

# Izrada metodičko-didaktičkih igara aditivnim tehnologijama proizvodnje

---

**Ban, Anđela**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:878461>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

# DIPLOMSKI RAD

Anđela Ban

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

Smjer: tehničko-tehnološki, modul: multimedija

## DIPLOMSKI RAD

IZRADA METODIČKO-DIDAKTIČKIH IGARA  
ADITIVNIM TEHNOLOGIJAMA PROIZVODNJE

Mentor:  
prof. dr. sc. Nikola Mrvac

Student:  
Anđela Ban

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

U Zagrebu, 25.6.2023.

ANĐELA BAN

(Ime i prezime studenta)

IZRADA METODIČKO – DIDAKTIČKIH IGARA ADITIVNIM  
TEHNOLOGIJAMA PROIZVODNJE

Diplomski studij

(Naznaka vrste rada i studija)

#### IZJAVU O IZVORNOSTI RADA

Izjavljujem da je ovaj diplomski rad, pod naslovom:

Izrada metodičko-didaktičkih igara aditivnim tehnologijama proizvodnje

izvoran, te da sam ga pisala samostalno, slijedeći upute mentora.

---

(vlastoručni potpis)

## ***ZAHVALA***

Ovim putem želim zahvaliti mentoru Nikoli Mrvcu, te Marku Maričeviću na pomoći, savjetima, idejama prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji, kolegama i prijateljima na podršci i razumijevanju tijekom diplomskog studija.

## **SAŽETAK**

Izrada metodičko-didaktičkih igara aditivnim tehnologijama proizvodnje predstavlja vrlo aktualnu temu u području obrazovanja i edukacije. Uvođenjem 3D tiska kao tehnologije u obrazovni proces, otvaraju se nove mogućnosti za stvaranje interaktivnih, vizualno privlačnih i inovativnih metodičko-didaktičkih igara koje će omogućiti djeci da se kreativno izraze, razvijaju svoje vještine i sposobnosti te da lakše usvoje gradivo. Kroz rad će se obraditi različiti procesi aditivnih tehnologija proizvodnje te će se prikazati cijeli proces od izrade 3D modela, izbora materijala i tehnologije aditivne proizvodnje do konačnog izgleda gotove igre.

Cilj je ispitati kako metodičko-didaktičke igre izrađene pomoću 3D tiska imaju pozitivan učinak na motivaciju djece u procesu mentalnih aktivnosti. Istražiti će se mogućnost primjene 3D tiska u izradi metodičko-didaktičkih igara, te kako one doprinose i potiču psihički razvoj djeteta.

**Ključne riječi: nove tehnologije, 3D print, 3D modeliranje, dizajn metodičko-didaktičkih igara.**

# SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1. Što je aditivna tehnologija?.....	2
2.2. Razvoj, podjela i primjena aditivnih tehnologija .....	3
2.2.1. Podjela aditivnih tehnologija.....	3
2.2.2. Primjena aditivnih tehnologija .....	4
2.2.3. Aditivni postupci proizvodnje .....	4
2.3. Faze izrade proizvoda aditivnim tehnologijama .....	9
2.3.1. Izrada CAD modela .....	10
2.3.2. Prilagodba računalnog 3D modela u zapis pogodan za aditivnu proizvodnju.....	14
2.3.3. Priprema parametara za aditivnu proizvodnju.....	15
2.3.4. Izrada fizičkog modela – aditivna proizvodnja .....	17
2.3.5. Uklanjanje potpore i završna obrada .....	20
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	21
3.1. Igra KRIŽIĆ-KRUŽIĆ.....	22
3.1.1. Redizajn igre KRIŽIĆ-KRUŽIĆ .....	22
3.2. Igra TETRIS.....	25
3.2.1. Redizajn igre TETRIS.....	26
3.3. Igra ŠAH.....	30
3.3.1. Redizajn igre ŠAH.....	32
3.4. Igra MOZGALICA.....	35
3.5. Igra MOZGALICA 2.....	38
3.6. Igra BALANS.....	41
3.7. Aditivna proizvodnja igara.....	44
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	46
5. ZAKLJUČAK.....	51
6. LITERATURA .....	52
PRILOZI.....	54
6.1. Popis slika .....	54
6.2. Popis tablica .....	55

## 1. UVOD

Obrazovanje treba razvijati, obogatiti dijete znanjem i metodama mentalnih aktivnosti, oblikovati kognitivne interese i sposobnosti. Razdoblje školovanja je jedinstveno razdoblje u životu čovjeka te njegova posebnost leži u posebnom senzibilitetu, osjetljivosti na asimilaciju okolne stvarnosti. Znanje koje se daje u zabavnom obliku igre djeca usvajaju brže, jače i lakše od onih povezanih s dugim vježbama "bez duše". Jednostavna i naizgled svima jasna ideja, no, kako to često biva, lako ju je reći, a teško učiniti. Stoga je problem dječje igre jedan od najaktuelnijih problema pedagogije. Zbog toga su igrani oblici obrazovanja, posebice didaktičke igre, postali ključni. Igra je glavna aktivnost djeteta svake dobi jer se u procesu igre odvija razvoj pamćenja, mašte, mišljenja, emocija, volje, karaktera djeteta. Didaktičke igre potiču razvoj sposobnosti i potreba spoznajnog karaktera, intelektualnih moralnih i voljnih kvaliteta te formiranje spoznajnog interesa. Primjenom raznih didaktičkih igara u radu s djecom može se uvjeriti da djeca igrajući se bolje percipiraju programsko gradivo i pravilno izvode složene zadatke. Primjenom didaktičkih igara povećava se učinkovitost pedagoškog procesa, štoviše, potiču razvoj pamćenja, mišljenja kod djece, imaju veliki utjecaj na psihički razvoj djeteta. Ponovljene studije pokazuju da didaktička igra ima važnu ulogu u mentalnom obrazovanju i obuci. Didaktička igra je ujedno i metoda poučavanja djece predškolske dobi, oblik učenja, samostalna aktivnost i što je najvažnije, sredstvo je cjelovitog odgoja djetetove osobnosti. Ideja diplomskog rada nametnula se zbog načina života u kojem su djeca izložena stalnim korištenjem mobilnih telefona te smo svjedoci da više mobitel razmišlja umjesto njih. Iako aditivne tehnologije proizvodnje (3D printeri) nisu nova tehnologija, tek su se sa snižavanjem njihovih cijena i poboljšanjem performansi uvukli u masovno korištenje, a za ono što možemo njima proizvesti je samo mašta granica. U ovom radu ću se baviti izradom različitih didaktičko-metodičkih igara koje ću modelirati korištenjem 3D programskih rješenja, a sam ispis vršiti će se pomoću dostupnih printera na Grafičkom fakultetu, odnosno mom osobnom printeru. Dakle u ovom radu prikazat će se mogućnost izrade igara koje učenici osnovnoškolskog ili srednjoškolskog obrazovanja mogu modelirati, naučiti tehnologije 3D modeliranja, 3D ispisa, te ih koristiti u igri. Kroz rad će se pokušati naći najjednostavnije i najbrže rješenje izrade igara s pomoću trenutno dostupnih alata.



## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Što je aditivna tehnologija?

Aditivna proizvodnja, poznata i kao 3D ispis, predstavlja tehnologiju koja omogućuje izradu trodimenzionalnih objekata slojevima, koristeći digitalne modele kao referencu. Dosadašnji razvoj aditivne proizvodnje bio je vrlo značajan i donio je mnoge inovacije i promjene u različitim industrijama.

Počeci aditivne proizvodnje sežu u 1980-ite godine, kada su razvijene prve tehnike i uređaji za 3D ispis. U početku su se koristili uglavnom plastični materijali, ali se tehnologija brzo razvijala i danas je moguće printati s različitim materijalima kao što su metal, keramika, beton i biokompatibilni materijali.

Jedan od glavnih napretka u aditivnoj proizvodnji bio je razvoj preciznijih i bržih 3D pisaa. Moderni pisaači mogu printati slojeve visoke rezolucije sve većom brzinom, što je omogućilo masovniju primjenu ove tehnologije. Također su razvijene nove tehnike kao što je selektivno lasersko taloženje praha (*Selective Laser Sintering - SLS*) i vezivanje materijala (*Binder Jetting*), koje su omogućile ispis složenijih geometrija i većih objekata. Aditivna proizvodnja ima široku primjenu u različitim industrijama. U automobilskoj industriji, 3D ispis se koristi za izradu prototipova, alata i pojedinih dijelova. U medicini, aditivna proizvodnja se koristi za izradu implantata i personaliziranih medicinskih pomagala. U zrakoplovnom industriji se koristi za izradu laganih komponenata, kao i za održavanje i zamjenu dijelova na dugotrajnim misijama. Također, aditivna proizvodnja se koristi u dizajnu nakita, arhitekturi, prehrambenoj industriji i mnogim drugim područjima. [18]

Napredak u aditivnoj proizvodnji također je doveo do smanjenja troškova i vremena potrebnog za proizvodnju. Umjesto tradicionalnih metoda koje zahtijevaju izradu kalupa ili obradu materijala, aditivna proizvodnja omogućuje direktno ispis gotovog proizvoda, čime se smanjuje gubitak materijala i radne snage. Također je moguće prilagoditi i personalizirati proizvode prema specifičnim potrebama korisnika. [18]

Budućnost aditivne proizvodnje donosi još veći napredak i inovacije. Očekuje se daljnji razvoj materijala za ispis, uključujući kombinacije različitih materijala i funkcionalnih svojstava. Također se istražuje mogućnost ispisa složenih organskih struktura, poput tkiva i organa, što bi moglo revolucionirati medicinsku industriju. Aditivna proizvodnja se

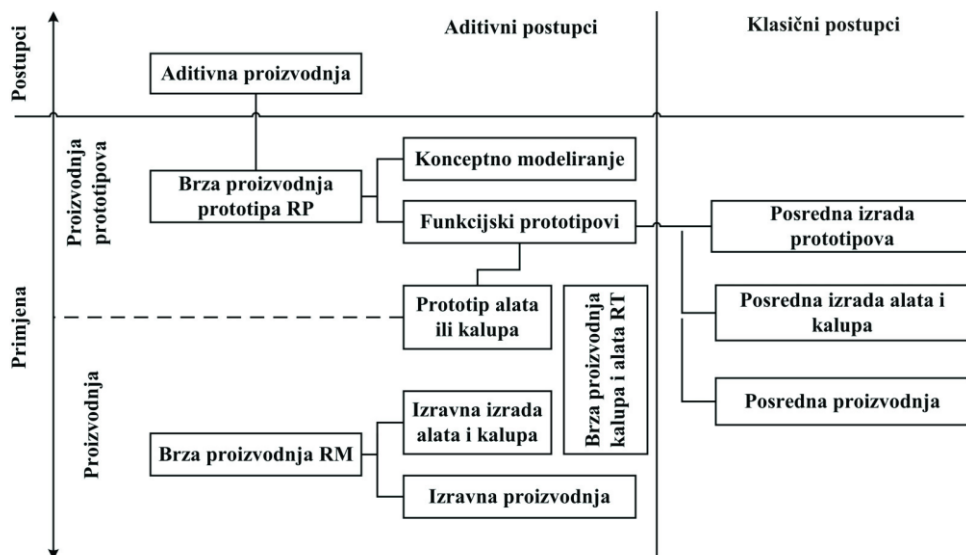
također integrira s drugim tehnologijama kao što su umjetna inteligencija, robotika i veliki podaci, što otvara nove mogućnosti i primjene. Aditivni postupci (AM) izrade proizvoda sve se više primjenjuju u projektima razvoja od početne ideje do gotovog proizvoda. Razlozi su višestruki, ali valja istaknuti mogućnost relativno brze proizvodnje proizvoda komplicirane geometrije na temelju računalnog 3D modela.

## 2.2. Razvoj, podjela i primjena aditivnih tehnologija

Aditivni postupci sve se više razvijaju od izrade prototipova do završnih funkcionalnih proizvoda. Međutim, njihov brzi razvoj sa sobom povlači i razvoj novih materijala i njihovih svojstava, završnih obrada, novih ispitivanja, itd. U uspješnu primjenu proizvoda izrađenih aditivnim postupcima potrebno je voditi računa o specifičnim parametrima procesa.

### 2.2.1. Podjela aditivnih tehnologija

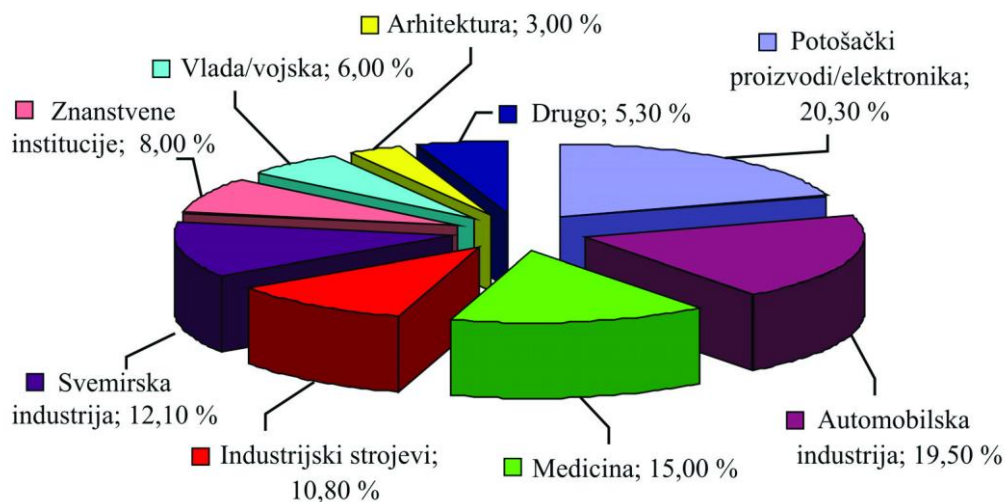
Podjela aditivnih postupaka prikazana je na slici 1. od izrade prototipova slojevitim postupcima do posredne primjene tih prototipova u klasičnim postupcima prerade. Kako su se tehnologije razvijale, postupci su našli sve veću primjenu na različitim područjima.



Slika 1. Podjela aditivnih tehnologija [1]

### 2.2.2. *Primjena aditivnih tehnologija*

Tehnologija aditivne proizvodnje se razvijala s vremenom kako su se poboljšavali materijali te se povećala preciznost i ukupna kvaliteta izlaznih proizvoda. Početni modeli su korišteni kako bi se u potpunosti shvatio oblik i opća svrha dizajna, a poboljšana preciznost u procesu značila je da su komponente mogle biti izgrađene s tolerancijama potrebnim za svrhe montaže. Poboljšanje svojstva materijala značila su da dijelovi mogu biti pravilno obrađeni kako bi se mogli procijeniti prema tome kako će na kraju raditi. Reći da je tehnologija aditivne proizvodnje korisna samo za izradu modela bilo bi netočno i podcjenjivanje tehnologije. Aditivna tehnologija, kada se koristi u kombinaciji s drugim tehnologijama može se koristiti za značajno skraćivanje vremena i troškova razvoja proizvoda. Najviše se upotrebljavaju za proizvodnju potrošačkih proizvoda/elektronike, zatim u automobilskoj industriji i medicini, dok najmanje u arhitekturi (Slika 2. [1]).



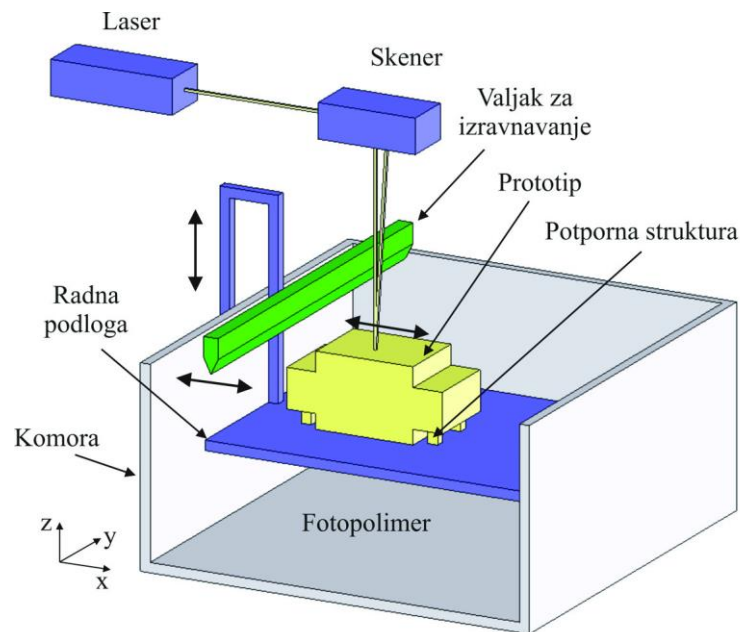
Slika 2. Područja primjene aditivne tehnologije [1]

### 2.2.3. *Aditivni postupci proizvodnje*

Aditivni postupci upotrebljavaju se za izradu prototipova od metala, keramike i polimera u obliku kapljevine, praša, žica, folija, itd. Prema vrsti materijala dijele se na:

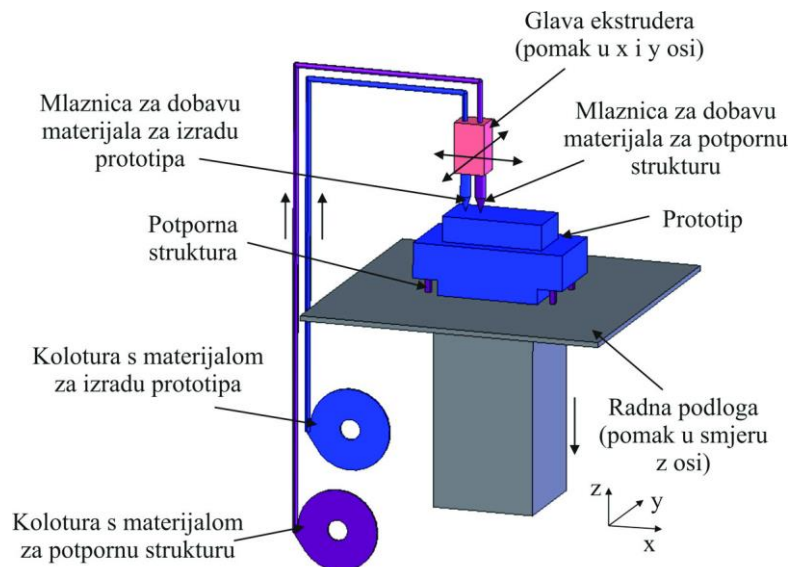
- kapljeviti materijali (npr. SLA, *PolyJet*, Očvršćivanje digitalno obrađenim svjet. signalom)
- materijal u obliku praša (npr. SLS, 3D tiskanje)
- kruti materijali (npr. FFF, LOM). [1]

Tehnologija stvrdnjavanja smole pomoću laserske zrake najstarija je tehnologija i naziva se **stereolitografija (SLA)**. Tekuća smola se pretvara u krutinu na području odnosno zoni geometrije preko koje prođe laserska zraka. Ostalo ostaje u tekućem stanju. SLA tehnologija započela je priču o 3D tisku a printeri su koji su se pojavili za ovu tehnologiju proizvode se drugoj polovici 80-ih godina. Bili su veliki, komplicirani i izuzetno skupi, a danas još uvijek postoje. [19]



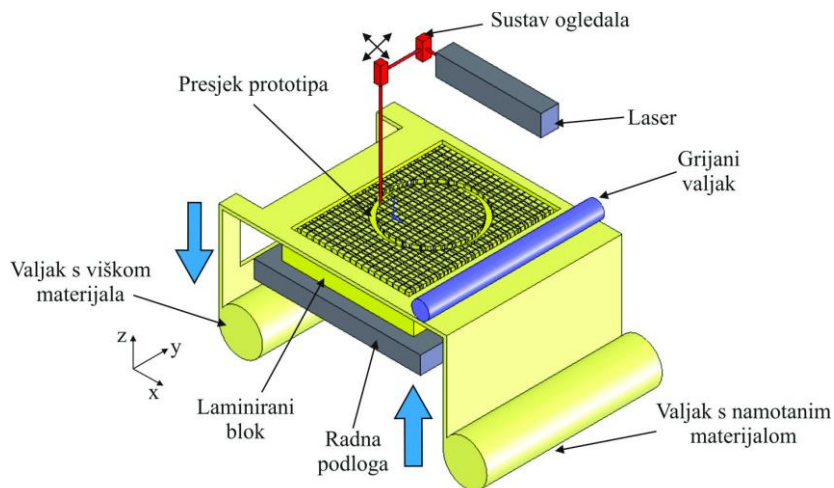
**Slika 3. Postupak stereolitografije [1]**

**Postupak taložnog očvršćivanja (engl. *Fused Filament Fabrication (FFF)*)** je tehnologija koja je najpristupačnija i najraširenija među entuzijastima jer se koristi na stolnim pisačima te je cjenovno pristupačna.. FFF uređaj ima glavu koja zagrijava materijal i rastaljene ih potiskuje kroz vrh ekstrudera na temelju prostornih informacija pohranjenih u STL datoteci. Ekstruder se pomiče po koordinatama X i Y, a grijana ploča na koju se potiskuje materije po Z osi prema dolje ovisno o debljini zadanog sloja. Modeli su poprilično dobrih mehaničkih svojstava i precizni, ali su vidljivi tragovi izrade po predmetu. [20]



**Slika 4. Postupak taložnog očvršćivanja [1]**

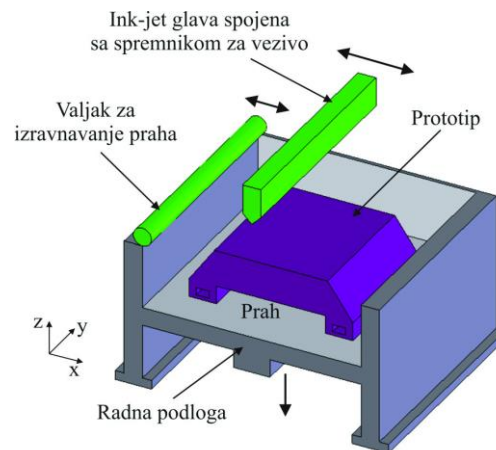
**Proizvodnja laminiranih objekata (LOM)** tehnologija je koja radi s PVC folijom ili papirom. Na tim uzorcima se vidi gdje nožić izrezuje geometriju u obliku kontura. Na mjestima gdje se plastika ne smije slijepiti, na mjesta koja nisu unutar geometrije, premazuje se odjeljivač i te zone ostaju kao razlistana plastika koja se na kraju oguli. Ova tehnologija je izuzetno precizna, a printeri su vrlo pristupačni u sferi profesionalnih pisaa. [1]



**Slika 5. Proizvodnja laminiranih objekata [1]**

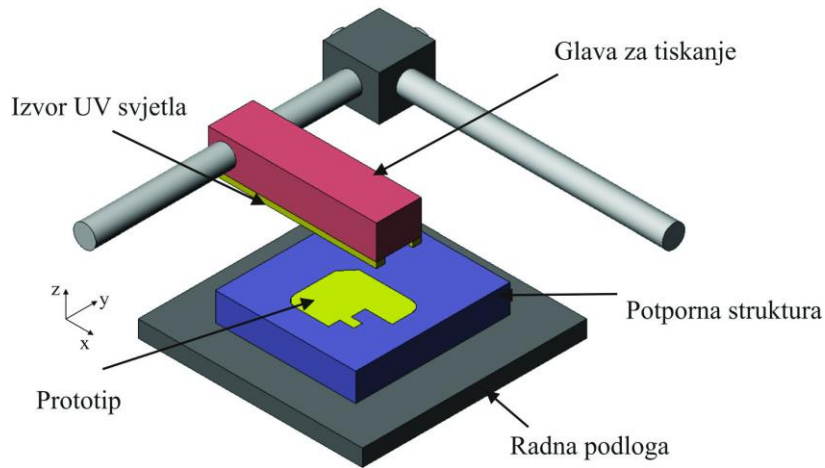
**3D tiskanje (eng. 3D printing (3DP))** je tehnologija koja kao sirovinu koristi gips u praškastom stanju. Navlači sloj gipsa, a inkjet glava pušta tekućinu na mjestu gdje se gips

treba stvrdnuti, a ostalo ostaje u praškastom stanju. Tako sloj po sloj gradi model. Ova se tehnologija koristi u maketarstvu i druge primjene gdje je potrebno samo vizualno vidjeti kako će komad izgledati budući da su predmeti od gipsa dosta krhki i nemaju dobra mehanička svojstva. [1]



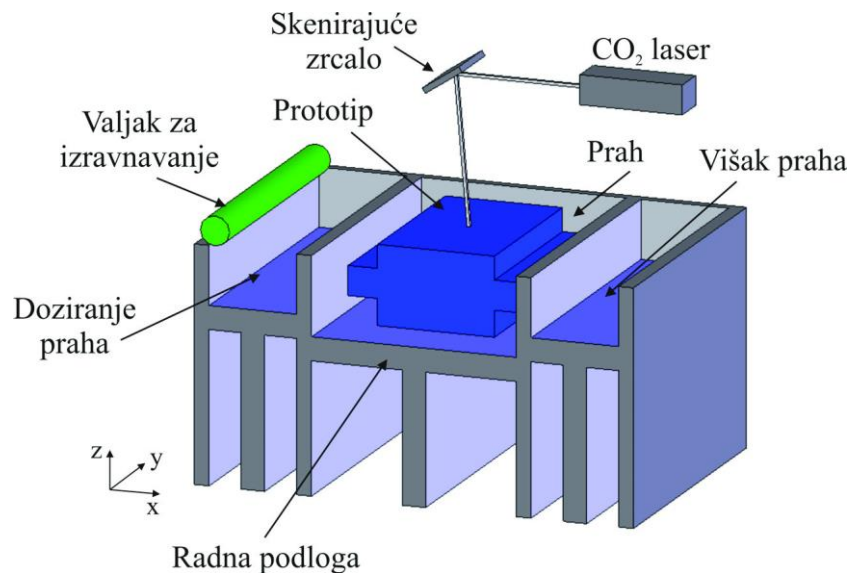
**Slika 6. 3D tiskanje [1]**

**Polyjet** tehnologija je srodna stereolitografiji. Radi se o skrutnjavanju smole pomoću svjetla, ali se ovdje radi o drugačijoj vrsti smole, a stvrdnjavanje se obavlja UV svjetlom. Te su se smole s vremenom razvile, sve više slične na komercijalnu plastiku pa i predmeti imaju solidna mehanička svojstva. Nedostatak ove tehnologije je da svaki model nikad nije potpuno polimerizirana pa se predmeti tijekom vremena mijenjaju svojstva odnosno pada kvaliteta materijala. *Polyjet* omogućava ispis više različitih materijala u isto vrijeme. Može se napraviti komad koji je djelomično tvrd, a djelomično mekan. Takve se kombinacije primjenjuju u medicini. [21]



Slika 7. PolyJet postupak [1]

**Selektivno lasersko sinteriranje (SLS)** omogućuje izradu potpuno funkcionalnih metalnih ili plastičnih komada. Materijal izrade je prah koji se sinterira za prethodni sloj laserskom zrakom. Sloj materijala mora biti ravnomjerno raspoređen po kalupu, a laserska zraka obasjava specifične dijelove tog sloja koji stvrđavaju i povezuju se u čvrstu cjelinu. Nakon stvrđavanja prvog sloja, klip drugog cilindra se pomiče prema dolje za debljinu jednog sloja kako bi novi sloj materijala mogao biti nanesen preko njega i obrađen laserom. [14]



Slika 8. Postupak selektivnog laserskog srašćivanja [1]

Kada se printa predmet od plastike komora se zagrijava do skoro temperature tališta plastike i onda se energija koju laser dovodi svodi samo na premošćivanje razlike koja je vrlo mala. Nakon ispisa komoru zajedno s premetom treba ohladiti te se predmet tek tada vadi iz komore. U medicini se za ispis koristi metalni prah od titana. [14]

Prikaz korištenja materijala kroz različite tehnologije ispisa prikazan je u tablici 1.

Postupak	Materijal
Stereolitografija – SLA	fotoosjetljiva polimerna smola, akrilne i epoksidne smole (npr. PMMA, EP, PE-HD), keramika
PolyJet	fotoosjetljiva polimerna smola
Očvršćivanje digitalno obrađenim svjetlosnim signalom	fotoosjetljiva polimerna smola
Selektivno lasersko srašćivanje – SLS	polimeri (PA, PS, PMMA), ojačani polimeri (npr. sa staklom), polimeri sa raznim punilima, keramika, metali
3D tiskanje – 3DP	polimeri, keramika, škrob, gips, metali
Taložno očvršćivanje – FFF	plastomeri (ABS, PE-HD, PE-LD, PP, PC, PPSU), PLA, keramika
Proizvodnja laminiranih objekata – LOM	polimer u obliku folija (PVC), papir, metalne ploče

**Tablica 1. Materijali u postupcima aditivnih tehnologija [1]**

### **2.3. Faze izrade proizvoda aditivnim tehnologijama**

Nevezano o tehnologijama aditivne proizvodnje proces izrade sastoji se od nekoliko koraka od ideje do realizacije odnosno dobivanja gotovog proizvoda. [2] Svaki proces izrade kreće od početne ideje, želje ili potrebe za nekim proizvodom koji je potrebno najprije modelirati unutar određenog *Computer Aided Desing* (CAD) računalnog programa. Drugi korak u postupku izrade proizvoda je pretvaranje CAD modela u STL datoteku koja se može koristiti u programima za prilagodbu modela za ispis na određenom stroju. To uključuje provjeru i optimizaciju modela kako bi se osigurala ispravnost



geometrije, zatvorenost površina i prikladnost za aditivnu proizvodnju. Također se postavljaju parametri ispisa, kao što su slojna debljina, brzina ispisa i gustoća ispisa. Ovisno o zahtjevima prototipa, odabire se odgovarajući materijal za 3D ispis. Različiti materijali imaju različite karakteristike kao što su čvrstoća, fleksibilnost, termička otpornost, provodljivost itd. Materijali koji se često koriste u aditivnoj proizvodnji su razne vrste plastike, metalni prahovi, keramika i biološki materijali.

Sljedeći korak je odabir odgovarajućeg 3D pisača za ispis prototipa. 3D pisači se razlikuju u svojim tehničkim specifikacijama, kao što su veličina radne površine, točnost ispisa, brzina ispisa i dostupnost podržanih materijala. Važno je odabrati pisač koji je kompatibilan s odabranim materijalom i sposoban proizvesti prototip s potrebnom kvalitetom.

Nakon postavljanja parametara i pripreme pisača, slijedi sam postupak ispisa prototipa. 3D pisač gradi prototip sloj po sloj, dodajući materijal na temelju digitalnog modela. Svaki sloj materijala se precizno nanosi ili taloži, stvarajući fizički prototip.

Nakon ispisa prototipa, može biti potrebna završna obrada kako bi se postigla željena kvaliteta i izgled prototipa. To može uključivati uklanjanje potpornih struktura koje su bile potrebne tijekom ispisa, brušenje ili poliranje površine kako bi se postigla glatkoća, bojanje prototipa ili primjenu drugih završnih obrada.

Važno je napomenuti da postupak brze izrade prototipova kod aditivne proizvodnje omogućuje brze iteracije, što znači da se prototipovi mogu brzo prilagođavati i modificirati prema potrebi. Ovo je posebno korisno u fazama razvoja proizvoda kada je potrebno testirati različite varijante ili poboljšati dizajn. Aditivna proizvodnja omogućuje brzu realizaciju ideja i skraćuje vrijeme do lansiranja proizvoda na tržište.

### ***2.3.1. Izrada CAD modela***

Prvi korak je stvaranje digitalnog modela prototipa pomoću računalno potpomognutog dizajna (CAD) softvera. Dizajner ili inženjer koristi CAD alate kako bi stvorio virtualnu 3D reprezentaciju prototipa. U ovom koraku određuje se oblik, dimenzije, detalji i funkcionalnosti prototipa. 3D modeliranje je proces stvaranja digitalnih trodimenzionalnih objekata koji imaju visinu, širinu i dubinu. Umjesto da se radi o ravnoj površini, kao u 2D modeliranju, 3D modeliranje omogućava stvaranje objekata koji imaju trodimenzionalni prostorni oblik. [23]

3D modeliranje se koristi u različitim industrijama i područjima, uključujući: filmska industrija, videoigre, arhitektura, industrijski dizajn, medicinska vizualizacija.

Proces 3D modeliranja uključuje korištenje specijaliziranih računalnih programa za izradu i oblikovanje digitalnih objekata. Umjetnici i dizajneri koriste alate za modeliranje, teksturiranje, osvjetljavanje i animaciju kako bi stvorili željeni 3D objekt. Nakon modeliranja, objekt se može prikazati u različitim perspektivama, animirati i renderirati u fotorealistične slike ili animacije.

CAD (Computer-Aided Design) je tehnologija koja omogućava dizajniranje i modeliranje objekata uz pomoć računala. Početak razvoja CAD-a dogodio se tijekom 1960-ih godina. Prve CAD sustave razvili su vodeći istraživački centri i velike korporacije. U 1970-ima, CAD tehnologija postala je dostupnija široj publici. Prvi komercijalni CAD softveri počeli su se razvijati, a korisnici su mogli koristiti CAD na računalima srednje veličine. Tijekom ovog razdoblja, CAD je uglavnom bio ograničen na 2D modeliranje. Godine 1980. CAD tehnologija doživjela je značajan napredak. Počeli su se razvijati prvi 3D CAD sustavi, koji su omogućili detaljnije modeliranje objekata s trodimenzionalnim prostornim oblicima. Ovo je omogućilo realističnije prikaze i bolju vizualizaciju. Tijekom 1990-ih godina CAD je postao sveprisutan u industriji. Napredak u računalnoj grafici i procesorskoj snazi omogućili su brže izračune i bolju interaktivnost u CAD softverima. U ovom razdoblju, CAD se širio na različite industrije, uključujući inženjering, arhitekturu, automobilsku industriju i elektroniku. U 2000-ima, CAD je postao neizostavan alat u mnogim industrijskim granama. Softveri su postali sve napredniji i pružali su sve više mogućnosti, uključujući parametrsko modeliranje, analizu, simulacije, generiranje tehničke dokumentacije i suradnju u timu. U posljednjem desetljeću CAD je nastavio napredovati s novim tehnologijama kao što su cloud CAD, virtualna i proširena stvarnost te integracija s drugim alatima i sustavima. Softveri su postali sve intuitivniji i korisnici su dobili više mogućnosti za brzi razvoj i iteraciju dizajna. CAD tehnologija je snažan alat u industriji dizajna i inženjeringa. Napredni CAD softveri nude širok spektar funkcionalnosti za modeliranje, analizu, simulacije, vizualizaciju i suradnju. CAD se koristi u različitim industrijama, od dizajna proizvoda i arhitekture do strojarstva i elektronike. Također se integrira s drugim tehnologijama poput 3D ispisa i umjetne inteligencije, otvarajući nove mogućnosti za kreativnost i inovacije. [23]

Programi za izradu CAD modela su računalni alati koji omogućavaju inženjerima, dizajnerima i arhitektima stvaranje preciznih 2D i 3D modela proizvoda ili konstrukcija. Takvi programi pružaju razne alate i funkcionalnosti za crtanje, modeliranje, analizu i simulaciju. CAD programi su neizostavan dio mnogih industrija, uključujući strojarstvo, arhitekturu, automobilsku industriju, aerodinamiku, elektrotehniku i mnoge druge. Oni pomažu ubrzati proces dizajna, poboljšati preciznost i olakšati suradnju među timovima. Također omogućuju testiranje ideja i izradu prototipova virtualno prije fizičke izrade, čime se smanjuje trošak i vrijeme razvoja proizvoda. Napredni CAD programi pružaju mogućnosti za integraciju s drugim softverskim alatima poput CAM-a (*Computer-Aided Manufacturing*), analize i simulacije, što omogućuje kompletnu digitalnu transformaciju cijelog procesa razvoja proizvoda.

Trenutno dostupni programi za 3D modeliranje korišteni u diplomskom radu su:

- SOLIDWORKS,
- CATIA,
- AUTODESK INVENTOR,
- FUSION 360.

SolidWorks je najpopularniji i najčešće korišten 3D CAD softver na tržištu. Razvija ga američka tvrtka *Dassault Systèmes SolidWorks Corp.* Softver je posebno dizajniran za inženjere, dizajnere i proizvođače kako bi olakšao procese projektiranja i razvoja proizvoda. Omogućava korisnicima stvaranje detaljnih 3D modela objekata. Korisnici mogu stvarati složene geometrije, definirati dimenzije i parametre, primijeniti materijale i teksture te generirati realistične vizualizacije. Također je poznat po svojim naprednim mogućnostima parametarskog modeliranja. Korisnici mogu definirati parametre i relacije kako bi kontrolirali dimenzije i karakteristike modela. To omogućava brzo mijenjanje dizajna. SolidWorks omogućava kreiranje sklopova, gdje korisnici mogu sastaviti više dijelova i provjeriti njihovu funkcionalnost. Moguće je provesti analizu interferencija, pokreta, kinematike i provjere pravilnog sastavljanja. nudi alate za generiranje tehničke dokumentacije, kao što su crteži, specifikacije i izvještaji. Korisnici mogu automatski generirati nacрте i tehničke crteže s točnim dimenzijama i tolerancijama. SolidWorks je cijenjen zbog svoje intuitivnosti, robusnosti i širokog spektra mogućnosti.

Njegova popularnost među inženjerima i dizajnerima proizlazi iz njegove sposobnosti da ubrza procese projektiranja, poveća produktivnost i poboljša kvalitetu dizajna. [23]

CATIA (*Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application*) je CAD/CAM/CAE softver koji razvija francuska tvrtka *Dassault Systèmes*. CATIA je jedan od najnaprednijih i najmoćnijih softvera za 3D modeliranje i projektiranje na tržištu. Vrlo skalabilan softver koji podržava širok raspon industrijskih primjena. Koristi se u različitim industrijama, uključujući, automobilsku industriju, brodogradnju, industriju energetike, strojarstvo i mnoge druge. pruža potpuno integrirano okruženje za 3D modeliranje, simulacije, analize i izradu tehničke dokumentacije. To omogućava korisnicima da obavljaju sve korake dizajna i razvoja proizvoda unutar jednog softvera. Pruža mogućnosti za suradnju u timu i upravljanje podacima. Korisnici mogu zajednički raditi na projektima, razmjenjivati podatke i pratiti verzije modela. Ovo je posebno korisno u velikim organizacijama s više korisnika. [23]

CATIA je sofisticiran softver koji se koristi za složene dizajne i visoko napredne industrijske primjene. Njegova moćna funkcionalnost i mogućnosti omogućuju inženjerima i dizajnerima da stvaraju visokokvalitetne i precizne 3D modele, provode analize i simulacije te efikasno upravljaju projektima.

*Autodesk Inventor* je još jedan popularan 3D CAD softver razvijen od strane tvrtke *Autodesk*. *Inventor* je posebno usmjeren na mehanički dizajn, inženjering i industrijsku automatizaciju. Ovaj softver koriste inženjeri, dizajneri i proizvođači za razvoj i dokumentiranje 3D modela proizvoda. *Inventor* omogućava korisnicima stvaranje 3D modela objekata. Korisnici mogu stvarati parametarske modele s kompleksnim geometrijama, primjenjivati materijale, definirati dimenzije i relacije te generirati realistične vizualizacije. Slično kao i drugi CAD softveri, *Inventor* omogućava parametarsko modeliranje. Korisnici mogu definirati parametre, ovisnosti i relacije kako bi brzo mijenjali dimenzije, oblike i karakteristike modela. [24]

*Autodesk Inventor* je cijenjen zbog svoje specijalizacije za mehanički dizajn, širokog spektra alata i integracije s drugim alatima. Ovaj softver pomaže inženjerima i dizajnerima da stvaraju precizne 3D modele, provode analize i simulacije, generiraju tehničku dokumentaciju te olakšavaju suradnju u različitim fazama razvoja proizvoda.

*Fusion 360* je 3D CAD/CAM softver koji je razvio Autodesk. To je sveobuhvatna platforma koja kombinira CAD, CAM i CAE (*Computer-Aided Engineering*) funkcionalnosti, pružajući korisnicima alate za dizajniranje, simulaciju, izradu tehničke dokumentacije i proizvodnju. [25]

Omogućava stvaranje 3D modela objekata. Korisnici mogu stvarati parametarske modele s kompleksnom geometrijom, primjenjivati materijale, definirati dimenzije i relacije te generirati vizualizacije. Slično kao i drugi CAD softveri, *Fusion 360* podržava parametarsko modeliranje. Korisnici mogu definirati parametre i ovisnosti kako bi brzo mijenjali dimenzije, oblike i karakteristike modela. *Fusion 360* je popularan zbog svoje sveobuhvatnosti, fleksibilnosti i pristupačnosti. Softver je dostupan u oblaku, što omogućuje korisnicima pristup svojim projektima s bilo kojeg mjesta i uređaja. *Fusion 360* je posebno popularan među startupima, manjim tvrtkama i hobistima zbog svoje cjenovne pristupačnosti i široke funkcionalnosti.

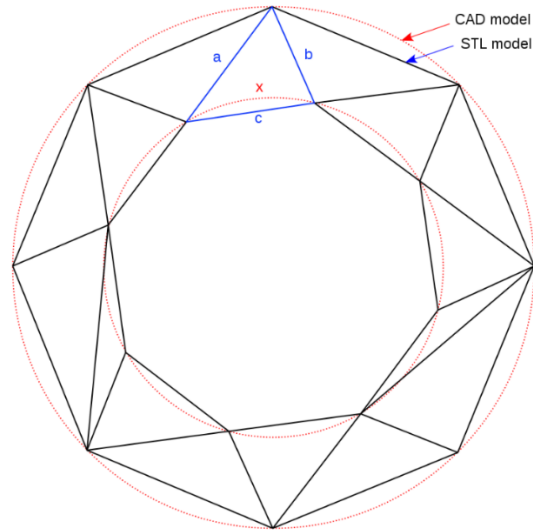
U svom diplomskom radu koristit ću dva programa, Solidworks i *Fusion 360* kako bi se vidjelo da za izradu jednostavnijih modela nema prevelikih razlika u samom radu, ali *Fusion* je trenutno dostupniji za učenike i studente jer Autodesk pruža besplatnu podršku svim učenicima. Stoga ga u ovom slučaju smatram pristupačnijim za rad u školama.

### **2.3.2. Prilagodba računalnog 3D modela u zapis pogodan za aditivnu proizvodnju**

Uporabom CAD programa 3D model moguće je spremati u različite vrste datoteka, no već od 1987. godine tvrtka *3D Systems* uvodi STL datoteku (e. *Standard Tessellation Language*) koja predmet pokazuje kao mrežu povezanih trokuta. [1] Takav format zapisa pogodan je za proizvodnju u svim procesima aditivne tehnologije te je postao standardni zapis. STL datoteke su binarne ili tekstualne datoteke koje opisuju geometriju objekta. STL format koristi trokute kao osnovne jedinice za prikazivanje geometrije objekta. Svi trokuti u datoteci su povezani zajedno kako bi stvorili površinu objekta. Površina se sastoji od velikog broja trokuta koji čine aproksimaciju stvarne geometrije.

Svaki trokut u STL datoteci ima pripadajući normalni vektor. Normalni vektor definira smjer i orijentaciju trokuta u prostoru. Normalni vektor je važan jer pomaže u određivanju kako će se trokuti reflektirati svjetlosti i kako će se prikazivati na ekranu ili printati na 3D pisaču. Kvaliteta STL datoteke, odnosno detaljnost i glatkoća površine, ovisi o rezoluciji kojom je objekt modeliran. Manji trokuti i veći broj trokuta pružaju veću preciznost i

bolju kvalitetu površine, ali povećavaju veličinu datoteke. Pri modeliranju objekta treba odabrati odgovarajuću rezoluciju koja zadovoljava zahtjeve ispisa, uzimajući u obzir složenost i veličinu objekta. Nakon što je STL datoteka stvorena, može se učitati u softver za pripremu za ispis (tzv. slicer softver) koji će generirati upute za 3D pisač kako bi se fizički isprintao objekt.



**Slika 9. Razlika CAD i STL formata zapisa [16]**

### **2.3.3. Priprema parametara za aditivnu proizvodnju**

Nakon što je digitalni model izrađen, slijedi priprema modela za ispis. To uključuje provjeru i optimizaciju modela kako bi se osigurala ispravnost geometrije, zatvorenost površina i prikladnost za aditivnu proizvodnju. Digitalni zapis .STL učitava se u računalni program namijenjen razlaganju 3D modela u niz dvodimenzionalnih slojeva te ih pohranjuje u format zapisa razumljiv uređaju u kojemu će se proizvesti model. To se izvodi u posebnim programima koje svaki proizvođač pisača definira. U ovom koraku, ovisno o tehnologiji aditivne proizvodnje, kontrolira se niz parametara uređaja i optimiziraju se postavke kako bi proces izrade bio uspješan. Ukoliko proces aditivne proizvodnje zahtijeva, dodaju se strukturne potpore modelu. Također se u „slicerima“ postavljaju parametri ispisa, kao što su slojna debljina, brzina ispisa i gustoća ispisa. Ovisno o zahtjevima prototipa, odabire se odgovarajući materijal za 3D ispis. Svaki printer ima različiti računalni program prilagođen za pripremu modela za ispis. Neki od

takvih programa („*slicers*“) za pripremu modela za ispis su: GrabCAD, Z-Suite, Ultimaker Cura. *GrabCAD Slicer* je softver za rezanje (slicing) 3D modela koji se koristi za pripremu modela za 3D ispis. Dio je šire *GrabCAD Print* platforme koju je razvio Autodesk. Omogućava korisnicima da odaberu 3D model koji žele isprintati i pretvori ga u slojeve koji će se stvarno isprintati. Softver dijeli model na slojeve i generira instrukcije za 3D printer o tome kako svaki sloj treba biti izrađen. Također omogućava korisnicima da prilagode postavke ispisa kako bi postigli željene rezultate. To uključuje podešavanje brzine ispisa, debljine sloja, temperature, potrošnje materijala i drugih parametara. [26] Korisnici imaju mogućnost da pregledaju kako će model izgledati prije nego što ga isprintaju te mogu vizualno provjeriti svaki sloj i identificirati potencijalne probleme prije ispisa.

*GrabCAD Slicer* je koristan alat za pripremu 3D modela za ispis. Omogućava korisnicima da prilagode postavke ispisa, optimiziraju podršku i pregledaju modele prije ispisa. Softver je posebno koristan u kombinaciji s drugim alatima na *GrabCAD* platformi kako bi se olakšao cjelokupni proces 3D ispisa.

*Z-SUITE* je softver za rezanje (*slicing*) 3D modela koji je razvio proizvođač 3D printera Zortrax. *Z-SUITE slicer* je namijenjen prvenstveno korisnicima Zortrax 3D printera. Softver pruža napredne postavke i mogućnosti prilagodbe kako bi se postigla visoka kvaliteta ispisa.

S obzirom na specifičnu optimizaciju za *Zortrax* printere, *Z-SUITE* omogućava korisnicima da iskoriste puni potencijal svojih printera i postignu precizne i kvalitetne isprintane modele.

*Ultimaker Cura* je besplatan računalni program za rezanje (*slicing*) 3D modela koji se koristi za pripremu modela za ispis na *Ultimaker* 3D printerima, ali je također kompatibilan s drugim modelima 3D printera. Sadrži *Marketplace* s profilima različitih 3D printera i materijala. Korisnici mogu preuzeti i primijeniti profil svojeg specifičnog printera i materijala kako bi dobili optimizirane postavke ispisa.

Ultimaker Cura je moćan i široko korišten softver za rezanje 3D modela. Nudi prilagodljive postavke, podršku za različite printere i materijale te intuitivno korisničko sučelje. Korisnici mogu postići visoku kvalitetu ispisa uz pomoć ovog alata i optimizirati svoje 3D modele za najbolje rezultate.

#### **2.3.4. Izrada fizičkog modela – aditivna proizvodnja**

Za izradu fizičkog modela važan je odabir odgovarajućeg 3D pisača. 3D pisači se razlikuju u svojim tehničkim specifikacijama, kao što su veličina radne površine, točnost ispisa, brzina ispisa i dostupnost podržanih materijala. Važno je odabrati pisač koji je kompatibilan s odabranim materijalom i sposoban proizvesti prototip s potrebnom kvalitetom, a ovisno o vrsti tehnologije aditivne proizvodnje, procesi izrade se razlikuju.

Na Grafičkom fakultetu trenutno je dostupna samo FFF tehnologija ispisa koja je općenito i najrasprostranjenija među običnim korisnicima. Postupci FFF tehnologije su automatizirani te nije potrebna pomoć operatera, a postupak se sastoji od nanošenja uzastopnih slojeva materijala na radnu platformu, koji formiraju fizički objekt.

Prednosti FFF postupka su brzina i sigurnost rada strojeva koji ne primjenjuju otrovne materijale pa nije potreban poseban prostor, no nedostatak postupka je što je potrebna naknadna obrada, vrlo često je potrebna potporna struktura, te promjena temperature može dovesti do raslojavanja prototipa, te su vidljive linije između slojeva.

Mlaznice na strojevima su kružnog presjeka, te je zbog toga nemoguće izraditi oštre rubove. Stvaran oblik ovisi o mlaznici i viskoelastičnom ponašanju materijala prilikom očvršćivanja. Brzina ovisi o mogućnostima doziranja materijala kroz mlaznicu. Pri povećanju protoka taljevine može doći do povećanja mase tvorevine. Mehanička svojstva ovise o položaju prototipa na radnoj podlozi, pogotovo u smjeru z osi.

Pisač na kojem će se izvršiti izrada završnog rada je Ender 3 V2. Ender 3 V2 ima čvrsto metalno kućište s integriranim okvirom i visokom stabilnošću. Ima otvorenu konstrukciju, što olakšava promjenu filamenata i održavanje printera te prilično veliki izlazni volumen od 220 x 220 x 250 mm, što omogućava ispis većih predmeta.

Ender 3 V2 dolazi s mlaznicom promjera 0,4 mm koja je pogodna za opću upotrebu. Mlaznica se može zamijeniti ako je potrebno koristiti druge promjere. Sadrži ploču za grijanje s podlogom od karbonatnog silikona koja omogućava ravnomjerno zagrijavanje



površine i dobro prijanjanje za ispis. Ender 3 V2 podržava širok raspon softvera za 3D ispis, uključujući Cura, Simplify3D i druge popularne slicer programe.

Ender 3 V2 je popularan izbor za ljude koji se žele uključiti u svijet 3D ispisa. S obzirom na njegovu pristupačnu cijenu i solidne performanse, Ender 3 V2 je često preporučen za početnike, hobiste i one s ograničenim proračunom.



**Slika 10. Pisač Creality Ender 3 V2 [16]**

U FFF postupcima radije se upotrebljavaju amorfni polimerni materijali. Amorfni polimeri nemaju jasno talište, omekšavaju i viskoznost se snizuje povišenjem temperature. Viskoznost s kojom se amorfni polimeri mogu ekstrudirati pri određenom tlaku je dosta visoka i omogućuje zadržavanje oblika nakon ekstrudiranja i brzo ovrščivanje. Nadalje, novi sloj dobro se spaja s prethodnim.

Postoje različiti materijali koji se koriste u, a izbor materijala zavisi od vrste printera i namjere. Dva najčešće korištena materijala za FFF postupak na Grafičkom fakultet su PLA i ABS.

PLA (polilaktid) je jedan od najpopularnijih materijala za 3D ispis. Njegove prednosti su da je PLA vrlo jednostavan za štampanje, pogotovo za početnike. Ne zahtjeva printer s kontroliranom temperaturom ili zagrijavanje radne površine. Također ima dobru adheziju

između slojeva, što olakšava postizanje kvalitetnih rezultata. Proizvodi se iz obnovljivih izvora, poput kukuruznog škroba ili šećerne trske. Materijal je biorazgradiv i ne proizvodi štetne plinove prilikom štampe. To ga čini ekološki prihvatljivim izborom u usporedbi s materijalima poput ABS-a. Niskotoksičan je materijal i ne proizvodi značajne količine štetnih plinova tokom štampe. To znači da je siguran za upotrebu u zatvorenim prostorima bez potrebe za dodatnom ventilacijom. Dostupan je u širokom spektru boja, uključujući transparentne i fluorescentne nijanse. To omogućava dizajnerima i kreativnim osobama da postignu željene estetske efekte u svojim štampanim objektima. PLA ima manju sklonost skupljanju prilikom hlađenja u usporedbi s materijalima kao što je ABS. To olakšava postizanje preciznih dimenzija i detalja u ispisanim objektima. Nedostaci PLA materijala su da ima nižu temperaturnu otpornost u usporedbi s materijalima kao što je ABS. To znači da se PLA dijelovi mogu omekšati ili deformirati pri izlaganju visokim temperaturama, što ograničava njegovu primjenu u određenim situacijama. Usporedbom s ABS-om, PLA je manje izdržljiv i ima nižu otpornost na udarce. Za aplikacije koje zahtijevaju veću čvrstoću i izdržljivost, može biti potrebno koristiti drugi materijal. Dok je biorazgradivost PLA materijala prednost s aspekta ekološke održivosti, također može biti nedostatak u određenim aplikacijama. PLA dijelovi nisu otporni na vodu i vlagu te se mogu razgraditi ili izgubiti svoje mehaničke osobine u takvim uvjetima. [27]

ABS (akrilonitril butadien stiren) je popularan materijal koji se često koristi u 3D ispisu. Prednosti ABS su da je čvrst materijal s visokom otpornošću na udarce. Ova izdržljivost ga čini pogodnim za ispis dijelova koji će biti izloženi mehaničkom stresu, kao što su kućišta, nosači, ili funkcionalni dijelovi. Ima veću otpornost na toplinu u odnosu na PLA. To znači da će ispisani dijelovi od ABS-a zadržati svoj oblik i čvrstoću čak i pri višim temperaturama. ABS je otporan na mnoge kemikalije, uključujući i ulja. Ova svojstva ga čine pogodnim za primjene u kojima su potrebna kemijska otpornost ili izlaganje različitim supstancama. [28]

Nedostaci ABS su da zahtjeva printer s kontroliranom temperaturom kako bi se postigla optimalna temperatura ispisa. To može zahtijevati dodatnu opremu ili podešavanje za postizanje pravilnih rezultata. Tokom ispisa, ABS može proizvoditi toksične plinove, uključujući stiren. Stoga je preporučljivo koristiti ABS u dobro provjetrenim prostorijama ili u posebnim ventiliranim prostorima kako bi se izbjeglo udisanje ovih plinova. ABS

ima veću sklonost deformaciji i izobličenju prilikom brzog hlađenja. Da bi se to spriječilo, neki printeri koriste zagrijane radne površine kako bi održali stabilnu temperaturu tokom procesa 3D ispisa.

ABS se proizvodi iz fosilnih goriva i nije biorazgradiv kao PLA. Međutim, postoji zamjenski ABS filament dostupan na bazi obnovljivih izvora, ali to može biti skupa opcija.

### **2.3.5. *Uklanjanje potpore i završna obrada***

Nakon 3D ispisa fizičkih objekata, postoji nekoliko koraka koji mogu biti uključeni u završnu obradu kako bi se postigao željeni konačni izgled i glatkoća objekta. Kod pisaa koji imaju komoru potrebno je najprije pričekati da se temperatura dovoljno spusti kako bi se moglo rukovati sa objektima. Ovisno o vrsti objekta potrebno je poduzeti nekoliko koraka nakon što se model ukloni sa postolja pisaa. Završna kvaliteta modela uvelike ovisi o praksi operatera jer neki modeli zahtijevaju naknadnu mehaničku obradu. Ako je objekt tijekom ispisa podržavan potpornim strukturama, one će trebati biti uklonjene nakon završetka ispisa. Potporne strukture pružaju glavni modela tijekom ispisa, ali nisu potrebne za konačni proizvod. Mogu se ukloniti ručno, pomoću alata poput pincete, skalpela ili strugača. Ovaj korak zahtijeva pažnju kako bi se izbjeglo oštećenje objekta. Nakon uklanjanja potpornih struktura, postoji mogućnost da će objekt imati grubu površinu ili vidljive slojeve od ispisa. Za brušenje se može koristiti brusni papir različitih granulacija kako bi se ujednačili takvi dijelovi. Ovaj korak je važan za postizanje kvalitetnog konačnog izgleda proizvoda. U slučaju da objekt ima manje nedostatke poput pukotina, rupica ili neravnina, potrebno je koristiti punila kako bi se ispunile rupice i zagladila površina objekta. Postoje razni materijali za punjenje, kao što su epoksidne smole ili kitovi za punjenje koji se koriste za popunjavanje i niveliranje površine.

Nakon što se postigne željena glatkoća i izgled objekta, na gotovim proizvodima može se izvršiti dodatna obrada poput poliranja ili bojanja. Ovi koraci mogu se razlikovati ovisno o vrsti materijala koji se koristi za 3D ispis, kao i o zahtjevima i specifičnostima samog proizvoda. Nakon završne obrade proizvod se može koristiti prema traženoj svrsi.

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Kroz rad je izrađen redizajn triju popularnih igara , odnosno prikaz izrade 3 nove igre na drugačiji način; primjenom 3D tehnologija modeliranja i proizvodnje. S obzirom na sve veću popularnost 3D printera ovakav postupak izrade se vrlo jednostavno može uvesti kao izborni predmet u osnovne škole gdje bi učenici mogli samo izraditi sve prikazane igre te ih kasnije koristiti za zabavu i učenje. U predškolskom i osnovnoškolskom obrazovanju, metodičko-didaktičke igre igraju ključnu ulogu u poticanju cjelovitog razvoja djece. Igre su prilagođene njihovim sposobnostima, interesima i kognitivnom razvoju.

Nekoliko primjera dosadašnje prakse učenja putem metodičko-didaktičkih igara u predškolskoj dobi:

- Igre za razvoj motoričkih vještina: U ovoj dobi, razvoj motoričkih vještina je ključan. Metodičko-didaktičke igre poput igara hvatanja, trčanja, skakanja, plesanja ili različitih vježbi ravnoteže pomažu djeci da razviju svoju motoriku, koordinaciju i ravnotežu.
- Igre za razvoj kognitivnih vještina: U predškolskoj dobi, djeca su u fazi intenzivnog kognitivnog razvoja. Metodičko-didaktičke igre kao što su slagalice, igre memorije, igre asocijacije, igre prepoznavanja oblika i boja, igre sortiranja i klasifikacije potiču razvoj pažnje, koncentracije, logičkog razmišljanja, prepoznavanja i povezivanja.
- Igre za razvoj jezičnih vještina: U ovoj dobi, djeca aktivno razvijaju jezične vještine. Metodičko-didaktičke igre poput pjevanja pjesmica, pričanja priča, igara riječima, raznih zvučnih igara i igara interpretacije razvijaju rječnik, izgovor, slušanje, razumijevanje i izražavanje djece.
- Igre za razvoj socijalnih vještina: Predškolska dob je vrijeme kada djeca počinju učiti socijalne vještine kao što su dijeljenje, suradnja, empatija i rješavanje problema. Metodičko-didaktičke igre koje potiču timski rad, igre uloga, igre s partnerima, igre dijeljenja i igre rješavanja sukoba omogućavaju djeci da razvijaju socijalne vještine, komunikaciju, suradnju i emocionalnu inteligenciju.
- Igre za razvoj kreativnosti: U predškolskoj dobi, kreativnost je ključan aspekt razvoja djece. Metodičko-didaktičke igre poput slikanja, modeliranja, izrade

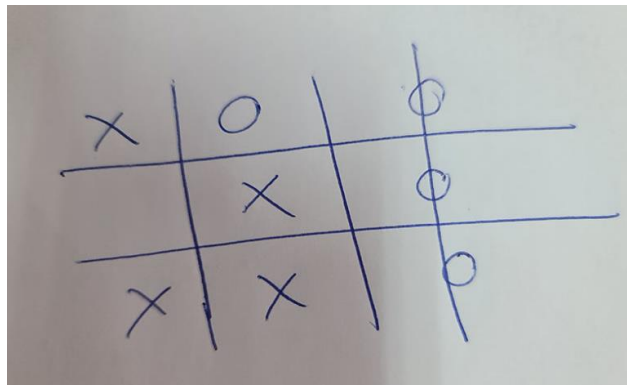
različitih predmeta, scenske igre, plesne igre i izmišljanje priča potiču kreativnost, maštu, izražavanje ideja i inovativno razmišljanje kod djece.

Važno je prilagoditi igre predškolskoj dobi, uzimajući u obzir njihovu razinu razvoja, individualne razlike i sigurnosne aspekte. Metodičko-didaktičke igre pružaju djeci interaktivno i motivirajuće okruženje za učenje, potičući njihov cjeloviti razvoj i pripremajući ih za daljnje obrazovanje.

### 3.1. Igra KRIŽIĆ-KRUŽIĆ

Križić-kružić je popularna didaktička igra koja se igra na papiru. Cilj igre je postaviti tri svoja znaka u nizu - vodoravno, okomito ili dijagonalno - prije protivnika.

Igra se igra na kvadratnoj mreži 3 x 3. Dva igrača sudjeluju u igri, obično koristeći različite simbole za svoje poteze. Jedan igrač obično koristi "X" („KRIŽIĆ“), a drugi "O" („KRUŽIĆ“), i naizmjenice postavljaju svoje znakove na slobodna polja u mreži.



Slika 11. Igra križić kružić

Križić-kružić je jednostavna, ali izazovna igra koja potiče razmišljanje, logiku i strategiju.

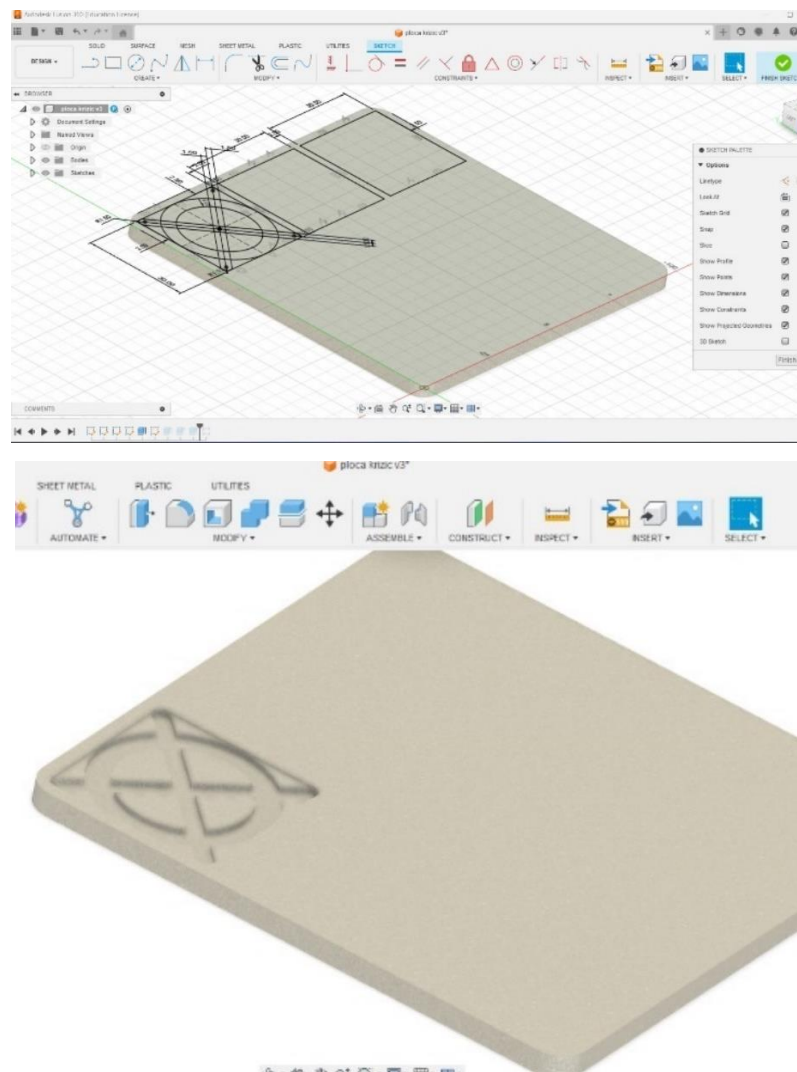
#### 3.1.1. Redizajn igre KRIŽIĆ-KRUŽIĆ

Umjesto tradicionalne papirnate podloge napravljena je podloga od ABS plastike ispisana 3D ispisom. Tabla (podloga) je modificirana na način da je utor formiran za križić i kružić što ostavlja dojam te povećava stabilnost od ispadanja. Redizajnom igre se povećava primjena same igre jer se može igrati po svim uvjetima (plaži, kiši) bez oštećenja podloge što dovodi do praktičnijeg i jednostavnijeg korištenja te prilagodljivosti svim uzrastima.

Postupak izrade:

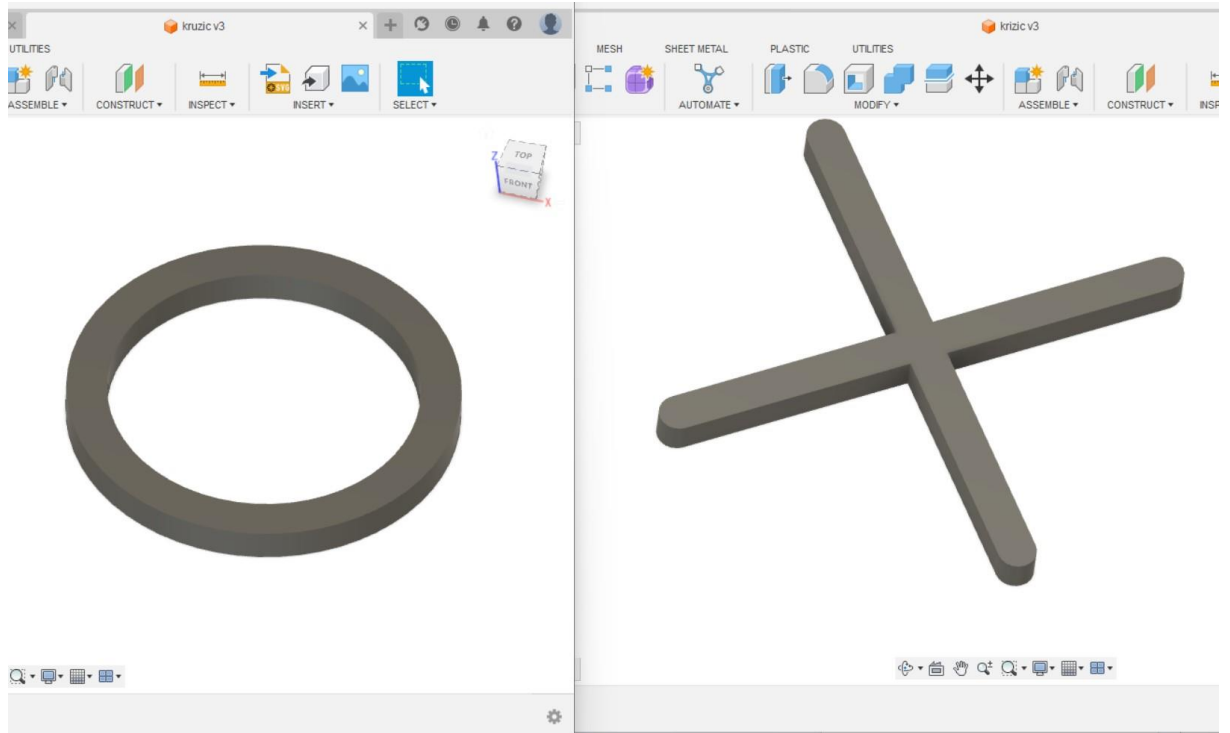
- Modeliranje ploče
- Modeliranje simbola križić kružić
- Priprema za ispis i ispis

Modeliranje ploče izvršeno je u programu AutoDesk Fusion 360. Ploča za igru je dimenzije 100x100 mm, debljine 4mm. Na ploči je izvedeno devet utora za „križić“ i „kružić“ koji se međusobno preklapaju te su urezani 1.5 mm u ploču. Igrač prilikom igre stavlja modele križića ili kružića unutar utora.



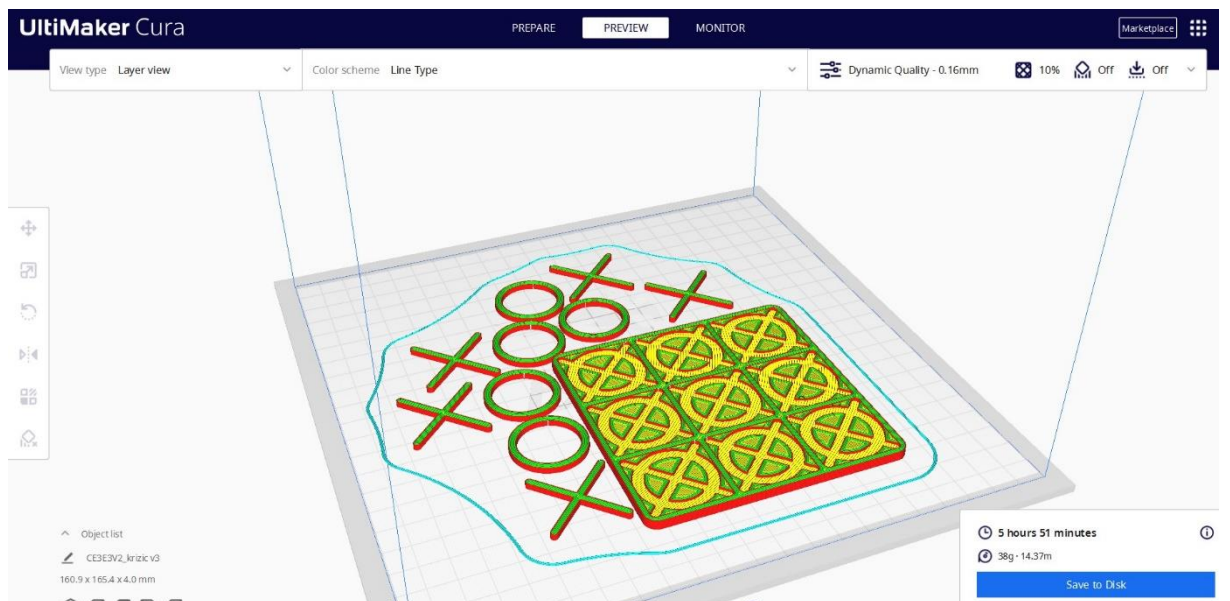
**Slika 12. Modeliranje ploče za igru Križić- kružić**

Nakon modeliranja ploče kreće se na modeliranje simbola križića i kružića čije su dimenzije prilagođene dimenzijama utora na ploči kako bi prilikom igre ostali na ploči.

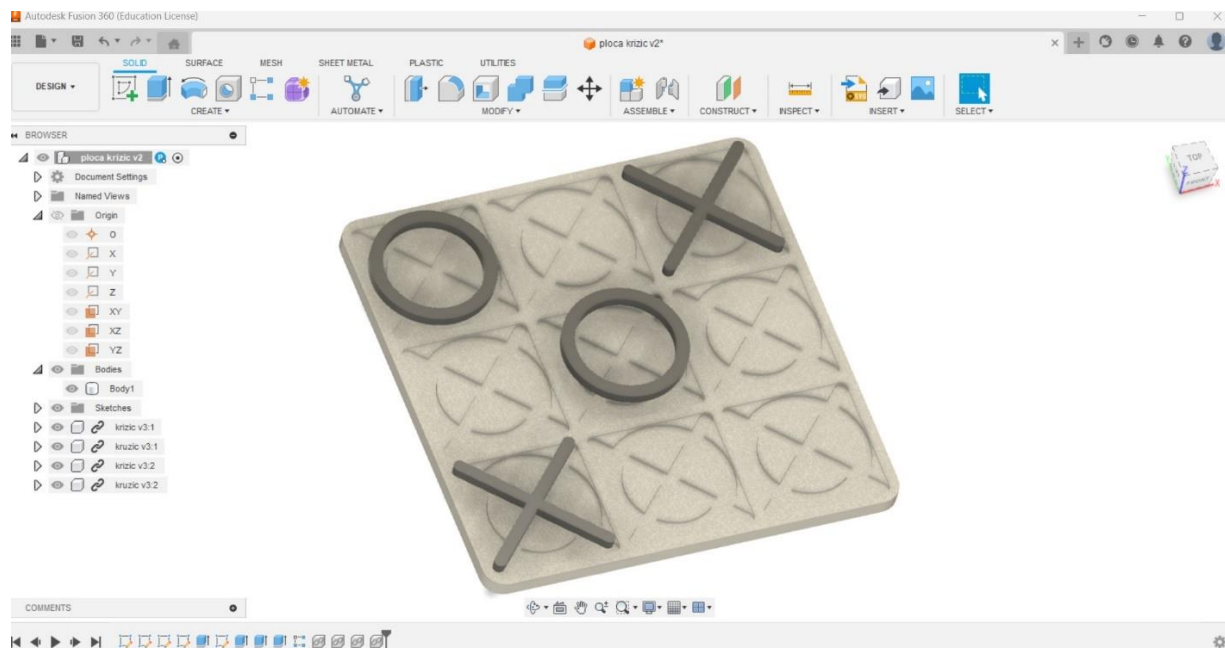


**Slika 13. Modeliranje simbola za igru**

Priprema za ispis izvedena je u programu *UltiMaker Cura 5.3* koji podržava ispis na gotovo svim printerima ali u našem slušaju za *Creativity Ender 3 V2*. Postavke za ispis su podešene na način da je ispunjena 10%, a materijal za ispis je ABS. Izračunato trajanje ispisa je 5 sati i 51 minutu.



**Slika 14. Priprema za ispis igre križić-kružić**



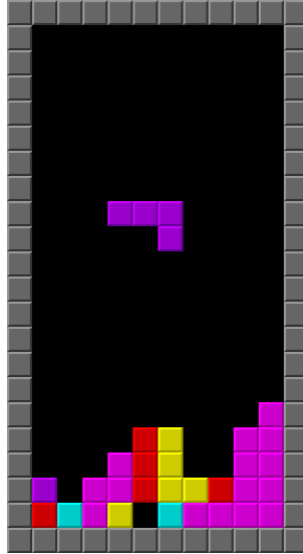
**Slika 15. Model redizajna igre Križić Kružić**

### **3.2. Igra TETRIS**

Tetris je popularna didaktička igra koja se često koristi u obrazovnom kontekstu. Ova igra je izvorno razvijena kao računalna igra, ali se može prilagoditi i na druge platforme, uključujući igračke, mobilne uređaje ili papir i olovku.

Cilj Tetrisa je postavljati oblike koji se sastoje od kvadrata spojenih na različite načine, kako bi se stvorili horizontalni redovi bez praznina. Kada se horizontalni red potpuno popuni, taj red se briše, a igrač osvaja bodove. Cilj je preživjeti što dulje i postići što veći rezultat.





**Slika 16. Igra TETRIS [20]**

Tetris je didaktička igra koja ima nekoliko edukativnih prednosti:

- **Razvoj prostorne svijesti:** Igranje Tetrisa zahtijeva pažnju na oblike i njihovu orijentaciju u prostoru. To potiče razvoj prostorne svijesti i sposobnost vizualizacije objekata u prostoru.
- **Logičko razmišljanje:** Igrači moraju razmišljati o tome kako najbolje pozicionirati i rotirati tetrominoe kako bi se stvorili ispunjeni redovi. Ovo razvija logičko razmišljanje, planiranje i problem-solving vještine.
- **Brzo razmišljanje i reakcija:** Tetris je brza igra u kojoj se tetrominoi neprestano spuštaju prema dolje. Igrači moraju brzo razmišljati i donositi odluke te imaju priliku vježbati brzinu reakcije.
- **Upornost i upravljanje stresom:** Tetris je igra koja postaje sve brža i zahtjevnija kako igra napreduje. Igrači se suočavaju s pritiskom i moraju naučiti upravljati stresom, upornošću i upravljanjem vremenom kako bi ostali smireni i postigli što bolje rezultate.

### **3.2.1. Redizajn igre TETRIS**

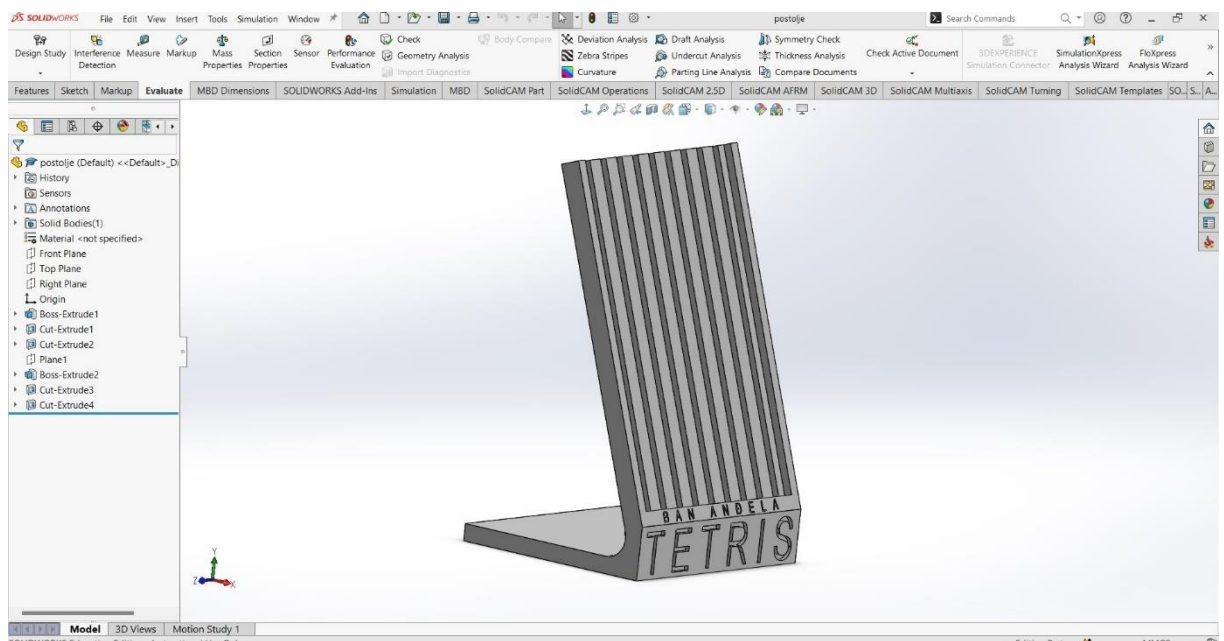
Svakodnevno gledanje djece na mobitelu, tabletu dovelo je do ideje da se računalna igra pretvori u didaktičku. Napravljena je podloga od ABS plastike sa utorima i 3D oblici za

igru tetris različitih boja ispisani aditivnom tehnikom proizvodnje. Na taj način postignuta je veća estetika, funkcionalnost i interaktivnost u igri.

Postupak izrade:

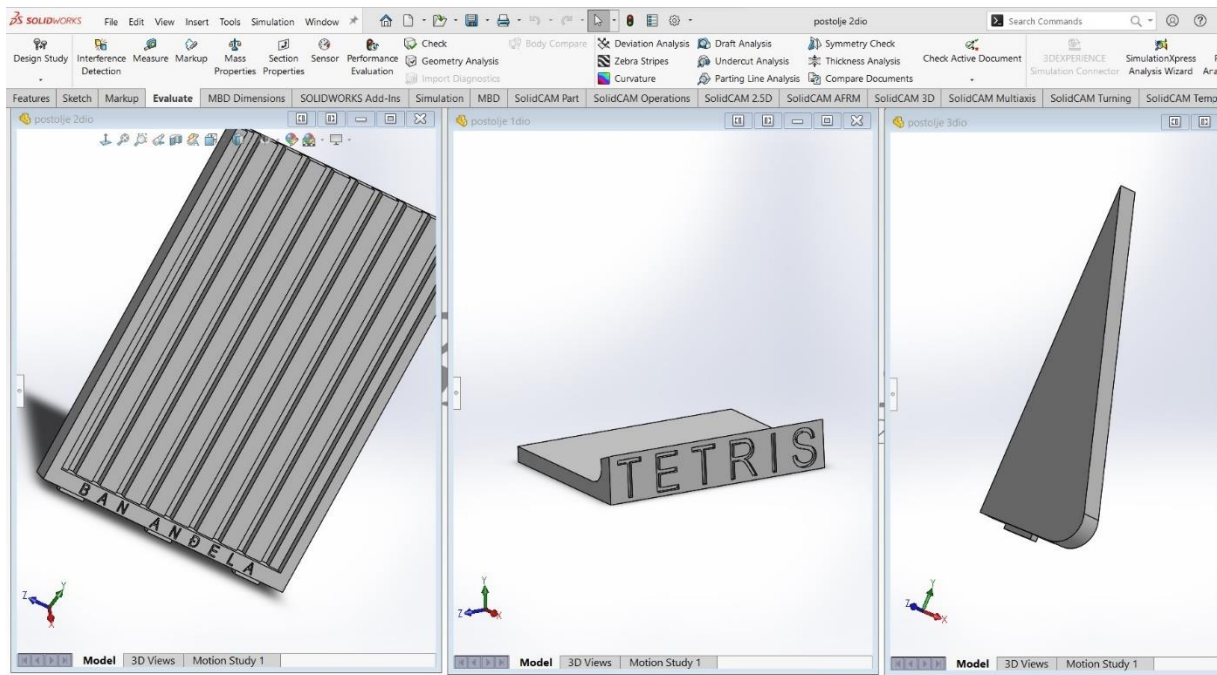
- Modeliranje postolja igre,
- Modeliranje tetris oblika,
- Priprema za ispis i ispis.

Modeliranje postolja izvršeno je u programu Solidworks. Postolje je dimenzije 120x100x185mm. Na samom postolju nalaze se utori u koje igrač ubacuje simbole da bi prilikom igre ostali na svom mjestu. Stoga i simboli na poleđini imaju izvedene izbočine za postavljanje na postolje.



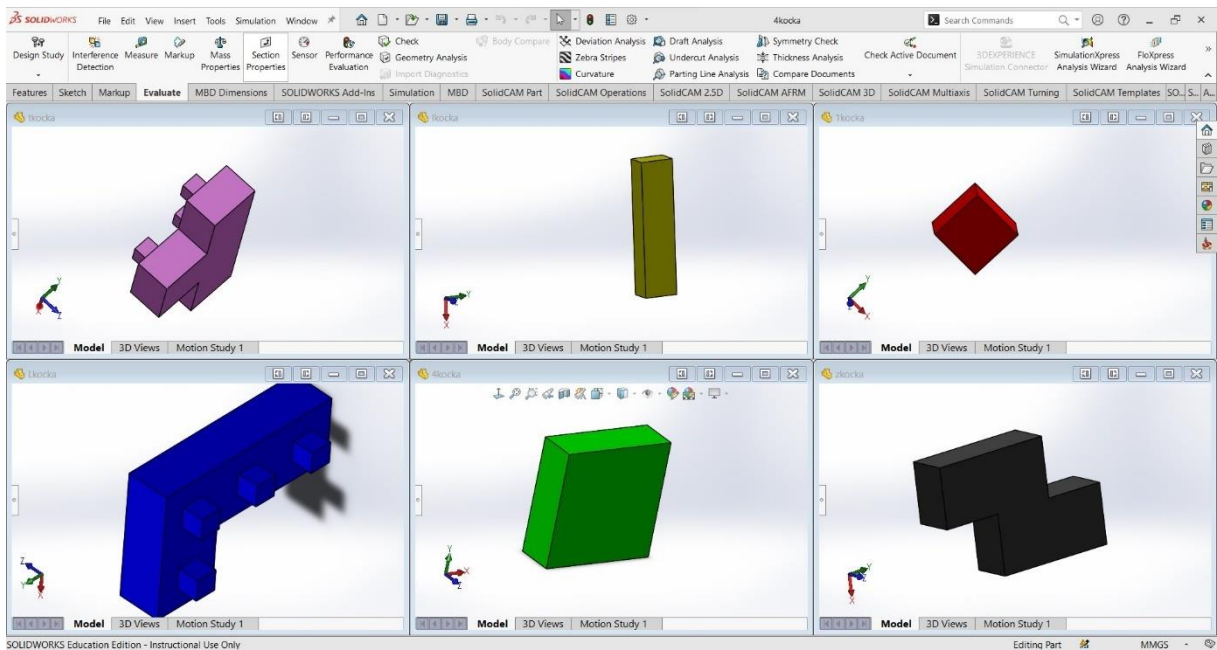
**Slika 17. Postolje za igru TETRIS**

Zbog svojih dimenzija te radi lakšeg ispisa postolje je podijeljeno na tri djela kao što je prikazano na slici 21.



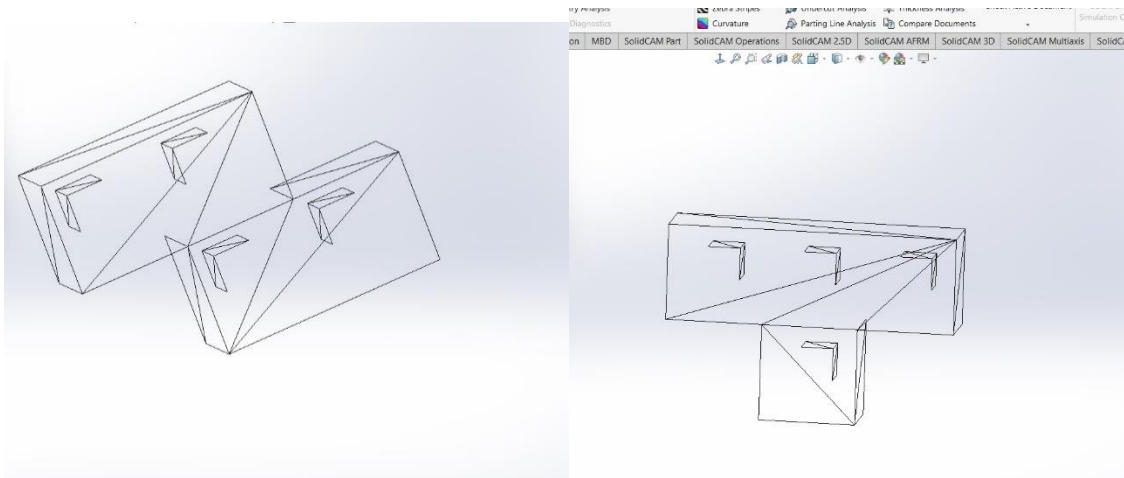
**Slika 18. Postolje za igru TETRIS iz 3 dijela**

Modeliranje TETRIS oblika također je izvedeno u Solidworksu. Modeli oblika izrađeni su na temelju standardnog izgleda simbola u tetrisu sa prilagođenim dimenzijama za postolje. Svi simboli na sebi imaju na poleđini izvedene izbočine za stavljanje na ploču.



**Slika 19. Modeli TETRIS oblika za igru**

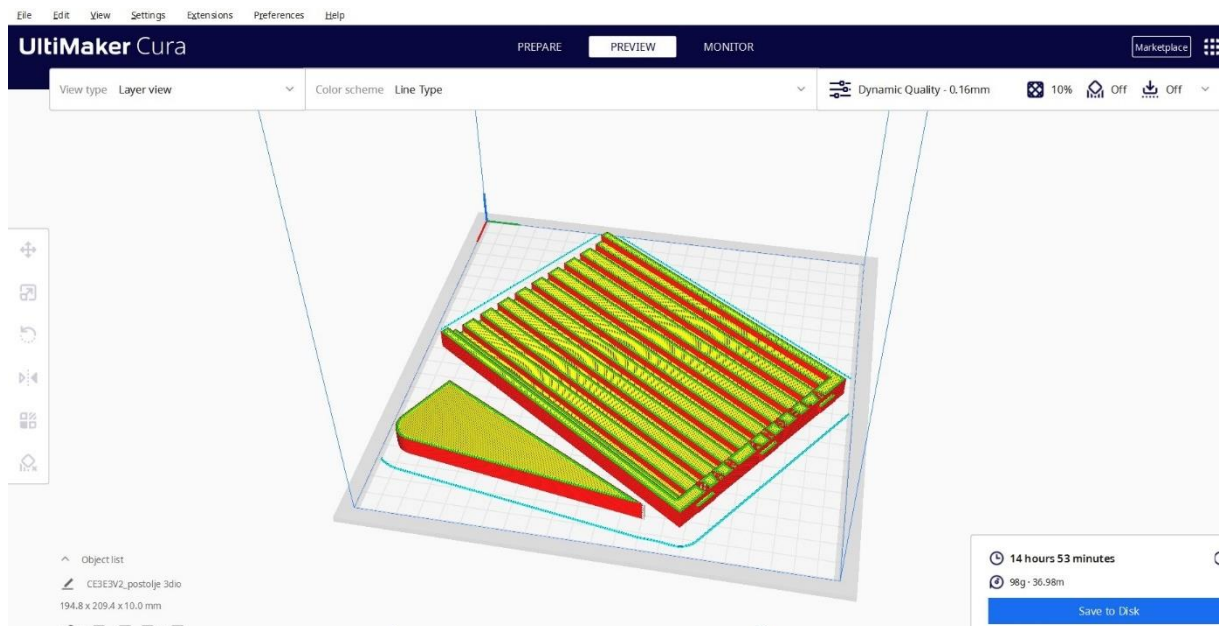
Kao i kod svake druge igre svi modeli su nakon izrade CAD modela pretvoreni u STL datoteku kako bi se mogli učitati u program za ispis. (Slika 23.)



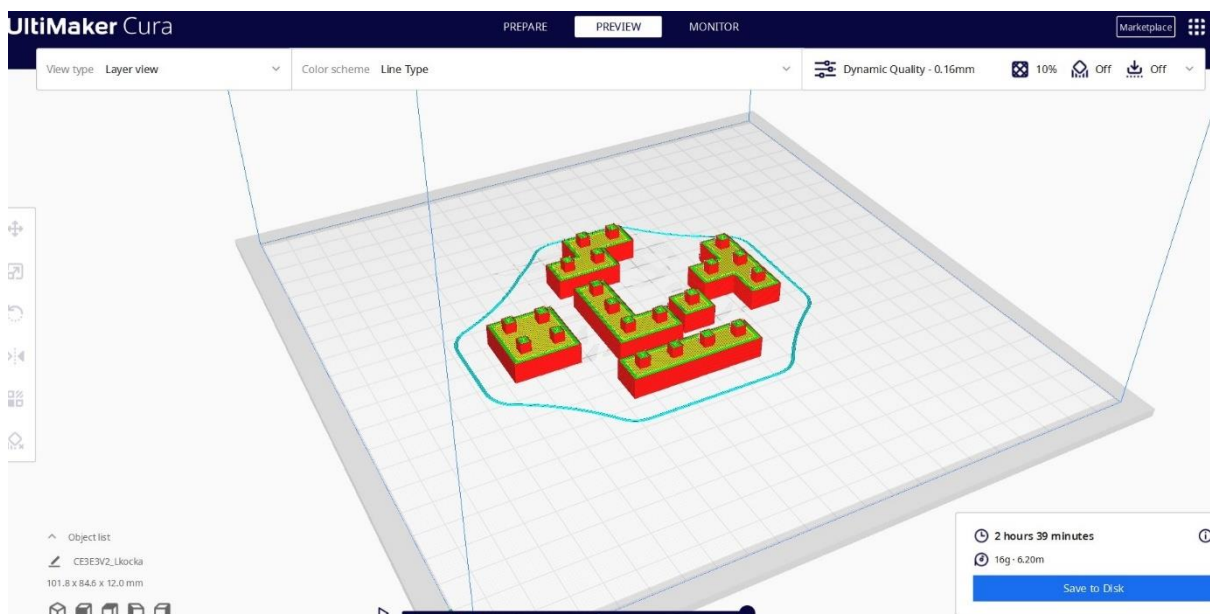
**Slika 20. Izgled STL modela kao pripreme za ispis**

Priprema za ispis izvedena je u programu UlitiMarker Cura 5.3 koji podržava ispis na gotovo svim printerima ali u našem slušaju za Creality Ender 3 V2. Postavke za ispis su podešene na način da je ispunjena 10%, a materijal za ispis je ABS.

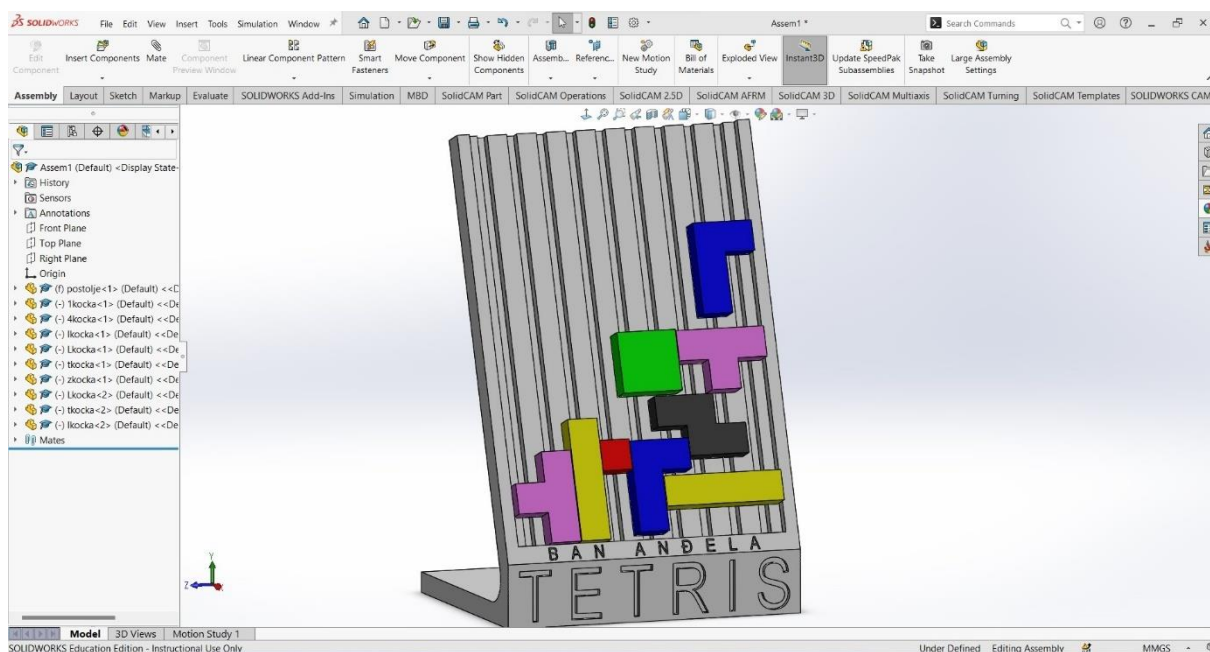
S obzirom na dimenzije postolja ono se mora printati zasebno, a modeli također zasebno.



**Slika 21. Priprema postolja za igru TETRIS za ispis**



Slika 22. Priprema oblika za igru TETRIS za ispis



Slika 23. Model redizajna igre TETRIS

### 3.3. Igra ŠAH

Šah je jedna od najpoznatijih i najstarijih didaktičkih igara koja se koristi u obrazovnom kontekstu. Ova igra se igra na ploči sa 64 polja i koriste se 32 figurice koje predstavljaju vojnike, topove, konje, lovce, kraljicu i kralja. Cilj igre je postaviti protivničkog kralja u šah-mat, što znači da je napadnut i nema načina da se izbjegne napad.

Šah je izuzetno korisna didaktička igra koja ima mnoge edukativne prednosti:

- Kognitivni razvoj: Igranje šaha razvija različite kognitivne vještine, uključujući logičko razmišljanje, apstraktno razmišljanje, analitičke sposobnosti, planiranje i predviđanje. Igrači moraju razmišljati unaprijed, predvidjeti poteze protivnika i donositi informirane odluke.
- Koncentracija i pažnja: Šah zahtijeva visoku razinu koncentracije i pažnje. Igrači moraju biti svjesni svih poteza na ploči, pratiti protivnikove planove i brzo reagirati na promjene u igri. To razvija sposobnost dugotrajne koncentracije i poboljšava sposobnost fokusiranja.
- Razvoj matematičkih vještina: Šah uključuje matematičke koncepte poput brojanja, strategija, ocjena vrijednosti figura, prostorne percepcije i geometrije. Igranje šaha može poboljšati matematičko razmišljanje, numeričke vještine i sposobnost rasuđivanja.
- Razvoj socijalnih vještina: Igranje šaha potiče socijalne interakcije i razvoj socijalnih vještina. Igrači moraju komunicirati s protivnikom, donositi odluke u skladu s pravilima igre, poštivati redosljed poteza i razvijati sportski duh. To promovira poštovanje, fer igru, suradnju i razumijevanje različitih perspektiva.
- Upravljanje emocijama: Šah je igra koja može izazvati različite emocije, poput uzbuđenja, frustracije, uspjeha i poraza. Igranje šaha pomaže igračima da nauče kontrolirati svoje emocije, razvijajući strpljenje, strategije suočavanja s porazom i razumijevanje važnosti učenja iz grešaka.



**Slika 24. Igra ŠAH**

Šah se često koristi u školskom okruženju i obrazovnim programima kao alat za razvoj različitih kognitivnih, matematičkih i socijalnih vještina. Također je popularna igra za izvanškolske aktivnosti i natjecanja.

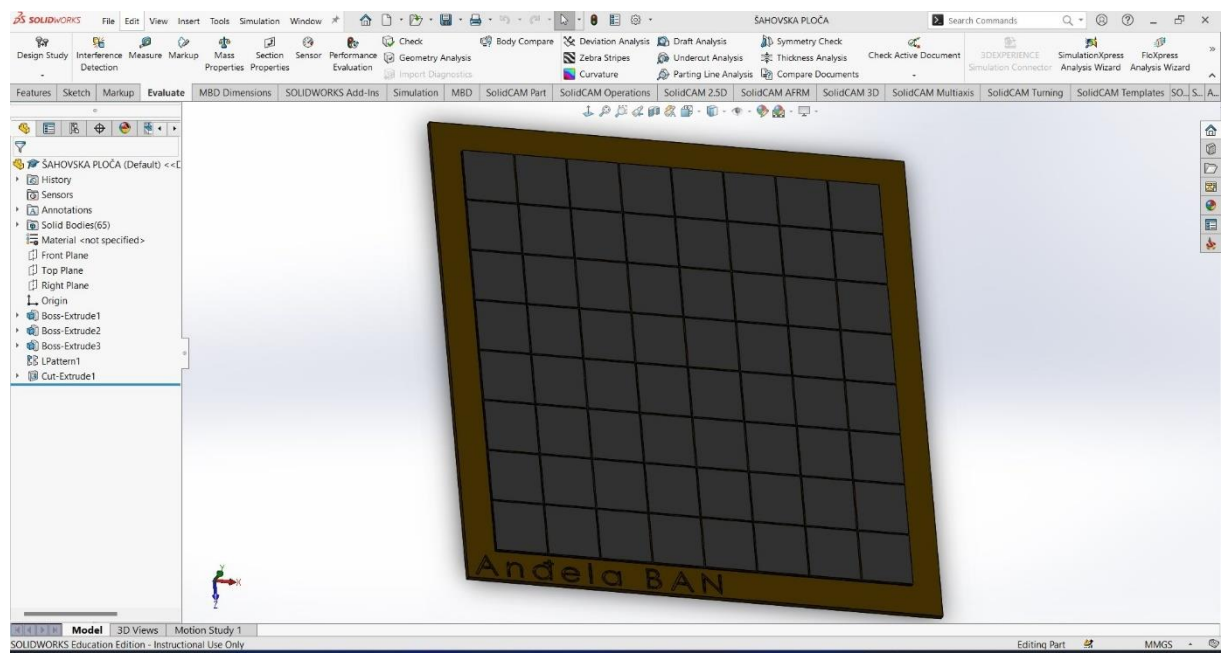
### 3.3.1. Redizajn igre ŠAH

Ovim redizajnom unapređen je vizualni aspekt i funkcionalnost igre šah na način da se zadrži sama suština igre i minimalno odstupanje od prvobitnog izgleda.

Postupak izrade:

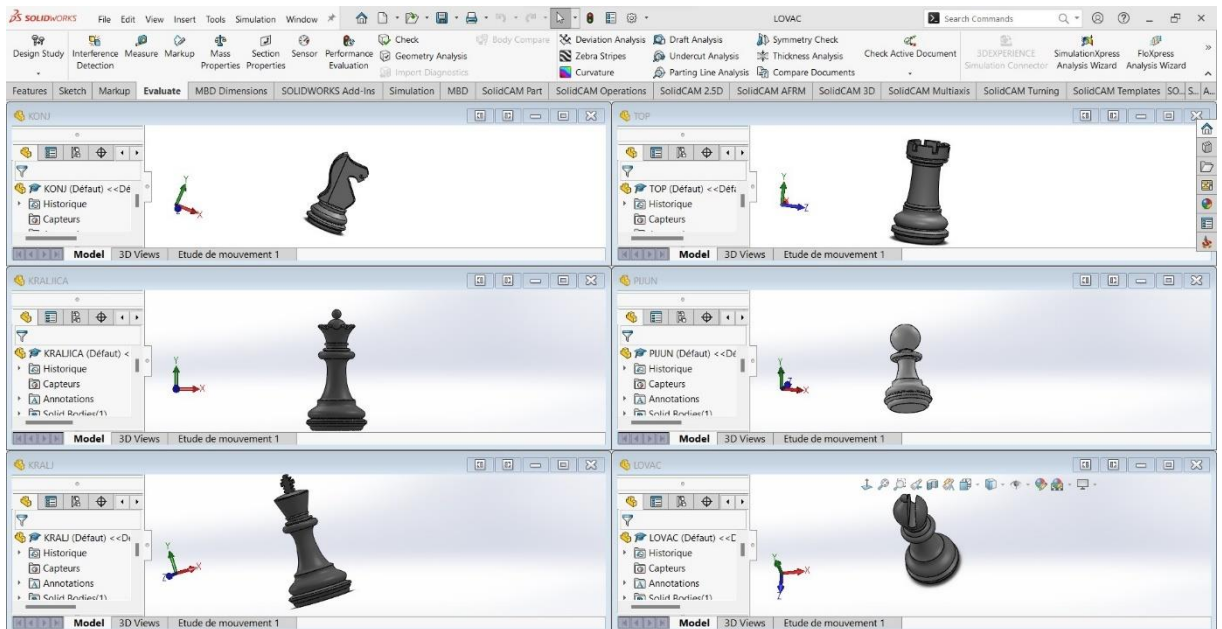
- Modeliranje šahovske ploče,
- Modeliranje šahovskih figura,
- Priprema za ispis i ispis.

Modeliranje šahovske ploče je izvedeno u programu Solidworks. Ploča je dimenzije 163x163mm. Na ploči se nalazi 64 polja za igranje šaha koje su međusobno odmaknute za 0,5 mm zbog dobivanja osjećaja dubine same ploče.



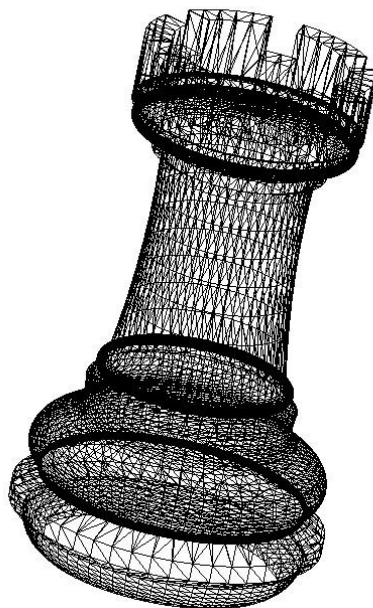
Slika 25. Model šahovske ploče

Modeliranje figura za šah je izvedeno u Solidworksu. Modeli figura izrađeni su na temelju standardnog izgleda figura u šahu sa prilagođenim dimenzijama za ploču promjera od 10 do 13mm, a visine do 30mm.



**Slika 26. Modeli figura za šah**

Kao i kod svake druge igre svi modeli su nakon izrade CAD modela pretvoreni u STL datoteku kako bi se mogli učitati u program za ispis.



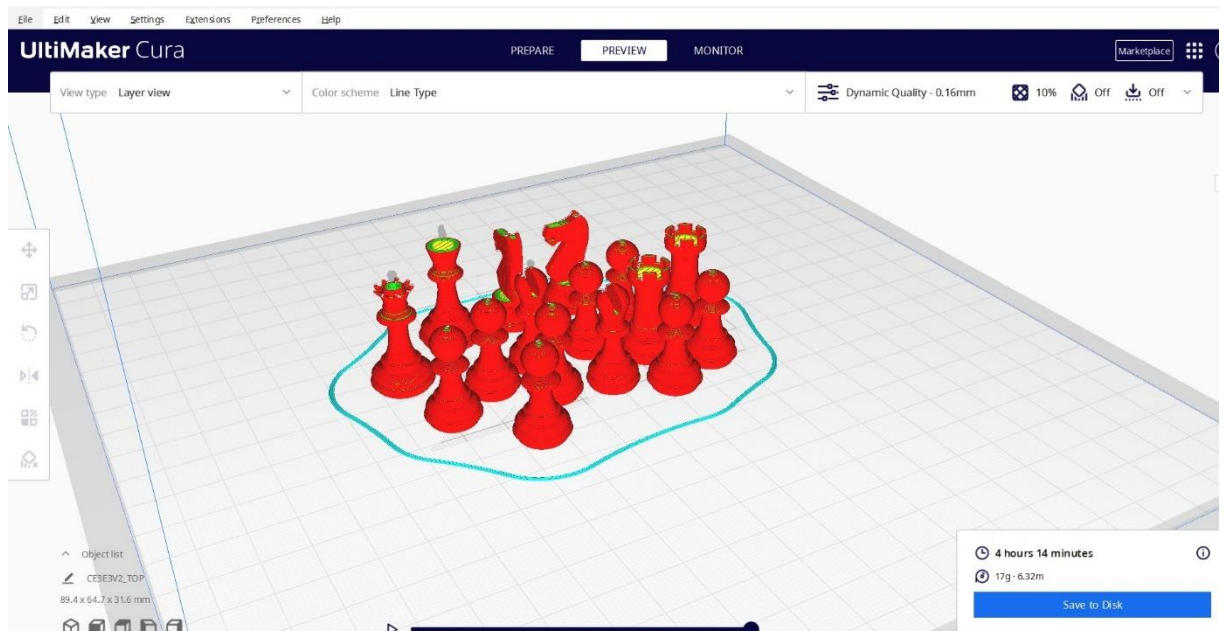
**Slika 27. Izgled šahovske figure TOP-a kao STL oblik datoteke**



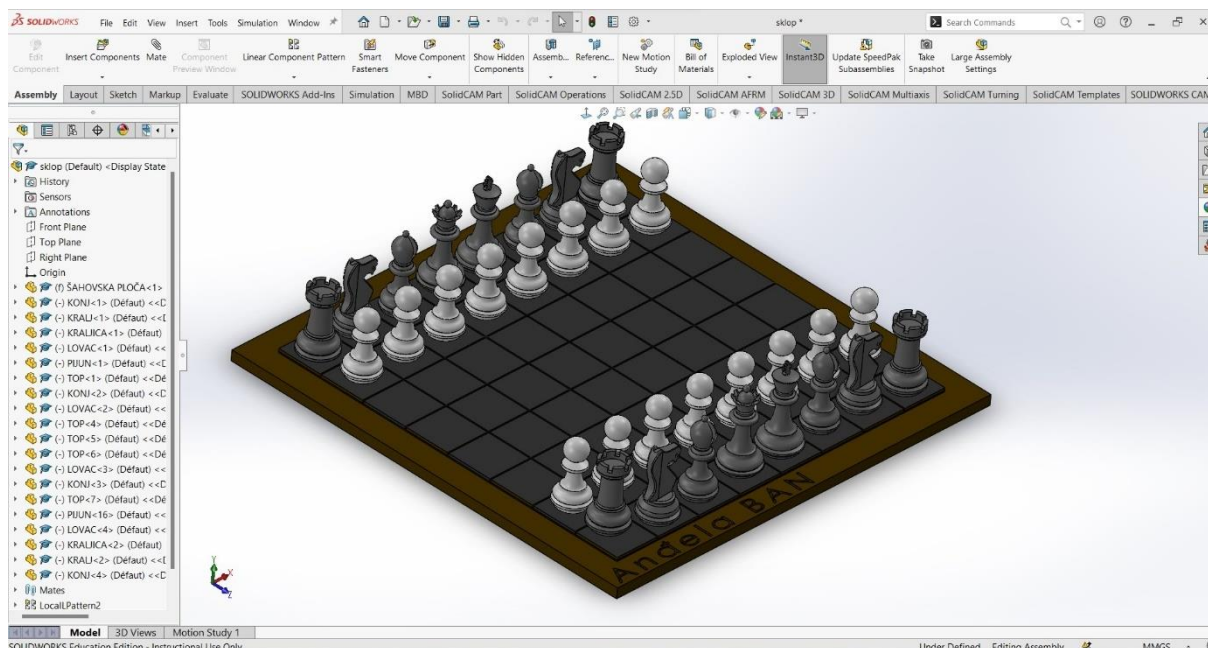
Priprema za ispis izvedena je u programu UlitiMarker Cura 5.3 koji podržava ispis na gotovo svim printerima ali u našem slušaju za Creality Ender 3 V2. Postavke za ispis su podešene na način da je ispuna 10% a materijal za ispis ABS.



**Slika 28. Priprema šahovske ploče za ispis**



**Slika 29. Priprema šahovskih figura za ispis**



Slika 30. Model redizajna igre ŠAH

### 3.4. Igra MOZGALICA

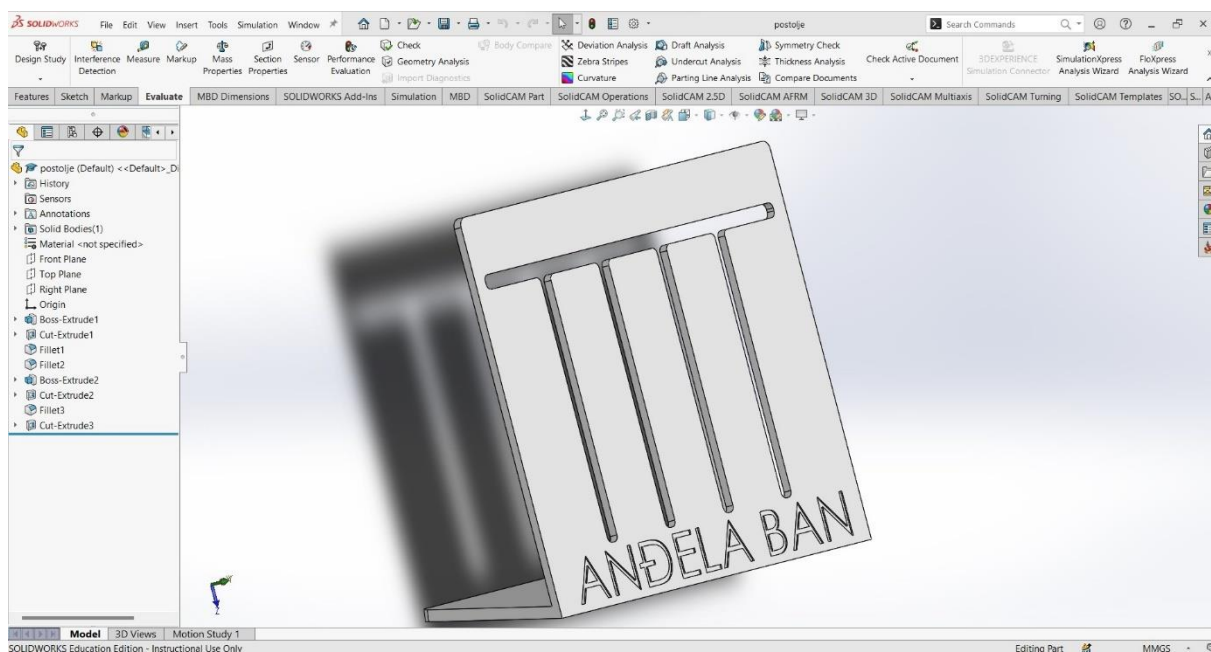
Metodičko-didaktičke igre mozgalice su aktivnosti koje se koriste u obrazovnom kontekstu radi razvoja kognitivnih sposobnosti, logičkog razmišljanja, rješavanja problema i razvijanja vještina kod djece.

Mozgalica je osmišljena je na način da se na kontrolnu ploču postavi kombinacija znakova koju je potrebno složiti.

Postupak izrade:

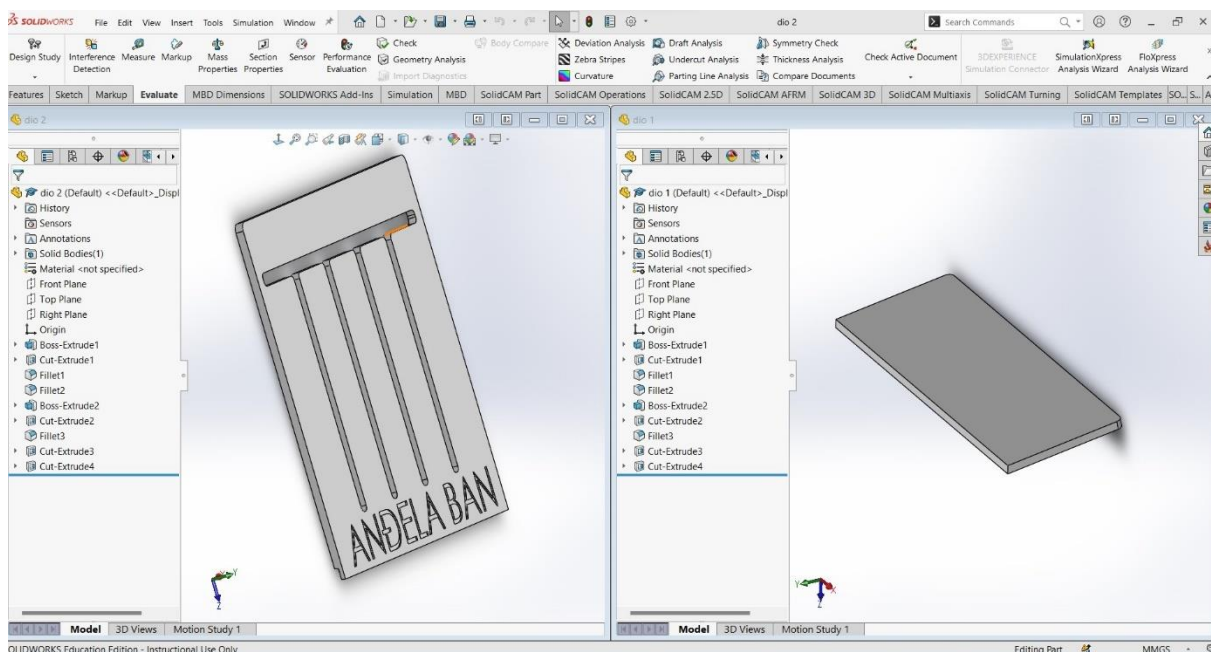
- Modeliranje postolja,
- Modeliranje simbola,
- Priprema za ispis i ispis.

Modeliranje postolja za igru mozgalica je izvedeno u programu Solidworks. Postolje dimenzije 160x60x130mm. Na postolju se nalaze utori za postavljanje simbola.



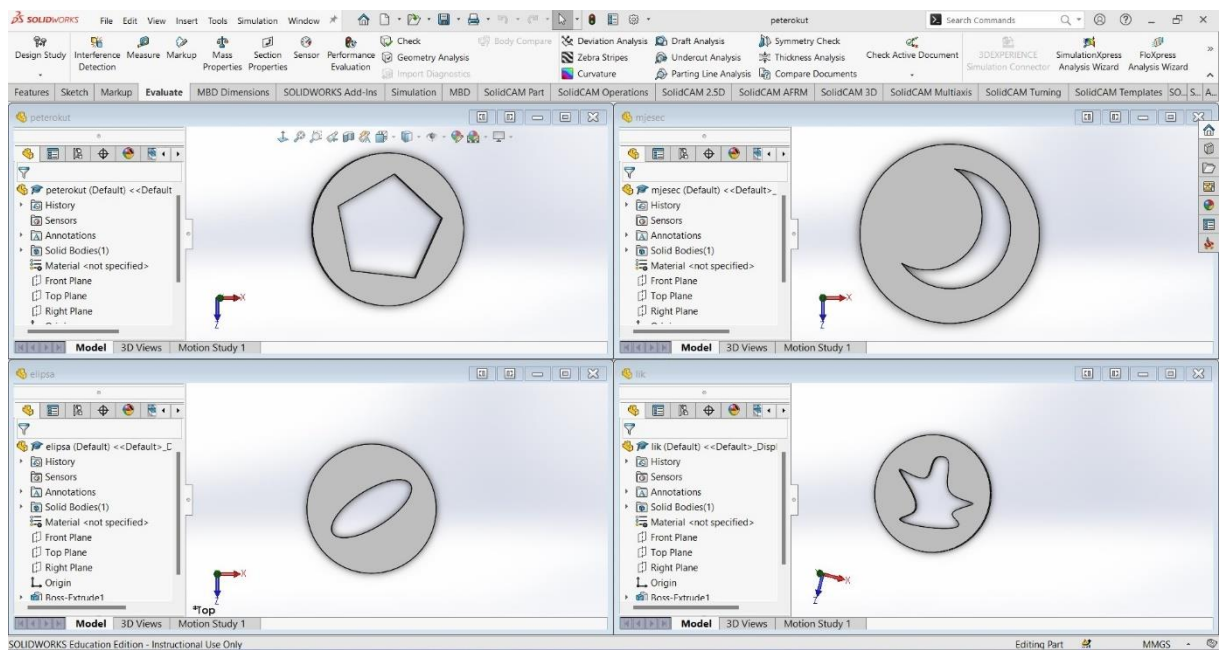
**Slika 31. Postolje za igru mozgalica**

Postolje je podijeljeno u dva dijela radi lakšeg ispisa.



**Slika 32. Podijeljeno postolje za igru mozgalica**

Modeliranje simbola za igru mozgalica je izvedeno u Solidworksu. Svi simboli imaju na poleđini izvedene izbočine za stavljanje u uture na ploču. Promjer simbola je 24mm.

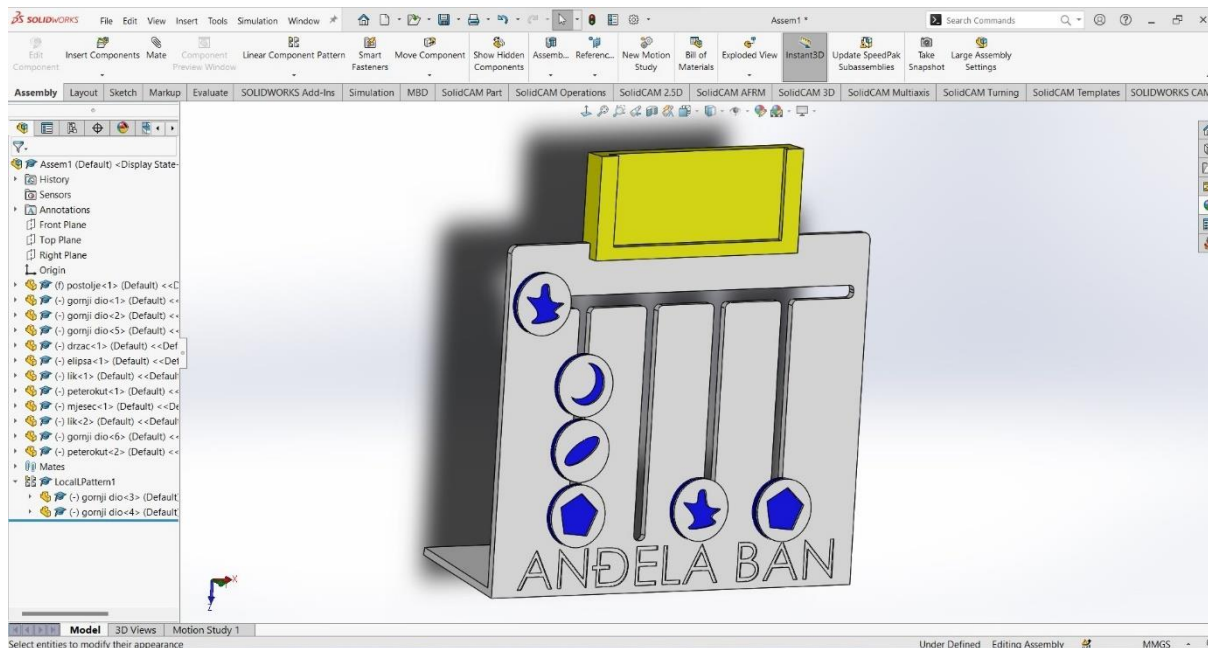


**Slika 33. Simboli za igru mozgalica**

Priprema za ispis izvedena je u programu UliitiMarker Cura 5.3 koji podržava ispis na gotovo svim printerima ali u našem slušaju za Creality Ender 3 V2. Postavke za ispis su podešene na način da je ispuna 10% a materijal za ispis ABS.



**Slika 34. Priprema za ispis za igru mozgalica**



Slika 35. Model igre mozgalica

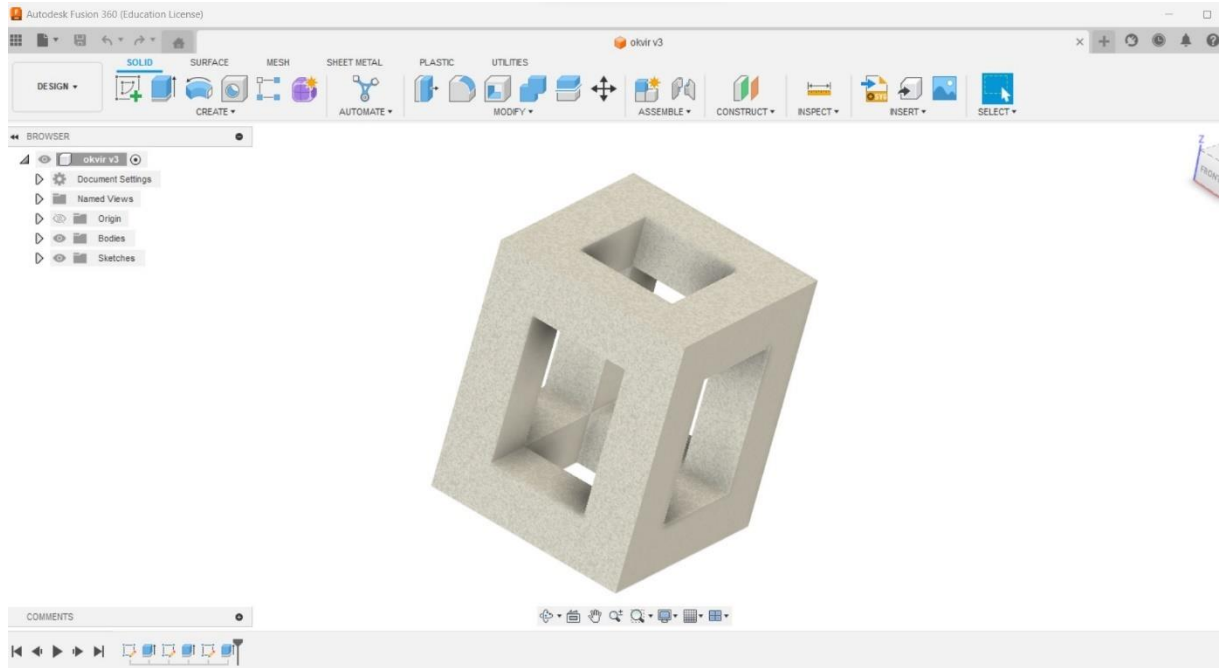
### 3.5. Igra MOZGALICA 2

Mozgalicom broj 2 se želi potaknuti logično razmišljanje te rješavanje problema. Cilj igre je posložiti kocku u kocku u što manjem vremenskom intervalu.

Postupak izrade:

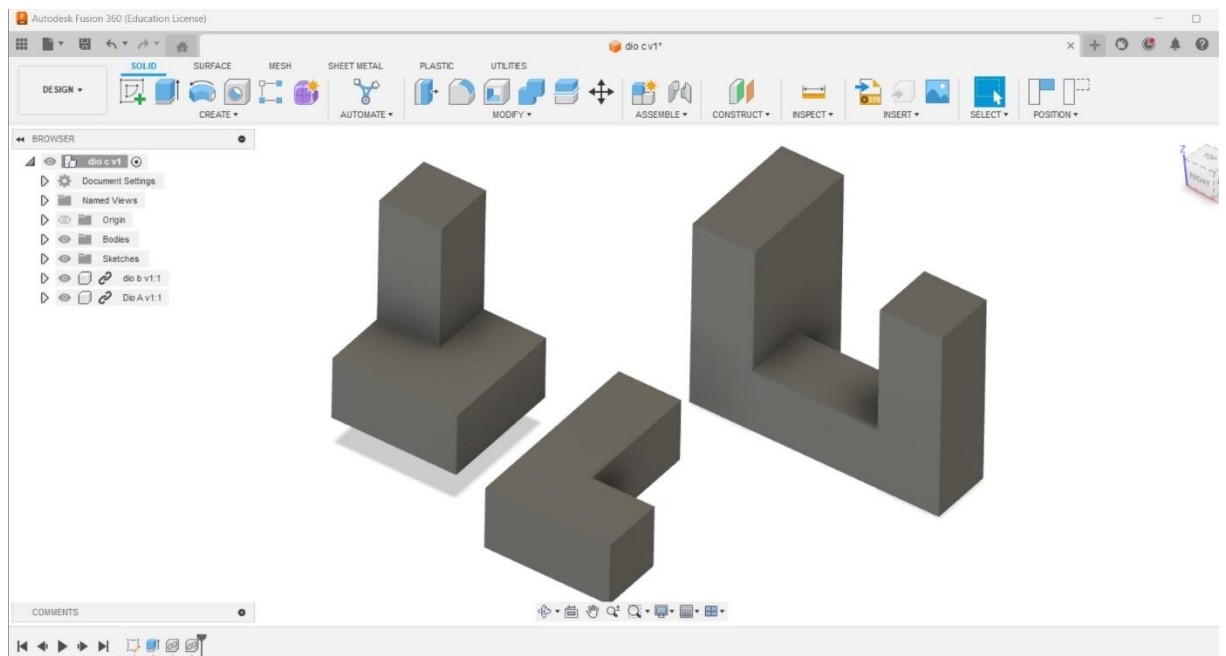
- Modeliranje kućišta kvadra
- Modeliranje dijelova unutrašnjosti
- Priprema za ispis i ispis

Modeliranje kućišta kvadra je izvedeno u programu AutoDesk Fusion 360. Najprije je modelirano vanjsko kućište dimenzija 40x40x40mm sa utorima za postavljanje unutarnjeg dijela.



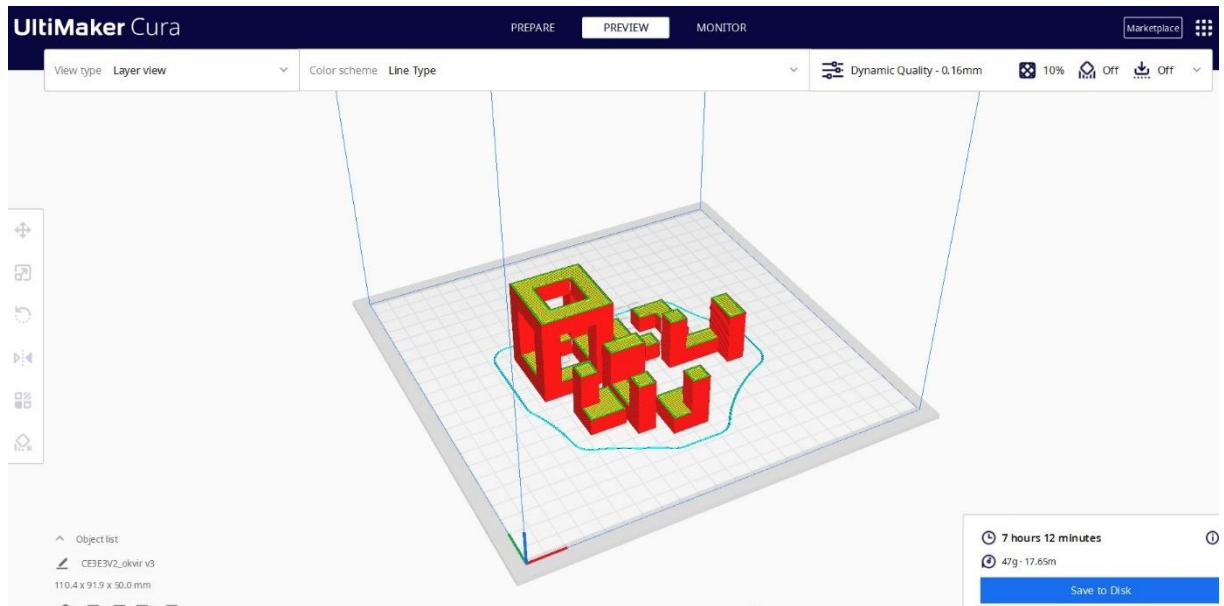
**Slika 36. Model kućišta za igru mozgalica broj 2**

Nakon izrade kućišta pristupljeno je modeliranju dijelova unutrašnjosti kako bi korisnik dobio popunjeni kvadar. Ovako isprintani modeli unutarnjeg dijela kućišta nakon sklapanja moraju stvoriti popunjen kvadar.

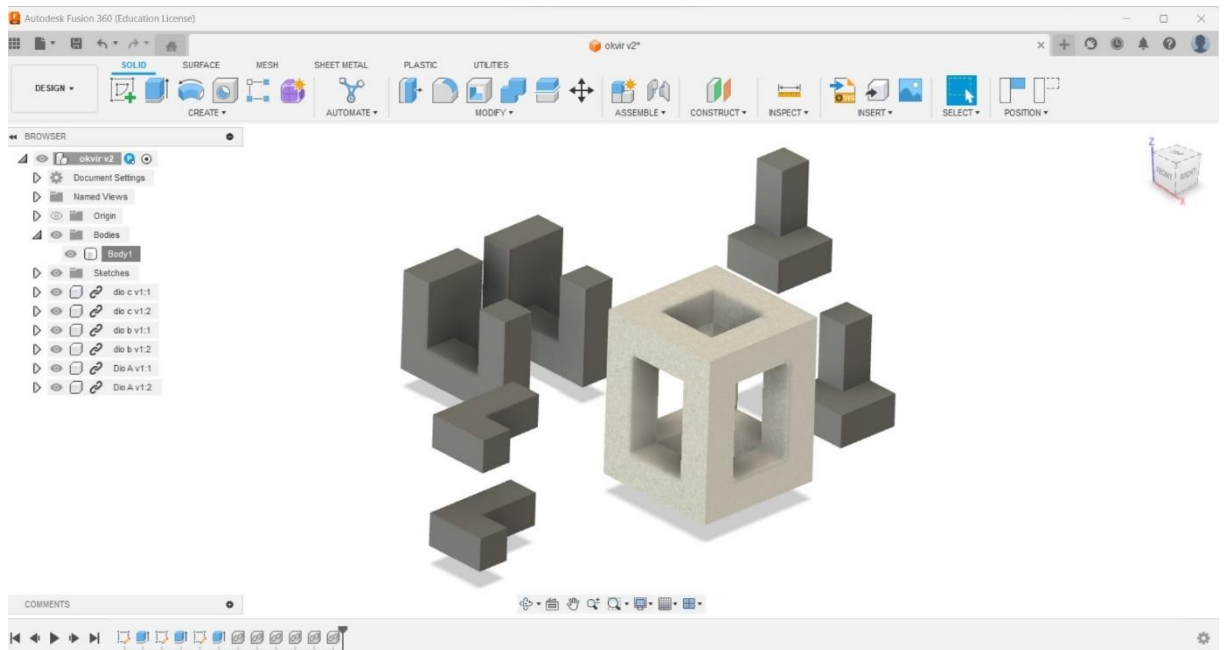


**Slika 37. Izrada dijelova modela za igru mozgalica broj 2**

Priprema za ispis izvedena je u programu UlitiMaker Cura 5.3 koji podržava ispis na gotovo svim printerima ali u našem slušaju za Creality Ender 3 V2. Postavke za ispis su podešene na način da je ispuna 10% a materijal za ispis ABS.



Slika 38. Priprema za ispis igre mozgalica broj 2



Slika 39. Model igre mozgalica broj 2

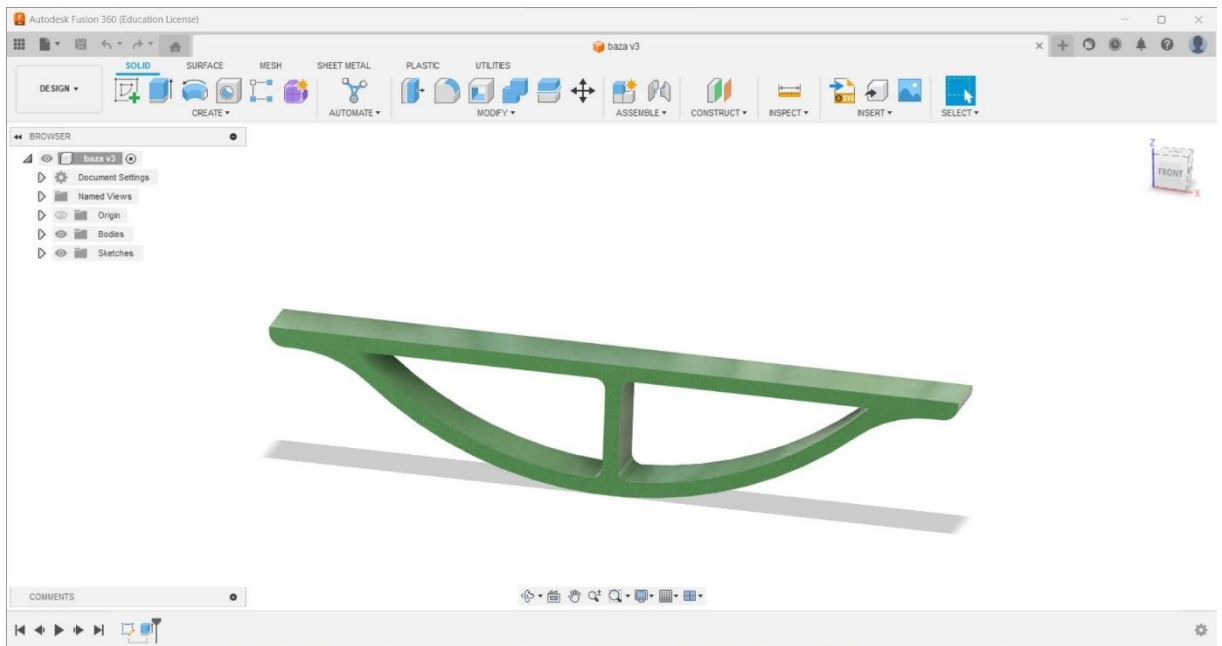
### 3.6. Igra BALANS

Igrom „Balans“ se želi postići mirnoća i koncentracija kod djeteta te također razvoj logičkog razmišljanja. Cilj igre je ravnomjerno posložiti geometrijske likove da se postigne balans na podlozi.

Postupak izrade:

- Modeliranje baze,
- Modeliranje geometrijskih likova za igru,
- Priprema za ispis i ispis.

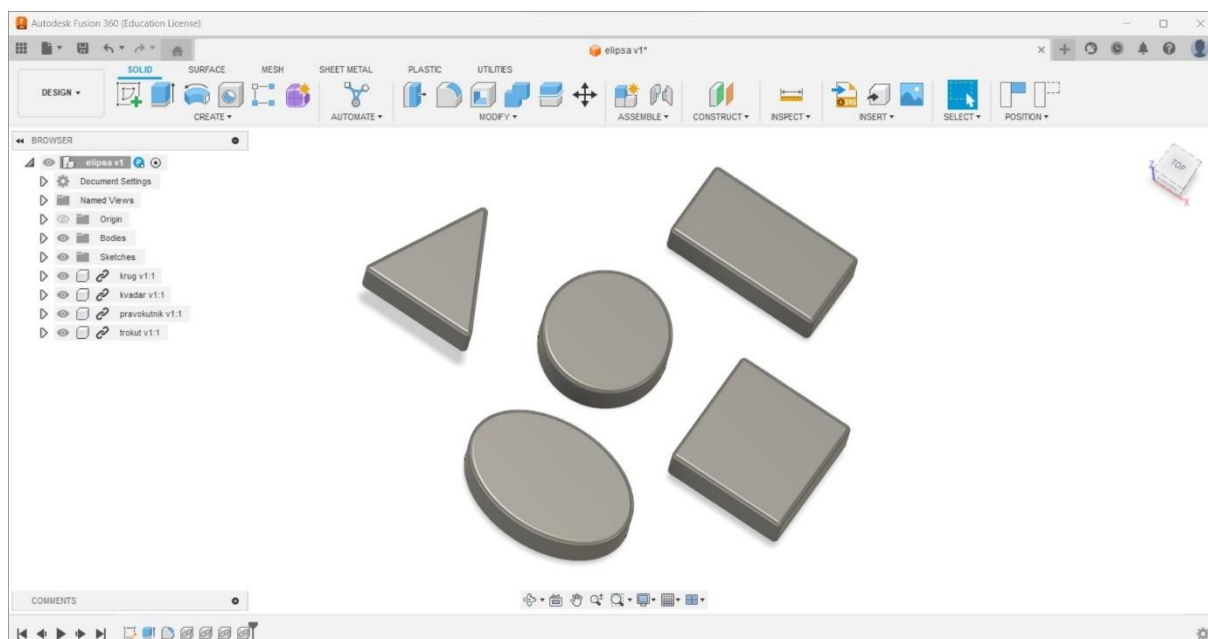
Modeliranje baze je izvedeno u programu AutoDesk Fusion 360. Baza je dužine 180mm i radijusa 100mm koji se valja ako korisnik nepravilno složi geometrijske likove po bazi.



Slika 40. Model baze za igru „Balans“

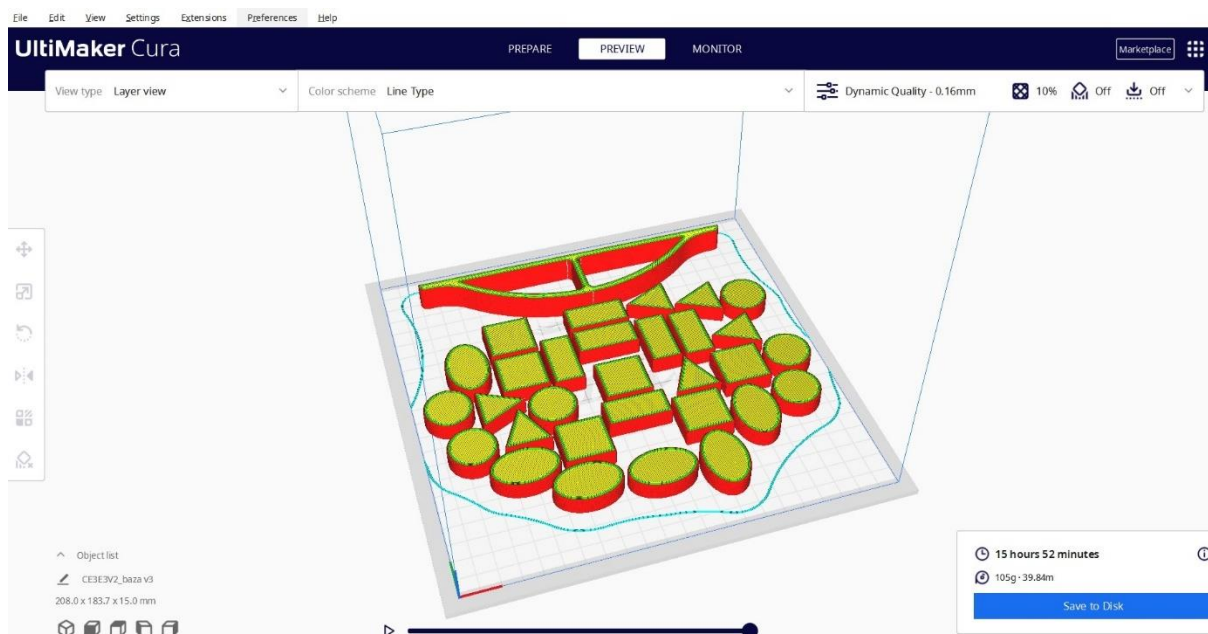
Za igru su potrebni dijelovi kako bi igrač mogao testirati svoje vještine u postavljanju geometrijskih likova na bazu. U našoj igri modelirani su osnovni geometrijski likovi (krug, kvadar, elipsa, trokut, pravokutnik) debljine 10 mm koji se postavljaju na bazu debljine 15 mm.



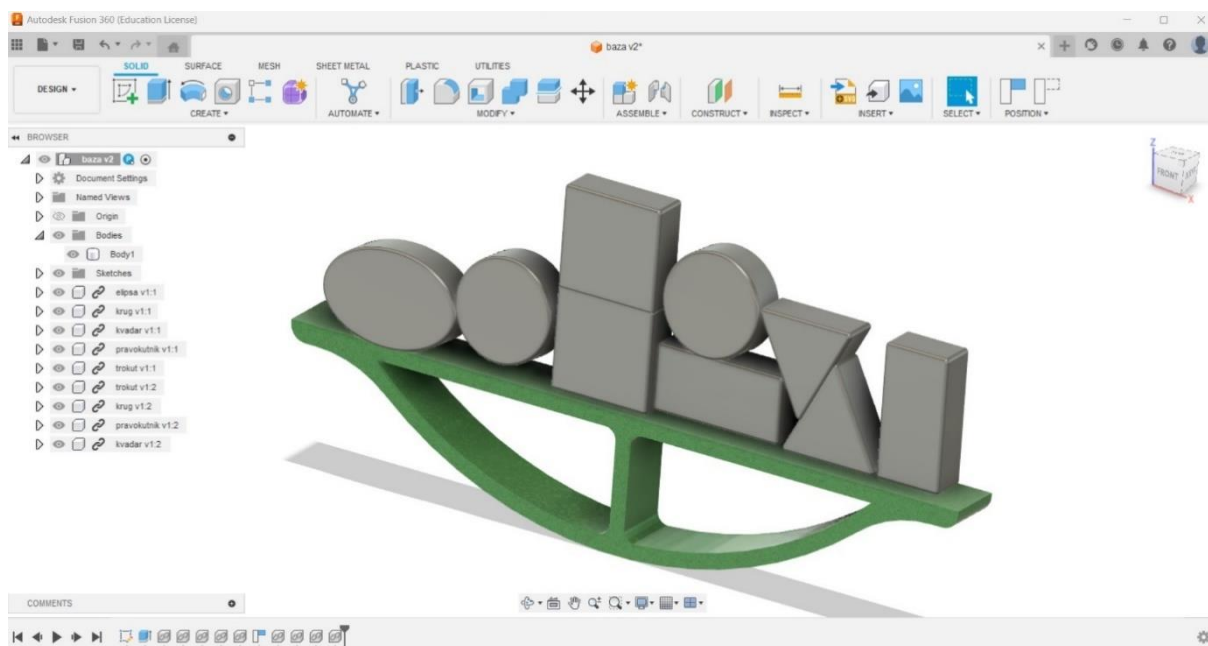


**Slika 41. Dijelovi modela za igru „Balans“**

Priprema za ispis izvedena je u programu UlitiMarker Cura 5.3 koji podržava ispis na gotovo svim printerima ali u našem slušaju za Creality Ender 3 V2. Postavke za ispis su podešene na način da je ispuna 10% a materijal za ispis ABS.



**Slika 42. Priprema za ispis dijelova igre „Balans“**

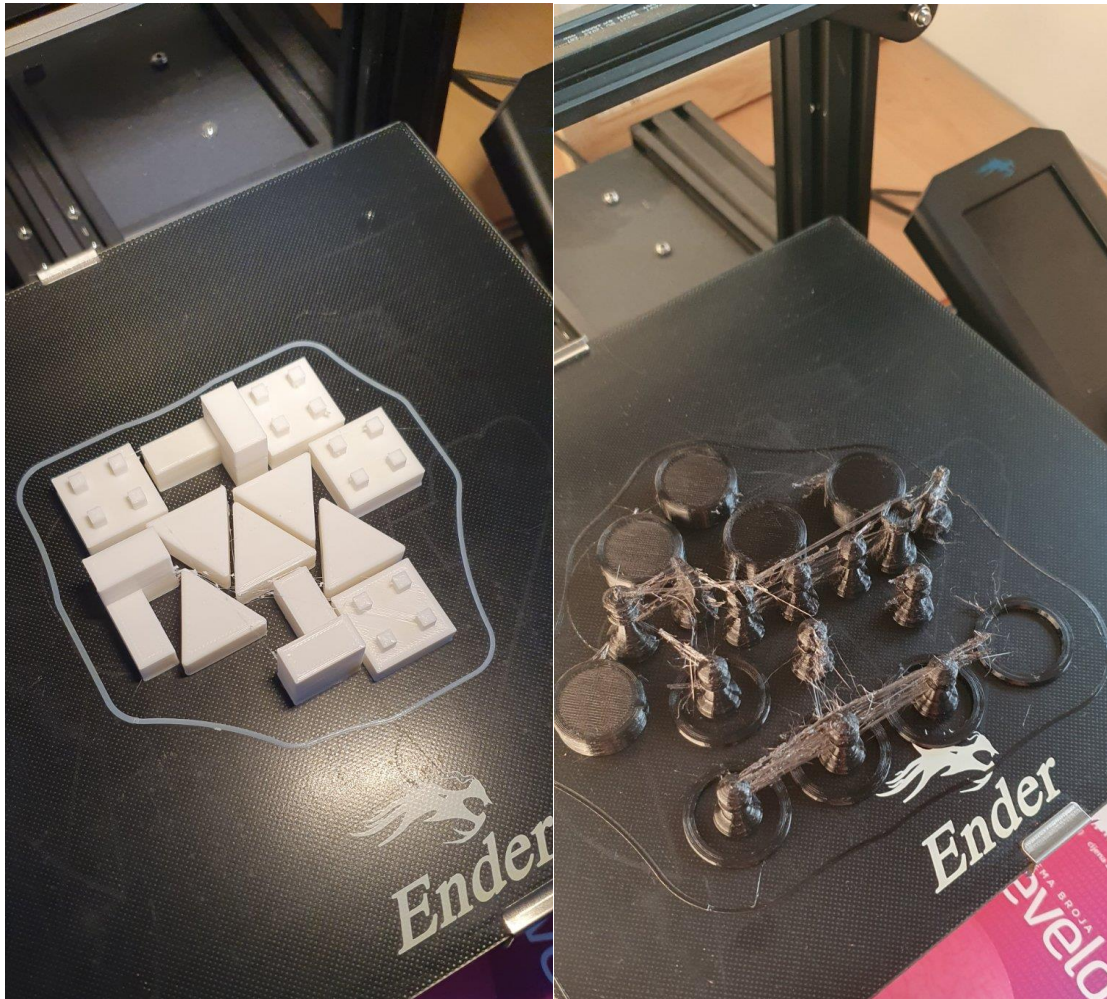


**Slika 43. Model igre „Balans“**

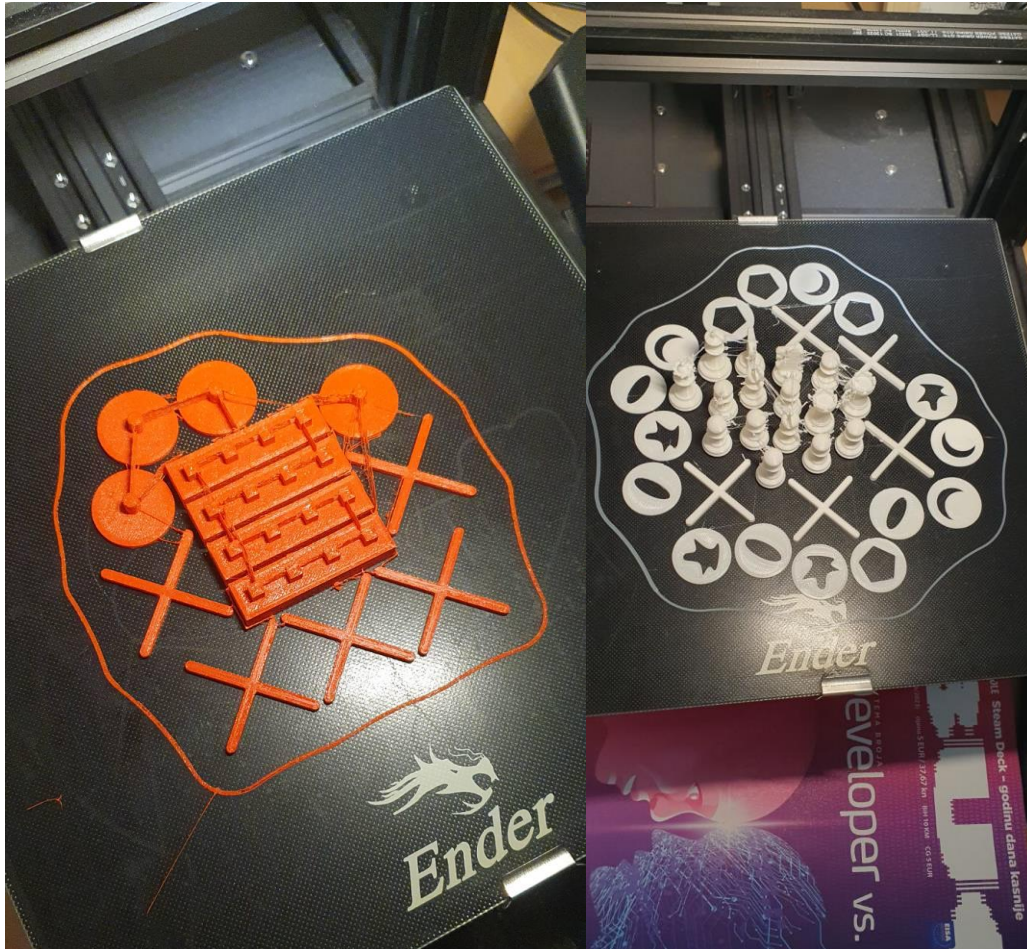
Kroz sve igre korištene su metode modeliranje, ali i pripreme za ispis igara koje bi uz pomoć mentora u školama mogli izraditi učenici, te kroz igru učiti modeliranje i 3D ispis, a igrajući igre učiti razne vještine od igranje šaha, razmišljanja o geometrijskim likovima, postizanje ravnoteže itd.

### 3.7. Aditivna proizvodnja igara

Proces aditivne proizvodnje igara izvršen je na kućnom printeru što je prikazano kroz sljedeće fotografije.



Slika 44. Prikaz aditivne tehnologije ispisa



Slika 45. Prikaz aditivne tehnologije ispisa

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati i rasprava o aditivnim tehnologijama ispisa mogu biti vrlo opsežni i raznoliki, a ovisno o specifičnoj primjeni i istraživačkim područjima.

U ovom radu najviše do izražaja dolazi preciznost i kvaliteta ispisa kao dvije najvažnije karakteristike za naše igre. Preciznost je prije svega važna kod igri križić-kružić, tetris i mozgalica jer se modeli moraju sklopiti ili uči jedan u drugi. Također je preciznost ključan faktor kod aditivnih tehnologija ispisa. Mnogi istraživači se bave razvojem tehnika i algoritama kako bi poboljšali preciznost i minimizirali pogreške ispisa. Također se proučava utjecaj parametara ispisa, kao što su brzina ispisa, temperatura i postupci hlađenja, na kvalitetu konačnog proizvoda. Naši proizvodi, modeli igara su dimenzijski odstupali nekoliko milimetara od nacrtanog CAD modela, jer se ispis se vršio na printeru koji se koristi u osobnoj primjeni pa se takve minimalne pogreške ne mogu uzeti kao veliki problem. Način pripreme modela za ispis izvršen je tako da je što manja potreba za čišćenjem i kasnijom obradom. Svi modeli koji se koriste kao dijelovi gotovog sklopa morali su se mehanički obraditi kako bi dimenzijski odgovarali. Također je kod naših igri poput šaha važna i kvaliteta ispisa da bi figure s obzirom na njihove dimenzije bile što ljepše kao konačan proizvod.

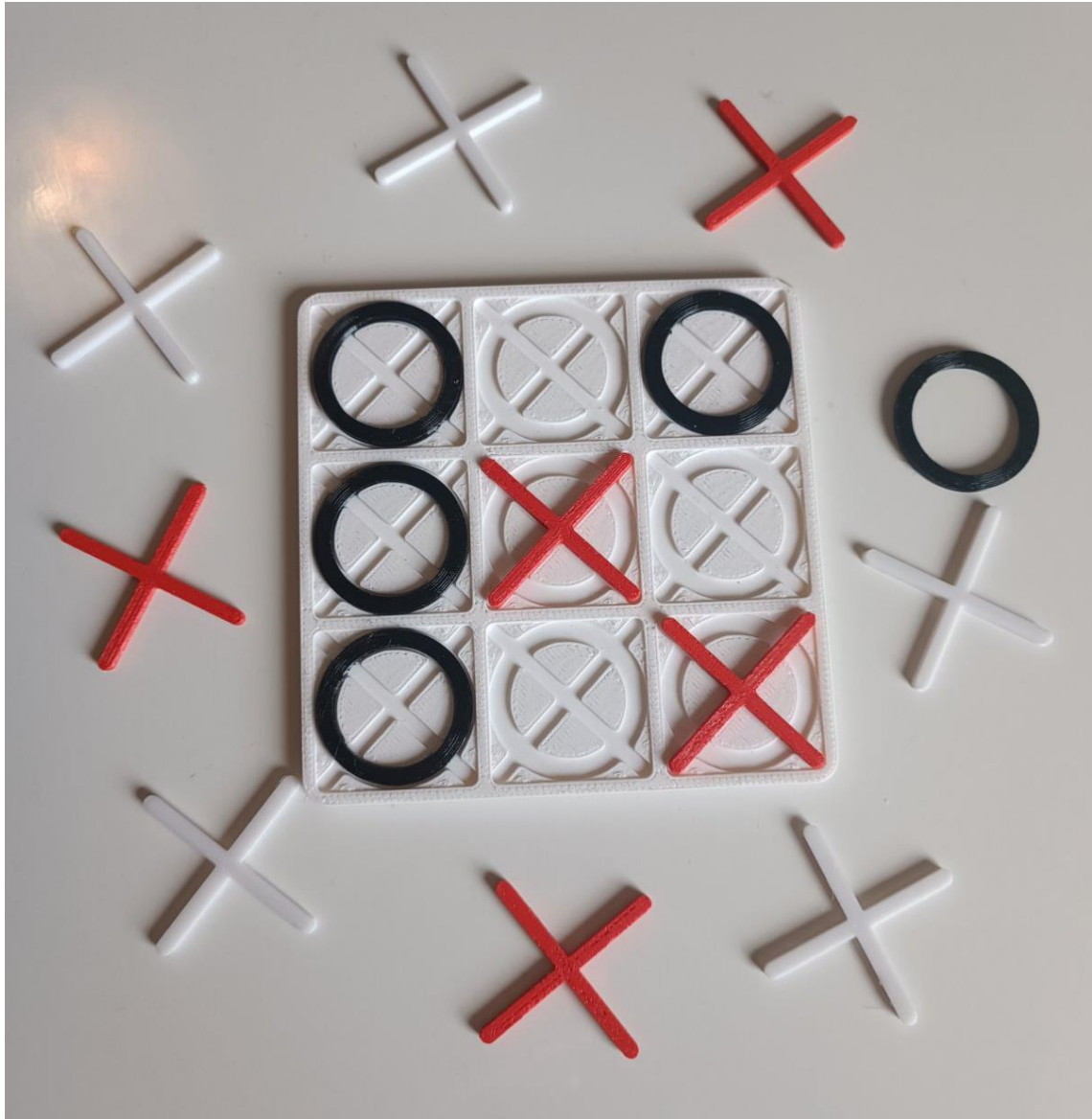
Ekonomski aspekti aditivnih tehnologija ispisa uključuju analizu troškova ulaganja u opremu i materijale, vrednovanje vremenskih i troškovnih ušteda koje aditivne tehnologije donose u odnosu na tradicionalne metode, te razmatranje dugoročne održivosti i isplativosti primjene aditivne proizvodnje. Vrijeme koje iziskuje ispis jedne igre može biti od nekoliko minuta do nekoliko sati što bi za nas bilo prihvatljivo kada se radi o ispisu jedne igre koju bi učenici mogli koristiti u nastavi. Problem koji je uočen je da ako bi postojala potreba za ispisom igara za svakog pojedinog učenika u nastavnom procesu iziskivalo bi puno vremena što nam nije prihvatljivo ako bi se radilo samo o igri kao o sredstvu. Ovaj je koncept zamišljen da učenici kroz igru uče o novim tehnologijama, ali i da te tehnologije primjenjuju za igru. Aditivne tehnologije mogu imati pozitivan utjecaj na održivost proizvodnje jer smanjuju otpad materijala zbog toga što se koristi samo onoliko materijala koliko je potrebno za izradu predmeta. Međutim, i dalje se raspravlja o ekološkim aspektima aditivnih tehnologija, kao što su energetska učinkovitost procesa ispisa i mogućnost recikliranja ili ponovne upotrebe printera i

materijala. U našem slučaju radi se o iskoristivosti materijala od gotovo 90 % jer samo manji dio materijala koristio se za potporu, stoga je važno kod izrade ovakvih proizvoda obratiti pažnju prilikom dizajna da se što manje materijala troši na ispisivanje potpore koja se kasnije uklanja i baca te se ne može ponovno iskoristiti.

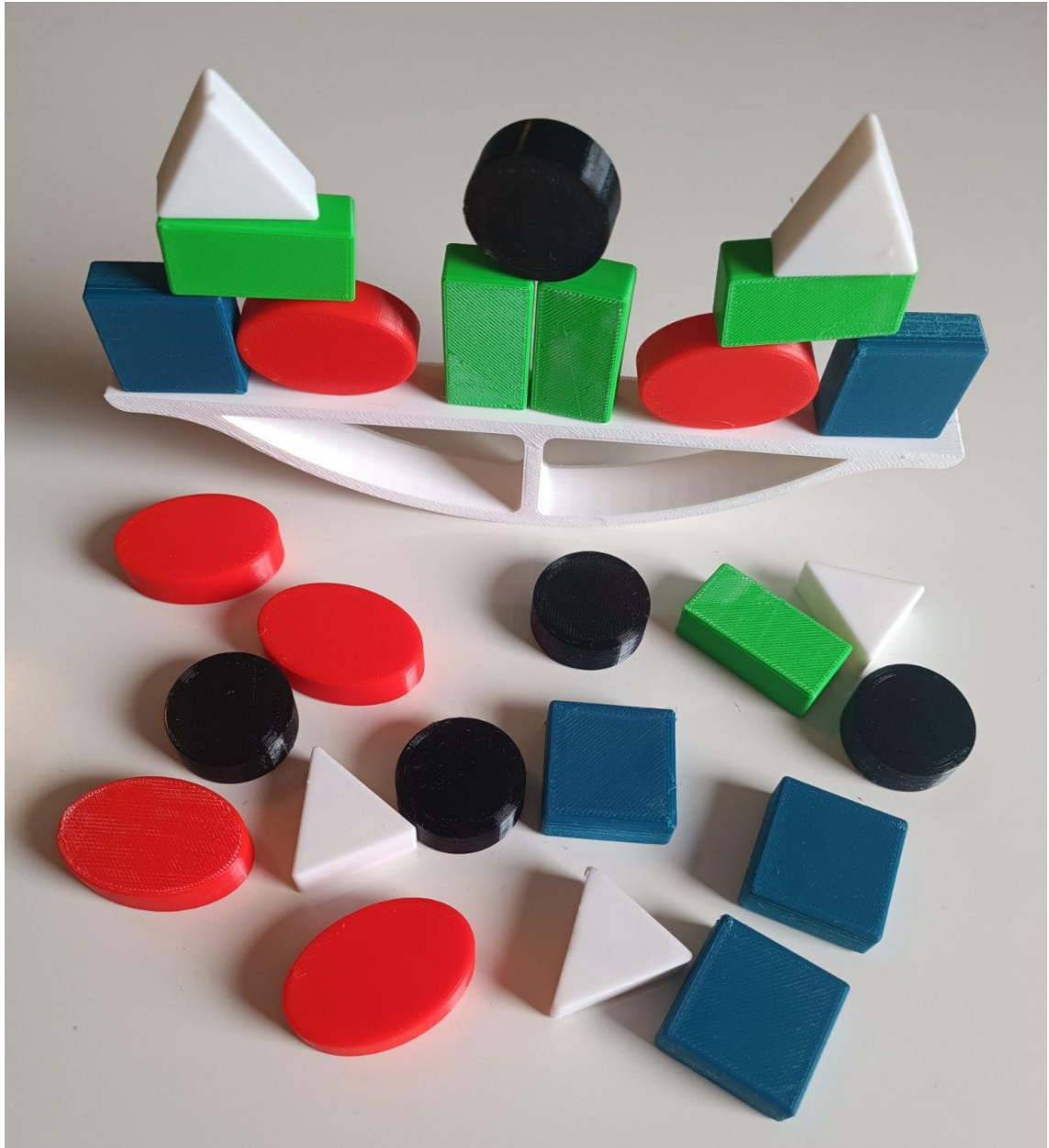
Testiranjem ovih igara sa svojom obitelji, posebno sa nećakinjama uvidjela sam koliko pozitivno reaguju na novi i drugačiji princip igara koje već poznaju. Također me iznenadila činjenica koliko drugačije igre djeluju i na stariju populaciju stoga smatram da će u budućnosti roditelji sve više omogućavati djeci da sami kod kuće izrade svoje nove i drugačije igre. 3D tehnologija uvelike mijenja način razmišljanja, ali i otvara nove poglede na sve aspekte života. Cilj ovoga rada je u potpunosti ispunjen jer su moje nećakinje nakon korištenja ovih igara imale nove ideje kako bi one neke igre redizajnirale. U nastavku nekoliko fotografija ispisanih igara.



**Slika 46. Ispisna igra šah**

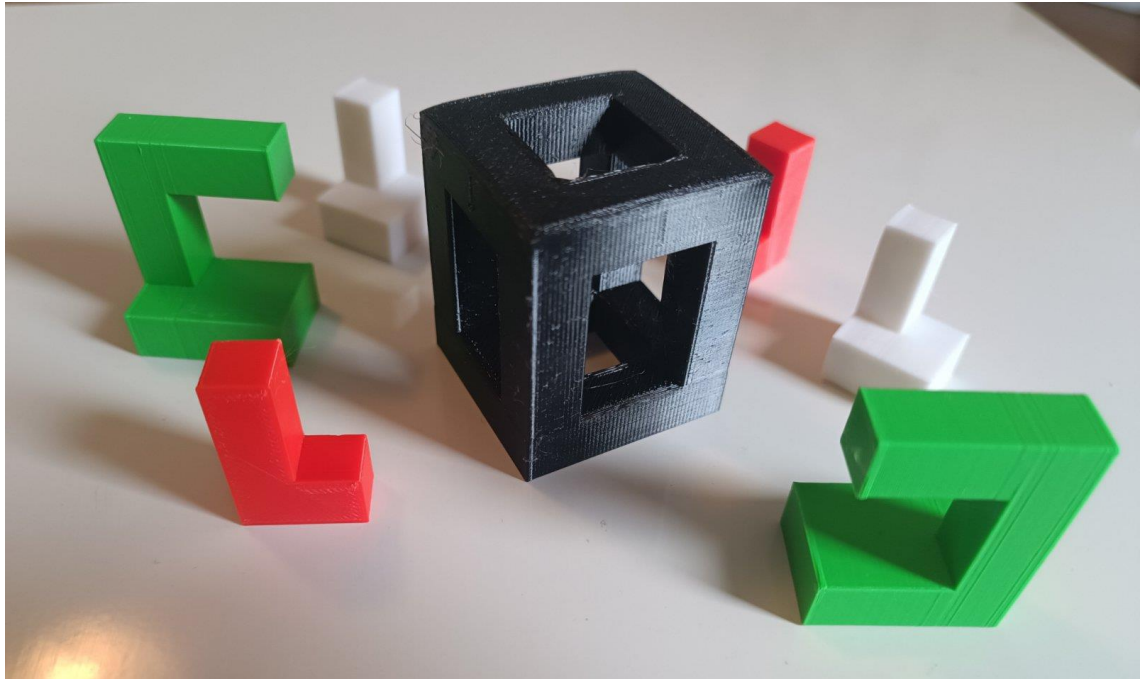


Slika 47. Ispisana igra križić-kružić



Slika 48. Ispisana igra balans





**Slika 49. Ispisana igra mozgalica 2**

## 5. ZAKLJUČAK

Izrada metodičko-didaktičkih igara aditivnim tehnologijama proizvodnje pruža detaljnije mogućnosti za unaprjeđenje procesa učenja kod djece. Aditivne tehnologije omogućuju izradu igara koje su prilagođene potrebama svakog pojedinog djeteta. Mogu se kreirati igre koje odgovaraju njihovim specifičnim interesima, razini znanja i sposobnostima. Izrada igara aditivnim tehnologijama omogućuje djeci da primijene svoje znanje na stvarne projekte. Kroz proces stvaranja igara, djeca aktivno primjenjuju koncepte iz različitih područja kao što su matematika, oblici, boje, brojevi itd.

Kroz proces dizajniranja i izrade igara, djeca razvijaju kritičko razmišljanje, logiku i vještine rješavanja problema. Moraju razmišljati o dizajnu igre, prilagoditi ga prema svojim željama i pronaći rješenja za tehničke izazove koji se mogu pojaviti. Proces izrade igara aditivnim tehnologijama potiče razvoj finih motoričkih vještina kod djece.

Aditivne tehnologije, kao što je 3D ispis, mogu biti skuplje u početnoj investiciji. Troškovi nabave 3D printera, materijala i softvera mogu biti izazovni. Izrada igara aditivnim tehnologijama može zahtijevati više vremena nego tradicionalne metode izrade, no ovakvom izradom djeca sama razvijaju svoje ideje što dovodi do još veće koristi od svake igre. Dizajniranje, modeliranje i ispis mogu trajati dulje vrijeme, posebno ako su igre složenijih oblika ili veličina. Odabir materijala za 3D ispis igara može biti ograničen. Treba odabrati materijale koji su sigurni za djecu, izdržljivi, ali i funkcionalni za igru.

Izrada metodičko-didaktičkih igara aditivnim tehnologijama proizvodnje pruža brojne prednosti za djecu predškolske i osnovnoškolske dobi. Omogućuje personalizirano učenje, razvijanje kreativnosti, praktičnu primjenu znanja i razvoj motoričkih vještina. Međutim, potrebno je uzeti u obzir financijske troškove, tehničku složenost, vremenske izazove i ograničenja materijala. S pravilnim planiranjem, podrškom i obukom, izrada igara aditivnim tehnologijama može biti izuzetno korisna i poticajna metoda učenja za djecu.

## 6. LITERATURA

- [1] Pilipović, A.: Utjecaj parametara izrade na svojstva polimernoga prototipa, doktorski rad, Zagreb, 2012.
- [2] Maričević, M.: Colorimetric optimization of stereolithographic additive production, doktorski rad, Zagreb, 2021.
- [3] Ana Pilipović: Aditivna proizvodnja, Polimeri 33(2012)3-4, 134 – 135.
- [4] Gebhardt, A.: Understanding Additive Manufacturing, Rapid Prototyping – Rapid Tooling – *Rapid Manufacturing*, Carl Hanser Verlag, München, 2012.
- [5] Pilipović, A.: Analiza svojstava materijala za brzu proizvodnju prototipova, diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006.
- [6] Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B.: Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, Springer, SAD, 2010.
- [7] Godec D.; Šercer M.; Aditivna proizvodnja; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb, 2015
- [8] Horvat M.; Pregled aditivnih postupaka proizvodnje; Završni rad br 188/PS/2016
- [9] Wohlers T.; Rapid prototyping, Tooling & Manufacturing State of the Industry; Wohlers Associates, INC; 2005.
- [10] Wohlers T.; Garnett T.; History of additive manufacturing; Wohlers Associates, INC.; 2014.
- [11] Kos J.: Upoznaj 3D svijet - od izrade do ispisa 3D modela; priručnik za početnike, Školska knjiga, 2021.
- [12] Balasubramanian, K.R., Senthilkumar, V: Additive Manufacturing Applications for Metals and Composites, 2020.
- [13] J. Paulo Davim: Additive and Subtractive Manufacturing, 2020.
- [14] Leko H.; 3D pisači; Grafički fakultet Zagreb; Zagreb, 2015
- [15] Noorani, R.: Rapid Prototyping: Principles and Applications, John Wiley & Sons, Inc., SAD, 2006.
- [16] <https://3dprintanje.hr/proizvod/creality-ender-3-v2-220220250-mm/> (pregledano 16.6.2023.)
- [17] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_differences\\_between\\_CAD\\_and\\_STL\\_Models.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_differences_between_CAD_and_STL_Models.svg) (pregledano 16.6.2023.)

- [18] [https://www.plavatavavarazdin.com.hr/world-155156\\_Bargain](https://www.plavatavavarazdin.com.hr/world-155156_Bargain) (pregledano 16.6.2023.)
- [19] <https://www.3dglobe.net/povijest-3d-printanja> (pregledano 17.6.2023.)
- [20] <https://www.3dglobe.net/sla> (pregledano 17.6.2023.)
- [21] <https://www.3dglobe.net/fdmfff> (pregledano 17.6.2023.)
- [22] <https://izit.hr/tehnologije/> (pregledano 17.6.2023.)
- [23] Tomašek N.; Uporaba generativnog dizajna kod 3D prototipnog modeliranja, Sveučilište sjever, Varaždin, 2021.
- [24] <https://www.intelika.hr/autodesk/inventor/> (pregledano 17.6.2023.)
- [25] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=F360> (pregledano 17.6.2023.)
- [26] <https://www.3dglobe.net/new-page-1> (pregledano 18.6.2023.)
- [27] <https://printer3d.hr/edukacija-i-podrska/filamenti-i-smole/pla-filament/> (pregledano 20.6.2023.)
- [28] <https://printer3d.hr/edukacija-i-podrska/filamenti-i-smole/abs-filament/> (pregledano 20.6.2023.)

## PRILOZI

### 6.1. Popis slika

Slika 1. Podjela aditivnih tehnologija [1] .....	3
Slika 2. Područja primjene aditivne tehnologije [1].....	4
Slika 3. Postupak stereolitografije [1] .....	5
Slika 4. Postupak taložnog očvršćivanja [1].....	6
Slika 5. Proizvodnja laminiranih objekata [1] .....	6
Slika 6. 3D tiskanje [1].....	7
Slika 7. <i>PolyJet</i> postupak [1] .....	8
Slika 8. Postupak selektivnog laserskog srašćivanja [1] .....	8
Slika 9. Razlika CAD i STL formata zapisa [19] .....	15
Slika 10. Pisač Creality Ender 3 V2 [15].....	18
Slika 11. Igra križić kružić.....	22
Slika 12. Modeliranje ploče za igru Križić- kružić .....	23
Slika 13. Modeliranje simbola za igru.....	24
Slika 14. Priprema za ispis igre križić-kružić .....	24
Slika 15. Model redizajna igre Križić Kružić .....	25
Slika 16. Igra TETRIS [20].....	26
Slika 17. Postolje za igru TETRIS .....	27
Slika 18. Postolje za igru TETRIS iz 3 dijela .....	28
Slika 19. Modeli TETRIS oblika za igru.....	28
Slika 20. Izgled STL modela kao pripreme za ispis.....	29
Slika 21. Priprema postolja za igru TETRIS za ispis .....	29
Slika 22. Priprema oblika za igru TETRIS za ispis .....	30
Slika 23. Model redizajna igre TETRIS .....	30
Slika 24. Igra ŠAH .....	31
Slika 25. Model šahovske ploče.....	32
Slika 26. Modeli figura za šah .....	33
Slika 27. Izgled šahovske figure TOP-a kao STL oblik datoteke.....	33
Slika 28. Priprema šahovske ploče za ispis .....	34
Slika 29. Priprema šahovskih figura za ispis .....	34
Slika 30. Model redizajna igre ŠAH .....	35
Slika 31. Postolje za igru mozgalica .....	36
Slika 32. Podijeljeno postolje za igru mozgalica .....	36
Slika 33. Simboli za igru mozgalica.....	37
Slika 34. Priprema za ispis za igru mozgalica .....	37
Slika 35. Model igre mozgalica .....	38
Slika 36. Model kućišta za igru mozgalica broj 2.....	39
Slika 37. Izrada dijelova modela za igru mozgalica broj 2 .....	39
Slika 38. Priprema za ispis igre mozgalica broj 2.....	40
Slika 39. Model igre mozgalica broj 2 .....	40
Slika 40. Model baze za igru „Balans“ .....	41
Slika 41. Dijelovi modela za igru „Balans“ .....	42
Slika 42. Priprema za ispis dijelova igre „Balans“ .....	42
Slika 43. Model igre „Balans“ .....	43

Slika 44. Prikaz aditivne tehnologije ispisa.....	44
Slika 45. Prikaz aditivne tehnologije ispisa.....	45
Slika 46. Ispisna igra šah.....	47
Slika 47. Ispisana igra križić-kružić.....	48
Slika 48. Ispisana igra balans.....	49
Slika 49. Ispisana igra mozgalica 2.....	50

## **6.2. Popis tablica**

Tablica 1. Materijali u postupcima aditivnih tehnologija [1] .....	9
--------------------------------------------------------------------	---