa i BIM tehnologije privlačnom opcijom za mnoge građevinske projekte. Integracija s BIM tehnologijom nudi značajne prednosti, poput veće točnosti u planiranju i vizualizaciji buduće građevine, poboljšane komunikacije između sudionika u projektu i mogućnosti otkrivanja i rješavanja potencijalnih problema u najranijim fazama životnog vijeka projekta.

Međutim, prisutni su određeni nedostaci koje je potrebno uzeti u obzir. Visoki troškovi opreme i materijala za 3D ispis mogu ograničiti njegovu upotrebu u manjim projektima ili pri izradi manjih specijaliziranih elemenata. Također, tehnologija 3D ispisa je još uvijek relativno nova i vjerojatno će zahtijevati dodatna istraživanja i razvoj standarda kako bi se u potpunosti optimizirao njen potencijal i učinkovita primjena u građevinarstvu.

Zaključno, integracijatehnologije 3D ispisa i BIM tehnologije ima potencijal razvoja u učinkovitu i pouzdanu metoduprojektiranja, planiranjateralizacije građevinskih projekata, ali to zahtjeva pažljivu procjenu troškova i opće koristi implementacije, individualno za svaki projekt.

LITERATURA

1. Alzarrad, A., i Elhouar, S. (2019). 3D Printing Applications in Construction from The Past and into The Future. Creative Construction Conference 2019, CCC 2019. Budapest, Hungary. str.775-759.
2. Adobe. STL files. <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file>. html, (pristupljeno 28.10.2022.)
3. European Construction Sector Observatory. (2019): Integrating digital innovations in the construction sector The case of 3D Printing and Drones in construction,

- <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34517/attachments/1/translations/en/renditions/native>, (pristupljeno 28.10.2022.)
4. EU zakonodavstvo (2021): Uredba (EU) 2021/694 Europskog parlamenta i Vijeća od 29. travnja 2021. o uspostavi programa Digitalna Europa te o stavljanju izvan snage Odluke (EU) 2015/2240. Službeni list Europske unije 2021, pp. 1-34, <https://www.notarius.hr/EU-zakonodavstvo/EU721S3C32021R0694>, (pristupljeno 28.10.2022.)
 5. Hrvatski sabor (2023): Strategija digitalne Hrvatske za razdoblje do 2032. godine. Narodne novine 2023, pp. 26, https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_01_2_17.html, (pristupljeno 28.10.2022.)
 6. Hu, J. (2017). Study on stl-based slicing process for 3D printing. Department of Mathematical and Statistical Sciences. Reviewed Paper: Denver: University of Colorado Denver, str. 885-895.
 7. JianYin, J., Suo1, Y., Lv, T., Ma, K., Wang, X., Zhang, Z. (2021). Application of 3D Printing Technology in the Construction Industry and Its Development Prospects. Atlantis Highlights in Intelligence Systems: Proceeding of the 2021 International Conference on Smart Technologies and Systems for Internet of Things, str. 1-8.
 8. Omid Davtalab, A. Kazemian, B. Khoshnevis, B. (2018). Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction throughContourCrafting. Automation in construction. 89, str. 13-23.
 9. Zonglin, J. (2021): Research on the application of 3D printing and BIM technology in the direction of bridges, https://www.researchgate.net/figure/BIM-bridge-design-drawing-Image-from-Dasso-system_fig1_351521958,(pristupljeno 4.10.2022.)
 10. <https://www.notarius.hr/EU-zakonodavstvo/EU721S3C32021R0694>, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34517/attachments/1/translations/en/renditions/native>
 11. <https://www.notarius.hr/EU-zakonodavstvo/EU721S3C32021R0694> , <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34517/attachments/1/translations/en/renditions/native>
 12. <https://www.notarius.hr/EU-zakonodavstvo/EU721S3C32021R0694> , <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34517/attachments/1/translations/en/renditions/native>
 13. https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_01_2_17.html
 14. <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file.html>
 15. <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file.html>