

Modeliranje i izrada predmeta 3D printanjem

Vukić, Marta

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, University of Split, Faculty of science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:649643>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU
PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

**MODELIRANJE I IZRADA PREDMETA 3D
PRINTANJEM**

Marta Vukić

Split, rujan 2022.

Temeljna dokumentacijska kartica

Završni rad

Sveučilište u Splitu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Odjel za politehniku
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

MODELIRANJE I IZRADA PREDMETA 3D PRINTANJEM

Marta Vukić

SAŽETAK

3D ispis je proces izrade trodimenzionalnog objekta iz 3D modela ili drugog elektroničnog izvora podataka kroz aditivne procese u kojima se uzastopni slojevi materijala postavljaju pod kontrolom računala. U ovom radu opisane su različite tehnike 3D ispisa. Na primjeru LEGO kockice opisan je postupak izrade 3D modela u programu TinkerCAD. Nakon toga je prikazana izrada G koda korištenjem programa Creality Slicer i proces ispisa 3D modela na pisaču Ender-3 Pro. U zadnjem dijelu rada opisana su područja primjene 3D ispisne tehnologije.

Ključne riječi: 3D ispis, modeliranje, TinkerCAD, Creality Slicer, Ender-3 Pro

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

Rad sadrži: 26 stranica, 20 grafičkih prikaza, 1 tablica i 13 literaturnih navoda.
Izvornik je na hrvatskom jeziku.

Mentor: **Dr. sc. Tomislav Matić**, izvanredni profesor Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

Ocjenjivači: **Dr. sc. Tomislav Matić**, izvanredni profesor Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

Dr. sc. Vladimir Pleština, docent Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

Hrvoje Turić, predavač Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

Rad prihvaćen: **rujan 2022**

Basic documentation card

Undergraduate thesis

University of Split
Faculty of Science
Department of polytechnics
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

MODELING AND PRODUCTION OF OBJECT BY 3D PRINTING

Marta Vukić

ABSTRACT

3D printing is the process of creating a three-dimensional object from a 3D model or other electronic data source through additive processes in which successive layers of material are placed with computer control. In this paper various 3D printing techniques are described. The procedure for creating a 3D model in the TinkerCAD program is described on the example of a LEGO brick. After that, the creation of G code using the Creality Slicer program and the process of printing a 3D model on the Ender-3 Pro printer were shown. In the last part of the paper, the areas of application of 3D printing technology are described.

Key words: 3D printing, modelling, TinkerCAD, Creality Slicer, Ender-3 Pro

Thesis deposited in library of Faculty of science, University of Split

Thesis consists of: 26 pages, 20 figures, 1 table and 13 references. Original language: Croatian

Mentor: **Tomislav Matić, Ph.D.** Associate Professor of Faculty of Science, University of Split

Reviewers: **Tomislav Matić, Ph.D.** Associate Professor of Faculty of Science, University of Split

Vladimir Pleština, Ph.D. Assistant Professor of Faculty of Science, University of Split

Hrvoje Turić, Lecturer of Faculty of Science, University of Split

Thesis accepted: **September 2022**

IZJAVA

kojom izjavljujem s punom materijalnom i moralnom odgovornošću da sam završni rad s naslovom Modeliranje i izrada predmeta 3D printanjem izradila samostalno pod voditeljstvom izv. prof. dr. sc. Tomislav Matić. U radu sam primijenila metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući navela u završnom radu na uobičajen, standardan način citirala sam i povezala s fusnotama s korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskog jezika.

Studentica

Marta Vukić

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Tehnike 3D ispisa	2
2.1.	Stereolitografija (fotopolimerizacija)	2
2.2.	Selektivno lasersko sinteriranje	4
2.3.	Modeliranje topljenjem depozita	5
2.4.	Laminirana objektna proizvodnja	7
2.5.	3D tisak (3DP)	8
3.	Postupak izrade modela i 3D ispisa na primjeru LEGO kockice	10
3.1.	Izrada 3D modela u programu TinkerCAD	11
3.1.1.	Općenito o TinkerCAD-u	11
3.1.2.	Izrada modela LEGO kockice	14
3.1.3.	Prebacivanje modela u .STL datoteku	17
3.2.	Izrada G koda primjenom Creality Slicer programa	17
3.3.	Ispisivanje predmeta upotrebom pisaa Ender 3 Pro	18
3.4.	Konačni izgled LEGO kockice	21
4.	Primjena 3D ispisne tehnologije	22
4.1.	Medicina	22
4.2.	Edukacija	23
4.3.	Samoreplicirajući pisaa – RepRap	23
4.4.	Automobilska industrija	24
5.	Zaključak	25
	Literatura	26

1. Uvod

3D ispis, koji se često naziva i aditivna proizvodnja, je proces izrade trodimenzionalnog objekta bilo kojeg oblika iz 3D modela ili drugog elektroničnog izvora podataka kroz aditivne procese u kojima se uzastopni slojevi materijala postavljaju pod kontrolom računala. 3D ispis je relativno nova tehnologija koja se ubrzano razvija u 21. stoljeću te ima potencijal znatno ubrzati inovacije, komprimirati opskrbne lance, smanjiti potrošnju materijala i energije te smanjiti otpad.

Zanimanje za ovu vrstu tehnologije brzo raste jer pružaju mogućnost brze izrade prototipova, a samim time dolazimo i do brže proizvodnje krajnjeg proizvoda. Noviji pisari koji se pojavljuju zadnjih godina mogu koristiti metale, polimere, kompozite ili druge vrste prahe za "ispis" niza funkcionalnih komponenti, sloj po sloj, uključujući složene strukture koje se ne mogu proizvesti na druge načine. Zbog širokih mogućnosti i prednosti koja ova tehnologija pruža njezinu primjenu možemo naći u različitim poljima kao što su arhitektura, graditeljstvo, industrijski dizajn, automobilska, zrakoplovna, vojna, inženjerska, medicinska industrija, moda, obrazovanje i drugo.

U ovom završnom radu objašnjeno je što je to 3D ispis i tehnike 3D ispisa koje se najčešće koriste. U središnjem dijelu rada prikazan je postupak izrade 3D modela na primjeru LEGO kockice u programu TinkerCAD, te njezin ispis na 3D pisaru. U zadnjem dijelu opisane su prednosti i nedostaci ove vrste tehnologije, te područja primjene 3D ispisa.

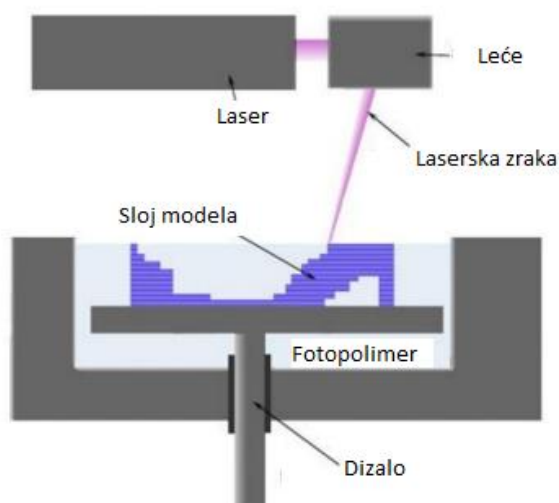
2. Tehnike 3D ispisa

Tradicionalna proizvodnja je skup tehnologija koje izrađuju predmete iz slojeva materijala, većih blokova ili pomoću skupih kalupa. Nasuprot toga, 3D ispis je proces u kojem se proizvod stvara sloj po sloj - nakon što se čestice sloja vežu toplinom ili kemikalijom dodaje se sljedeći sloj i postupak se ponavlja. 3D ispis obuhvaća različite metode i tehnologije kao što su ekstrudiranje plastike, ubrizgavanje polimera, lasersko sinteriranje i druge [1].

Prije izrade nekog predmeta potrebno je odabrati odgovarajuću tehniku za njegovu izradu koja će najbolje odgovarati svrsi i namjeni samog predmeta. Postoji cijeli niz različitih metoda 3D ispisa, pa samim time i više vrsta 3D pisaa. Pisači se međusobno razlikuju u načinu stvaranja slojeva pri izradi nekog predmeta.

2.1. Stereolitografija (fotopolimerizacija)

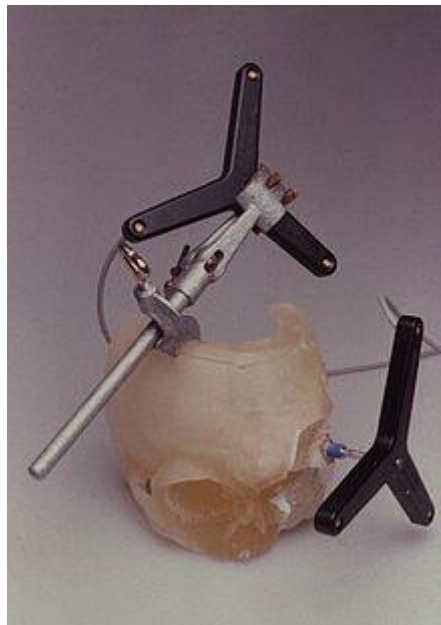
Stereolitografiju je 1986. patentirao Chuck Hull. U stereolitografiji se fotopolimerizacija prvenstveno koristi za proizvodnju čvrstog dijela iz tekućine. Na slici 2.1. prikazan je postupak stereolitografije.



Slika 2.1 Prikaz stereolitografije [2]

Stereolitografija je jedna od najraširenijih tehnologija 3D ispisa i nalazi se među prvim komercijalno dostupnim metodama u svijetu. Kod ovog načina izrade 3D modela koristi se tekući fotosenzitivni polimer, koji poprima kruti oblik pod utjecajem ultraljubičastog zračenja. U posudi u kojoj se nalazi tekući fotopolimer, koji se sloj po sloj solidificira UV laserom na bazi kristala, te tako tvori čvrsti 3D model pod utjecajem UV zračenja. Nakon što se model izradi, iz posude se uklanja ručno i vodenim mlazom.

Postoje četiri osnovna dijela uređaja koji koriste ovu vrstu tehnologije kao način izrade 3D modela: računalo koje čita CAD model i izrađuje slojeve, kontrolno računalo koje pomoću laserske jedinice i programa samog pisača nanosi na bazni sloj te prostor u kojoj se model izrađuje [3]. Na slici 2.2. prikazan je predmet dobiven stereolitografskom metodom.



Slika 2.2 Model lubanje izrađen stereolitografskim postupkom [4]

Postoji više vrsta materijala koje koristi ova metoda, a neke od njih su:

- WaterShed – polimer na bazi epoksida, nizak stupanj upijanja vlage, izdržljiv, zadržava dobra mehanička svojstva u vlažnim uvjetima,
- Somos 9100 – epoksid na bazi fotopolimera, iznimno izdržljiv i žilav te otporan na vlagu,
- ACCURA S140 – fotopolimer sa svojstvima polamida, otporan na visoke temperature i vlagu, žilav,

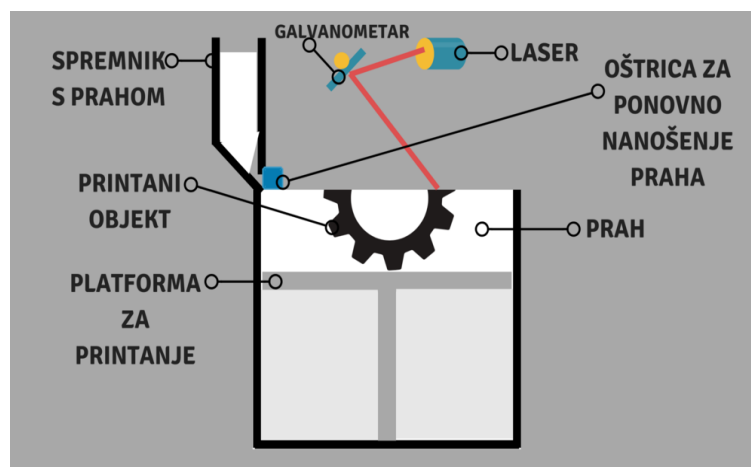
- ACCUDUR – fotopolimer, fleksibilan i izdržljiv, otporan na vlagu, 30% brže stvaranje modela.

Prednosti stereolitografije su glatka površina izrade, potpuno automatiziran proces, visoka rezolucija. S ovom vrstom tehnologije možemo izraditi raznobojne i precizne modele, nema geometrijskih ograničenja te je na raspolaganju širok izbor materijala.

Nedostaci stereolitografije su visoka cijena materijala te su modeli slabijih mehaničkih svojstava. Na fotoosjetljivim materijalima nije moguće provoditi toplinska ispitivanja. S vremenom fotopolimerna smola apsorbira vodu te može doći do izvijanja modela. Također jedan od nedostataka je taj što je fotopolimerna smola otrovna u tekućem stanju.

2.2. Selektivno lasersko sinteriranje

Selektivno lasersko sinteriranje (SLS) je proces trodimenzionalnog ispisa koje se temelji na bazi sinteriranja, kojeg je komercijalizirala tvrtka 3D Systems. Kod ove tehnologije se koriste polimeri u obliku praha. SLS 3D pisaci sastoje se od četiri dijela: lasera, posude za prah, oštrice za ponovno nanošenje praha i područja za ispis, slika 2.3.



Slika 2.3 Dijelovi SLS 3D pisaca [5]

Postupak 3D ispisa ovom tehnologijom počinje punjenjem posude za prah. Kada se posuda napuni prahom, prah se zagrijava na određenu temperaturu ispod tališta praha te počinje izrada prvog sloja. Oštrica nanosi tanak sloj praha na područje za ispis, a nakon što je sloj nanesen galvanometar usmjerava laser na određena područja na platformi za ispis gdje dolazi do fuzije čestica i formiranja modela. Galvanometar je uređaj koji ima mala ogledala koja usmjeravaju lasersku zraku CO₂ lasera. Laserska zraka se koristi za postizanje temperature tališta plastike.

Kada je prvi sloj dovršen isti postupak se ponavlja i za ostale slojeve, sve dok model ne bude gotov. Model nastaje samo na određenim dijelovima, a ostatak praha predstavlja potpornu strukturu za ostale slojeve. Na kraju, kada je model izrađen, polovica neskrutnutog praha se može ponovno iskoristiti, a ostatak je otpad. Zato se nastoji popuniti 3D pisač sa što više modela, kako bi otpadnog praha bilo manje.

Selektivno lasersko sinteriranje ima široki izbor materijala koji se mogu koristiti, jer se mnogo metala može sinterirati.

Najčešće korišteni materijali kod ove vrste tehnologije su:

- LaserForm ST-100, 200 – materijal koji sadrži čestice nehrđajućeg čelika AISI420, upotrebljava se za izradu izdržljivih i funkcionalnih metalnih proizvoda,
- DuraFormPA – poliamid, koristi se za izradu predmeta s glatkim površinama i finim detaljima,
- DuraFormGF – poliamid sa staklenim česticama, otporan na vlagu i toplinu, nije fleksibilan, visoke krutosti, idealan za izradu modela izloženih ekstremnim uvjetima
- CastFormPS – polistiran, koristi se za izradu kalupa za lijevanje.

Prednosti SLS tehnologije su: dijelovi imaju bolja mehanička svojstva od onih koji izrađeni stereolitografijom, na raspolaganju je veći izbor materijala, prah koji ostane neiskorišten može se ponovno upotrijebiti, sami postupak izrade je brži od stereolitografije te obradivost izrađenih dijelova je također bolja nego kod stereolitografije.

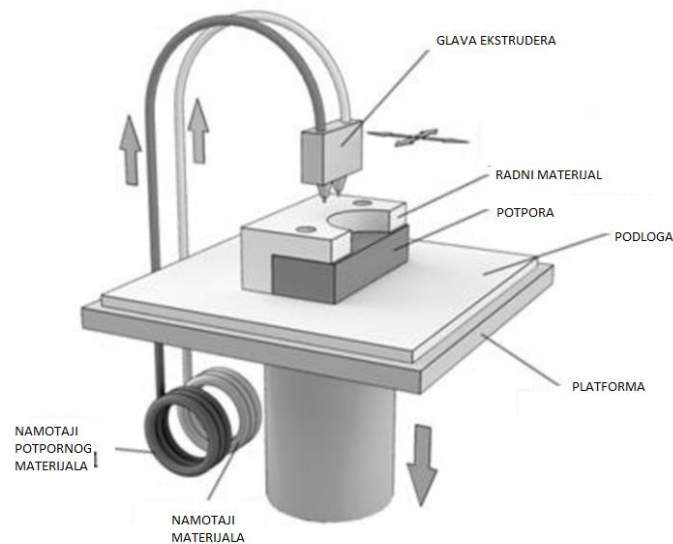
Najveći nedostatak ove tehnologije je loša kvaliteta površine te je ponekad potrebna zaštita zbog pojave otrovnih plinova kod nekih materijala te cjelokupni sustav zauzima dosta veliku radnu površinu.

2.3. Modeliranje topljenjem depozita

Modeliranje topljenjem depozita (engl. *Fused Deposition Modeling*, - FDM) je tehnologija koju je razvio Stratasys u Eden Prairie, Minnesota. U ovom procesu, plastični ili voštani materijal se istiskuje kroz mlaznicu koja sloj po sloj prati geometriju presjeka predmeta koji se izrađuje. Materijal za izradu obično dolazi u obliku filameta, ali neki koriste i plastične kuglice koje se stavljaju u spremnike.

FDM tehnologija se zasniva na izradi pomoću čvrstih materijala na principu ekstruzije kroz mlaznicu. U osnovi, plastično vlakno konstantno se dobavlja kroz mlaznicu maloga promjera. Mlaznica je zagrijana te se dobavljeni materijal topi i nanosi u slojevima [3].

Prilikom nanošenja pojedinog sloja mlaznica se pomiče u X-Y ravnini istiskajući ravnomjerno materijal na podlogu. Kada je nanesen jedan sloj, podloga se pomiče po Z-osi te se nanosi idući sloj. Na slici 2.4 je prikaz FDM tehnologije.



Slika 2.4 Prikaz FDM tehnologije [6]

Debljina sloja i točnost okomitih dimenzija određeni su promjerom matrice ekstrudera, koji se kreće od 0,33 do 0,13 mm. U ravnini X-Y moguća je rezolucija od 0,025 mm.

3D pisači često sadrže dva materijala, jedan koji služi za izradu predmeta, te drugi koji služi za izradu potporne konstrukcije.

Kod FDM postupka količina otpadnog materijala je relativno mala, jer materijal dolazi kroz mlaznicu i nanosi se izravno na prethodni sloj.

Materijali koji se upotrebljavaju kod ovog postupka su različite vrste polimera i voska, a najčešće su ABS plastike koje su visoke izdržljivosti te dobrih mogućnosti završne obrade. Osim njih još se koriste E20 (elastomer), ICW06 (vosak), poliamid, polikarbonat, poliaktid i stiropor.

Glavne prednosti FDM postupka su: mala potrošnja energije, relativno jeftini pisači, zanemarivo rasipanje materijala te jednostavna primjena. Nedostaci su: cijena materijala,

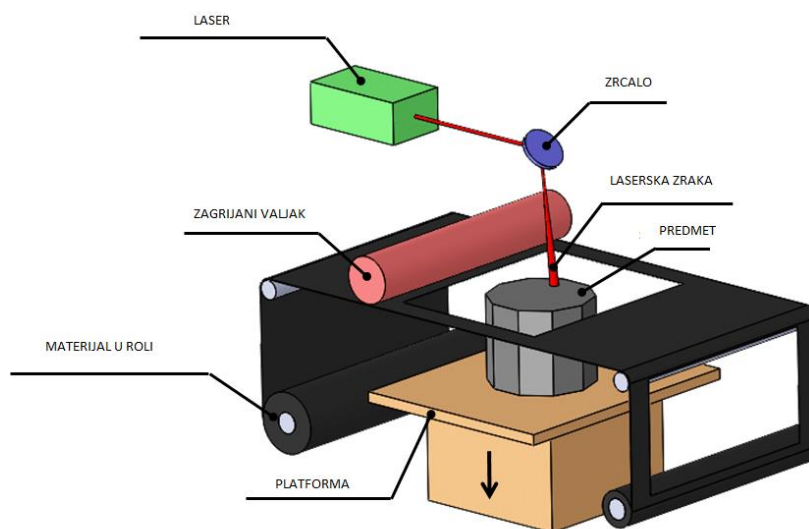
funkcionalnost modela, nedovoljna raspoloživost materijala, te je ponekad potrebna dodatna obrada bušenjem i poliranjem zbog vidljivih slojeva na modelu.

2.4. Laminirana objektna proizvodnja

Laminirana objektna proizvodnja (engl. *Laminated Object Manufacturing* - LOM) je tehnologija koja se koristi kod izrade predmeta većih dimenzija.

LOM uređaj (Slika 2.5) koristi kontinuirani list materijala - plastike, papira ili (rjeđe) metala - koji se povlači preko platforme pomoću sustava valjaka. Plastični i papirni materijali često su premazani ljepljivom. Da bi se oblikovao predmet, zagrijani valjak prelazi preko materijala na platformi za izradu, otapajući ljepljivo i pritišćući ga na platformu. Računalno kontrolirani laser ili oštrica zatim reže materijal u željeni uzorak. Laser također reže sav višak materijala u obliku traka, što olakšava uklanjanje nakon što je objekt u potpunosti ispisan.

Nakon što se formira jedan sloj predmeta, platforma se spušta za oko 1.5mm — tipična debljina jednog sloja. Novi materijal se zatim povlači preko platforme i zagrijani valjak ponovno prelazi preko materijala, vezujući novi sloj za prethodni. Proces se ponavlja sve dok cijeli model ne izradi.



Slika 2.5 Prikaz LOM tehnologije [7]

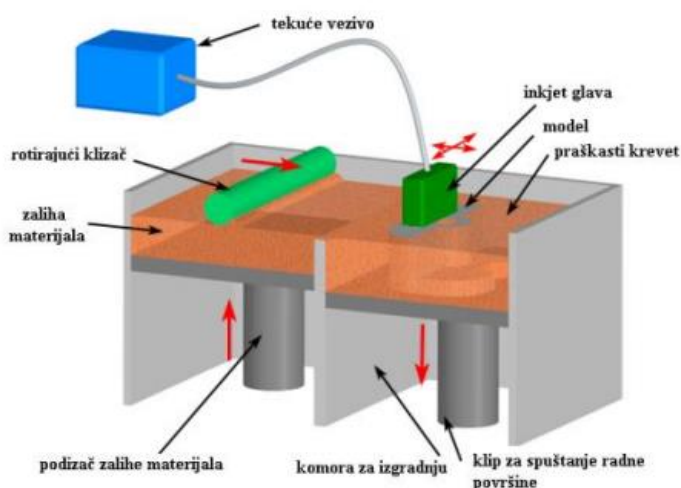
Nakon što se završi "ispis", objekt se uklanja s platforme, a sav višak materijala se odrezuje. Izrađeni predmeti imaju svojstva poput drva i mogu se prema tome brusiti ili dorađivati. Papirnati predmeti obično su prekriveni bojom ili lakom kako bi se spriječilo upijanje vlage.

Tehnologijom laminirane objektne proizvodnje moguće je proizvesti modele mase 0,1 kg do 50 kg, dok debljina presjeka ovisi o vrsti korištene folije, odnosno ona uobičajeno iznosi od 1 do 100 mm [8].

Prednosti LOM tehnologije su: niska cijena, jednostavnost izrade, nepostojanje potporne konstrukcije, velika brzina postupka izrade, ne dolazi do naprezanja u modelu te male dimenzije pisača. Glavni nedostaci su: mali izbor materijala, manja točnost, ograničena primjena, nužno lakiranje modela da bi se spriječilo upijanje vlage, te veliki udio otpadnog materijala.

2.5. 3D tisak (3DP)

3D-tiskanje (Slika 2.6) je tehnologija brzog postupka izrade fizičkih modela. Kao i kod ostalih metoda 3D modeli se izrađuju iz računalnih nacрта koji se konvertiraju u poprečne presjeke debljine od 0,07 do 0,25 mm, ovisno o potrebnoj točnosti izrade. U 3D tisku koriste se inkjet mlaznice koje nanose tekuće vezivo na praškasti materijal kojeg na taj način povezuju.



Slika 2.6 3DP tehnologija [9]

Nakon izrade i konvertiranja nacрта počinje izrada modela na 3D pisaču nanošenjem specijalnog praha i učvršćivanjem vezivnim sredstvom koji se stavlja direktno na prah, a

prah može biti monokromatski i u boji. Inkjet glava prelazi po x-y ravnini, dok se radni stol pomiče prema dolje za visinu sloja po z osi. Prah koji ostane van kontura služi kao potporna konstrukcija i kasnije se može reciklirati i ponovno koristiti [10]. Kada je model gotov propuhuje se zrakom u posebnoj komori.

Brzina ispisa modela ovisi o tome kakvu kvalitetu modela želimo dobiti. Odabirom različitih vrsta prahova mogu se postići i različite čvrstoće, elastičnosti i temperaturne izdržljivosti.

Tehnologija PolyJet ima sličan princip rada kao 3D tisak. Tekući fotopolimer se nanosi uz pomoć inkjet mlaznica, a fotopolimer se polimerizira uz pomoć UV lampe. Na slici 2.7 prikazani su modeli izrađeni PolyJet tehnologijom.



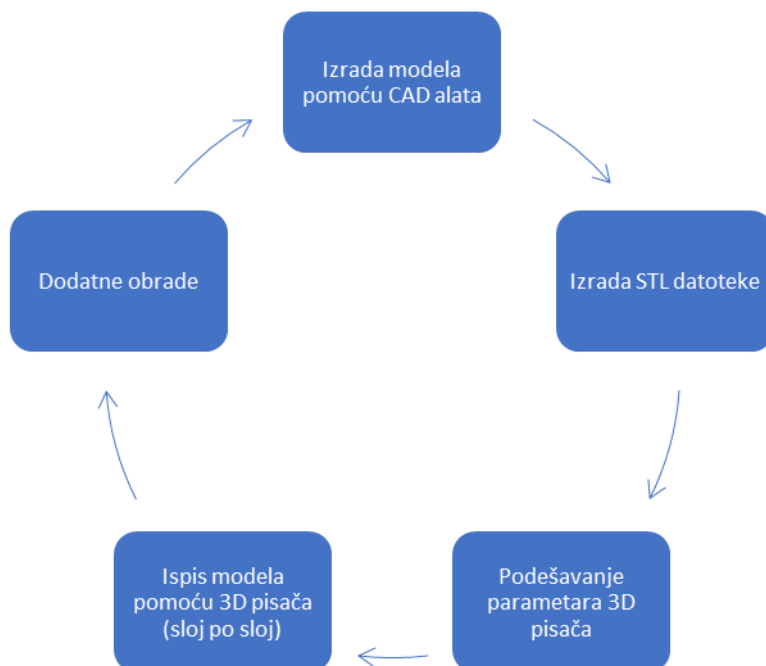
Slika 2.7. Modeli izrađeni PolyJet tehnologijom [11]

Visoka preciznost, točnost i mogućnost izrade modela složenih oblika su glavne prednosti 3DP tehnologije. Nedostatci ove tehnologije su: ograničen broj materijala koji se mogu koristiti, slabe mehaničke karakteristike izratka, te ograničene dimenzije modela.

3. Postupak izrade modela i 3D ispisa na primjeru LEGO kockice

Prilikom izrade prototipa potrebno je proći kroz nekoliko faza dizajna. Izrada bilo kojeg prototipa započinje konceptom. Nakon toga idući korak je izrada testnog dizajna prototipa u obliku čvrstog CAD modela. U ovom koraku se izvode različita računalna ispitivanja, analize naprežanja, sukladnosti objekata u sklopu i sl. Poslije toga se izrađuje model kojim se verificira točnost, oblik, sukladnost i dimenzije. Ukoliko dođe do pojave bilo kakve greške na prototipu, ista se ispravlja u CAD datoteci.

Nakon što se izradi konačni model u nekom od CAD alata, isti model je potrebno eksportirati u .STL datoteku. STL datoteke služe za prilagodbu različitim vrstama 3D pisača. Postoji niz aplikacija za tu namjenu, koje model dijele na slojeve, analiziraju ga, optimiziraju ga, pozicioniraju model na platformu pisača itd. Na slici 3.1 shematski je prikazan proces izrade modela.



Slika 3.1 Proces izrade modela

3.1. Izrada 3D modela u programu TinkerCAD

3.1.1. Općenito o TinkerCAD-u

3D modeliranje je postupak u kojem se koristi računalni program za stvaranje virtualnog trodimenzionalnog modela nekog fizičkog objekta, drugim riječima 3D modeliranje je postupak stvaranja matematičke reprezentacije nekog 3D predmeta. 3D modeliranje se koristi u mnogim industrijama, uključujući virtualnu stvarnost, videoigre, 3D ispis, marketing, TV i filmove, znanstvene i medicinske slike te računalno potpomognuto projektiranje i proizvodnju CAD/CAM.

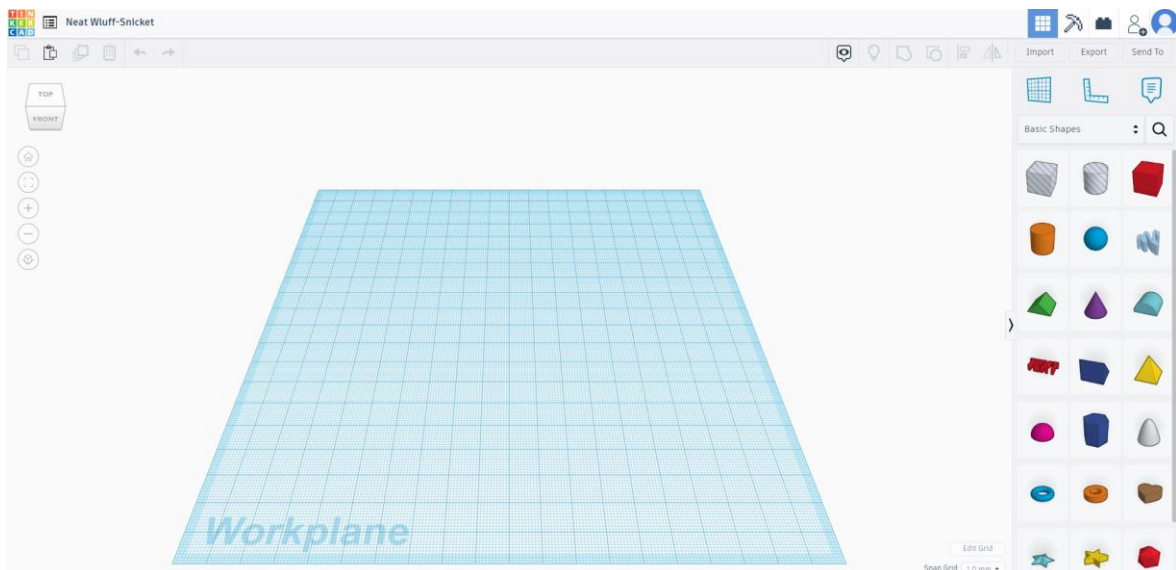
CAD (engl. *Computer Aided Design*) je naziv za programe koji se koriste za izradu 3D modela predmeta. Postoji cijeli niz CAD programa od jednostavnijih, namijenjenih za učenje 3D modeliranja, do onih naprednijih, namijenjenih za modeliranje složenijih 3D objekata.

TinkerCAD je Autodeskov besplatni program za 3D modeliranje. Program nije potrebno preuzimati, već se isti pokreće preko internet preglednika. Moguće mu je pristupiti na adresi: <https://www.tinkercad.com>. TinkerCAD je dostupan od 2011. godine i od tada se koristi za početno učenje 3D modeliranja, ali se s njim mogu modelirati i puno zahtjevniji primjeri i zadatci. Glavni cilj pri izradi ovog alata bio je približavanje 3D modeliranja početnicima. Model koji se napravi pomoću ovog alata moguće je objaviti pod Creative Commons licencom. Ovaj alat dizajniran je za rad na svim internet preglednicima koji imaju omogućen WebGL [12].

Glavna mogućnost ovog programa je da se složeniji 3D modeli modeliraju uz pomoć jednostavnih geometrijskih oblika metodom konstruktivne geometrije čvrstih tijela. Glavno svojstvo koje to omogućava je da odabrani objekt za rad može bit pun ili prazan. Pored standardnih geometrijskih oblika koji su dostupni odmah u programu, korisnik može stvoriti prilagođene geometrijske oblika pomoću ugrađenog JavaScript uređivača.

Oblici se mogu izvesti u formatu ta ispis (.STL, .GLB i .OBJ) ili u formatu prilagođenom projektima laserskog rezanja (.SVG).

Na slici 3.2 prikazano je korisničko sučelje programa TinkerCAD.



Slika 3.2 Korisničko sučelje TinkerCAD programa

U nastavku su opisani dijelovi korisničkog sučelja:

Plava radna površina predstavlja milimetarski papir, na toj površini se vrši modeliranje i izgradnja 3D modela.



- Omogućava različite poglede na predmet (od gore, od dolje, s lijeva, s desna, od naprijed, od nazad).



- Naredba za udaljavanje radne površine i pogled na projekt iz poluprotične perspektive.



- Odabir pogleda na dio modela (engl. *fit all in view*) omogućava nam pogled na model iz bližeg gledišta.



- Približavanje (engl. *zoom in*)



- Udaljavnje (engl. *zoom out*)



- Ortogonalna projekcija predmeta (engl. *switch to flat view*)



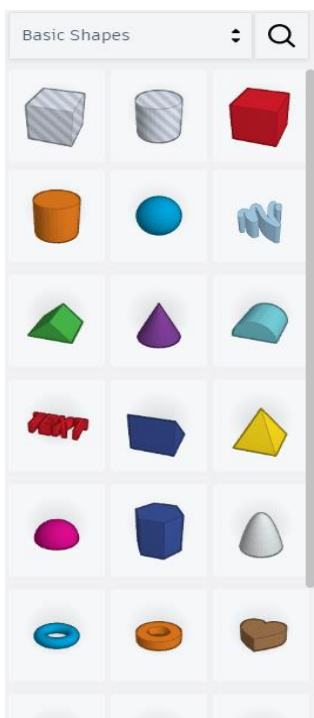
- Prva naredba služi za kopiranje objekta. Druga naredba omogućava lijepljenje. Treća naredba stvara na istoj poziciji na kojoj se nalazi 3D objekt isti takav objekt. Četvrta naredba je za brisanje, te nakon toga imamo naredbe za poništavanje i vraćanje poništenog.



- Prva naredba omogućava spajanje više objekata u jedan (engl. *group*), isto je moguće napraviti kombinacijom tipki CTRL + G. Druga naredba služi za suprotnu radnju to jest za razdvajanje spojenih objekata (engl. *ungroup*), kombinacija tipki za razdvajanje je CTRL + SHIFT + G. Grupiranje objekata je korisno za daljnje modeliranje i ispisivanje. Treća naredba je Poravnanje (engl. *align*). Zadnja naredba u nizu je Zrcaljenje (engl. *mirror*).



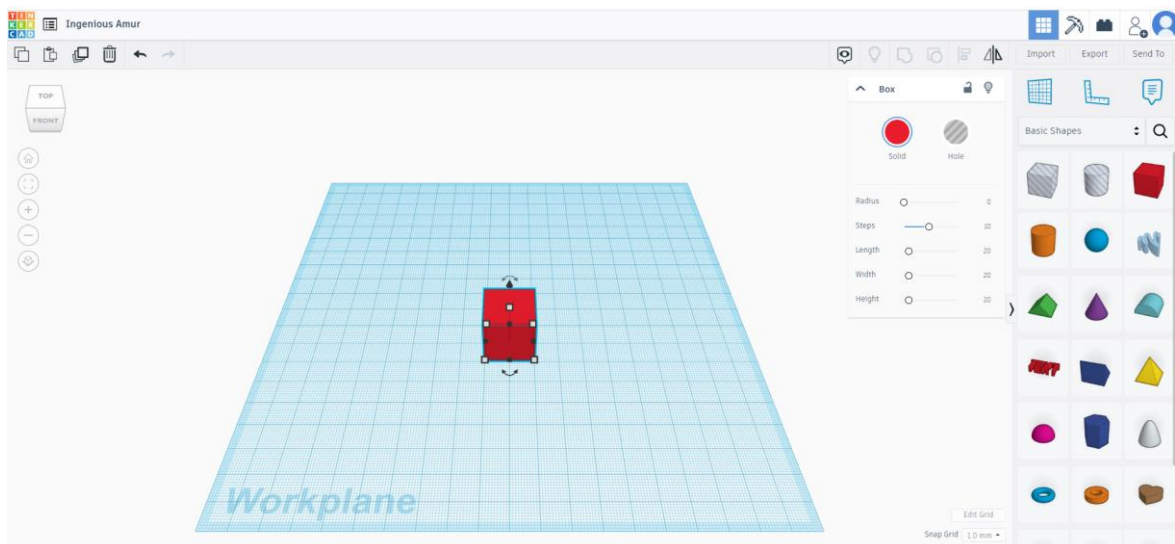
- Prikazane ikone predstavljaju nam tri moguća načina modeliranja. Prva ikona predstavlja izvorni način modeliranja uz pomoć geometrijskih tijela. Druga ikona predstavlja način modeliranja koji se temelji na spajanju kocki. Zadnja ikona predstavlja modeliranje koje se temelji na lego kockicama.



- U ovom dijelu sučelja prikazana su geometrijska tijela koja se mogu koristiti prilikom izrade 3D modela. Osim ugrađenih geometrijskih tijela, ovdje je moguće dodavati dodatne oblike koji se prethodno modeliraju.

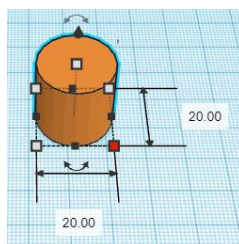
3.1.2. Izrada modela LEGO kockice

Modeliranje započinje na praznoj radnoj površini na koju dodajemo i stvaramo nove objekte. Bazu modela LEGO kockice čini kocka. Iz desnog izbornika odabere se geometrijsko tijelo kocke (engl. *box*) te uz držanje lijeve tipke miša povlači se objekt i smješta na radnu površinu. Kada je kocka dodana na radnu površinu, otvori se dodatni izbornik (Slika 3.3) . U tom izborniku se nudi mogućnost mijenjanja svojstava kao što su: radijus (engl. *radius*), koraci (engl. *steps*), dužina (engl. *length*), širina (engl. *width*) i visina (engl. *height*), također u ponuđenom izborniku možemo odabrati da objekt bude pun (engl. *solid*) ili prazan (engl. *hole*). Za LEGO kockicu potrebno je u izborniku promijeniti dimenzije na 31.8 x 15.8 x 9.6 mm.



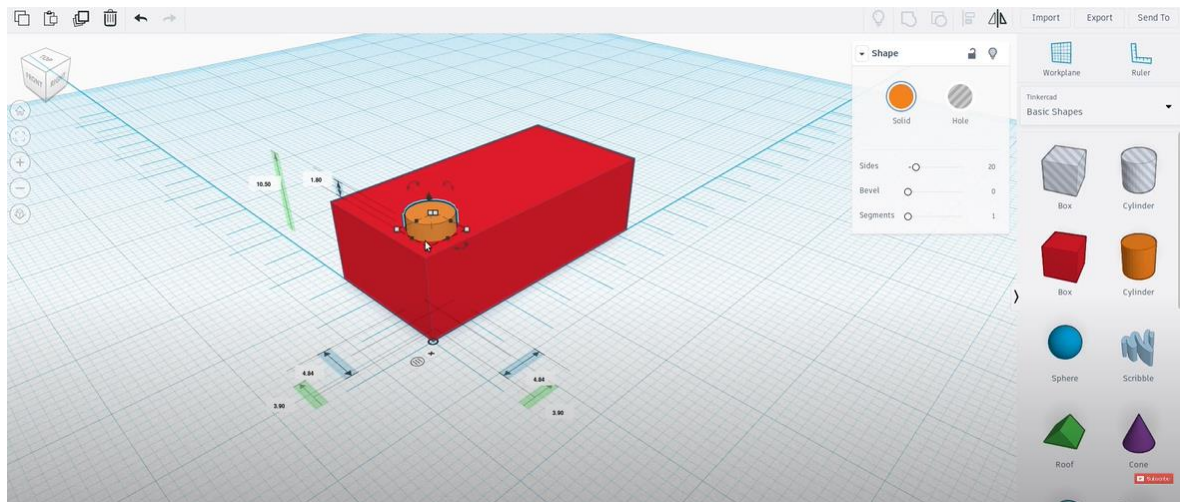
Slika 3.3 Dodavanje kocke

Nakon postavljanja dimenzija, idući korak je dodavanje drugog objekta. Drugi objekt predstavlja izdanke na kockici koji služe za međusobno spajanje LEGO kockica. Izdanci se modeliraju uz pomoć valjka (engl. *cylinder*). Na prethodno opisani način na radnu površinu dodaje se valjak. Kada se označi valjak na radnoj površini, prikaže se pet točaka, pritiskom na neku od njih otvara se izbornik za unos dimenzija (Slika 3.4).



Slika 3.4 Postavljanje dimenzija valjka

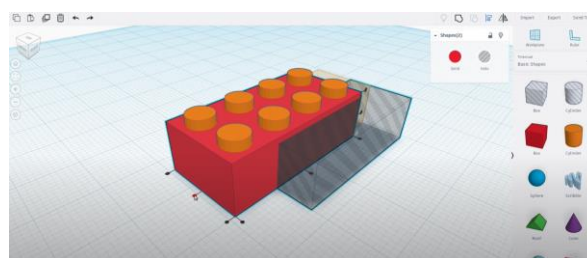
Valjak je nakon postavljanja dimenzija potrebno podignuti na visinu LEGO kockice, te ga postaviti na točno mjesto. Za precizno postavljanje izdanka koristi se ravnalo (engl. *ruler*). Ravnalo se postavlja uz brid kockice, i tako nudi mogućnost preciznog određivanja udaljenosti izdanka od bridova (Slika 3.5)



Slika 3.5 Upotreba ravnala

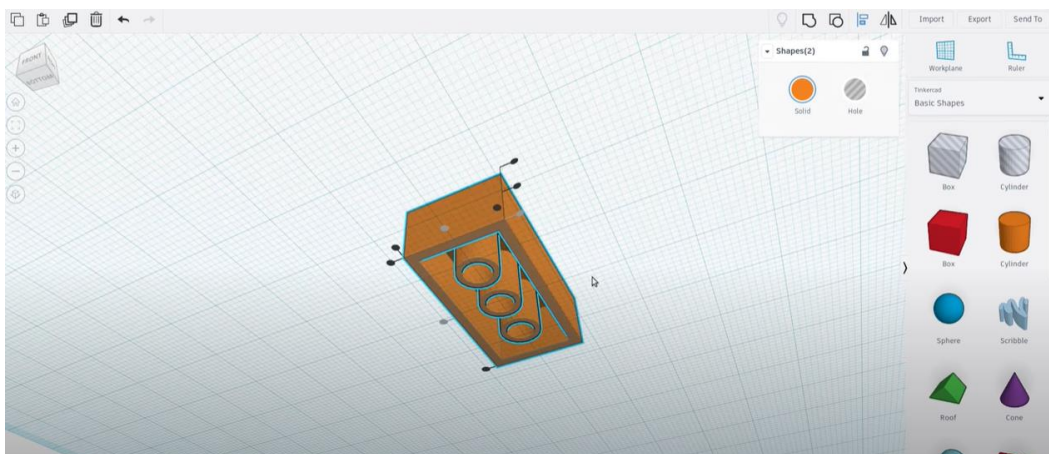
Izdanci na kockici trebaju biti posloženi u dva reda, te u svakom redu se trebaju nalaziti četiri izdanka. Najjednostavniji način za postavljanje ostalih izdanka je da se prvi izdanak duplicira, te postavi na odgovarajuću udaljenost od prvog, a onda će se idući duplicirani izdanak automatski postaviti na odgovarajuću udaljenost od prethodnog. Kada izdanke posložimo u prvi red, označimo sva četiri izdanka te ih dupliciramo i povučemo na potrebno mjesto.

LEGO kockica je djelomično šuplja i s donje strane je posebno formirana, kako bi se kockice mogle spajati i stvoriti čvrsti spoj. Za izradu šupljine ispod kockice koristi se kocka, ali kao prazno geometrijsko tijelo. Kada namjestimo dimenzije na praznoj kocki, koristimo naredbu za poravnanje. Naredba za poravnanje omogućava poravnanje dva objekta s obzirom na njihovu širinu i visinu, te omogućava precizno smještanje dva objekta. U ovom slučaju potrebno je pozicionirati praznu kocku unutar pune.



Slika 3.6 Poravnavanje dvaju objekata

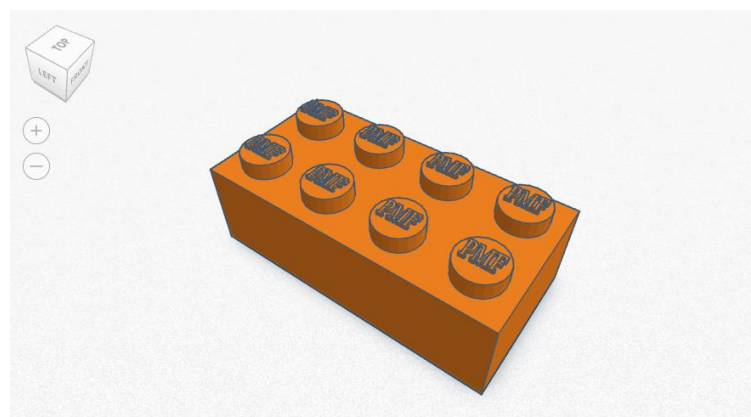
Kada se kocka poravna na željenu poziciju, s donje strane pune kocke će se napraviti šupljina. U istu šupljinu potrebno je dodati elemente kako bi se napravio oblik koji će omogućiti spajanje dviju kockica. Za dobivanje donjeg izgleda LEGO kockice koristi se valjak, u kojem se napravi šupljina na isti način kao što se izradila šupljina unutar kockice. Dobiveni objekt je potrebno dva puta duplicirati, te konačna tri objekta poravnati po središnjoj osi. Nakon poravnanja potrebno ih je grupirati naredbom Group kako bi tvorili jedan objekt. Tako grupirani objekt se onda pozicionira unutar šupljine (Slika 3.7). Za pozicioniranje koristi se naredba Poravnanje (engl. *align*).



Slika 3.7 Donji dio LEGO kockice

Zadnji korak je napisati tekst na izdanke. U desnom izborniku među geometrijskim tijelima imamo ponuđeno tekst (engl. *text*). Kada se taj objekt postavi na radnu površinu, dobiva se mogućnost unosa teksta i postavljanja dimenzija. Kada se unese željeni tekst, pozicionira se na izdanak, namjeste se dimenzije, a onda se kopira na sve ostale.

Kada se izvrši zadnji korak, potrebno je grupirati sve korištene objekte, kako bi dobiveni predmet činio jednu cjelinu (Slika 3.8) i bio spreman za izvoz.



Slika 3.8 Konačni izgled predmet

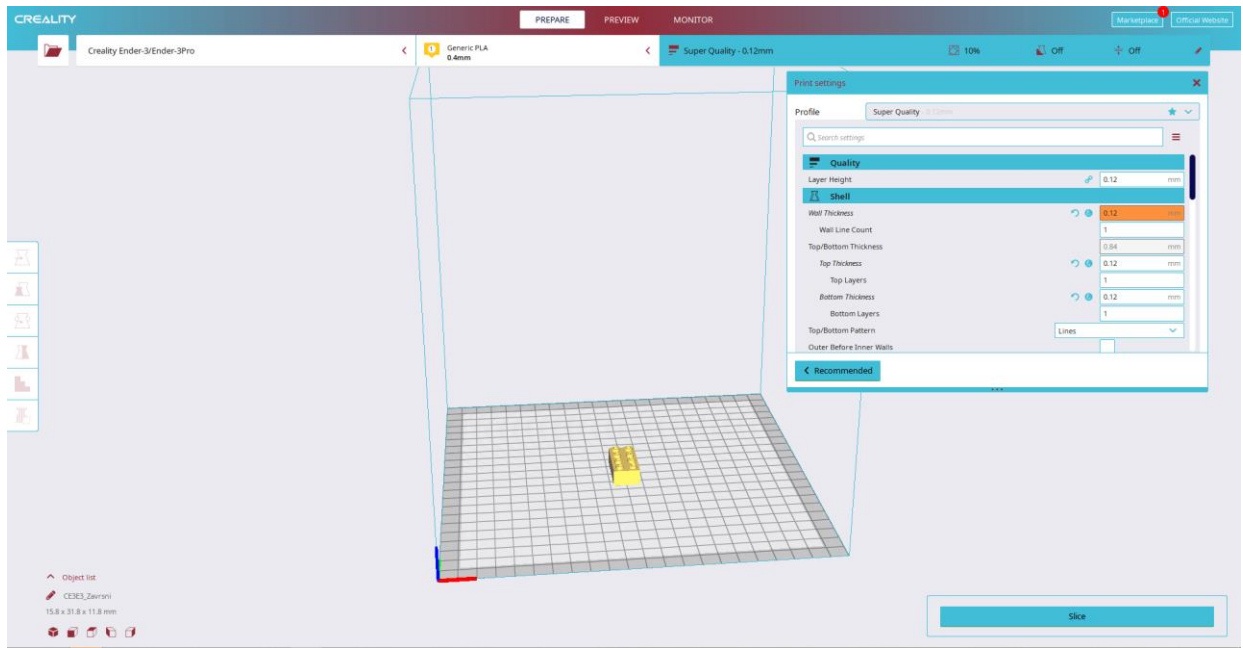
3.1.3. Prebacivanje modela u .STL datoteku

3D model nakon izrade u TinkerCAD-u potrebno je izvesti u .STL format datoteke. STL predstavlja kraticu za stereolitografsku datoteku (engl. *Standard Triangle Language file, stereolithography file*). STL datoteka koristi planarne trokute (poligone) za opisivanje površine nekog modela, također datoteka sadrži i koordinate vertikalna i smjer vanjske okomice svakog trokuta. Tako se pojednostavljeni složeni CAD model pretvori u format koji je prikladan za pripremu 3D ispisa. TinkerCAD kao i većina drugih CAD alata nudi mogućnost izvoza u .STL datoteku. Potrebno je kliknuti na izvoz (engl. *export*) i odabrati .STL ekstenziju. Nakon toga se datoteka sprema na odabrano mjesto na računalu u tom obliku.

3.2. Izrada G koda primjenom Creality Slicer programa

Model je spremljen u .STL obliku, no taj oblik nije razumljiv 3D pisaču. Jezik koji 3D pisač razumije naziva se G kod. S tim jezikom moguće je definirati što 3D pisač treba raditi. Ručno pisanje koda bi bio dugotrajan proces, pa su osmišljeni gotovi programski alati koji .STL formate konvertiraju u G kod. Creality Slicer je jedan od takvih programa. Softver Slicer koristi se u 3D ispisu za dijeljenje 3D modela na slojeve i crtanje putanje ispisa koju stroj može slijediti. Creality Slicer je Crealityjev program, koji također proizvodi mnoge popularne 3D pisaae poput serije Ender 3. Prilikom ulaska u program potrebno je odabrati model 3D pisaa. Nakon što se odabere model pisaa otvara se radna površina na koju se učitava .STL datoteka točnije 3D model koji je potrebno ispisati (Slika 3.9) te slijedi priprema datoteke za ispis. Potrebno je podesiti veličinu, orijentaciju i lokaciju modela. To su bitni aspekti koji određuju vrijeme potrebno za izradu modela. Najkraću dimenziju modela je potrebno postaviti u smjeru Z-osi jer se s time smanjuje broj slojeva, a tako i vrijeme ispisa. U desnom izborniku prikazanom također na slici 3.9 moguće je mijenjati različite parametre. Može se mijenjati debljina sloja, brzina ispisa, temperatura postolja. Moguće je definirati i količinu ispune punog dijela u postotku, brzinu hlađenja, te oblik kojim će mlaznica ispunjavati model – linije, krugovi ili cik-cak linije. Pošto će se LEGO kockica ispisivati uz pomoć Creality Ender-3 Pro pisaa, a Creality Slicer je program istog proizvođača, za uredno ispisivanje je dovoljno izabrati finoću ispisa tj. debljinu ispisa sloja koja može biti 0.12 mm za super kvalitetu, 0.16 mm za dinamičku kvalitetu, 0.2 mm za standardnu kvalitetu te 0.28 mm za lošu kvalitetu. Za ispis LEGO

kocke koristit će se super kvaliteta, gdje je debljina sloja 0.12 mm, a materijal za izradu će biti PLA. Kada smo izabrali kvalitetu, ostale postavke se ne trebaju dirati jer ih program postavi automatski na osnovu izabranog pisača. Kada se postave svi parametri, potrebno je kliknuti na „Slice“ kako bi se model konvertirao u G kod. Nakon toga potrebno je G kod snimiti na USB ili karticu kako bi se odatle mogao učitati na pisač.



Slika 3.9 Korisničko sučelje Creality Slicer programa

Za LEGO kockicu, uz gore odabrane postavke vrijeme izrade iznosi 37 minuta, a mlaznica prelazi put od 0.81 metra.

3.3. Ispisivanje predmeta upotrebom pisača Ender 3 Pro

Nakon što je datoteka formata G kod pohranjena, potrebno je kalibrirati uređaj za ispis. Pisač koji će se koristiti pri ispisu LEGO kockice je Ender-3 Pro. Ender-3 Pro je 3D pisač otvorenog tipa koji dolazi u dijelovima te se većinom primjenjuje u edukacijske svrhe. Općenite informacije o pisaču su prikazane u Tablica 1.

Materijal koji će se koristiti za ispis je PLA plastika. PLA je skraćenica od riječi polilaktična kiselina. To je termoplastični polimer koji je jedan od najpopularnijih materijala koji se koristi u FDM tehnologiji 3D ispisa. PLA filament dolazi u različitim bojama jer je materijal koji se lako pigmentira, te je kasnija obrada lakša.

PLA nije toksičan te je biorazgradiv, tijekom zagrijavanja ne ispušta nikakve mirise, za razliku od ostalih materijala. Glavni nedostatak PLA je sklonost deformacije pri visokim temperaturama.

Tablica 1. Informacije o Ender-3 Pro pisaču [13]

Težina:	6,9 kg
Dimenzije:	44 × 44 × 47 cm
Tehnologija 3D ispisa:	FDM
Volumen platforme [mm]:	220 x 220 x 250
Automatska kalibracija:	NE
Promjer mlaznice [mm]:	0.4, od 0.2 do 0.8
Debljina sloja [mm]:	0.1 – 0.4
Grijanje platforme [°C]:	Da, 110
Temperatura ispisa [°C]:	255
Podržani materijali:	PLA, PETG, drvo, metalna ispuna
Mogućnost povezivanja:	USB 2.0, SD kartica
Format datoteke za 3D ispis:	STL, OBJ, G kod



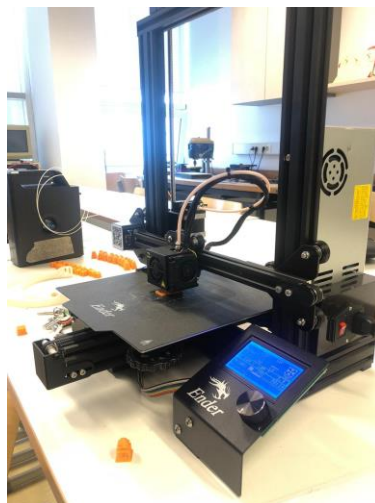
Slika 3.10 Ender-3 Pro pisač [14]

Prije učitavanja datoteke na pisač, potrebno je kalibrirati pisač. Kalibracija se vrši u nekoliko koraka:

1. Pokrenuti sve osi klikom na „Početna“.
2. Kliknuti "Onemogući korake" i pomaknuti glavu za ispis u jedan kut, pazeći da postoji odgovarajuća udaljenost između mlaznice i platforme za izradu (mlaznica ne smije dodirivati platformu za izradu dok se pomiče).
3. Odvrnuti vijak ispod jednog kuta postolja Ender-3 Pro pisača, pomicati papir naprijed-natrag dok se ne osjetiti lagano trenje, nakon toga zategnuti vijak.
4. Ponoviti prethodni korak na sva četiri kuta kako bi bili sigurni da je postolje poravnato.

Nakon što je kalibracija napravljena, može se učitati model. Potrebno je spojiti USB ili SD karticu u pisač, odabrati željenu datoteku i prepustiti pisaču da odradi posao. Prvi korak koji pisač radi je zagrijavanje podloge i ispisne glave na temperaturu koju je prethodno zadana. Zagrijavanje može potrajati par minuta.

Nakon zagrijavanja mlaznica se pomiče te dovodi na početne koordinate zadane G kodom te počinje istiskivanje plastike i ispis prvog sloja. Zatim se materijal nanosi sloj po sloj do završetka izrade. Na ekranu pisača može se pratiti cjelokupan proces te se može vidjeti koliki postotak predmeta je ispisan. Nakon što se ispiše zadnji sloj, potrebno je ukloniti predmet. Ender-3 Pro ima fleksibilnu podlogu koja omogućava lako skidanje modela s 3D pisača odmah nakon ispisa. Slika 3.11 prikazuje ispis LEGO kockice na pisaču.



Slika 3.11 Proces ispisa LEGO kockice pomoću Ender-3 Pro pisača

3.4. Konačni izgled LEGO kockice

Konačni izgled lego kockica se može vidjeti na slici 3.12.



Slika 3.12 LEGO kockica dobivena uz pomoć Ender-3 Pro pisača

Dobiveni predmet nema većih nedostataka, te odgovara CAD modelu. Jedino što nedostaje je tekst „PMF“ na izdancima kockice, a razlog tome su male dimenzije teksta, na već malim izdancima. Na predmetu nema vidljivih deformacija i šupljina u punim dijelovima predmeta. Površina predmeta je sjajna, no vidljiva je hrapavost koju je moguće riješiti dodatnom obradom. Iako je kockica rađena po dimenzijama originalne LEGO kockice, ipak međusobno spajanje nije moguće zbog drugačije tehnologije izrade i pojave nepravilnosti u dimenzijama prilikom 3D ispisa.

4. Primjena 3D ispisne tehnologije

3D ispisna tehnologija omogućava brzu i relativno kvalitetnu izradu proizvoda široke primjene. Prisutna je u različitim područjima proizvodnje, a posebno tamo gdje je potrebna izrada proizvoda u malim količinama i malih dimenzija. Jedna od prednosti ovog postupka izrade proizvoda je mogućnost vizualizacije proizvoda u početnoj fazi, te se zbog toga mogu uočiti greške prije konačne izrade samog proizvoda. Široki spektar tehnika 3D ispisa, te široka ponuda materijala nude mogućnost izrade dijelova spremnih za uporabu u različitim granama industrije. Ova vrsta tehnologije upotrebljava se u automobilskoj, zrakoplovnoj i vojnoj industriji, medicini, edukaciji i pri izradi brzih prototipova.

4.1. Medicina

U posljednjih nekoliko godina u svijetu medicine bilo je mnogo primjena 3D ispisa. Oni se kreću od biotiska, gdje se biomaterijali poput stanica i faktora rasta kombiniraju kako bi se stvorile strukture nalik tkivu koje onda oponašaju prirodno tkivo, do medicinskih pomagala poput protetike. 3D ispisana protetika primjer je svestranosti 3D ispisa. Teško je i skupo proizvesti protetiku koja odgovara pacijentu. S 3D ispisom, protetika se može modelirati i ispisati po znatno nižoj cijeni. U prošlosti su djeca kojima je bila potrebna proteza morala čekati da dovoljno odrastu kako bi se osigurala njena dugotrajnija upotreba. Sada im se svakih nekoliko mjeseci može 3D ispisom izraditi nova proteza. 3D ispis u medicini se također koristi za izradu metalnih ortopedskih implantata. Zbog mogućnosti 3D ispisa za stvaranje poroznih površina, ove vrste implantata lakše se integriraju s pacijentovim prirodnim kostima, dopuštajući im da urastu u implantat.

Pilule se mogu proizvoditi pomoću tehnike 3D ispisa koja uključuje prah i inkjet (engl. *Binder Jetting*). Proces omogućuje da proizvedene pilule budu vrlo porozne, što omogućava visoke doze u jednoj piluli koja se može brzo otopiti i lako probaviti, što je korisno za liječenje stanja kao što je epilepsija.

4.2. Edukacija

Svaki dana sve više škola uključuje tehniku 3D ispisa u svoje nastavne planove i programe. Prednosti 3D ispisa u obrazovanju su u tome što pomaže u boljoj pripremi učenika za njihovu budućnost dopuštajući učenicima stvaranje prototipova bez potrebe za skupim alatima. Učenici uče kako dizajnirati i izrađivati modele koje poslije mogu i fizički izraditi.

3D pisaci u novije vrijeme sve više možemo pronaći u učionicama i javnim knjižnicama. Sveučilišta imaju 3D pisace dostupne studentima za korištenje u nastavi i projektima, a tvrtke kao što je MakerBot nude certifikacijske tečajeve u aplikacijama 3D ispisa za nastavnike i studente.

Alati za 3D ispis također unaprjeđuju STEM obrazovanje nudeći mogućnost jeftine i brze izrade prototipova od strane učenika u učionici, kao i izradu jeftine visokokvalitetne znanstvene opreme iz otvorenog hardverskog dizajna.

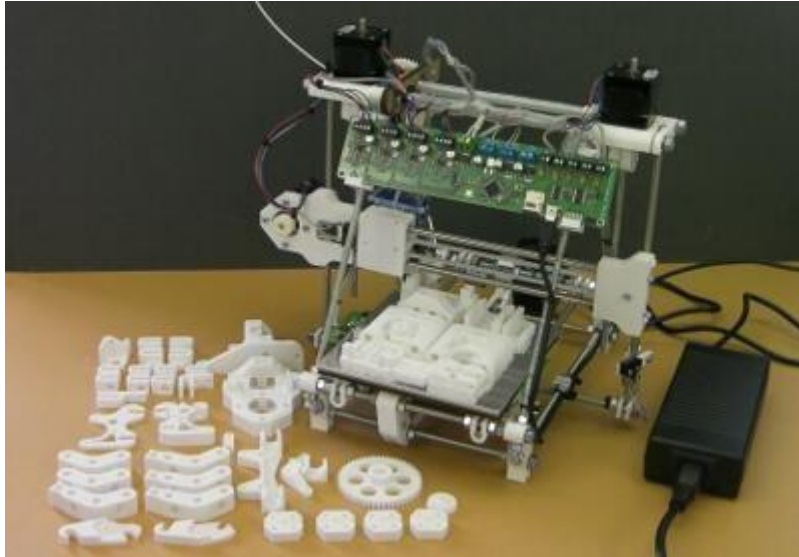
Učenicima su na raspolaganju različite aplikacije 3D ispisa te tako imaju mogućnost istraživanja dizajna, inženjeringa i arhitektonskih principa. 3D ispisom moguće je umnožiti muzejske predmete poput fosila i povijesnih artefakata za proučavanje u učionici bez oštećenja istih.

Studenti grafičkog dizajna mogu lako konstruirati modele sa složenim radnim dijelovima, dok studenti prirodnih znanosti mogu stvarati i proučavati presjeke organa u ljudskom tijelu, kao i druge biološke uzorke.

4.3. Samoreplicirajući pisaci – RepRap

Projekt RepRap započeo je u Engleskoj 2005. kao inicijativa Sveučilišta u Bath-u za razvoj jeftinog 3D pisaca koji može ispisati većinu vlastitih komponenti. Do sada se tom projektu pridružilo stotine suradnika širom svijeta. RepRap je skraćenica za repliciranje brzog prototipa. Svi dizajni proizvedeni projektom objavljeni su pod licencom slobodnog softvera, GNU General Public License.

RepRap je oblik stolnog 3D pisaca (slika 4.1) koji može ispisivati plastične predmete. Budući da su mnogi dijelovi RepRap-a izrađeni od plastike, RepRap ima mogućnost ispisivati te dijelove. Tako se RepRap sam replicira izrađujući komplet sebe - komplet koji svatko može sastaviti uz određeno vrijeme i materijale. To znači da ako imate RepRap možete ispisati mnogo korisnih stvari, a možete ispisati još jedan RepRap.



Slika 4.1 RepRap pisac [15]

RepRap je donio revoluciju u području 3D ispisa te se svakim danom sve više koristi. Preliminarna studija tvrdi da je upotreba RepRap-a za ispis uobičajenih proizvoda rezultirala ekonomskim uštedama. RepRap je proglašen najznačajnijim 3D ispisanim objektom u 2017.

4.4. Automobilska industrija

U usporedbi s drugim industrijama, automobilska industrija najviše koristi 3D ispisnu tehnologiju. 3D ispis je idealan alat za provjeru dizajna i funkcionalnosti u svakom koraku procesa razvoja i proizvodnje. Omogućava da prototip odgovara gotovom proizvodu što je moguće bliže, od koncepta do izvedbenog projekta. Stvaranjem izdržljivih konceptualnih modela, prototipova, alata i lakših završnih dijelova, dizajneri i inženjeri mogu bolje testirati dizajne i sigurnije krenuti u proizvodni proces. Korištenje ove vrste tehnologije tako smanjuje troškove i vrijeme razvoja, omogućava proizvođačima nastavak proizvodnje bez zastoja, bez obzira na složenost dijelova koje ugrađuju u svoja vozila.

Upotrebom aditivne proizvodnje (tj. 3D pisaca), proizvođači mogu kupcima ponuditi širok raspon mogućnosti personalizacije vozila. Gotovo cijelo desetljeće neki od vodećih svjetskih proizvođača automobila, poput BMW-a, Bentleyja, Opela, Honde, Volva i drugih, učinili su 3D pisace bitnim dijelom svojih razvojnih i proizvodnih procesa.

5. Zaključak

Trodimenzionalnim ispis je relativno nova tehnologija koja je još uvijek u fazi razvoja. Omogućava da se na brz, kvalitetan i ekonomičan način izrade različiti predmeti za različite namjene. Ipak nedostaci standardizacije, ograničene dimenzije radnog volumena pisaa, te ograničeni izbor materijala usporavaju ovu vrstu tehnologije. U zadnjih nekoliko godina i ti se nedostaci nastoje ukloniti, pa se vjeruje da će 3D ispisna tehnologija u idućim godinama moći zadovoljiti sve zahtjeve koje različite industrije postavljaju. Upravo s ovom vrstom tehnologije moguće je smanjiti troškove, otpad i vrijeme potrebno da se neki proizvod pojavi na tržištu. Na primjeru LEGO kockice pokazan je cjelokupan proces proizvodnje izratka, od koncepta do gotovog proizvoda, korištenjem tehnike 3D ispisa. Na krajnjem proizvodu može se vidjeti da je korištenjem jednostavnih programskih alata i cjenovno pristupačnog 3D pisaa moguće dobiti konačan proizvod bez većih nedostataka.

Postoji cijeli niz 3D pisaa koji različitim tehnikama ispisuju objekte, imaju različite prednosti i nedostatke, te na takav način omogućavaju zadovoljiti i različite potrebe tržišta. Iako je primjena na početku bila ograničena samo na proizvodnju prototipova, danas ova tehnologija ima različite primjene u području automobilske, zrakoplovne i vojne industrije, medicine i edukacije.

Sigurno je da će ova tehnologija u budućnosti napredovati i riješiti trenutne nedostatke, ući u ostala polja industrije u kojima se trenutno ne upotrebljava, te da će olakšati dobivanje novih proizvoda.

Literatura

- [1] Tehnologije, <https://izit.hr/tehnologije/>
- [2] Print A New World Using 3D Printer, https://www.slideshare.net/arjunrtvm/seminar-fair-report?from_action=save
- [3] Hercigonja Z. i Krištof T. (2018), Postupci brze izrade prototipova u trodimenzionalnom (3D) ispisu, Stručni Rad, International Journal of DIGITAL TECHNOLOGY & ECONOMY
- [4] Stereolithography, <https://upwikihr.top/wiki/Stereolithography>
- [5] SLS, <https://www.3dglobe.net/sls>
- [6] Principle of FDM technology performance (Kiński and Pietkiewicz, 2018), https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-FDM-technology-performance-Kinski-and-Pietkiewicz-2018_fig1_339173036
- [7] Laminated Object Manufacturing, https://www.researchgate.net/figure/Laminated-Object-Manufacturing-LOM_fig5_344071560
- [8] Metode rada i odabir materijala za 3D ispis
<https://www.tiskarstvo.net/tiskarstvo2011/clanciWeb/Sabati/SabatiMetodeRada.html>
- [9] PDF, 3D pisaci,
https://eprints.grf.unizg.hr/2239/1/Z576_Leko_Helena.pdf#page=33&zoom=80,-335,689
- [10] Vidović A. (2015), 3D printer, Završni rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek
- [11] PolyJet, <https://all3dp.com/2/polyjet-3d-printing-technologies-simply-explained/>
- [12] Tinkercad: The Online Software to Start 3D Modeling,
<https://www.3dnatives.com/en/tinkercad-all-you-need-to-know-120320204/>
- [13] Ender-3 Pro, <https://www.printer3d.hr/proizvodi/creality-ender-3-pro/>
- [14] Ender 3-Pro, <https://store.creality.com/>
- [15] RepRap, <https://www.techrepublic.com/article/reprap-the-3d-printer-thats-heading-for-your-home/>