

# Modeliranje i 3D ispis modularnog modela automobila

---

**Kostanjevec, Nino**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:871338>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-01**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

*Završni rad br. 773/07/2022*

## **Modeliranje i 3D ispis modularnog modela automobila**

**Nino Kostanjevec, 4109/336**

Varaždin, lipanj 2022. godine





# Sveučilište Sjever

Multimedija, oblikovanje i primjena

Završni rad br. XX/MM/2022

## Modeliranje i 3D ispis modularnog modela automobila

### Student

Nino Kostanjevec, 4109/336

### Mentor

Doc. Dr. sc. Andrija Bernik

Varaždin, lipanj 2022. godine



# **Predgovor**

Ovaj rad spoj je naučenog znanja tijekom studiranja i vlastite želje za učenjem i primjene 3D tehnologija.

Zahvaljujem se mentoru, doc.dr.sc. Andriji Berniku, obitelji i prijateljima na pruženoj podršci tijekom studiranja i sebi.

## Sažetak

Završni rad sastoji se od tri dijela, a s svaki od njih podijeljen je na nekoliko pod cjelina. U prvom dijelu radi se primarno o teoriji. Ona je opisana kroz povijest i razvoj tehnologije 3D modeliranja (Maya i Fusion 360), zatim razvoj tehnologija i strojeva za 3D ispis te opis strojeva koji su bili korišteni prilikom izrade finalnog proizvoda. Uz teoriju, spomenuti su i ostala softverska rješenja (programi) korišteni prilikom izrade. Radi se dakle o rezaču (eng. Slicer) pomoću kojeg se 3D model priprema za ispis, Substance Painter u kojem su rađene teksture modela i Adobe Photoshop pomoću kojeg su uređeni finalni renderi.

Drugi dio rada odnosi se na procese izrade modela, izrade i primjene tekstura, postavljanje scene i finalno renderiranje.

U trećem i finalnom dijelu opisan je proces pripreme za 3D ispis te konačno ispis modela pomoću 3D printera.

Svaka od navedenih stavki u drugom i trećem dijelu popraćena je slikama (prate korake izrade).

**Ključne riječi:** modeliranje, Maya, Fusion 360, 3D ispis, rezač, Substance painter, teksture, Photoshop, renderiranje.

Final thesis is composed of three parts and each of them is separated in a few sub parts. First part is primarily theoretical. It is composed of history and the development of technology, 3D modeling (Maya and Fusion 360), then development of 3D printing technology which were used in the making of the final product and history of their development. Along side the theoretical part, there are mentions of other software used in production. They are as follows: Slicer, which is used for preparing a 3D model for printing, Substance Painter which was used for texturing and Adobe Photoshop which was used for editing final renders.

The second part referees to the process of creating a model, creating and applying textures, set up of the final scene and final rendering.

The third and final part contains a whole process of preparation for the 3D printing and finally 3D printing of the model.

Every single part of the process in second and third part is referenced with pictures (which follow steps of production).


**Keywords:** Modeling, Maya, Fusion 360, 3D printing, Slicer, Substance Painter, Textures, Photoshop, Rendering.

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODIEL	Odjel za multimediju		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Multimedija, oblikovanje i primjena		
PRISTUPNIK	Nino Kostanjevec	MATIČNI BROJ	4109/336
DATUM	30.03.2022	KOLEGIJ	3D Modeliranje
NASLOV RADA	Modeliranje i 3D ispis modulamog modela automobila		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Modeling and 3D printing a modular car model		
MENTOR	doc.dr.sc. Andrija Bemik	ZVANJE	Docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. mr.sc. Dragan Matković, v. pred. - predsjednik		
	2. pred. Snježana Ivančić Valenko, dipl.ing. - član		
	3. doc.dr.sc.Andrija Bemik - mentor		
	4. doc.art.dr.sc. Robert Geček - zamjenski član		
	5.		

## Zadatak završnog rada

BROJ	773/MM/2022
OPIS	<p>Tema završnog rada bazira se na 3D tehnologiji ispisa i modeliranja što znači da povezuje virtualan i stvaran svijet na najvećoj mogućoj razini kreativnosti.</p> <p>Rad obuhvaća nekoliko područja unutar sfere 3D-a, od modeliranja, teksturiranja i izrade vizualizacije prototipa do pripreme za ispis i konačno 3D ispis modela. Jedan od bitnih aspekata ovog modela je njegova modulamost (pojedini dijelovi moći će se izmjenjivati i biti će printani zasebno). Rad je podijeljen na nekoliko poglavlja: teorijski dio, opis procesa izrade vizualizacije i modeliranja te proces pripreme i ispisa 3D modela.</p> <p>Alati koji će se koristiti za izradu su: Maya 22 i Fusion360 koji će se koristiti za modeliranje, Adobe Substance Painter u kojem će se raditi vizualizacija i teksturiranje modela te softver za pripremu i rezanje Ultimaker Cura 4.13. Za sam 3D ispis koristiti će se Creality ender 3 V2 i Bcn3D Sigma r19 3D printeri.</p>
ZADATAK URUČEN	POTPIS MENTORA
	



## **Popis korištenih kratica**

<b>3D</b>	Trodimenzionalno (3 dimenzije)
<b>AR</b>	Arnold
<b>Ph</b>	Adobe Photoshop
<b>SP</b>	Substance Painter
<b>UC</b>	Ultimaker Cura

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Razvoj i povijest automobilskeg dizajna .....	3
2.1. Skiciranje, vizualizacija i prototipiranje.....	4
2.2. Model .....	7
2.3. Konstrukcija .....	8
3. 3D ispis .....	9
3.1.3D strojevi .....	10
3.2.Materijali .....	12
4. Softver.....	14
4.1.Maya.....	14
4.2. Substance painter.....	15
4.3. Ostalo .....	15
5. Praktični dio .....	16
5.1. Izrada modela .....	16
5.2. Ovjes i suspenzija.....	24
5.3. UV mapiranje .....	27
5.4. Teksturiranje.....	28
5.5. Postavljanje scene i finalno redneriranje.....	30
5.6. Obrada finalnih rendera u Photoshopu .....	31
6. Uvod u 3D ispis i obradu .....	36
6.1. Priprema .....	36
6.2. 3D ispis.....	37
6.3. Obrada .....	43
6.4. Finalne slike .....	45
7. Zaključak.....	49
8. Literatura.....	50
9. Popis slika .....	52



# 1. Uvod

Svima se barem jednom u životu dogodilo da se nešto slomilo i taj dio se više ne može kupiti zasebno kako bi se zamijenio jer je premalen ili jednostavno nije na prodaju. Isto tako možda je u pitanju poseban dio na autu za koji se inače rade specijalizirani kalupi pomoću kojih se zatim dobivaju dijelovi lijevanjem plastike ili je riječ o izradi modela 3D modela na temelju arhitektonske vizualizacije. 3D ispisna tehnologija kao takva ima široku primjenu što se može uočiti na prethodnim primjerima. 3D ispis danas nalazimo od automobilske industrije sve do svemirske. Kako i glasi sam naslov ovog rada, jedna od značajnih primjena 3D tehnologije ispisa koristi se u automobilskoj industriji. Uz ispis, važan korak u proizvodnji finalnog rješenja je modeliranje predmeta kojem prethodi mjerenje i planiranje, a potrebno je naglasiti i vizualizaciju koja pomoću tekstura upotpunjuje finalno rješenje. Kako bi došli do finalnog rješenja, potrebno proći kroz sve navedene korake uz detaljnu razradu.

Tema ovog završnog rada odnosi se na izradu i 3D ispis modularnog 3D modela automobila. Jedna od glavnih značajki ovog rada jest modularnost samog modela. Taj pojam odnosi se na to da je model kao takav rađen u nekoliko dijelova koji su u procesu modeliranja prikazani odvojeno udubljenim crnim crtama (odvojeno crnim dijelovima - panelima) dok u procesu renderiranja oni daju finalnom modelu dodatnu dubinu stvarnosti. Automobil je podijeljen u sljedeće dijelove: branik, farovi, blatobrani, prednji poklopac (hauba), prednje staklo, dva para felgi i guma, lijeva i desna vrata, stop svijetla i dijelovi motora. Većina ovih dijelova printani su fiksno kao jedna cjelina kako bi se povećala strukturna snaga modela. Ostali dijelovi poput felgi, guma, motora su potpuno modularni i mogu se izmjenjivati po potrebi. Ako bi se model u budućnosti nadograđivao sa električnim motorima kako bi se osposobio za vožnju kao auto na daljinsko upravljanje (eng. RC car), ovakva modularnost je velika prednost u slučaju pojave kvara na gumama. Također uz osnovne dijelove šasije koji su izrađeni od raznih vrsti plastike, auto sadrži simulaciju zadnje osovine na koju dolaze kružni ležajevi kako bi se kotač mogao okretati. Prednja osovina malo je kompliciranija jer je sastavljena od nekoliko dijelova. Ovdje se radi o simulaciji suspenzije odnosno amortizera na koju se nastavlja još jedan kružni ležaj. Stvarni automobil ima mali nagib prema prednjoj strani pa je iz tog razloga bilo potrebno smanjiti prednju gumu i napraviti mjesta za manji kružni ležaj što smanjuje ukupnu težinu i pomiče centar gravitacije bliže stražnjem kraju.

Struktura rada sastoji se od tri dijela od kojih je svaki podijeljen na nekoliko pod cjelina. Svaki dio osmišljen je na način da zaokruži određeni dio tematike kako bi se na kraju dobila smisljena cjelina. Prvi dio sačinjen je većim djelom od teorije koja je bitna za uvod u procese koji slijede. Drugi dio bavi se digitalnim procesima planiranja, izrade i obrade modela i finalnih

rendera. Treći dio zaokružen je obradom i ispisom 3D fizičkog modela te njegovom finalnom obradom (Brušenjem, bojanjem i spajanjem).

U ovom završnom radu namjerava se pokazati proces izrade 3D modela automobila na način da se ostvari funkcionalnost prilikom korištenja u drugim područjima. Radi se dakle o animaciji, video igrama, 3D printu, vizualizaciji i slično. Zatim prikazati proces UV mapiranja modela i njegove pripreme za dodavanje tekstura uz pomoć SP. Automobil će biti prikazan u nekoliko stiliziranih rješenja ovisno o vrsti tekstura koja mu je primijenjena. Prema tome, finalno rješenje prikazano je u stilu video igre i fotorealističnom renderu. Nakon renderiranja prikazana je obrada finalnih rendera u Ph. Ovime je završen prvi dio praktičnog dijela i nastavlja se drugi dio kojem je glavna funkcija 3D ispis. Za početak prikazana je obrada modela automobila kako bi se on mogao ispisati. Ovdje se radi o spajanju i popravljaju geometrije koja u prethodnom dijelu nije bila potrebna. Zatim rezanje modela na nekoliko cjelina kako bi se smanjilo vrijeme ispisa na što prihvatljivije vrijeme. Za zadnji korak korišten je rezač softver kako bi se model skalirao prema željenoj veličini i počeo printati nakon čega slijedi finalna obrada, brušenje i bojanje modela. Dodatna stavka realizirana je pomoću Fusion 360 programa kao bi se dobile što preciznije moguće mjere za simulaciju prednjeg ovjesa.

Znanje koje je bilo potrebno za izradu ovog rada stečeno je jednim djelom na nastavi kroz srednju školu i fakultet. Dok je većina informacija, vještina i znanja prikupljena samostalnim radom uz pomoć raznih tečajeva, tutorijala, savjeta i znanja stečenih od prijatelja i kolega u 3D industriji koji se bave 3D-om profesionalno ili kao hobi.

Prilikom prikupljanja podataka primarno su se koristili izvori sa interneta. Kod teorijskog dijela korišteni su izvori sa službenih stranica programa, razni forumi, akademska dokumentacija vezana uz korištene tehnologije i ostale web stranice. Prikupljanje referenci ostvareno je kroz uzimanje posebnih kadrova raznih video materijala zbog toga što je automobil relativno malo fotografiran zbog njegovog kratkog vremena na internetu. Za druge reference korišteni su službeni nacrti dizajnera Jamesa Chinlunda kako bi se dobila ortografska projekcija na temelju koje se stvorio pogled sa sve tri strane (gornja, sa strane i prednja). Ovaj način rada osigurao je točnost mjera automobila. Kod prikupljanja podatka za 3D ispis korištene su stranice proizvođača materijala kako bi se podesile postavke ispisa ovisno o korištenom materijalu.

Cilj ovog rada je modelirati, renderirati i 3D konstruirati novi modela automobila. Svaka od navedenih stavki je kroz rad detaljno razrađena i opisana kako bi se prikazao proces izrade navedenog modela. Također, svrha rada odnosi se na prikazivanje mogućnosti obrade i izrade fotorealistične i stilizirane grafike za potrebe CGI efekata, reklamnih materijala, video igara i sl. Finalno 3D ispis modela i njegova obrada uz pojašnjenje korištenja ovog pristupa u izradi fizičke 3D vizualizacije.

## 2. Razvoj i povijest automobilske dizajna

Moglo bi se reći kako je sve započelo izumom kotača u šestom stoljeću prije nove ere: Ljudi su onda prvi put koristili kotač u obradi zemlje pomoću konja. Drugi bitan razvoj pojavio se brončanom dobu kada je zabilježeno prvo korištenje kotača i osovine koja ih je povezivala. Srednje brončano doba označava prekretnicu u razvoju. U ovom razdoblju osmišljena je prva verzija kočije i novi stil kotača nalik na današnje felge no tek značajan pomak u inovaciji koji bi dijelio nešto više sličnosti sa automobilima koje poznajemo danas nije se dogodio sve do 1672. godine kada je Ferdinand Verbiest koncipirao prvo vozilo sa četiri kotača na parni pogon. Gotovo 100 godina nakon pojavilo se prvo funkcionalno vozilo po uzoru na Verbiestov dizajn. Iako djelomično uspješna, glavni problem prethodno navedenih primjera je bio kontinuirani rad. S obzirom na vrstu pogona, vozilo je bilo poprilično ograničeno, a ako se uzme u obzir veličina vozila i parnog motora kojeg nosi, vozilo postaje potpuno nepraktično.



*Slika 1 Prvo vozilo na parni pogon*

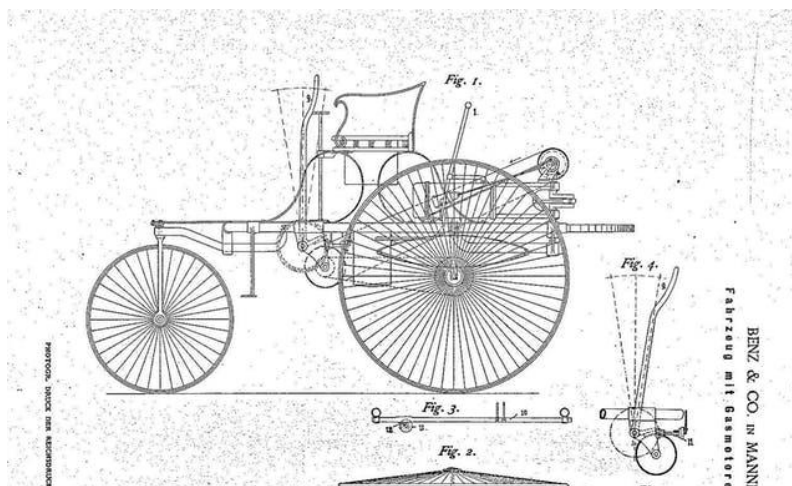
Moralo je proći još 200 godina do pojave prvog motora sa unutarnjim izgaranjem što je obilježilo početak moderne automobilske industrije kao i modernog dizajna. 1904. godine započinje prva masovna proizvodnja Oldsmobile Model 6C na temelju jednostavnog dizajna. Vozilo je imalo 4 kotača i može se opisati kao auto ali je prema današnjim standardima daleko od toga. Šest godina poslije pojavio se novi dizajn Oldsmobile-a. Uočljivo je kako su dizajneri i inženjeri počeli sve više razmišljati o sigurnosti, a ne samo funkcionalnosti motora.



*Slika 2 Oldsmobile model 6C*

## 2.1. Skiciranje, vizualizacija i prototipiranje

Kao što je bilo spomenuto u prethodnom poglavlju, automobilima je trebalo puno vremena da se razviju do razine na kojoj se danas nalaze ali nije spomenut jedan od najvažnijih i prvih koraka. Riječ je dakle o skiciranju, vizualizaciji i prototipiranju. Kako su prve verzije kotača i „vozila“ izuzetno stare, nije moguće pronaći zapise i ilustracije o njihovom skiciranju odnosno prototipiranju ali se može zaključiti kako su oni vjerojatno postojali. Najranija očuvana skica automobila nastala je 1886. godine i prikazuje jednostavan model vozila sa tri kotača kojem je glavni cilj bila funkcionalnost. Kao što se može zaključiti, skica je rađena ručno na papiru.



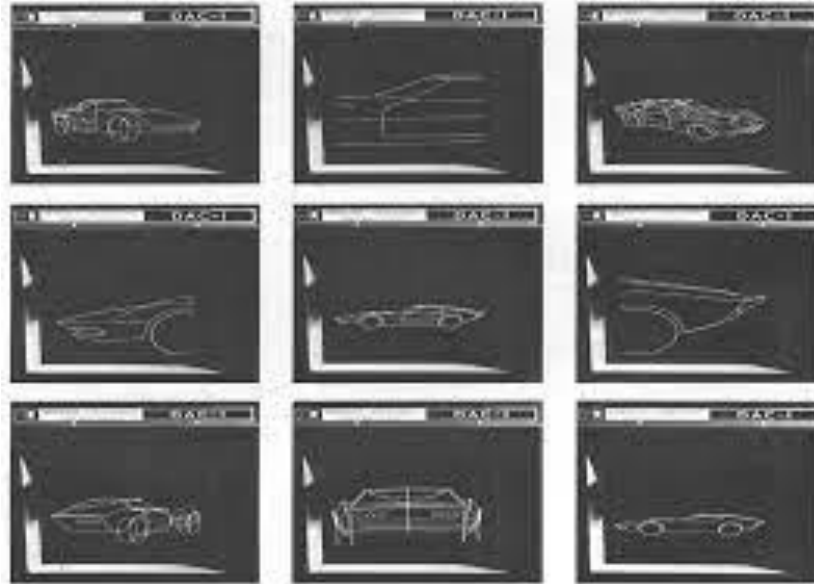
Slika 3 Skica vozila na papiru

Kada se radi o vizualizaciji, prvim autima je skica služila ujedno kao i vizualizacija. Razlog tome je što se nitko nije bavio crtanjem i bojanjem ovih vozila jer nije bilo potrebe za time. Ovi slike više su služile kao nacrt, a drugi razlog manjka vizuala je manjak dizajna na samom vozilu. Kako su se automobili sve više razvijali sa dizajnerske strane, tako je rasla i potreba za njihovim vizualiziranjem uz pomoć boja, perspektiva i perspektiva.



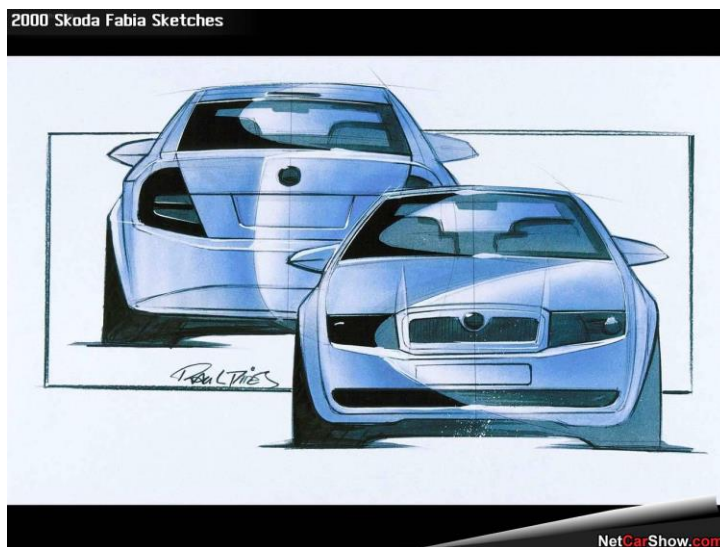
Slika 4 Ručno crtan dizajn automobila

U prikazima korištena je najviše ortografska perspektiva, a zatim izometrična. Sva ova pravila i koncepti koriste se još danas samo se oni primjenjuju na fotografiju umjesto na crtanje. Razvojem računalne pa tako i automobilske tehnologije javlja se prvi računalni grafički prikaz vizuala automobila. Ovakva vrsta vizualizacije prema današnjim standardima smatra se primitivnom ali je od nje sve krenulo.



*Slika 5 Prvi računalni prikaz vizuala automobila*

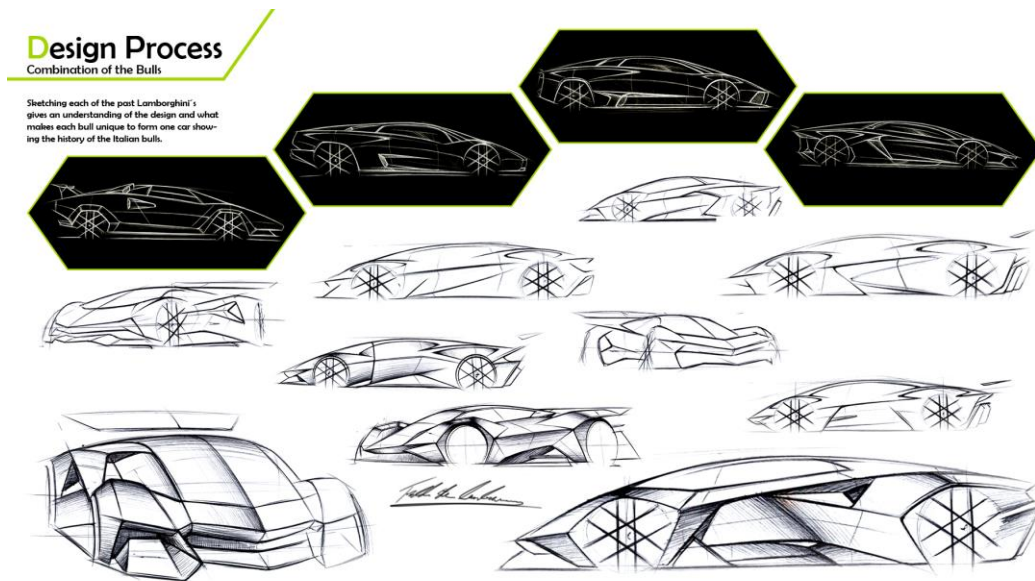
Prvi uspješni prikazi bili su nalik skiciranju odnosno sastojali su se od bijelih linija na crnom ekranu. Ovakav prikaz nije imao neku veliku svrhu u početku nego je više služio kao dokaz koncepta i kako je ovakva vrsta tehnologije ostvariva uz dalji napredak. Upravo to se i dogodilo kako se razvoj računala i 3D grafike kretao prema gore. Proizvođači automobila i dalje su preferirali ručno crtane vizuale zbog toga što su oni zahtijevali puno manje vremena i vizualno su bili bolje izvedeni.



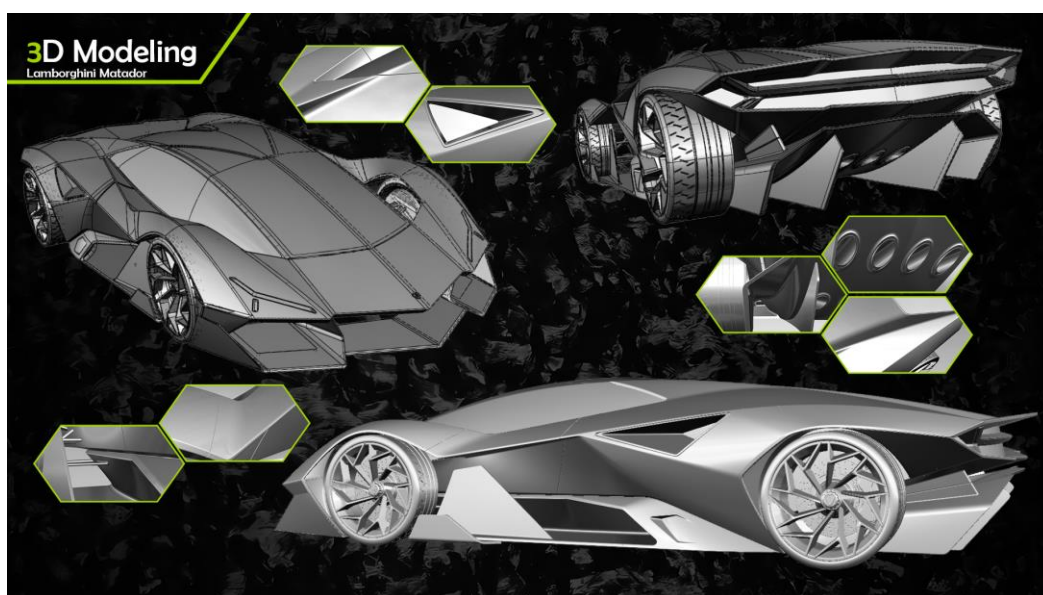
*Slika 6 Primjer auto dizajna*



Pojavom prvih programa za stvaranje 3D računalne grafike krajem 20. stoljeća, stvaranje virtualne grafike nalik stvarnom objektu prelazi sve više iz fikcije u stvarnost. Danas je ovakva primjena postala gotovo standard industrije zato što je moguće napraviti gotovo identičan model i render modela onom stvarnom. Primjena takve tehnologije proširila se i na filmsku industriju u kojoj je moderan CGI gotovo jednako dobar praktičnim efektima ako je odrađen kako treba. Iako skup i mukotrpan proces stvaranja, puno je lakše i isplativije napraviti 3D model automobila i zatim ga foto realistično renderirati ili ubaciti u neku simulaciju. Veća prednost je ako se radi o nekom konceptualnom dizajnu koji možda nije izvediv s obzirom na razinu razvoja tehnologije koja nam je dostupna danas.



*Slika 7 Primjer procesa dizajna automobila*



*Slika 8 primjer 3D modeliranja automobila na temelju skica*

Na priloženom primjeru sa slike može se vidjeti kako se i dalje koristi ručno skiciranje prije stvaranja modela u 3D programu za virtualnu grafiku nakon čega kreće proces stvaranja realističnog rendera.



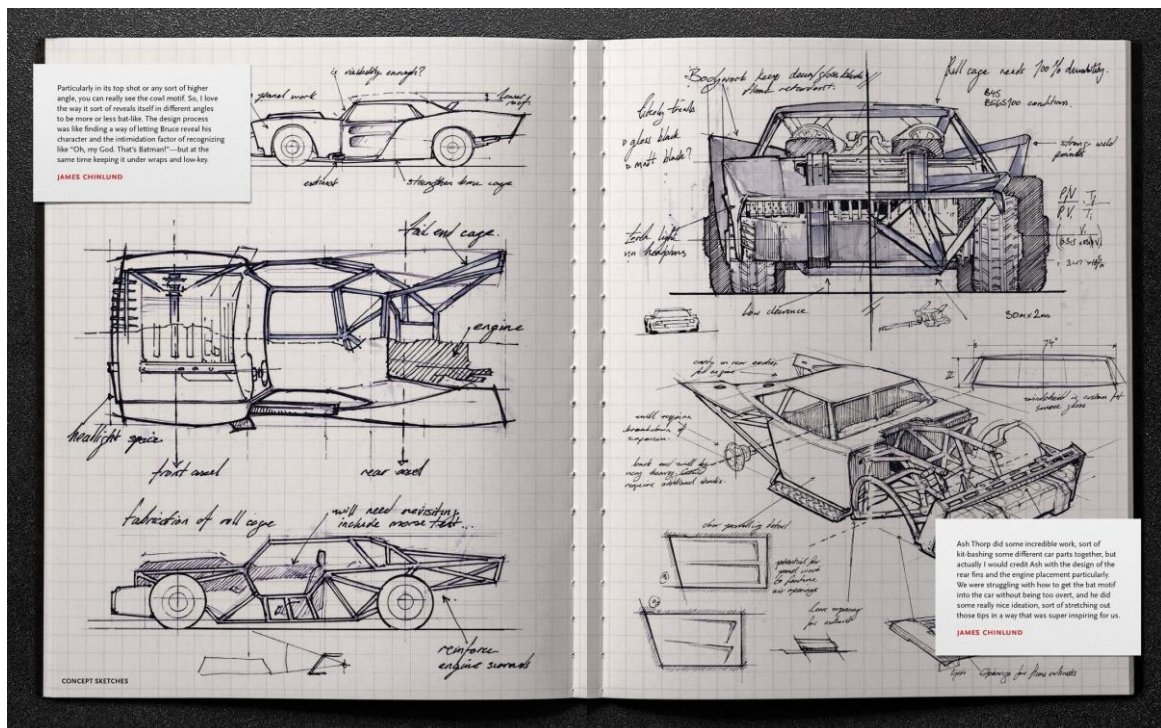
*Slika 9 Renderirani prikaz automobila*

## **2.2. Model**

Inspiracija za izradu modela za završni rad došla je prilikom gledanja novog filma *The Batman* (2022) direktora Matta Reevesa. Kako navodi režiser filma u jednom od brojnim intervjuja „*They wanted the new Bruce Wayne to be tinkering around with a car that is both retro, yet recognizable*“ , „*This new batmobile needed to look like something a gearhead motivated by justice would build.*“. U prijevodu, željeli su da auto izgleda kao da na njemu radi netko tko je predstavljen kao običan čovjek kojem je rad na automobilima hobi u garaži. Cilj je bio predstaviti Batmana (Roberta Pattinsona) kao autora automobila za razliku od prethodnih filmova gdje je batmobile bio kreacija znanstvene fantastike pogonjena nuklearnom energijom i opremljena vojnom tehnologijom. Upravo ovakav pristup je bio glavni izvor inspiracije za izradu završnog rada.

Automobil je rađen iz nule na temelju referenci i nekoliko nacрта. Isto tako printan je kompletno iz vlastitih materijala ponekad i po nekoliko dana u cjelini. Specifičnost automobila je također u tome što je mješavina nekoliko modela. Stvarne specifikacije iz početka nisu bile poznate ali su fanovi uspjeli doći do nekih podataka uz pomoć intervjuja i samostalnog istraživanja. Radi se dakle o spoju krova 1969 Dode Chagera, Dodge Gemi duo motora dok je ostatak automobila jedinstvena autorska konstrukcija. Za potrebe snimanja konstruirana su ukupno četiri modela od kojih svaki ima svoju posebnu primjenu. Tri modela imaju ugrađen

prethodno naveden motor i njihova svrha je u potpunosti vezana za akrobacije dok jedan model u sebi sadrži Teslin električni pogonski sklop i njegova svrha nalazi se u vožnji i performansama.



Slika 10 Prikaz skica dizajnera Jamesa Chinlunda

### 2.3. Konstrukcija

Kao što se može vidjeti na prethodno priloženim slikama, konstrukcija stvarnog modela automobila izuzetno je kompleksna. Razlog tome je što je svaka iteracija automobila dizajnirana prema posebno predodređenom zadatku i morala je biti ojačana kako automobil mogao podnijeti stres kojem će biti izložen tijekom snimanja. Iako je ovakav pristup moguće modelirati i zatim 3D ispisati, on poprilično komplicira cijeli proces. Za potrebe izrade vizualizacije odabran je jednostavniji pristup kod kojeg je rađena šasija u cjelini. Odabrani pristup također omogućuje ispis modela na 3D printeru bez potrebe za većom obradom i pripremom kao i ispis u nekoliko većih komada. Automobil je printan u dva veća segmenta od kojih prednji ima posebno dodane detalje. Vrata su ispisana zasebno kako bi se mogla ostvariti modularnost pa tako i mogućnost otvaranja. Uz vrata, četiri felge i gume su također ispisane zasebno. Finalna obrada modela zahtijevati će spajanje, brušenje i zatim bojanje različitim vrstama sprejeva kako bi se ostvario dojam različitih materijala.



### 3. 3D ispis

Tehnologija 3D printera u teoriji pojavila se već sredinom 20. stoljeća kada je Murray Leinster prvi put opisao proces crtanja plastikom u trodimenzionalnom prostoru uz pomoć mehaničke ruke sa mlaznicom. Kada bi se danas pitalo osobu koja nije imala doticaj sa 3D printerima ali je je upoznata sa postojanjem tehnologije, na vrlo sličan način bi je opisala. Nekoliko godina kasnije pojavom prvih dvodimenzionalnih ink jet printera, tvrtka Teletype razvija i eksperimentira sa istom tehnologijom samo što su tintu zamijenili sa voskom. Ovaj eksperiment smatra se početkom tehnologije 3D ispisa zato što je temeljni koncept identičan modernim printerima.

Krajem 20. stoljeća tehnologija se počinje sve više razvijati te se tako već 1982. godine pojavljuju prvi patenti od kojih je mali postotak zapravo zaživio kao prototip ili proizvod. Prva tvrtka koja se probila u ovoj industriji bila je od strane Chuck Hulla. Radio se o posebnoj vrsti 3D printa koja radi na principu stvrđnjavanja sloja pomoću UV zračenja danas poznat kao SLA (Stereolithographic Aparatus) tehnologija.



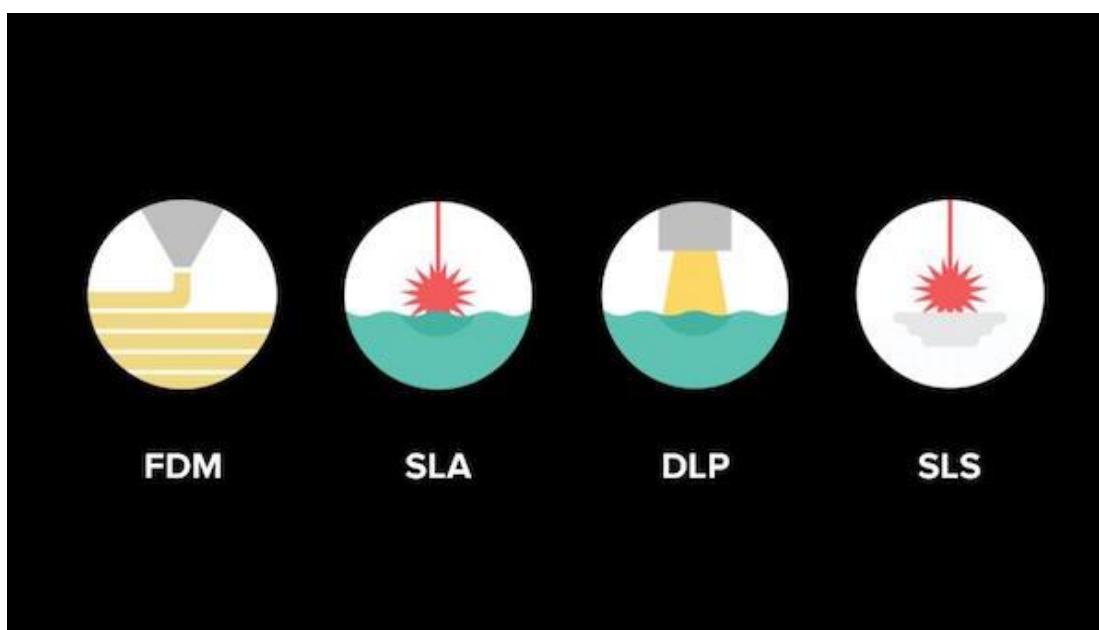
*Slika 11 Prvi 3D printer*

3D printeri kakve danas poznajemo i koristimo postali su komercijalno dostupni i financijski prihvatljivi tek sredinom 2010. godine. Iako i dalje skupa tehnologija, sve veća zainteresiranost u tehnologiju omogućila je tvrtkama da se posvete dizajniranju i planiranju printera koji bi mogao biti dovoljno jeftin kako bi mogao kupiti bilo tko u privatnom pa tako i javnom sektoru. Ovaj

potez rezultirao je tome da danas na tržištu postoji velik izbor 3D printera i materijala dostupnih svima. Cijena tih istih varira od nekoliko stotina pa do nekoliko tisuća kuna.

### 3.1. 3D strojevi

Strojevi koji se koriste za 3D ispis mogu se razvrstati u četiri glavne cjeline s obzirom na način stvrdnjavanja materijala na podlogu. Radi se dakle o SLS (Selektivno Lasersko Sinteriranje), SLA (Stereo litografija), FDM (Stopljeno Taloženje Materijala) i DLP (Digitalno Svjetlosno Procesiranje).



*Slika 12 Infografika o vrstama 3D printera*

Svaka od navedenih tehnologija drastično je različita od druge i isto tako daje potpuno drugačije rezultate. Upravo radi toga, 3D ispis ima široku primjenu u ostalim vrstama industrija i područjima. Jedan od najvažnijih aspekata može se pronaći u tome što je neke sitne predmete moguće jedino proizvesti uz pomoć 3D ispisa kako bi se ostvarila željena kvaliteta i veličina.

FDM tehnologija najzastupljenija je i od svih navedenih najjeftinija. Razlog tome je što se sam stroj sastoji od relativno jeftinih dijelova i daje najslabiju kvalitetu usporedno sa ostalim vrstama strojeva. Postoje naravno razlike u privatnim i industrijskim FDM strojevima ali isto tako postoje više varijacija ostalih tehnologija. FDM radi na principu slaganja sloj po sloj uz pomoć polu tekuće plastike kako bi se dobio finalni proizvod. Kako je prednost ove vrste u tome što je najjeftinija i najjednostavnija, glavna mana nalazi se u njezinoj brzini. Od navedenih vrsta printera, FDM je uz najslabiju kvalitetu ispisa i najsporiji način ispisivanja.

SLA zasniva se na stereo litografiji odnosno procesu slaganja slojeva i njihovog stvrđnjavanja pomoću lasera. Ova vrsta tehnologije daje rezultate koji su u većini slučajeva puno manji za razliku od FDM-a ali jedna od najvažnijih prednosti nalazi se u njezinoj kvaliteti. Naime, SLA se primarno koristi kod izrade vrlo kvalitetnih sitnih dijelova pa je tako i sam materijal puno skuplji. Umjesto od krutog polimera, ovdje se koristi posebna smola u tekućem obliku. Što se tiče mana, SLA printer najskuplja je varijanta dostupna na tržištu i zahtjeva posebnu obradu tijekom cijelog procesa izrade. Usporedno sa FDM printerom, gdje nakon rada ispisani predmet korisnik odmah može dirati i može se reći da je on finalan, SLA zahtjeva posebno pranje predmeta u alkoholu i zatim stvrđnjavanje u posebnom stroju uz pomoć UV svjetla.

DLP i SLA dijele većinu specifikacija dok im je ključna razlika u načinu stvrđnjavanja sloja. Kod ove vrste 3D printera, riječ je o izvoru svjetla koji je projicira na svaki sloj i time ih stvrđjava. Glavna primjena nalazi se u ispisivanju većih predmeta manje rezolucije.



*Slika 13 Primjer razlike između SLA i DLP načina ispisa*

SLS vrsta 3D printera najviše se razlikuje od ostalih vrsta. Ova vrsta printera radi pomoću lasera koji topi praškasti plastični materija i na taj način ga spaja. Takav način ispisa smatra se naj naprednijim s obzirom na kvalitetu i čvrstoću finalnog proizvoda koja je na razini klasične lijevane plastike pomoću kalupa. Uz odličnu kvalitetu dolaze i određene mane. Printeri se obično svrstavaju pod najskuplje, uglavnom po nekoliko stotinu tisuća kuna za sa najslabijom kvalitetom dok za vrhunske industrijske printere ta cijena raste nekoliko puta. Također, svaki finalni proizvod zahtjeva određeno vrijeme hlađenja što automatski znači duže vrijeme obrade i čekanja.

Za izradu ovog završnog rada koristila se FDM tehnologija ispisa. Prilikom ispisa, primarno je korišten Creality Ender 3 V2 stroj na kojem je printana većina materijala dok je manji dio od gumenog i PLA materijala printan pomoću Creality Ender 3S 1.

### 3.2. Materijali

Kada je riječ o materijalima, kao i vrste 3D pisača, oni također dolaze u nekoliko različitih vrsta od kojih je svaka specifična. Najzastupljeniji, najjeftiniji i najlakši materijal za ispis koji se danas koristi dolazi u obliku krute plastike i radi se o PLA-u (Polyactic Acid). PLA se svrstava pod skupinu termoplastičnih monomera dobivenih iz biljnog izvora (škrob ili šećerna trska). Jedna od značajnih prednosti PLA materijala je u tome što je on biorazgradiv. Kako je ovaj materijal najzastupljeniji, može se pronaći u gotovo svim bojama i veličinama. Isto tako radi se o termone toksičnom materijali što ga čini odličnim za ispis u malom prostoru.

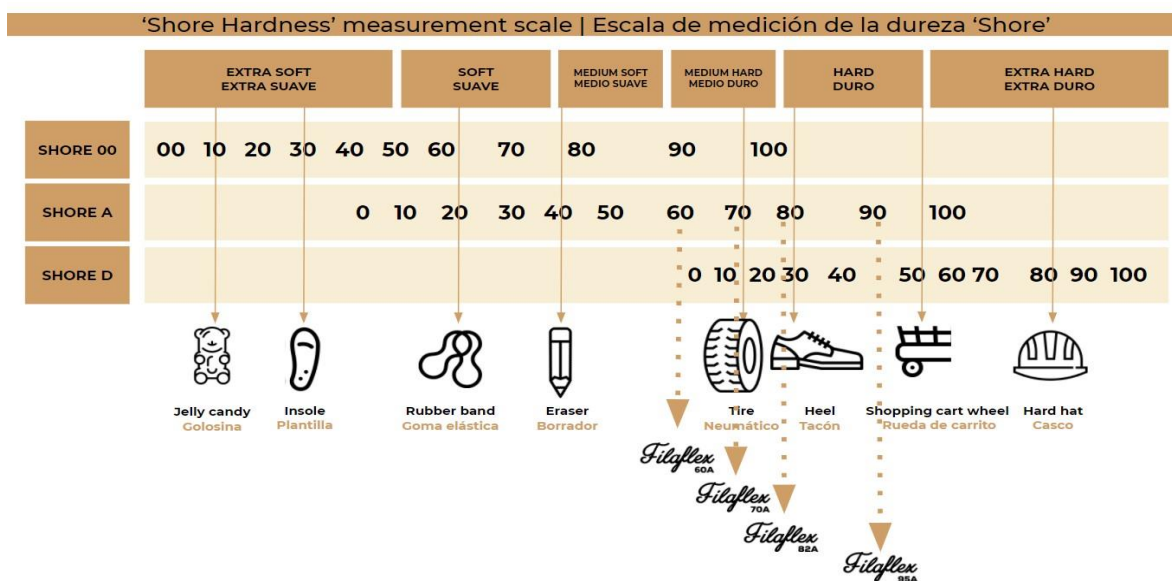


*Slika 14 Prikaz vrsta materijala na predmetu*

Druga najzastupljenija vrsta materijala je PETG (Polietilen Tereftalat glikol modificirani polimer). Relativno jeftin materijal u usporedbi sa PLA-om ali ima brojne prednosti naspram istog. Njegova čvrstoća i termalna otpornost daje mu prednost u odabiru. PETG se smatra težim za ispis jer zahtjeva posebnu brzinu ispisa prilagođenu svakom printeru. Njegova osjetljivost na brzinu i mala tolerancija na pogrešno podešavanje može dati drastično različite rezultate.

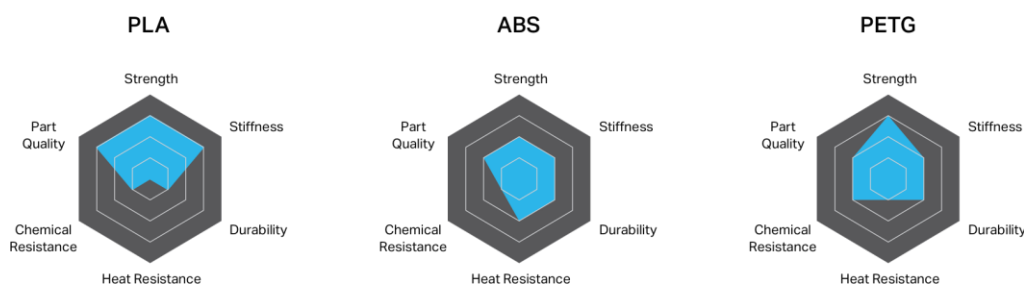
Uz standardne materijale kao što su krute i tekuće plastike isto tako postoje i posebni materijali od kojih je bitno za ovaj projekt spomenuti elastične materijale. Jedan od poznatijih je TPE (termoplastični elastomer) koji je korišten prilikom izrade automobila. Ova vrsta materijala

dijeli se prema svojoj čvrstoći pa je iz tog razloga odabrana kategorija A82 koja se nalazi između automobilske gume i gumene pete na cipele što je stavlja u čvrste materijale.



Slika 15 Tablica čvrstoće materijala

Navedeni materijali korišteni su prilikom izrade finalnog modela uz pomoć 3D printera. PETG je postotno najviše korišten radi njegove dostupnosti i kvalitete ispisa. Cijela šasije, vrata i prednji detalji rađeni su od ove vrste materijala. PLA je korišten u svrhe prototipiranja prije finalnog ispisa. Također je korišten prilikom izrade felgi ali je kasnije zamijenjen sa PETG-om. Razlog tome je neodgovarajuća boja PLA-a (crna). Prednje dvije i zadnje dvije gume ispisane su posebnim materijalom TPE kako bi simulirale stvarnu gumu i omogućile bolje prianjanje za podlogu i povećano trenje prilikom kretanja. Pomoću ovog materijala napravljena je i simulacija prednje suspenzije. Postoji još velik broj materijala koji nije spomenut ovdje od kojih svaki također ima svoju vlastitu primjenu i svojstva. Većina je slična gore navedenima jer se oni smatraju standardnim. Kada bi se ovaj auto kao varijanta RC auta onda bi se koristio primarno materijal sa karbonskim vlaknima kako bi se smanjila težina i osigurala čvrstoća. Nedavno istraživanje pokazalo je kako je ovaj materijal 20% jači od aluminija. Kao alternativa karbonu predstavlja se ABS. Materijal koji je sličan karbonu po termalnoj otpornosti i gustoći koja ga čini lakšim. Kod izrade stakla može se koristiti proziran materijal.



Slika 16 Prikaz prednosti i mana materijala



## 4. Softver

Kako je polovica završnog rada rađena digitalno na računalu, a ostatak fizički 3D ispisan uz obradu i bojanje, bitno je spomenuti i predstaviti programe u kojima se radilo i način na koji su korišteni. Za 3D modeliranje odabrana je zadnje verzija softvera Maya 2022. U ovom programu rađeno je i finalno kadriranje, postavljanje rasvjete, podešavanje i renderiranje pomoću Arnolda. Izrada simulacije prednje osovine realizirana je pomoću programa Fusion 360 koji spada pod CAD programe u kojima je naglasak na preciznost. Dodavanje tekstura na model odrađeno je pomoću programa Substance Painter zadnje verzije. Kasnija podešavanja ovih tekstura napravljena su u Arnoldu prilikom renderiranja. Obrada 3D modela i priprema za 3D ispis zahtijevala je doradu u Mayi zatim pripremu u Cura Ultimaker 4.13.1 programu. Završna obrada rendera odrađena je u programu Adobe Photoshop. Dobra programska rješenja ključan su dio izrade završnog rada s obzirom da polovica ovisi o njima.

### 4.1. Maya

Maya se prvi put pojavila kao program za izradu animacija u sklopu Advance Visualizer programa. Nekoliko godina kasnije Dinsney je ,nakon suradnje sa ljudima zaslužnim za izradu Maye, zatražio redizajn korisničkog sučelja kako bi ono bilo pristupačnije i bolje prilikom stvaranja animacije. Nakon što Silicon Graphics Inc. Kupuje Mayu zajedno sa ostalim programima na kojima je tvrtka radila i tvrtku Alias, Maya postaje produkt spajanja ove dvije tvrtke. Maya 1.0 se pojavila na tržištu 1998. godine kao prva inačica softvera. Sedam godina kasnije Autodesk kupuje sada već objavljen proizvod i time Maya postaje što predstavlja danas.

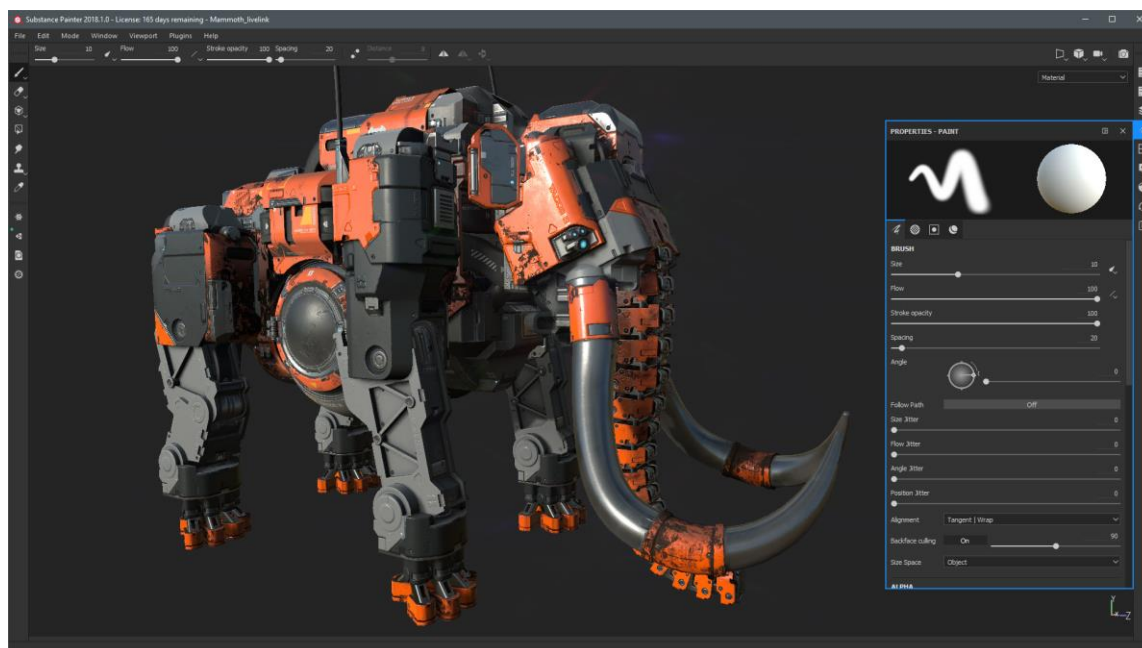
Primjene ovog programa danas se mogu pronaći u brojnim industrijama. Neke od značajnih su filmska, video igre, reklame i slično.



Slika 17 Korisničko sučelje programa Maya

## 4.2. Substance painter

Substance Painter nastao je kao diplomski rad francuskog inženjera računalnih znanosti Sebastien Deguy. Danas je njegova tvrtka Allegorithmic pod vlasništvom Adobea nakon što su ih kupili 2003. godine. Prva verzija programa SP pojavila se tek 2014. godine kada su velike tvrtke poput NVidie i Dassault Systemes-a počele pokazivati sve veći interes u industriju video igara. Program služi sa primjenu tekstura i ručno bojanje objekata uvezenih iz ostalih 3D programa za oblikovanje kao što su Maya, Blender, ZBrush, Cinema4D i slično.



*Slika 18 Korisničko sučelje programa Substance Painter*

## 4.3. Ostalo

Od ostalih programa koji će biti korišteni u ovom završnom radu najvažniji je rezač (eng. Slicer) koji služi za pripremu 3D modela kako bi se on mogao printati. Radi se o programu Ultimaker Cura koji je dio paketa Ender 3V2 podrške. U ovom programu mogu se podesiti postavke kao što je skaliranje, odrediti broj i visinu slojeva, definirati ispunu, potpore, odrediti kvalitetu ispisa ovisno o korištenom promjeru mlaznice i slično. Više o postupcima i njihovom objašnjenju biti će u poglavlju 3D print i obrada praktičnog dijela.

Drugi program koji će se koristiti je Fusion 360. Ovdje se radi o CAD programu za obradu 3D-a gdje je naglasak na preciznosti. Pomoću programa će se kreirati prednja osovina koja će biti ispisana sa fleksibilnim materijalom i nekoliko plastičnih dijelova.

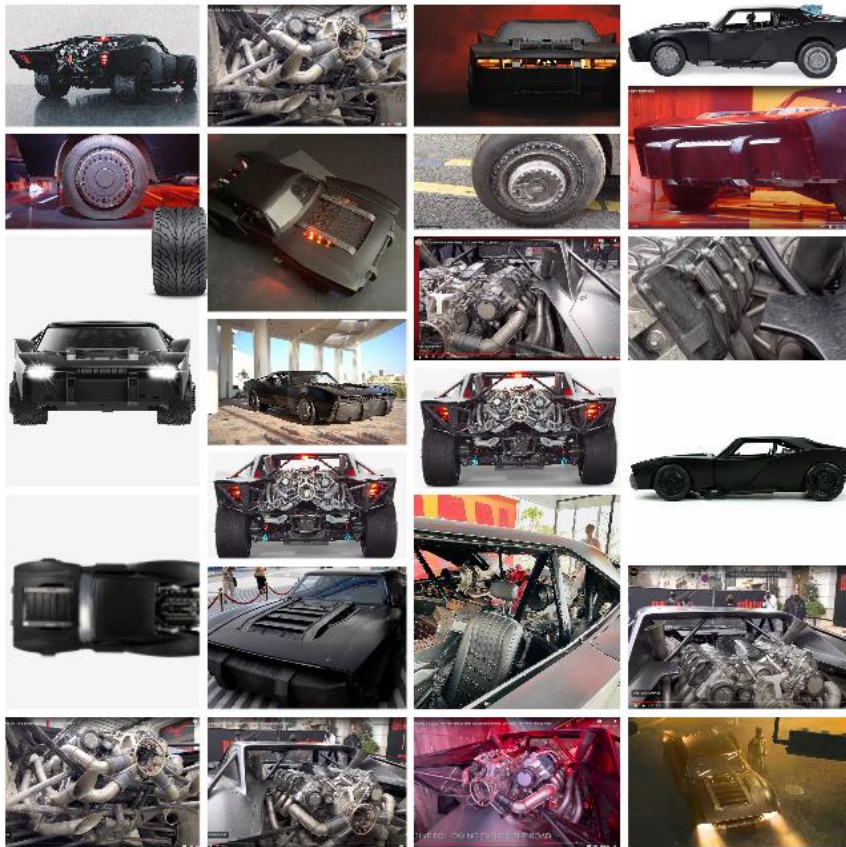
Treći program je Adobe Photoshop koji će se koristiti za finalnu obradu renderirani fotografija kako bi one poprimile željeni finalni izgled.

## 5. Praktični dio

Praktični dio završnog rada koncipiran je na način da se prikažu koraci izrade glavnog modela automobila i primijenjene tehnike koje su korištene prilikom iste. Kompleksnost dijelova modela drastično se mijenja na pojedinim cjelinama pa će iz tog razloga oni biti većinom popraćeni slikama. Druga važna cjelina vezana je uz UV mapiranje i teksturiranje pomoću Substance Painter programa. Završno, prikazano je postavljanje scene, kadra, rasvjete i ostalih detalja što rezultira finalnim renderima.

### 5.1. Izrada modela

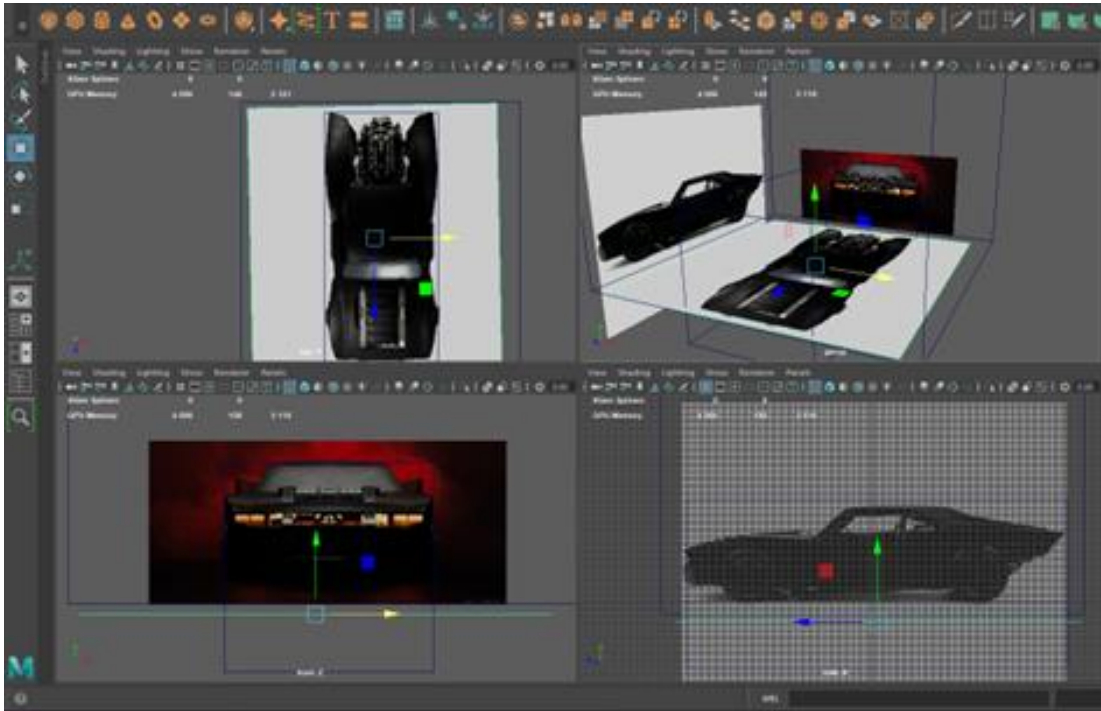
Prvi korak prije same izrade modela i za ostvarivanje njegove dobre realizacije zahtjeva istraživanje i prikupljanje što više podataka, referenci, izvora, fotografija, videa i sve ostalo što je vezano uz odabrani model. Glavni izvor fotografija i podataka prilikom izrade su razni dostupni video materijali sa prezentacija i promocija filma The Batman koje sadrže stvaran automobil u sklopu tih promocija. Kako pravi automobil nije fotografiran i ne postoje detaljne slike, ovo je najbolji način za prikupljanje potrebnih informacija. Isto tako, relativno kratko vrijeme postojanja filma otežava prikupljanje potrebnih informacija i referenci.



Slika 19 Reference

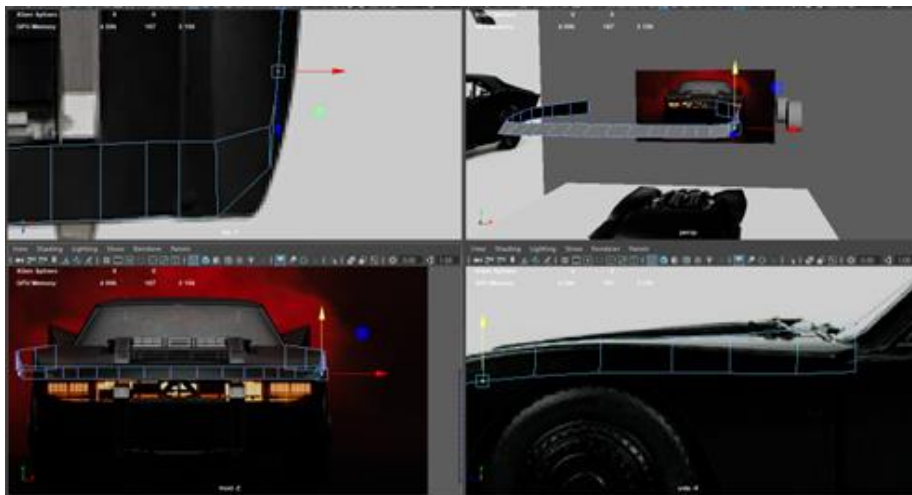


Nakon provedenog istraživanja i prikupljanja svih referenci i ostalih materijala kreće postavljanje početne scene, poravnanje i postava 2D ortografske projekcije (Gornji, bočni i prednji prikaz). Ovaj korak izuzetno je važan kako bi se osigurale točne proporcije modeliranog objekta, a pogotovo važan u fazi 3D ispisa modela radi osiguravanja točnih mjera za skaliranje u obradi.



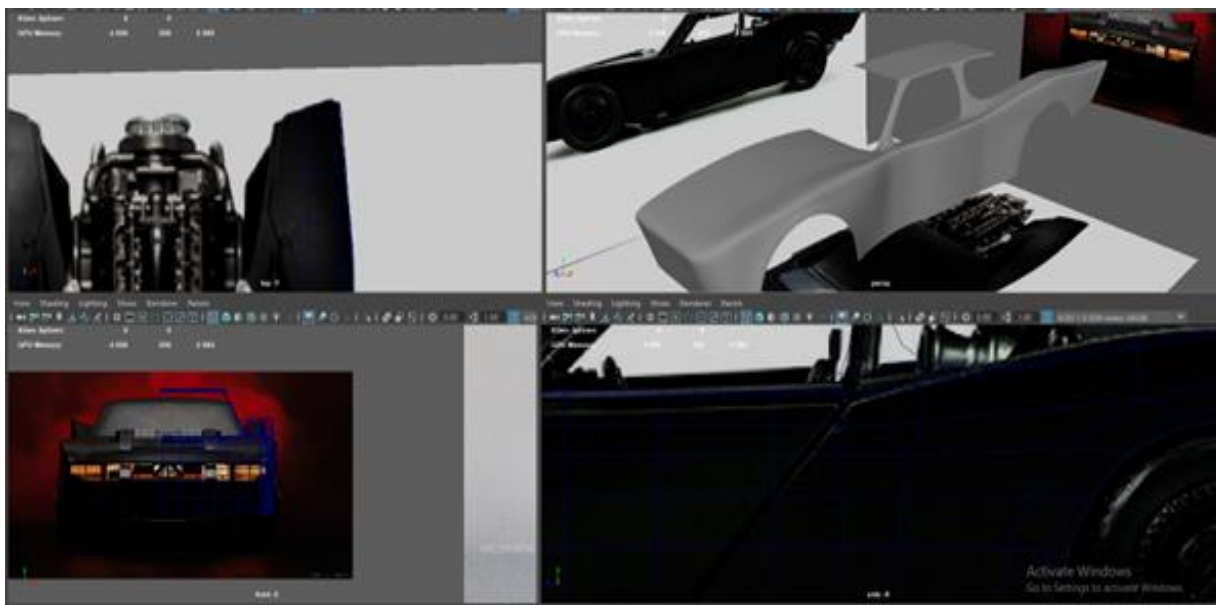
*Slika 20 Postavljanje referenci*

Prema postavljenim ortografskim referencama zatim kreće izrada modela. Odabran način stvaranja modela osigurava visoku razinu preciznosti u topologiji modela što znači da će finalni proizvod izgledati više realistično i sličniji originalu. Ovime se također dobiva prihvatljiva količina poligona. Veći dijelovi sadrže mali broj, dok manji i detaljniji sadrže veći broj poligona.



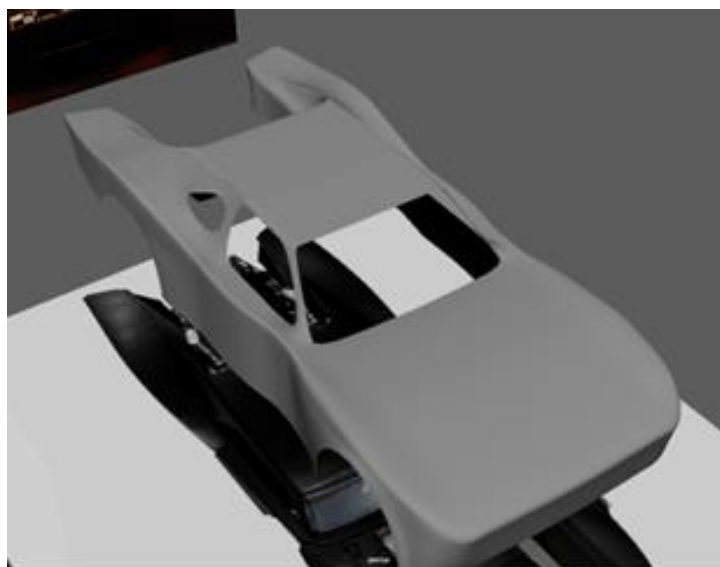
*Slika 21 Početak modeliranja*

U početku, model je rađen u simetričnom načinu rada što omogućava da program automatski stvara kopiju uz x os. Svrha simetrije je još jedan način provjere pravilno postavljenih referenci i osiguravanja točne širine modela automobila s obzirom na x os. Nakon provjere, polovica modela se briše jer više nije potrebna i nastavlja se daljnjim modeliranjem prema ortografskoj projekciji bočne strane.



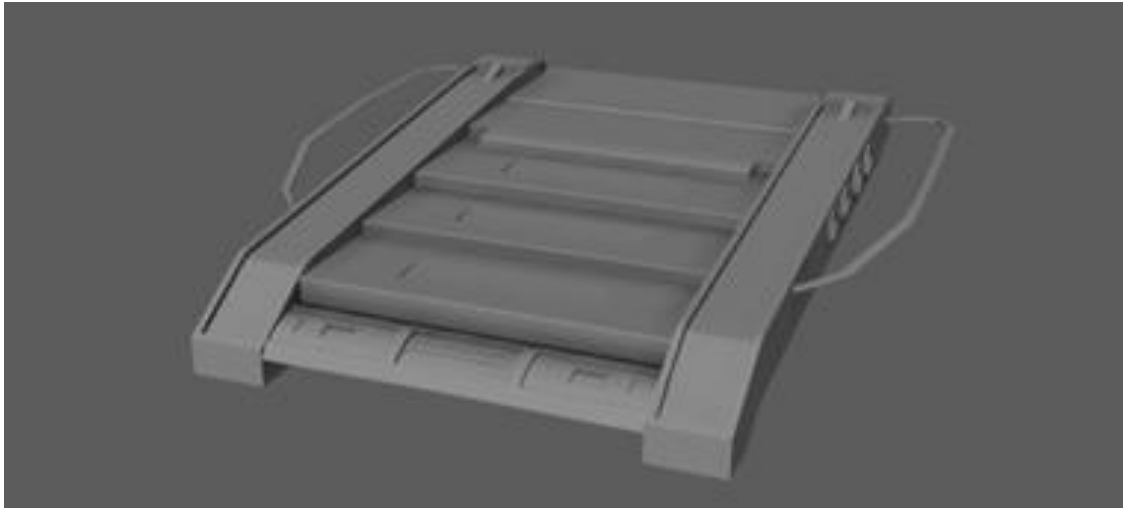
*Slika 22 Prikaz polovice modeliranog vozila*

Gruba low-poly verzija automobila je završena i zatim kreće ručno podešavanje linija u perspektivnom prikazu. Model trenutno nema detalja pa iz tog razloga nije potrebno paziti na linije panela koje će biti dodane u kasnijem koraku. Po završetku ručne dorade, model se zrcali po x osi čime se dobiva identična kopije lijeve i desne strane.



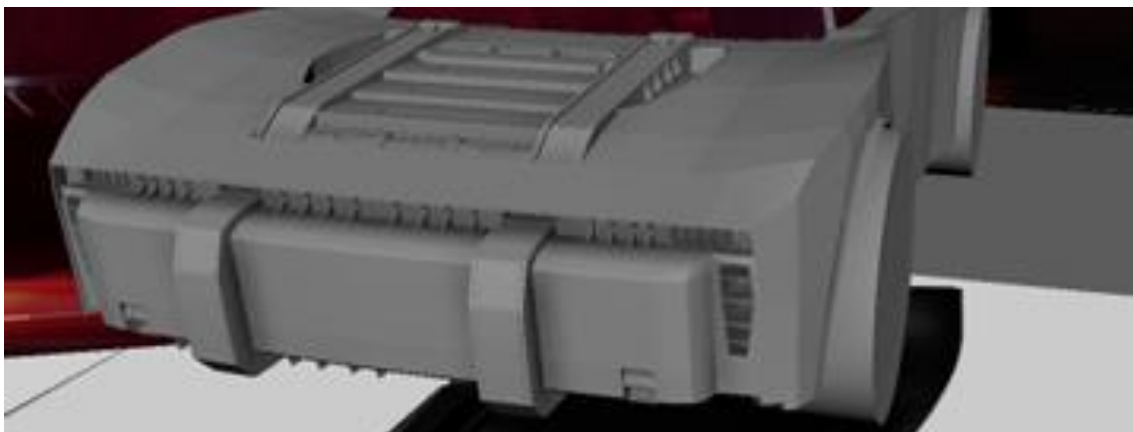
*Slika 23 Prikaz početne faze modelirane šasije*

Kako je spomenuto poglavlju 2.2, automobil je spoj nekoliko modela automobila tako da ne sadrži pretjeran broj oštih detalja na panelima nego je više okrenut organskim linijama. Drugi korak kreće od utvrđivanja točnih mjesta detalja koja se zatim režu i obrađuju ovisno o referencama. Prvi detalj nalazi se na prednjem poklopcu odnosno haubi. S obzirom da je motor vozila smješten straga, detalj na haubi ima dvije funkcije. Prva je zaštita ispušnih cijevi za turbo pogon i mjesto raznih ventila, a druga čini produžetak na branik koji služi za sudaranje sa drugim vozilima i objektima na cesti.



*Slika 24 Modelirani detalj haube*

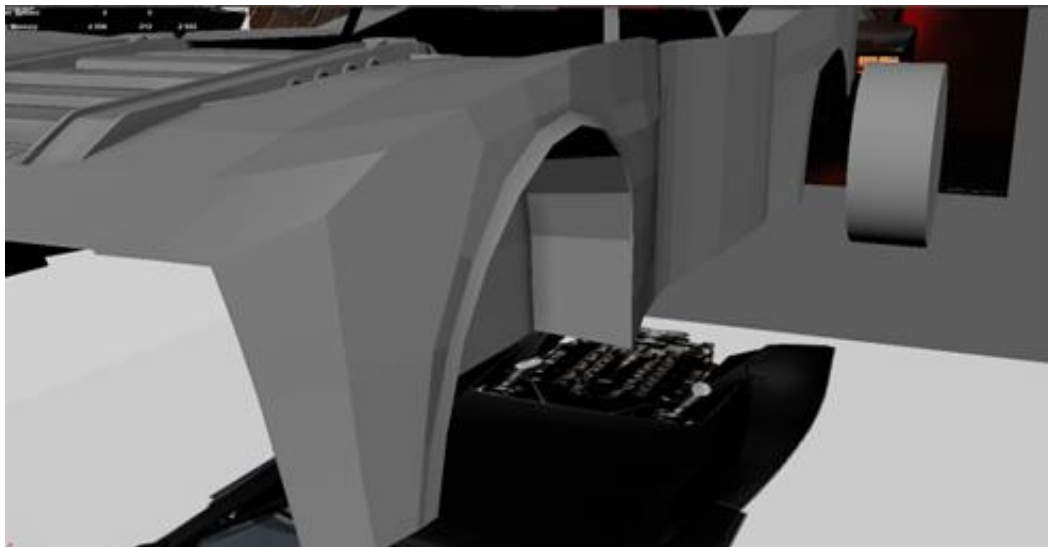
Branik je sastavljen od nekoliko dijelova i kao što je spomenuto, direktno je povezan sa haubom. Ovaj detalj čini veći dio branika s obzirom da je i najistaknutiji i najvažniji dio. Ostali dijelovi razvrstani su na svijetla, otvor za zrak sa svake strane i metalni produžeci za micanje stvari sa ceste i povećanje aerodinamike vozila.



*Slika 25 Prikaz detalja branika i haube*

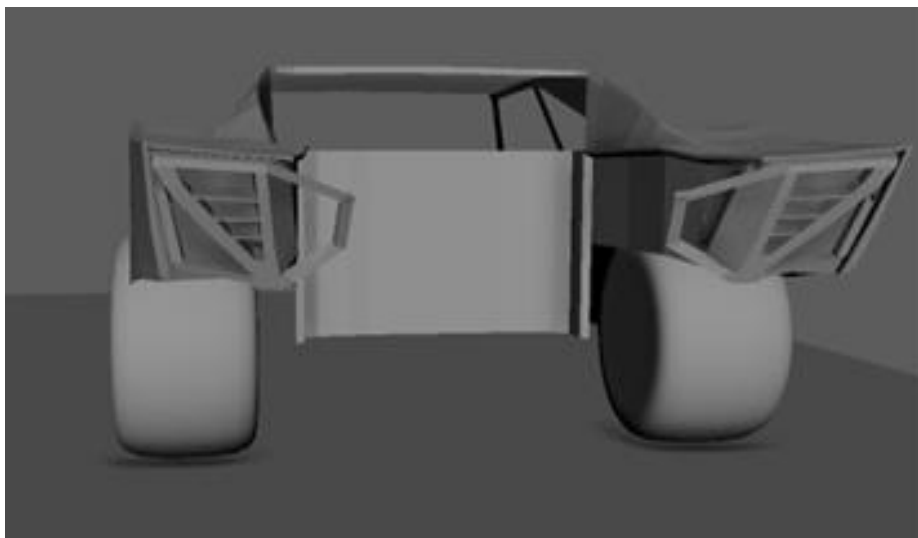
Branik i detalj sa haube kreirani su na isti način kao i karoserija vozila uz pomoć simetrije x osi. Ovime se ostvaruje točnost proporcija i kraće vrijeme modeliranja s obzirom da je automobil

simetričan. Manji detalji dodani su posebno bez uporabe simetrije kako bi se uklonilo savršenstvo i potpuna simetričnost što dodaje na realizmu modela u kasnijem renderiranju i teksturiranju. Prednji dio sadrži bočne blatobrane koji su nadodani na postojeću geometriju.



*Slika 26 Prikaz detalja prednjeg lijevog panela*

U početku dodavanja ovih detalja na low-poly mrežu modela nije bilo potrebno paziti na određenu poziciju panela već je fokus na ostvarivanju dobrih linija karoserije i isticanju manjih detalja kao što je prikazano na slici gore. Stražnja strana automobila sadrži samo jedan bitan detalj. Riječ je o svjetlima koja su modelirana pomoću stražnje i bočne projekcije čime se ostvaruje njihov točan položaj na modelu. U kasnijem koraku je ovdje dodan vrlo precizan model motora. Upravo to i razlog manjka detalja stražnjeg dijela. Motor zauzima većinu prostora što smanjuje potencijalna mjesta za dodavanje. Uz motor nadodane su potporne cijevi čija funkcija je ostvarivanje čvrstoće krova i stražnjeg dijela.



*Slika 27 Prikaz zadnjeg dijela automobila i svjetla*

Spajanjem prethodno modeliranih dijelova u cjelinu dobiva se grubi model vozila nalik na original. Sljedeći korak dolazi tek sada na red kada su svi veći detalji postavljeni na vozilo kako ne bi došlo do rezanja krivih proporcija panela. Potrebna rezanja odrađena su haubi, bočnim blatobranima i vratima. Između rezanja ostavljen je prostor od 5mm kako bi razmak između panela bio dovoljan za realističnu vizualizaciju i isto tako vidljiv prilikom 3D ispisa na printeru. Rubovi panela naknadno su zakrivljeni. Uz panele dodana su stakla sa stražnje strane i glavno sa prednje. Navedeni koraci i dodani detalji odrađuju se također pomoću metode simetrije po x osi.



*Slika 28 prikaz finalne razine modeliranja automobila*

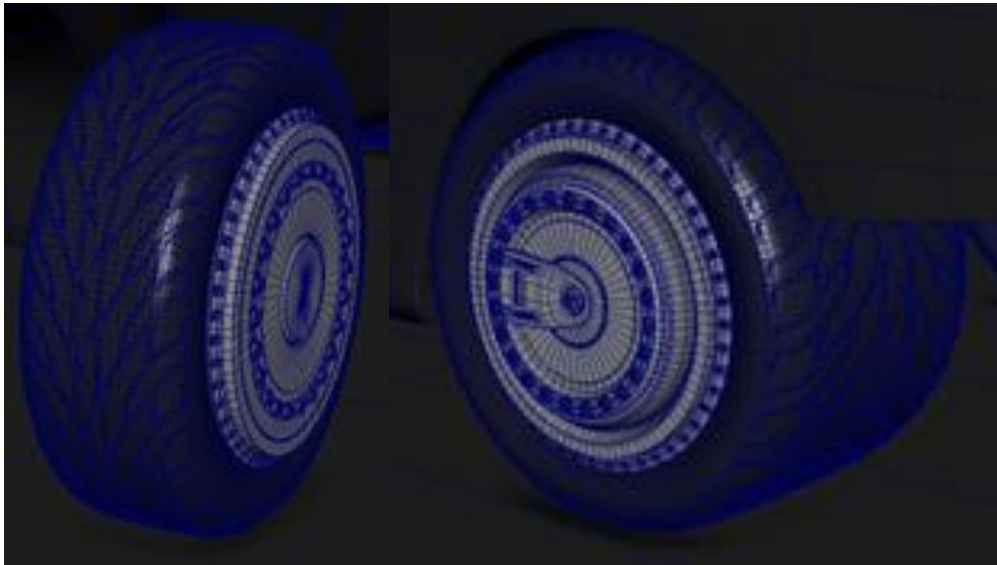
Prilikom izrade gume potrebno je naći točnog proizvođača i model korištene gume kako bi se ostvarila točnost. Istraživanje prema referencama je pokazalo kako je riječ o vrlo specifičnoj vrsti gume koja se koristi za sportska vozila. Riječ je o Rickey Thompson Sportsman S/R gumama. Kako je i ovdje riječ o sportskom vozilu, stražnje gume su duplo deblje od prednjih. Razlog ovoj razlici nalazi se u akceleracijskom potencijalu vozila. Naime, Auto je dizajniran sa fokusom na brzinu, a najteži dio nalazi se u stražnjem dijelu. Veće gume ostvaruju veći kontakt sa tlom što autu daje veći AP. Gume sadrže poseban uzorak koji se, prema referencije, ponavlja 24 puta oko cijele gume pa je zbog toga jedan komad uzorka rotiran 15 puta kako bi se dobila puna guma sa pravilno raspoređenim uzorkom.



*Slika 29 Referenca gume i modelirana guma*



Stvarna verzija automobila sadrži različite prednje i zadnje felge isto kao što i gume. Ne razlikuju se puno pa je iz tog razloga bilo moguće pravo modelirati prednju i zatim je preoblikovati u stražnju.

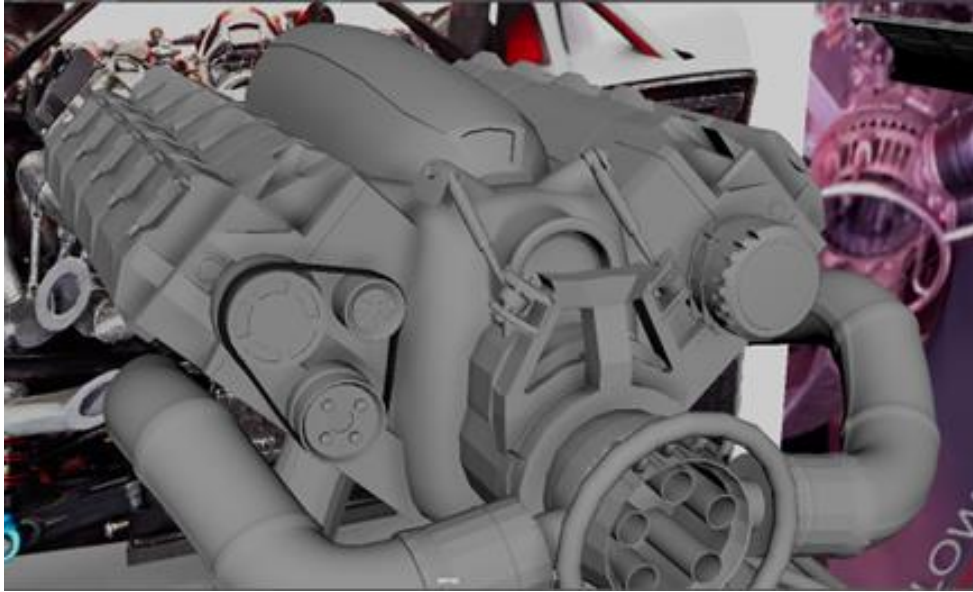


*Slika 30 Prikaz modeliranih guma i felgi*

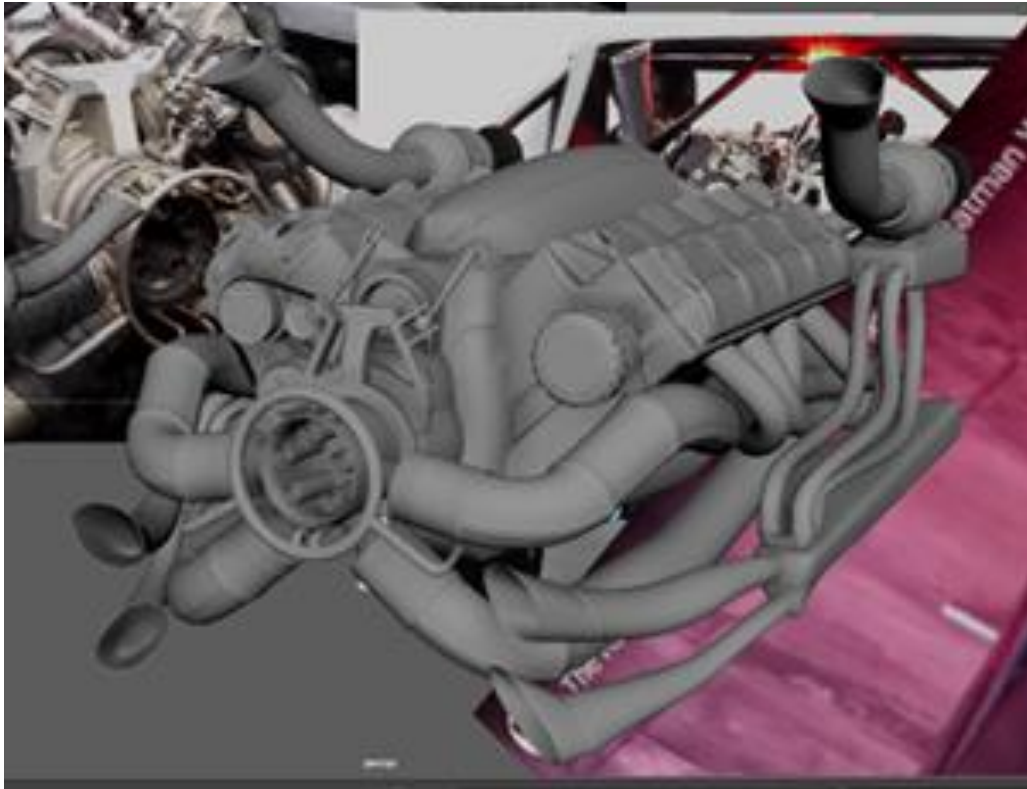
Najzahtjevniji dio cijelog modela nalazi se na stražnjoj strani auta. Motor je rađen od nekoliko manjih cjelina koje su zatim spajane. Za pojedine dijelove ponovno je korištena simetrija kako bi se vremenski skratila izrada na što prihvatljivije vrijeme s obzirom da veći dio motora nije simetričan i nije moguće koristiti simetriju. Prvi dio sastoji se od ispušnih cijevi turbo sistema i ostalih plinova na koje je spojen glavni dio bloka motora i poklopac glave motora sa uljnim pumpama. U drugoj fazi dodano je tijelo glave koje se spaja na blok, brtva glave, desni filter i lijevi razvodni mehanizam sa remenom. Treća faza sadrži preostale cijevi koje vode do unutrašnjosti automobila.



*Slika 31 Prikaz početne faze modeliranja motora*

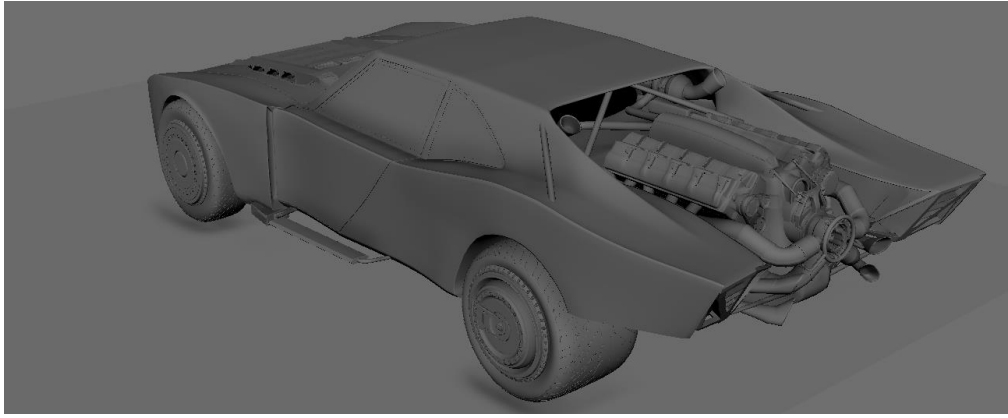


*Slika 32 Prikaz srednje faze modeliranja motora*



*Slika 33 prikaz finalne faze modeliranja motora*

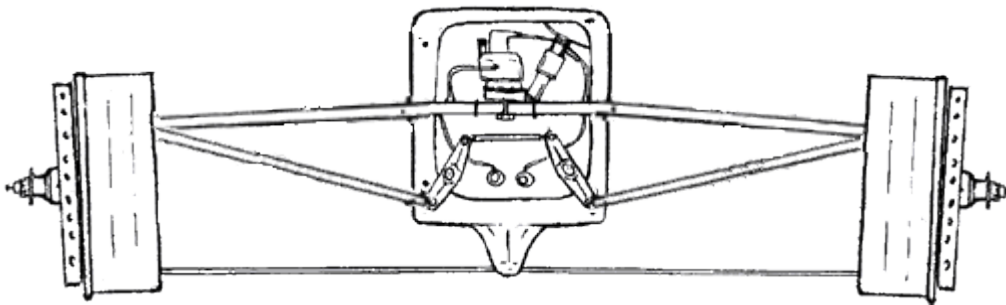
Finalnom obradom dodane su potporne šipke i bočni turbo usisni sistem.



*Slika 34 Finalan model automobila nakon spajanja svih detalja i motora*

## **5.2. Ovjes i suspenzija**

Uz prednje i zadnje gume koje sadrže kuglične ležajeve, prednji ovjes jedini je mehanički dio. Sastoji se od nekoliko dijelova spojenih u cjelinu kako bi se ostvarila mogućnost okretanja kotača i simulirala suspenzija automobila. Cijeli sustav inspiriran je ovjesom sa vučnom šipkom kakav se koristi u formulama te je on redizajniran i prilagođen za model sportskog automobila.



*Slika 35 Skica referentne suspenzije formule*

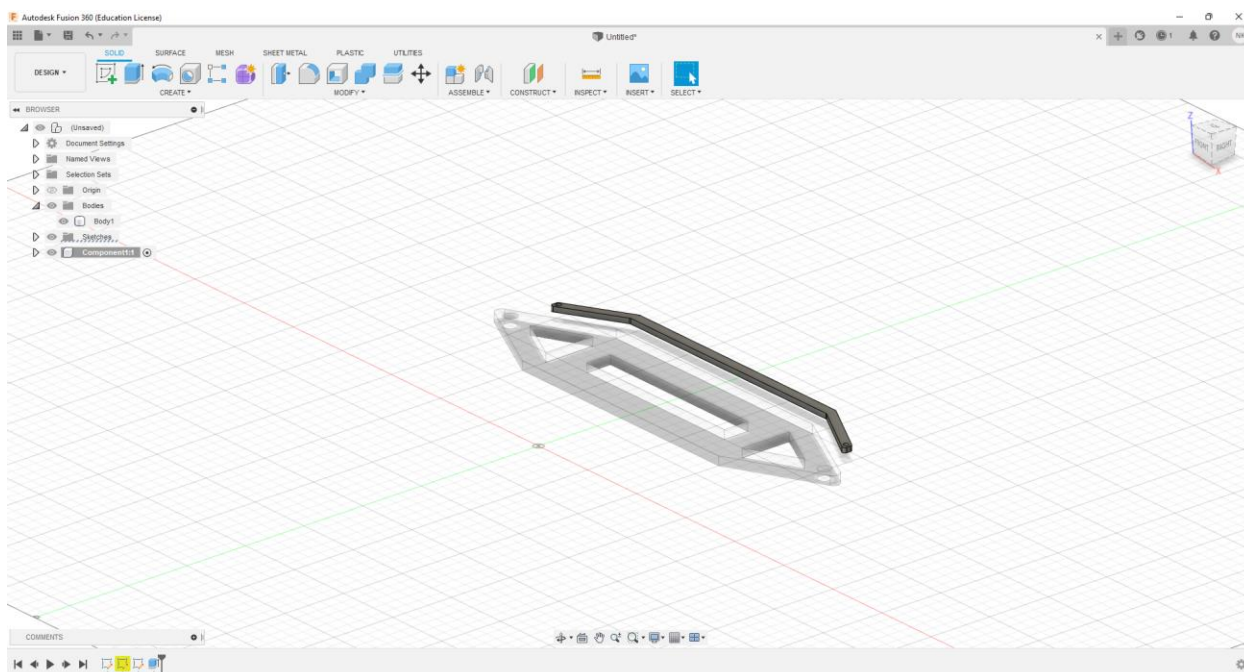
Ovjes sa vučnom šipkom sastoji se od gornje i donje upravljačke poluge od kojih svaka sadrži točku okretanja prema sredini. Ovakvo centriranje okretanja omogućuje spuštanje i podizanje krajnjih ruku, a time ujedno i neovisno podizanje i spuštanje kotača. Svaki kotač, odnosno felga sadrži spojnicu (šaraf) koji se nadovezuje na glavčinu sa kugličnim ležajem. Navedeni sistem omogućuje okretanje kotača. Lijeva i desna glavčina spojene su spojnom motkom kako bi se kotači okretali istovremeno lijevo ili desno.





*Slika 36 Prikaz stvarne suspenzije*

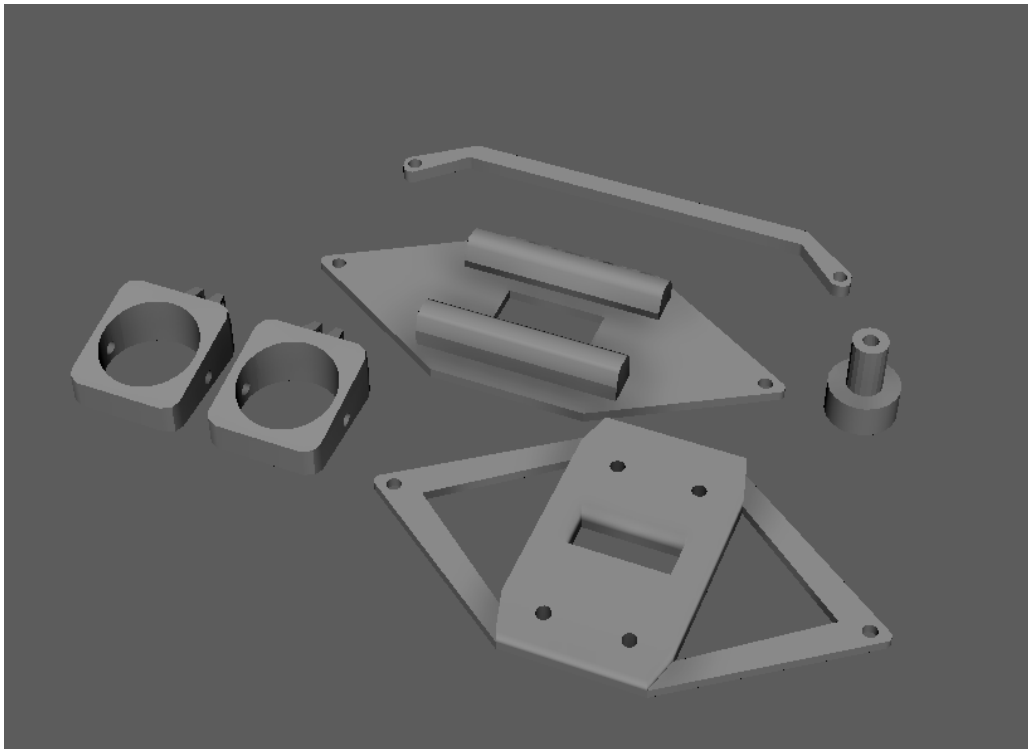
Ovjes je prvo dizajniran u Fusion 360 CAD programu kako bi se odredile potrebne mjere za prethodno navedene dijelove te je zatim uvezen u Mayu na dalju obradu uz pomoć reference gotovog modela automobila.



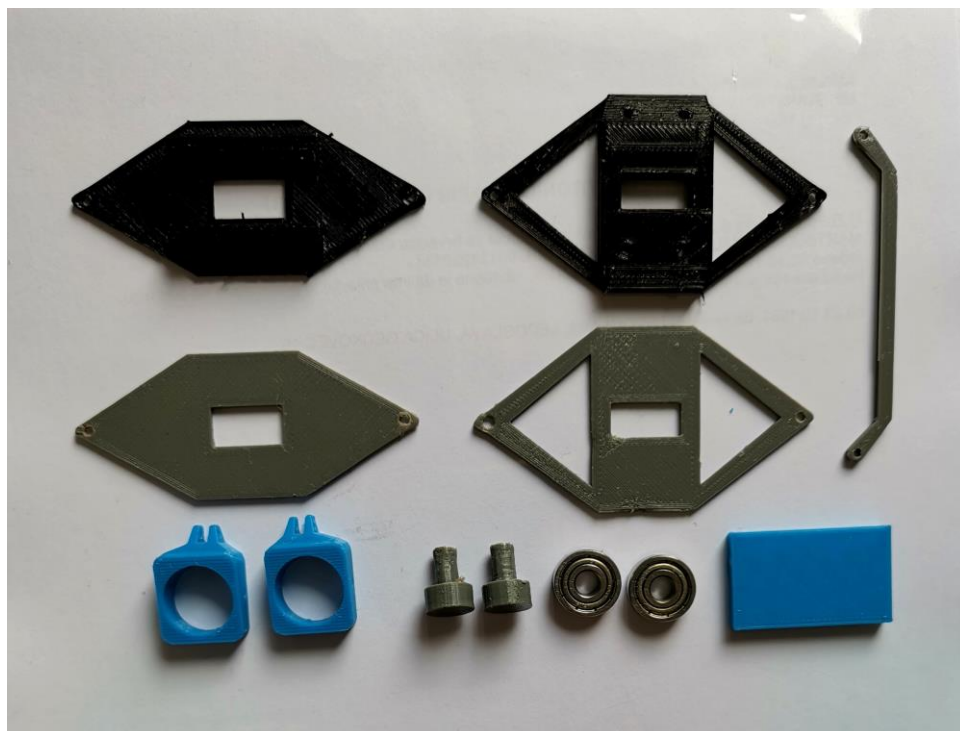
*Slika 37 Prikaz početka skiciranja i modeliranja*

Cijeli proces mogao se dizajnirati u Fusion 360 programu ali je odabran ovaj način rada zato što ovjes mora biti jako precizno prilagođen prostoru na modelu kako bi sve funkcioniralo na

željen način. Svi dijelovi zatim su ispisani u krutoj i elastičnoj plastici ovisno o njihovoj funkciji. Gornja i donja upravljačka poluga ispisane su sa elastičnim materijalom kako bi dobila što veća fleksibilnost dok su ostali dijelovi ispisani u krutoj plastici (PETG).



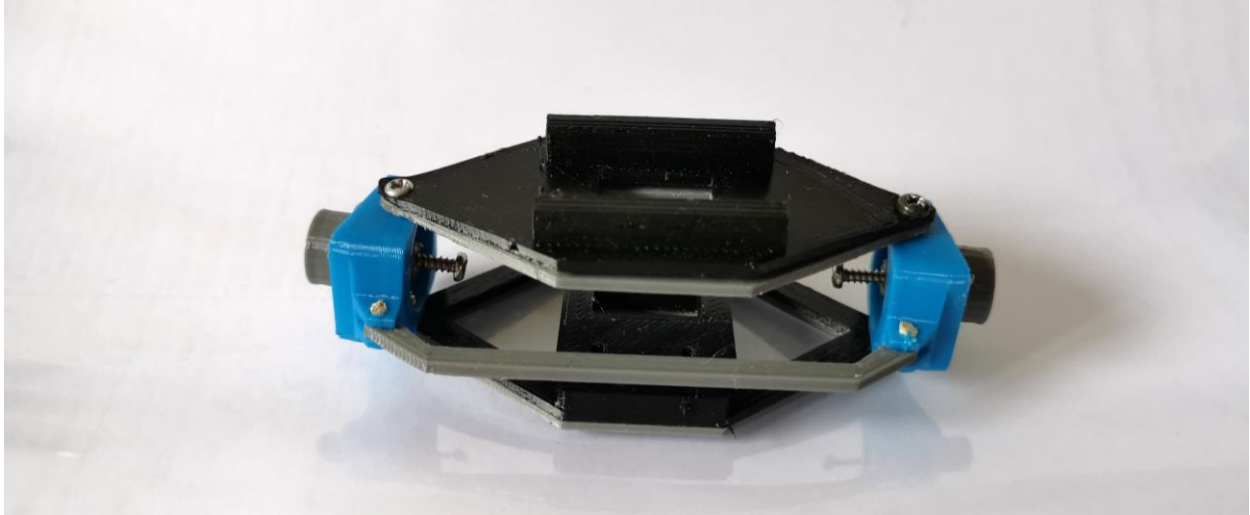
*Slika 38 Prikaz dijelova suspenzije i ovjesa u Mayi*



*Slika 39 Prikaz dijelova suspenzije i ovjesa nakon ispisa*

Dijelovi ovjesa dizajnirani su sa rupicama od promjera 1mm kako bi spajanje bilo lakše sa minijaturnim šarafima. Dužina šarafa iznosi 7mm. Odabrani način spajanja daje dodatnu čvrstoću i bolji okret od plastičnih poluga.

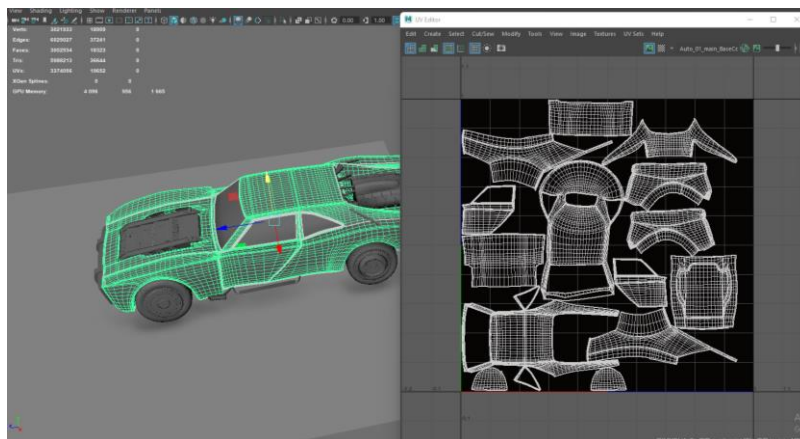
Kut spojne motke omogućuje kut okretanja kotača od 45 stupnjeva u oba smjera što je prosjek u većini automobila. Više o samom ispisu dijelova rečeno je u poglavlju 6.2 3D ispis.



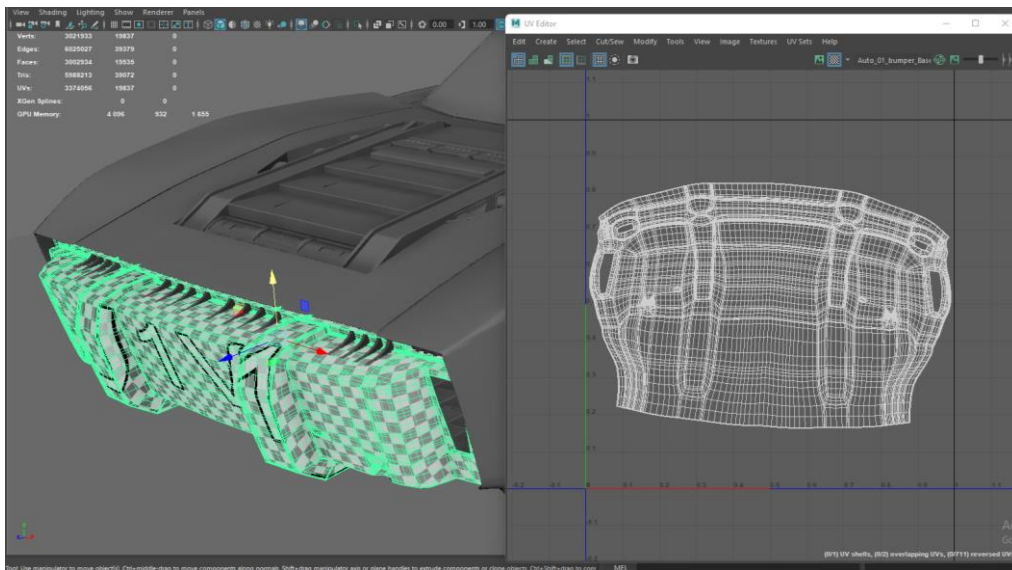
*Slika 40 Prikaz spojenih dijelova ovjesa i suspenzije*

### **5.3. UV mapiranje**

Dobro i loše UV mapiranje modela može činiti veliku razliku u finalnom teksturiranju i renderiranju modela. Zato je potrebno da su mape pravilno izrezane i postavljene. UV mape se postavljaju na koordinate U1V1 koordinatnog sustava. Kako je model ranije podijeljen na razne panele i time ga Maya raspoznaje kao zasebnu cjelinu, više mapa može biti postavljeno na koordinate U1V1 bez stvaranja problema prilikom dodavanja tekstura. Ostatak mapa raspoređeno je ovisno o slobodnom prostoru i skalirano po potrebnoj rezoluciji.



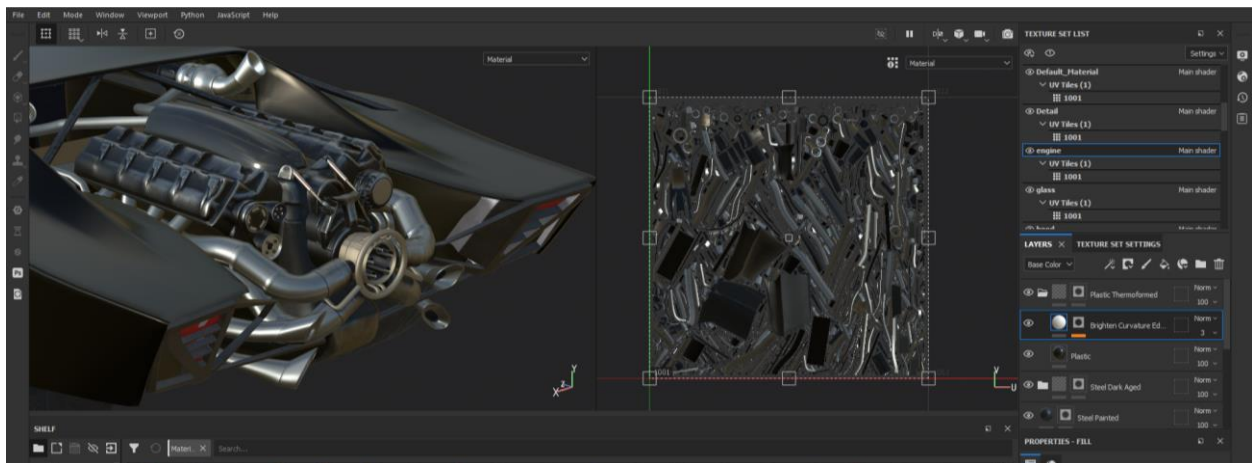
*Slika 41 UV mapiranje automobila*



Slika 42 Prikaz UV mapiranja branika

## 5.4. Teksturiranje

Nakon UV mapiranja i dobrog postavljanja svih mapa, model je izvezen u .fbx formatu i učitán u Substance Painter program. U pripremi, model se „peče“ (eng. Bake) sa određenim mapama koje su potrebne (Color, Roughness, Metal, Normal, Height, Ao i Emission) te zatim kreće dodavanje raznih metalnih tekstura. Odabrana rezolucija mapa je 4k kako bi se ostvarila što veća razina realizma.



Slika 43 Teksturiranje u Substance Painter programu

Slika prikazuje dodavanje metalnih tekstura na pojedine dijelove motora (željezo na cijevi, bakreno zlatna na obruč, tamno sivi metal na poklopce i detalje, guma na remen i sl.). Ukupno je upotrijebljeno i teksturirano 20 setova tekstura.



Ukupno su teksturirane dvije verzije automobila. Prva verzija je bojana u stilu video igre. Sadrži više detalja i stilizirana je (Slika lijevo) dok je druga verzija bojana u foto realističnom stilu i kasnije izvezena u Mayu na finalno renderiranje (Slika desno).



*Slika 44 Prikaz stiliziranih tekstura*

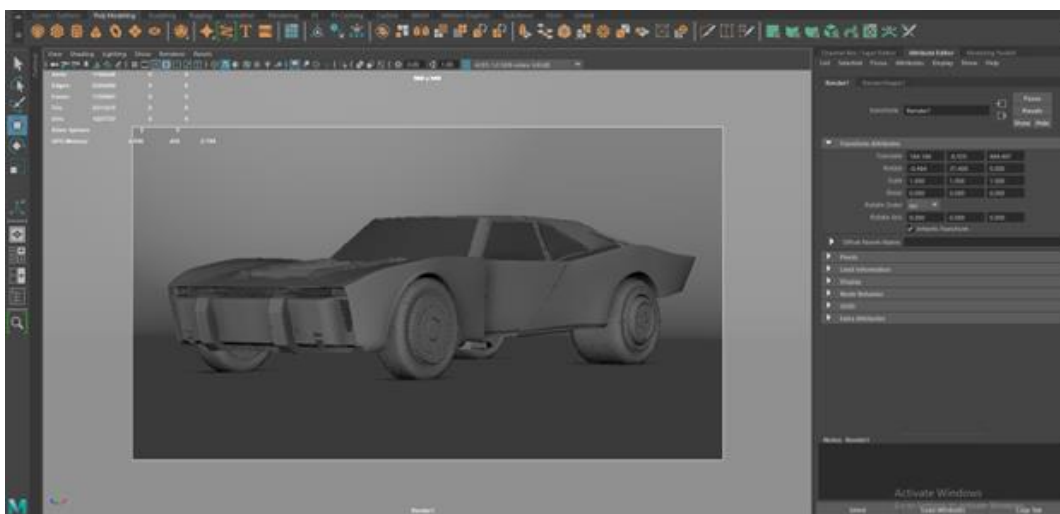


*Slika 45 Prikaz realističnih tekstura*

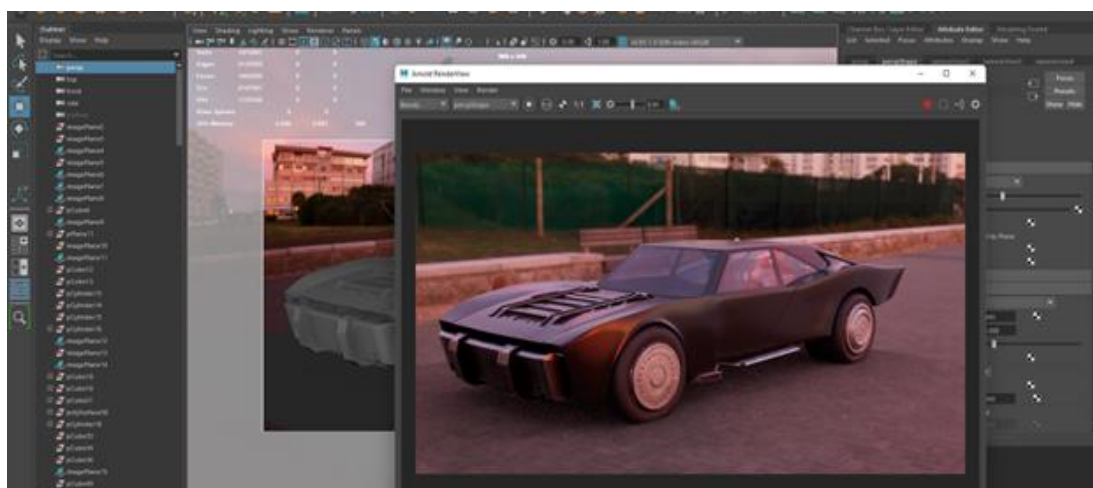


## 5.5. Postavljanje scene i finalno renderiranje

Teksturirane mape uvoze se natrag u Mayu gdje se zatim spajaju sa već prethodno UV mapiranim modelom. Ukupno su izvezene 132 mape koje je potrebno spojiti sa modelom. Nakon što je model uspješno mapiran prelazi se na korak postavljanja scene i rasvjete. Kako je fokus na modelu, nije bilo potrebe za modeliranjem okoline. U zamjenu je odabran način HDR postavljanja rasvjete koja se priključi na Skydome izvor svjetla na koji se zatim postavlja 4k slika istog prostora kako bi model izgledao kao da se nalazi u tom prostoru sa identičnim svjetlom. Prilikom odabira finalnog rendera, izrađeno je nekoliko slika sa različitim okolinama (Obala, nadvožnjak, livada, studio) i izvorom svjetla (Zalazak, jutro, noć i studio).

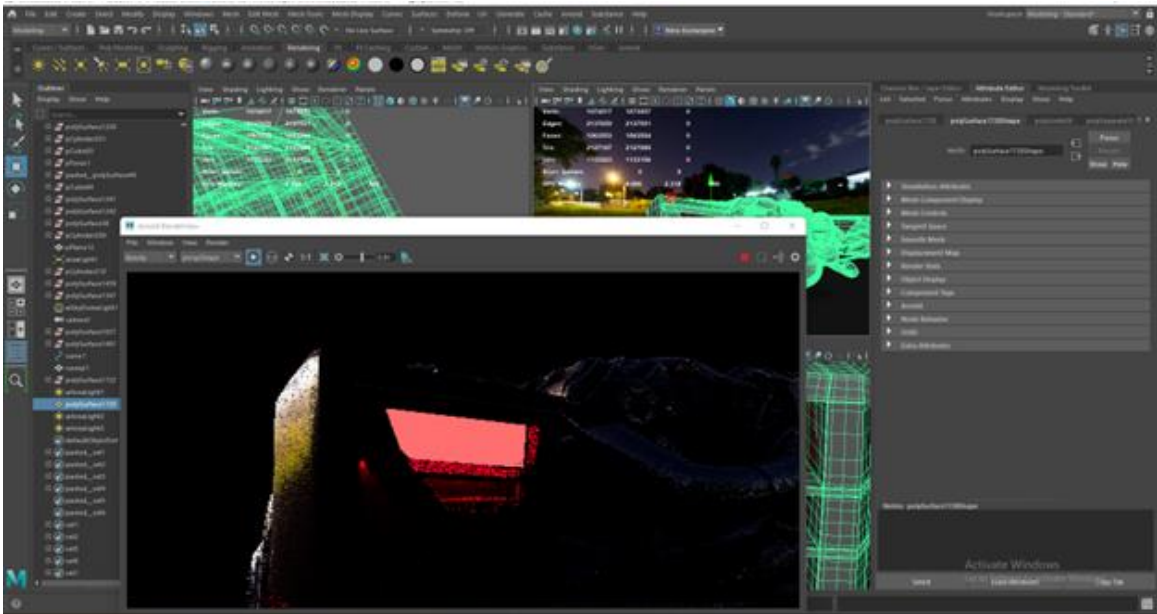


Slika 46 Prikaz postavljanja scene i kadriranja



Slika 47 Prikaz renderiranja

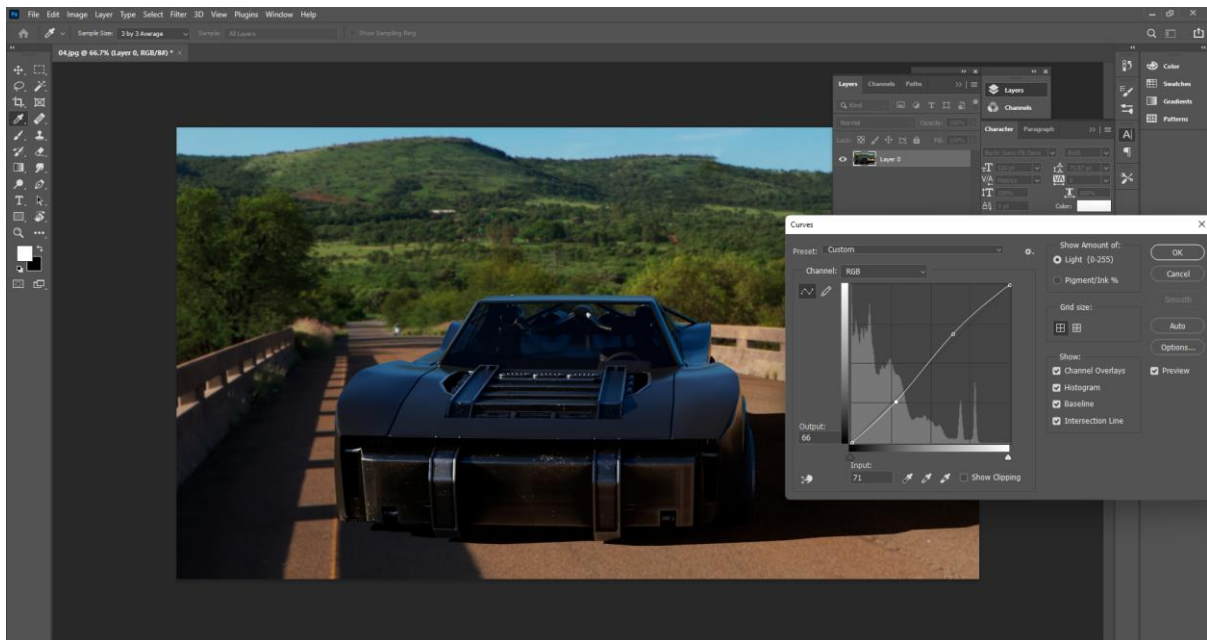
Prilikom renderiranja noćnih slika potrebno je napraviti svjetla na automobilu i primijeniti im attribute za iste (emission, izvori).



Slika 48 Prikaz renderiranja svijetla

## 5.6. Obrada finalnih rendera u Photoshopu

Finalni renderi već izgledaju dobro zbog korištenja HDR rasvjete. Iz tog razloga većina fotografija zahtjeva malu razinu obrade. Potrebno je malo povećati svjetlinu i boju kako bi se istaknuli detalji.



Slika 49 Prikaz obrade u Photoshopu



*Slika 50 Render Br. 1*



*Slika 51 Render Br. 2*





*Slika 52 Render Br. 3*



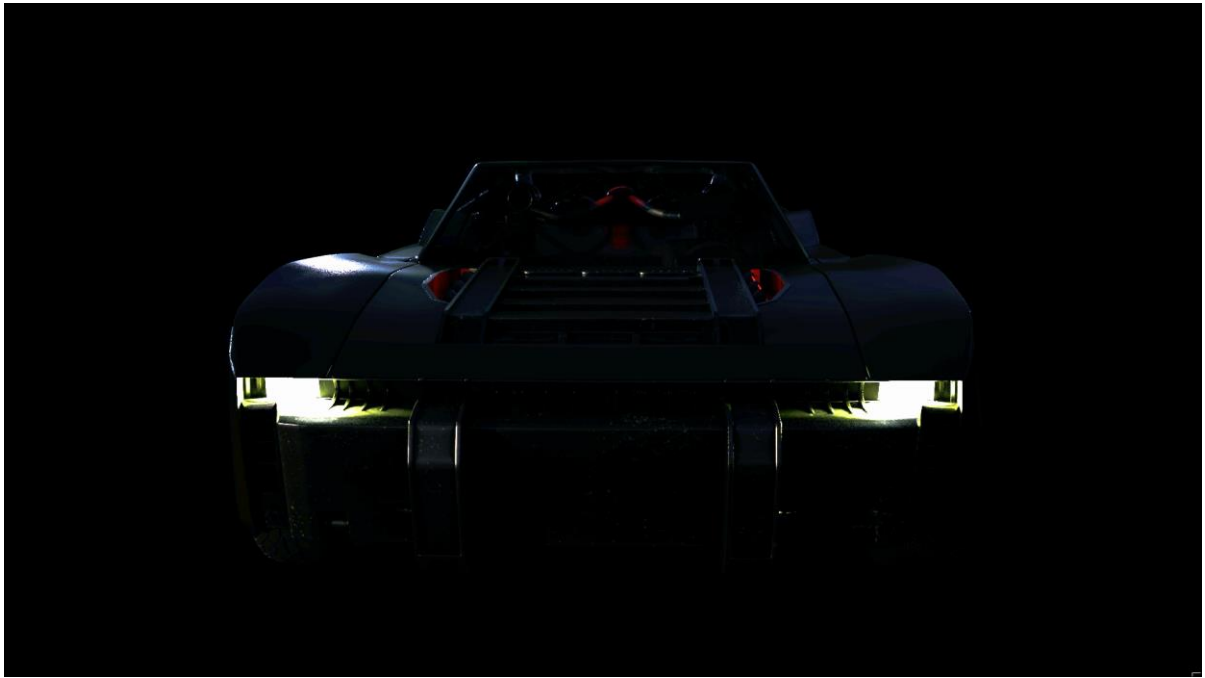
*Slika 53 Render Br. 4*



*Slika 54 Render Br. 5*



*Slika 55 Render Br. 6*



*Slika 56 Render Br. 7*



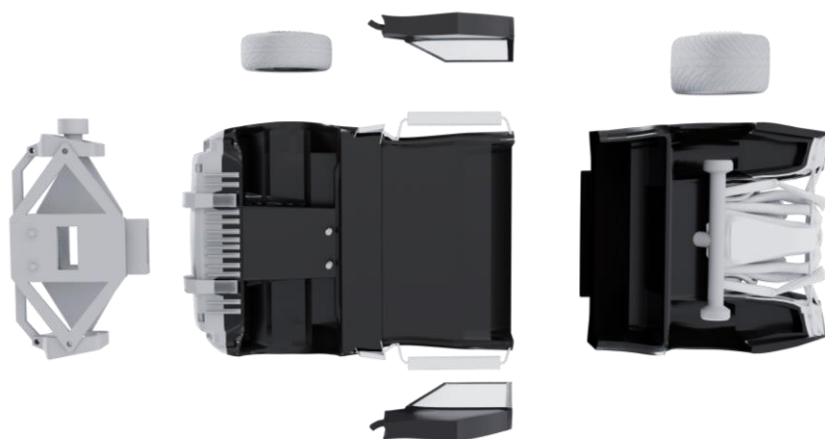
*Slika 57 Render Br. 8*



## 6. Uvod u 3D ispis i obradu

3D ispis modela i njegova obrada spada u najzahtjevniji dio ovog rada. Kako se može vidjeti u prethodnim poglavljima, automobil je rađen gotovo 1:1 originalnom autu ali ono što se ne vidi je zapravo i najveći problem što se tiče 3D ispisa. Naime, riječ je o praznim dijelovima i dijelovima modela bez lica. Prilikom modeliranja, teksturiranja i renderiranja ova lica su s razlogom uklonjena kako bi se što više optimizirao cijeli proces s obzirom na jačinu korištene tehnologije za renderiranje. Velik dio takvih lica zato nije postojao i dijelovi modela za koje se ne želi da budu viđeni ne postoje. Ovo stvara problem kod 3D ispisa i same obrade iz tog razloga što program za rezanje i pripremu modela ne može popuniti rupe te ih onda spaja sa najbližom plohom i ispunjava nepravilno.

Ove nepravilnosti često rezultiraju i pogreškom i odbijanjem rezanja modela prije nego se rupe ne poprave. Cijeli proces popravka može biti jako zahtjevan ovisno o kompleksnosti modela na kojem se radi.



*Slika 58 Prikaz donje strane automobila*

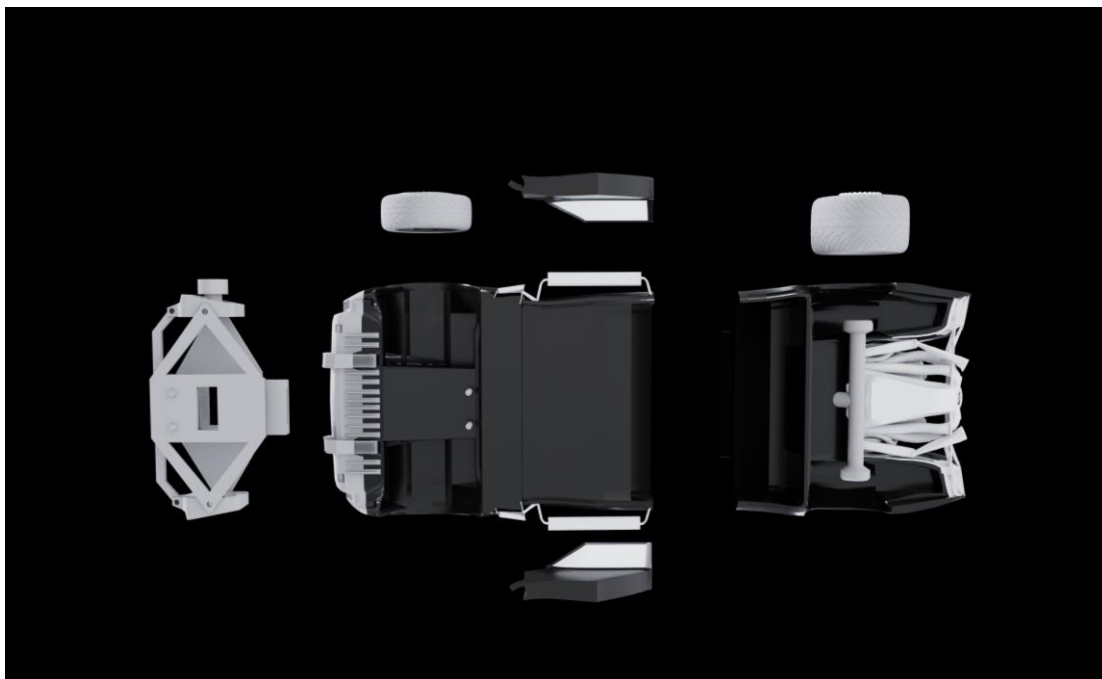
### 6.1. Priprema

Kako bi model bio uspješno ispisan na 3D printeru, potrebna je dobra priprema modela kako je spomenuto u uvodu ove cjeline. Prije pripreme, model automobila nije imao lica sa donje strane i interijer. Popravak modela na ovim mjestima odradio se na jednostavan način je je lijeva i desna strana simetrična pa je spajanje u sredini bilo moguće. Neki manji dijelovi zahtijevaju ručno precizno podešavanja kako bi se ostvarila ciljana obrada. Jedni od ovakvih dijelova su prednji blatobrani i prostor između prednjih guma u koji dolazi osovina sa suspenzijom.

Stražnja strana spajana je na način da se što više optimizira prostor sa praznim prostorom kako bi se smanjilo vrijeme ispisa i potrebnog materijala. Ovo je učinjeno kroz razne udubine i rezanja modela.

Priprema glavnog dijela modela za 3D ispis odrađuje se na način da se ostvari što veća kvaliteta u odnosu na dostupnu veličinu iskoristivog prostora prilikom ispisa. Printer koji je korišten prilikom ispisa karoserije je Ender 3V2 kojem je veličina ispisnog prostora 220x220x250 milimetara sa mlaznicom promjera 0.4mm. Kako bi sitni detalji bili vidljivi nakon ispisa, karoserija je rezana na sredini i svaka polovica ispisana vertikalno. Vertikalnim položajem polovica se osigurava precizniji ispis sitnih detalja, mogućnost većeg ispisa, manja količina potpornog materijala i lakše uklanjanje istog.

Prednje i zadnje felge posložene su donju ravnu stranu i također ispisane vertikalno. Vrata su jedini dio koji je ispisan horizontalno kako bi se dobila čvrstoća na krajevima koji ulaze u karoseriju i drže vrata u autu.

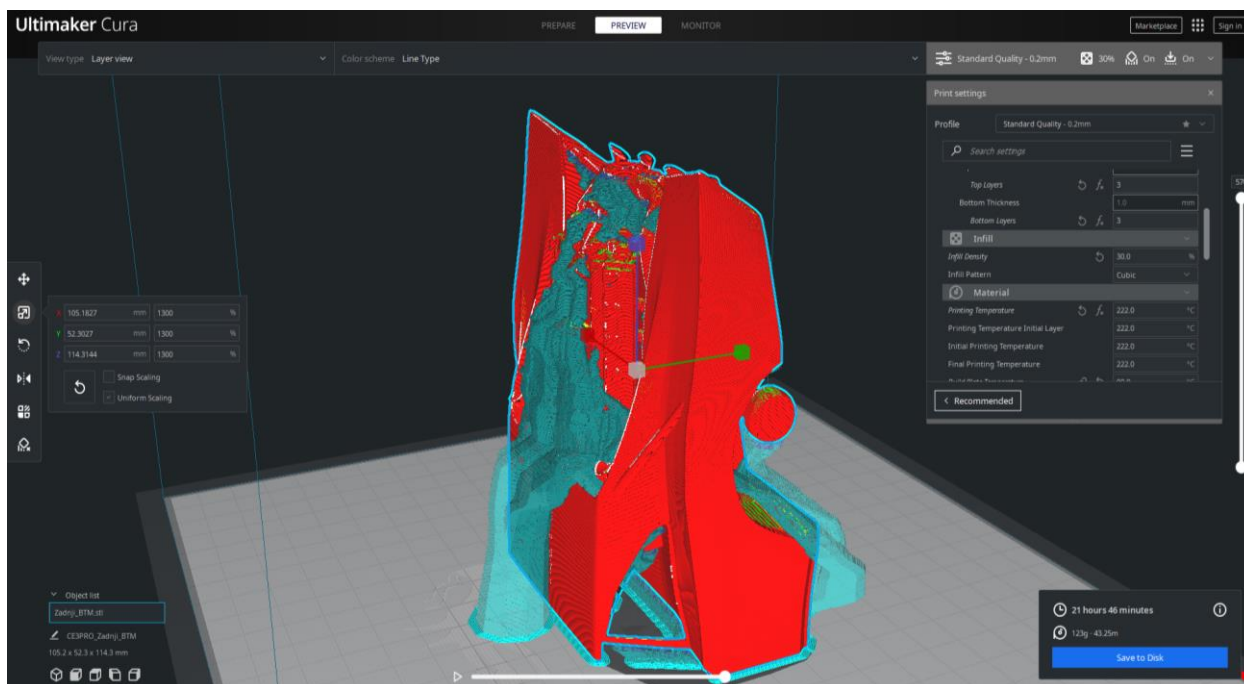


*Slika 59 Prikaz donje strane automobila nakon pripreme za 3D ispis*

## **6.2. 3D ispis**

Kod ispisa dijelova automobila korištena su dva printera Ender 3 serije kako bi se ubrzao proces ispisa i ispis posebnih fleksibilnih materijala. Dijelovi su izvezeni iz Maye u .stl formatu uvezeni u Ultimaker Cura program za daljnju pripremu. Zadnji dio automobila ispisan je zajedno sa motorom i ostalim dijelovima. Ukupno vrijeme iznosilo je 22 sata i 19 minuta i utrošeni materijal od 123 grama uključujući potporni materijal koji je na slici prikazan sa plavom bojom.

Odabrana rezolucija ispisa je 0.2mm s obzirom na veličinu modela. Na rezoluciji od 0.1mm model bi bio duplo precizniji ali bi i vrijeme ispisa bilo duplo što je nepotrebno i neprihvatljivo.

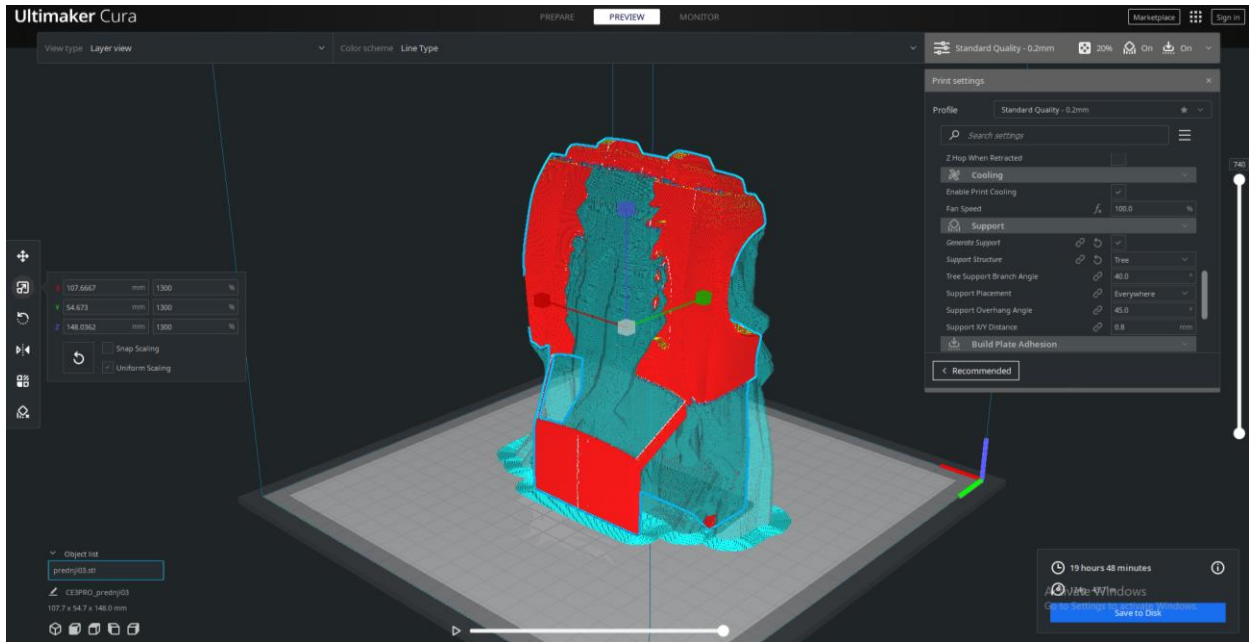


Slika 60 Prikaz stražnje polovice automobila u Ultimaker Cura programu

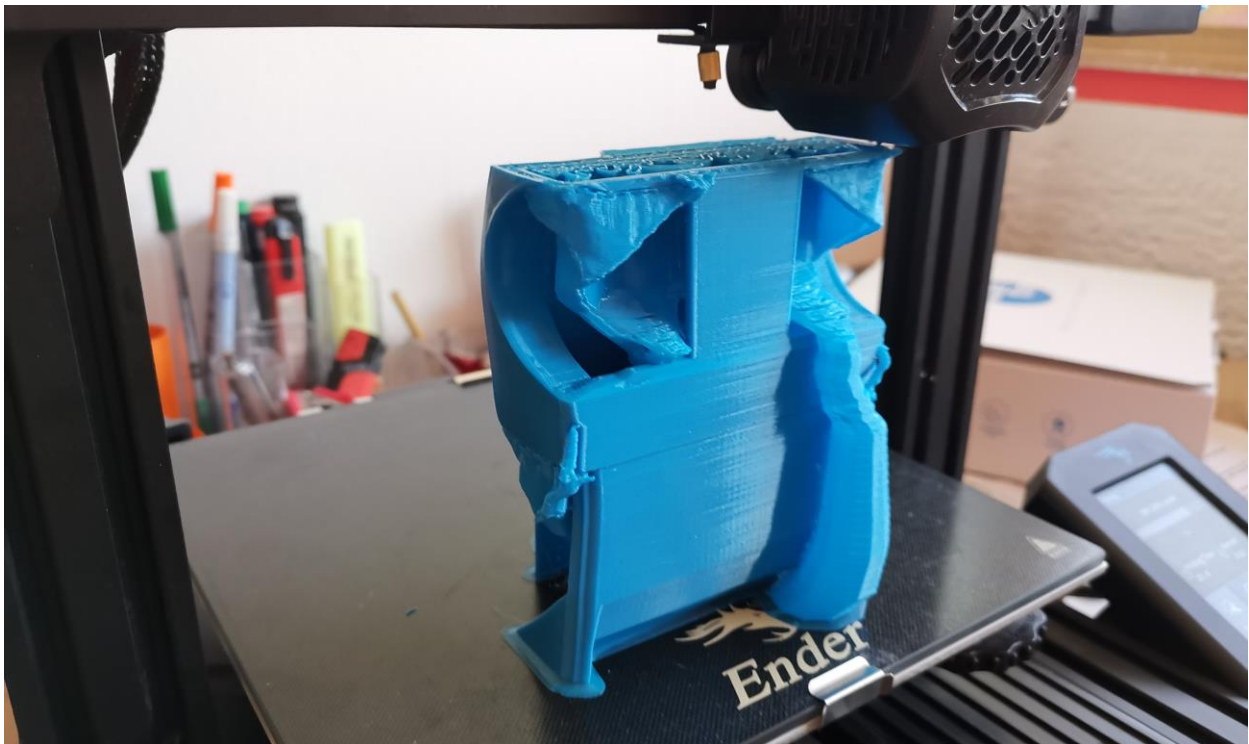


Slika 61 Prikaz stražnje strane automobila nakon 3D ispisa u sivom PETG materijalu

Prednji dio modela zahtijevao je veću podjelu pa je tako šasija ispisana posebno za što je bilo potrebno 24 sata i 180 grama materijala na rezoluciji od 0.2 milimetra. Manja rezolucija rezultirala bi boljim detaljima haube ali isto tako drastično diže vrijeme ispisa i potrebnog materijala.



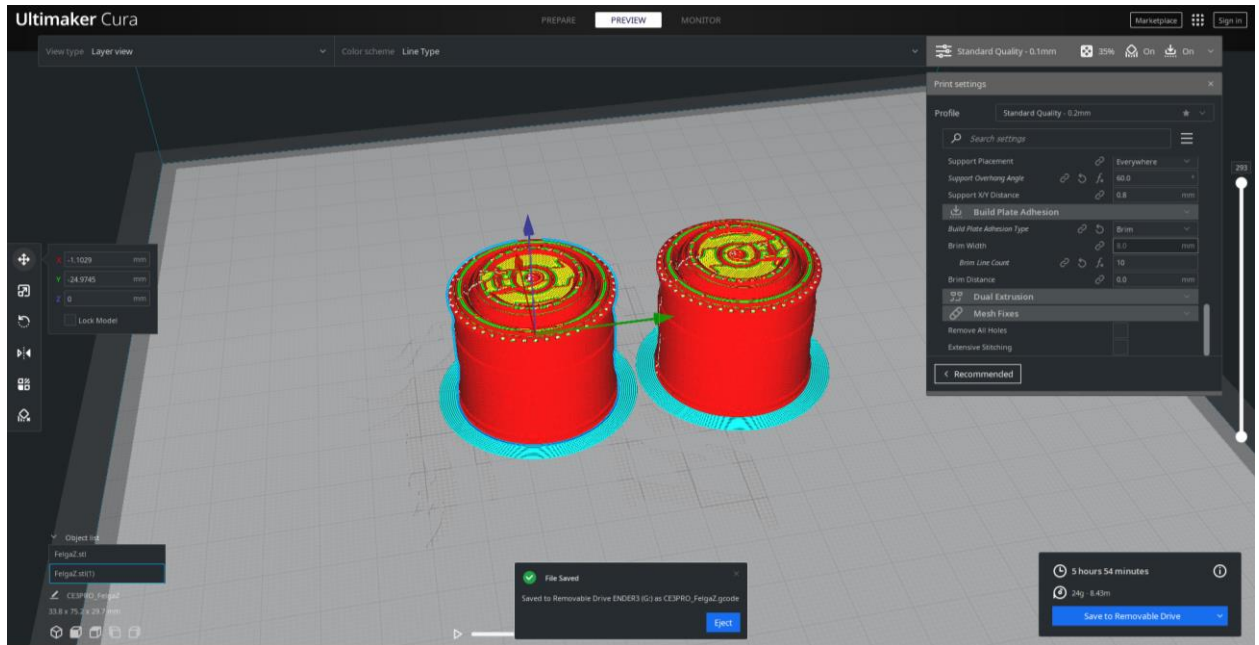
*Slika 62 Prikaz prednje polovice automobila u Ultimaker Cura programu*



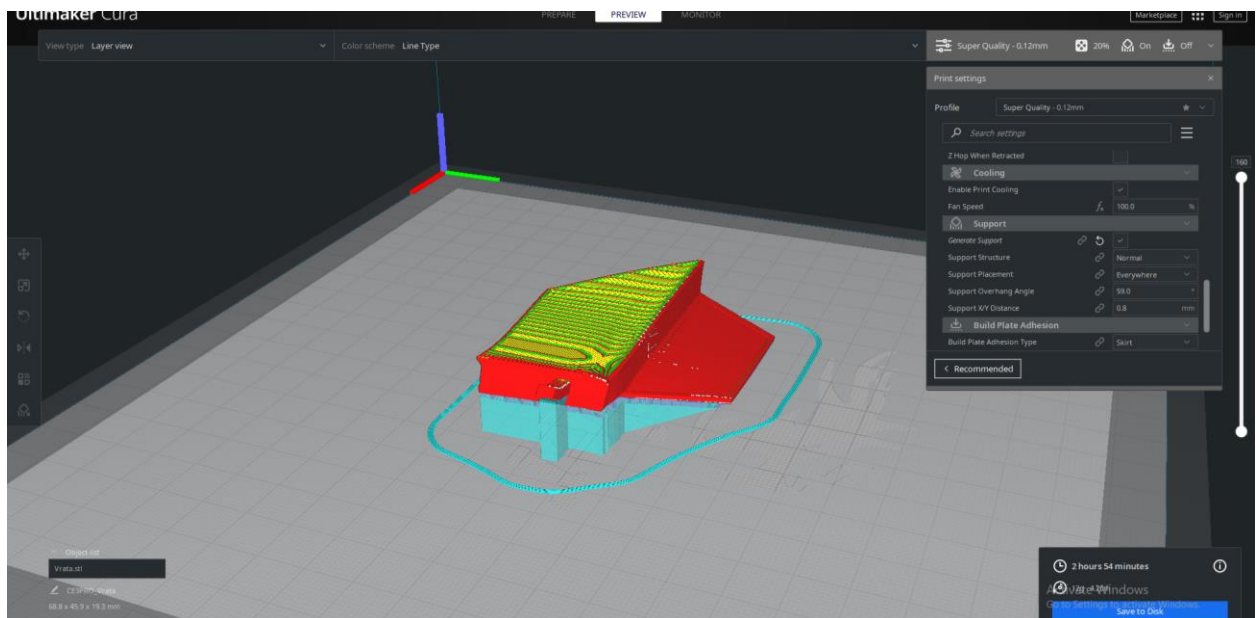
*Slika 63 Prikaz stražnje strane automobila nakon 3D ispisa u plavom PETG materijalu*



Lijeva i desna felga zahtijevale su ispis na rezoluciji od 0.1mm kako bi se postigla željena razina sitnih detalja na njima (matica i ostalo). Veća rezolucija na precizniji ispis korištena je i kod ispisa vrata iz razloga što su ovi modeli puno manje veličine i ispis im nije bio duži od 3 sata po modelu.



Slika 64 Prikaz Stražnjih felgi u Ultimaker Cura programu za pripremu za 3D ispis

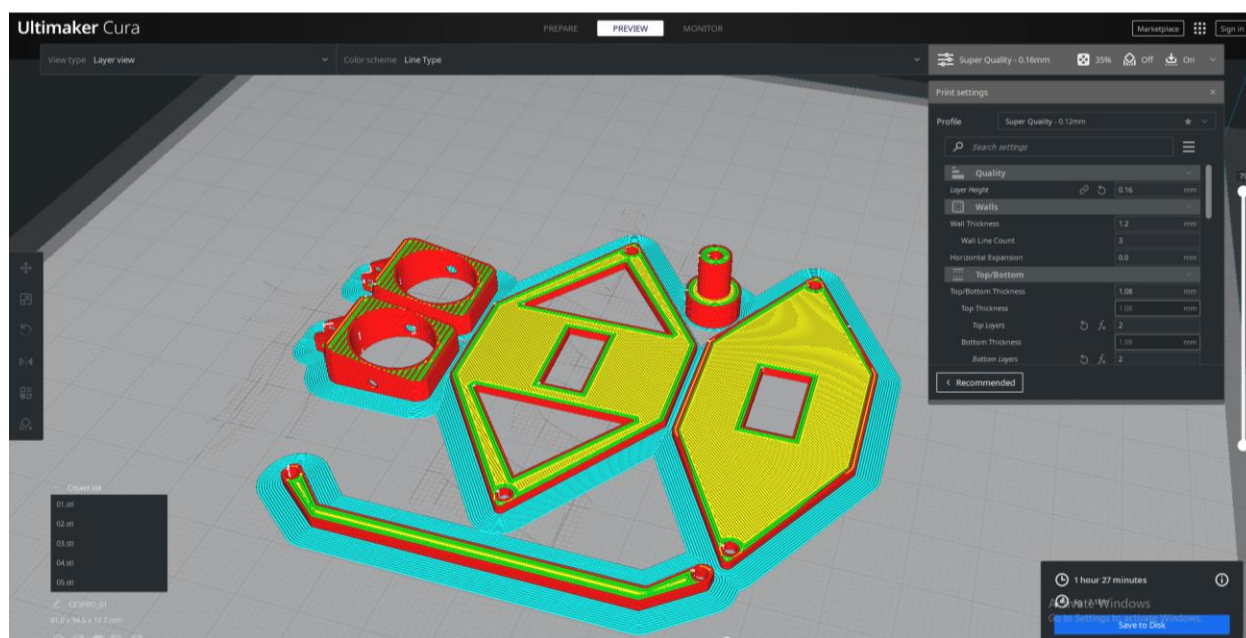


Slika 65 Prikaz lijevih vrata u UC programu prilikom pripreme za 3D ispis

Jednostavniji modeli ne zahtijevaju veliku količinu potpornog materijala kao što je to bio slučaj kod ispisa šasije. Uz to, manja količina detalja i položaj modela smanjuje potrebu za potporama i vrijeme ispisa ovih dijelova.

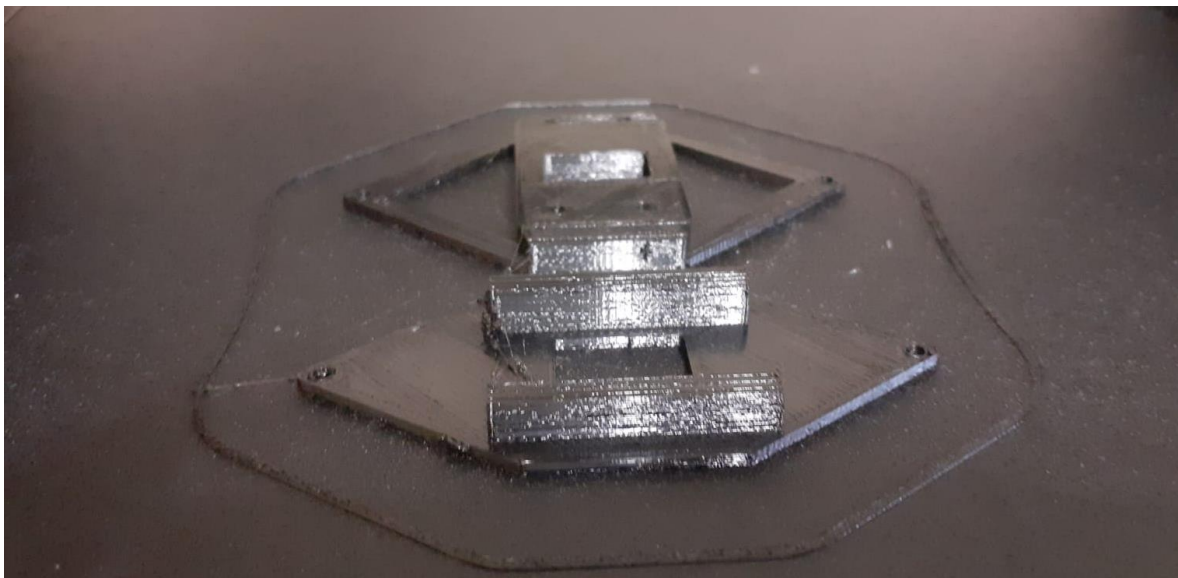
Finalno, dolazi se do zadnjih dijelova koji su ispisani sa fleksibilnim crnim materijalom i kombinirani sa krutom plastikom. Ovdje je riječ prvenstveno o gumama. Gume su rađene na rezoluciji 0.1mm kako bi sitni detalji bili vidljivi i guma izgledala što sličnije stvarnoj. Sve četiri gume rađene su na Ender 3 S1 printeru iz razloga što on sadrži način ispisa kroz direktan pogon sa kojim je moguć ispis fleksibilnih materijala većom kvalitetom. Uz gume, na ovom printeru rađeni su i neki dijelovi prednjeg ovjesa koji su kasnije spajani sa elastičnim kopijama i ugrađeni na model.

Dijelovi ovjesa specifični su po tome što su rađeni od različitih materijala na različitim rezolucijama (0.12mm – 0.2mm) što se može vidjeti na slici ispod.

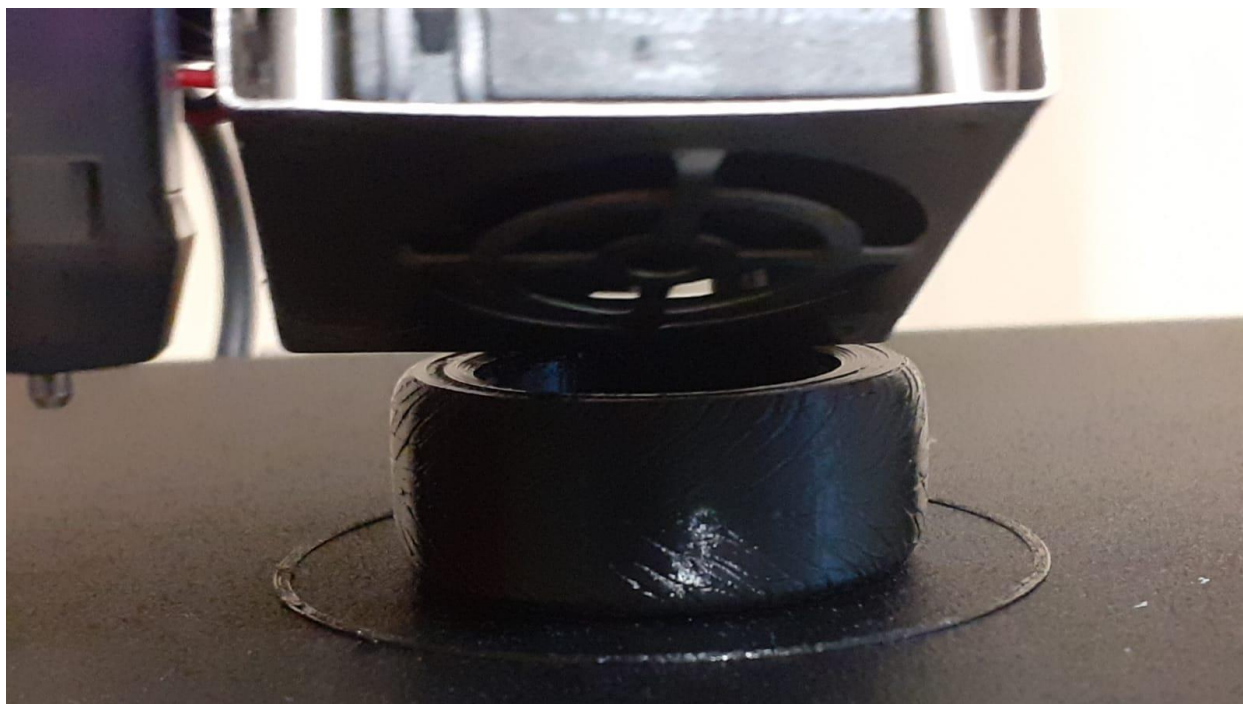


*Slika 66 Prikaz dijelova osovine i suspenzije u UC programu prilikom pripreme za 3D ispis*





*Slika 67 Prikaz dijelova suspenzije ispisanih sa gumenim materijalom*



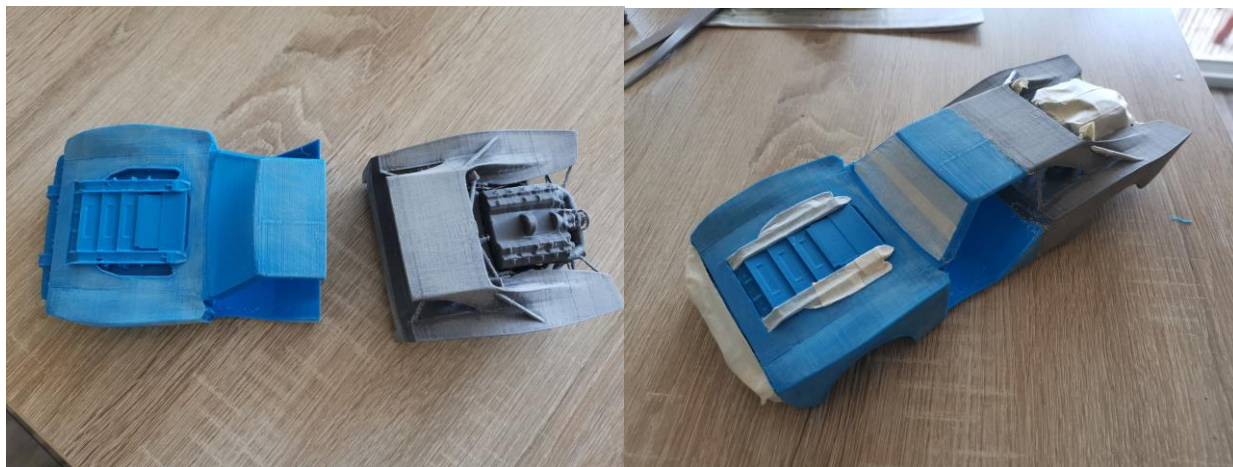
*Slika 68 Prikaz prve gume kako se printa sa gumenim materijalom*



*Slika 69 Prikaz stražnje isprintane gume*

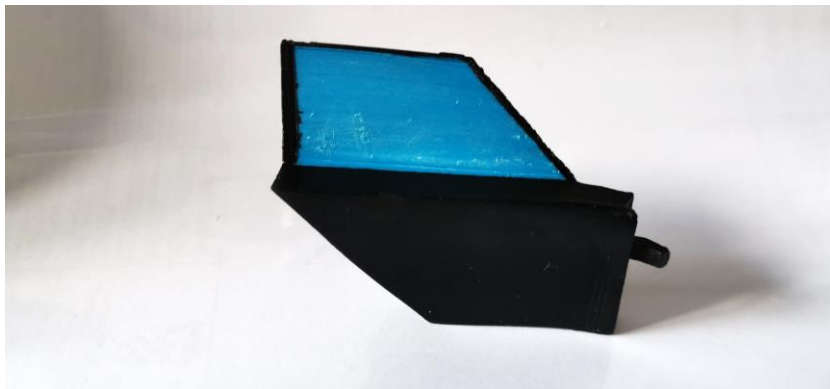
### **6.3. Obrada**

Kako bi auto izgledao što sličnije VFX renderu iz poglavlja 5.6, potrebno je odraditi temeljitu obradu modela automobila. Obrada je podijeljena na nekoliko cjelina. Prva cjelina odnosi se na temeljito brušenje modela i njegovo pripremanje za spajanje i bojanje. Ovime se povećava vjerojatnost uspjeha nanošenja boje u ravnomjernoj količini i isto tako uklanjaju sve nepravilnosti stvorene prilikom ispisa. Brušenje se odrađuje sa nekoliko različitih vrsta brus papira i njegovih čvrstoća i finoća. Svaki prijelaz sa drugom finoćom čini podlogu sve više jednakom i miče slojeve ispisa.



*Slika 70 (Lijevo) Brušene polovice prije spajanja – (Desno) Spojene polovice i maskirane za bojenje*

Slike iznad prikazuju dvije glavne polovice nakon obrade i brušenja. Površina se izgladila do razine gdje linije ispisa postaju slabo vidljive kako bi se dobila površina što sličnija stvarnom automobilu. Nakon spajanja dvije polovice, sa trakom za bojanje se prikrivaju dijelovi koji neće biti obojani u crnu mat boju. Nakon prvog sloja crne mat boje, vrata se također prvo obrađuju, prikrivaju sa trakom i zatim se na njih nanosi prvi sloj boje.



*Slika 71 Prikaz obojanih desnih vrata*

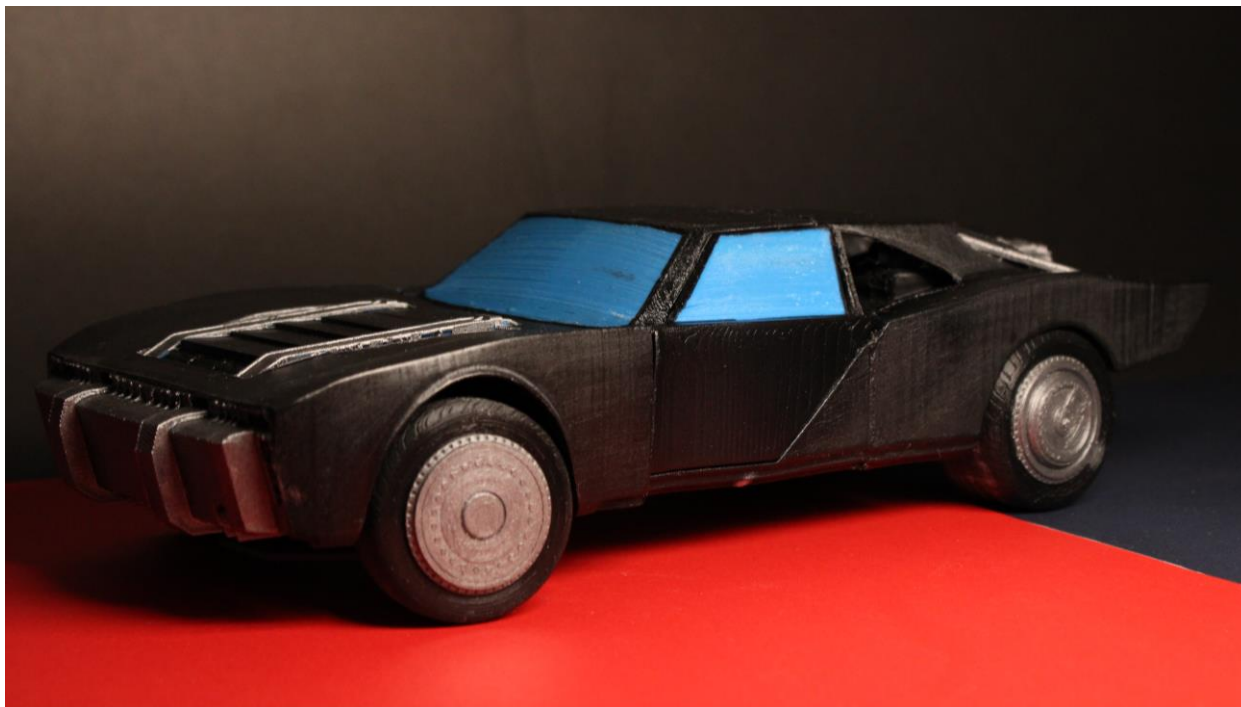
Nakon bojanja glavnih dijelova kreće maskiranje detalja haube i branika nakon čeka slijedi ručno nanošenje metalik boje. Ručno bojanje preciznije je od nanošenja sprejom i lakše se nanosi. Metalik bojom obojan je i motor. Nakon sušenja nanosi se novi sloj i odrađuju popravci.



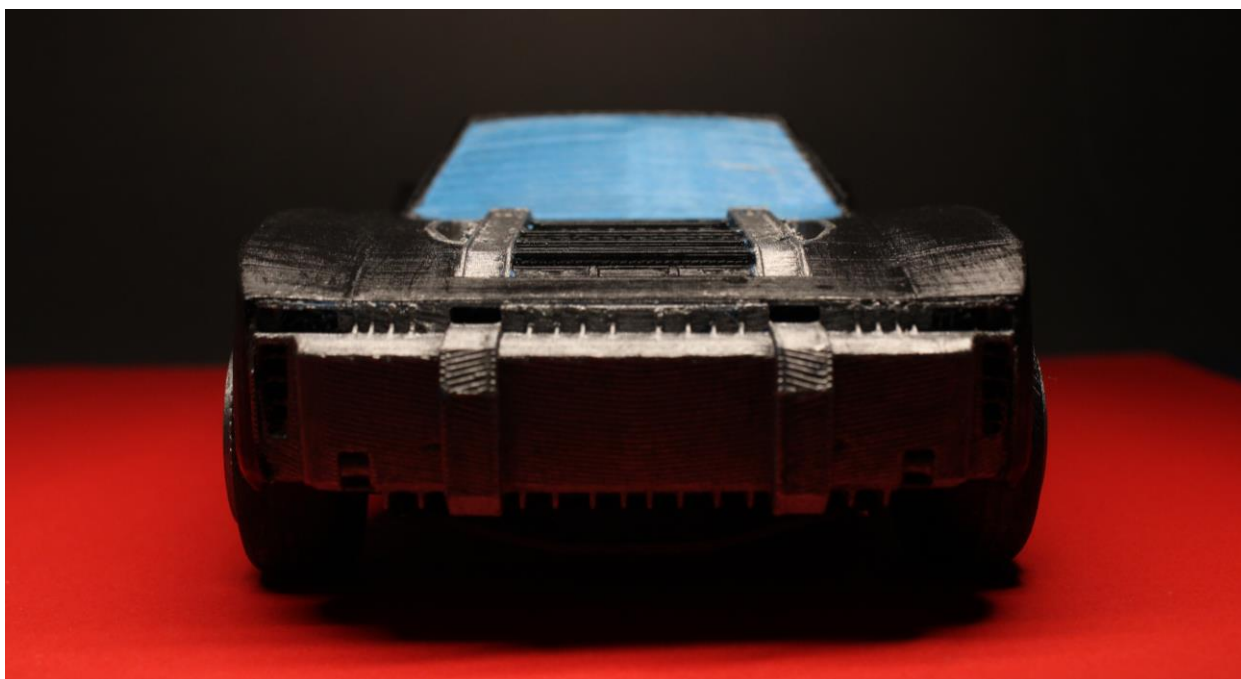
*Slika 72 Popravci bojenja*



#### 6.4. Finalne slike



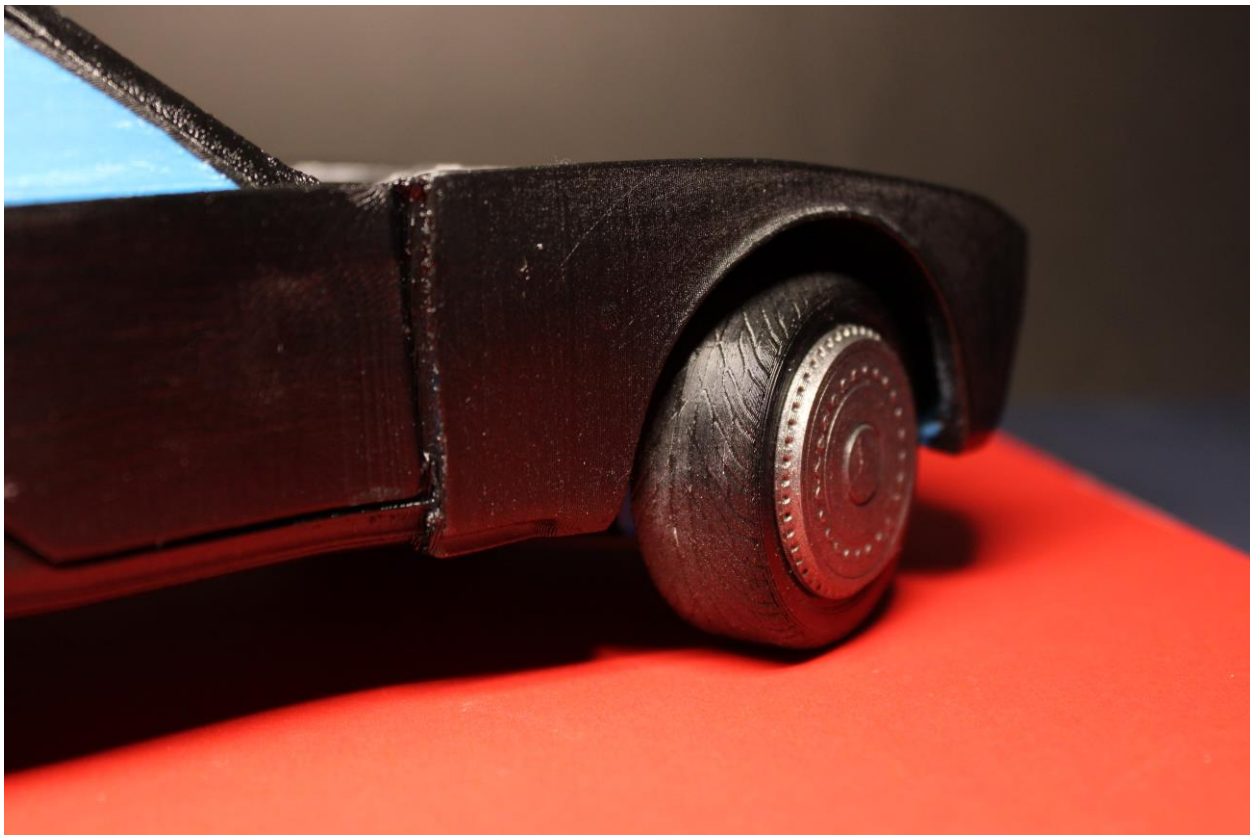
*Slika 73 Prikaz bočne strane*



*Slika 74 Prikaz prednje strane*



*Slika 75 Prikaz bočne stražnje strane*



*Slika 76 Prikaz detalja kotača*

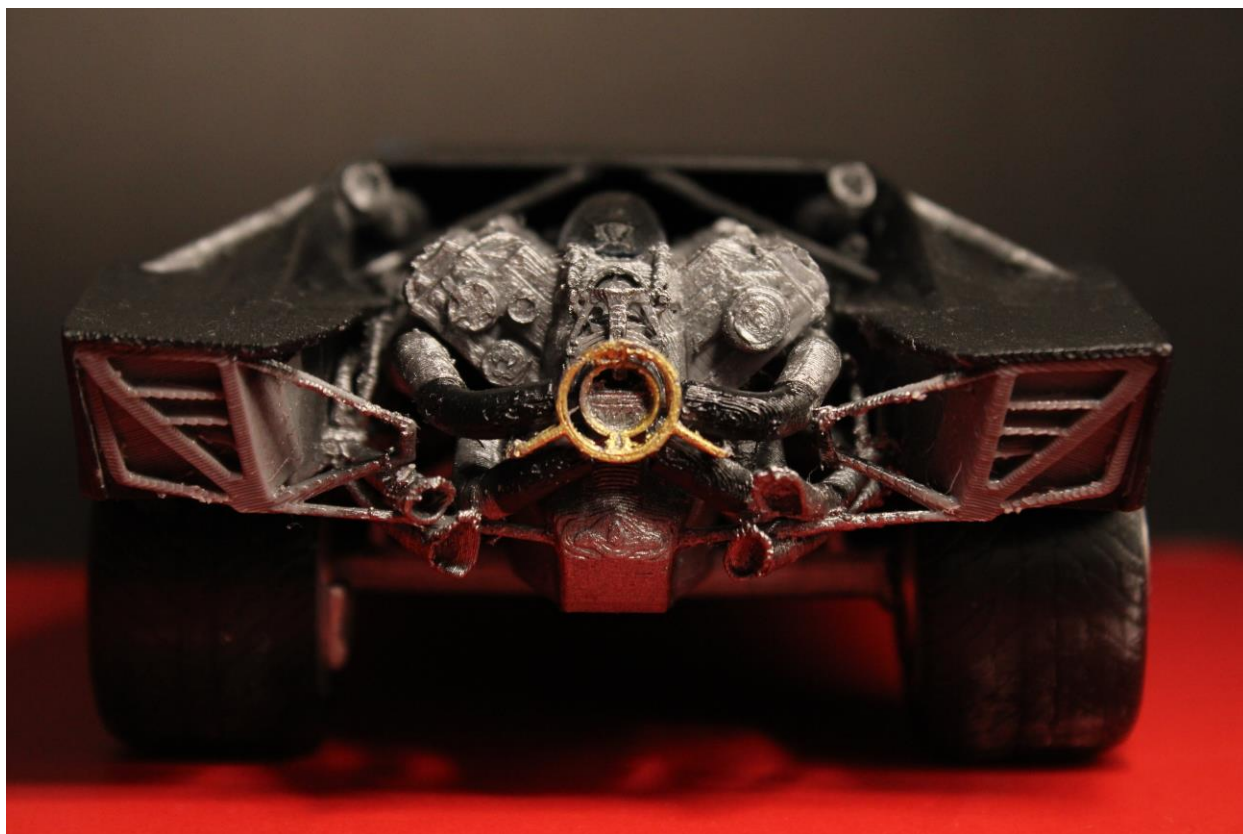


*Slika 77 Prikaz detalja branika*



*Slika 78 Prikaz detalja haube*





*Slika 79 Prikaz detalja motora 01*



*Slika 80 Prikaz detalja motora 02*

## 7. Zaključak

Tema ovog završnog rada bila je modeliranje i 3D ispis modularnog modela automobila ali cilj nije bio samo prikazati fizički produkt nego već i proces izrade i stvaranje realističnih rendera kao proces vizualizacije. Cijeli rad koncipiran je na način da prolazi kroz svaki od provedenih procesa i daje detaljan uvod i opis u tu cjelinu. Početak se odnosi primarno na teoriju u kojoj je predstavljena cijela tematika rada, povijest korištenih tehnologija i materijala te početci i povijest automobilske dizajna. Središnji dio rada vezan je uz 3D ispis i tehnologije koje su korištene prilikom izrade. Ovaj dio zajedno sa softverom se zatim nadovezuje na praktični dio u kojem je primarna riječ na procesima modeliranja automobila, tehnikama korištenim prilikom izrade i brojnim slikovnim prikazima koraka. Praktični dio sadržajno je najopsežniji dio rada čime je ujedno i najzahtjevniji dio. Sljedeći dio odnosi se na 3D ispis prethodno prikazanog modela. 3D ispis zahtijevao je posebnu obradu i pripremu modela što ga čini drugim vremenski najzahtjevnijim dijelom. Za izradu modela automobila bilo je potrebno nešto više od mjesec dana i otprilike 250 sati rada što ne uključuje dio 3D ispisa, pripreme i obrade koja dodaje još nešto više od 100 sati rada.

Prilikom izrade korištena su znanja stečena tijekom trajanja preddiplomskog studija Multimedije, vlastitog istraživanja i brojnih tečajeva. Glavni cilj izrade rendera i fizičkog modela je izveden uspješno čime je ostvaren cilj postavljen za ovaj završni rad.

## 8. Literatura

1. **2022..** *Redshift*. [Mrežno] 07. Lipanj 2022. <https://redshift.autodesk.com/articles/history-of-3d-printing>.
2. **Anderson, Brad. 2022.** *Carscoops*. [Mrežno] 2.. Lipanj 2022. <https://www.carscoops.com/2022/02/the-new-batmobile-is-a-tough-muscle-car-with-a-twin-turbo-v8/>.
3. **Dinko Mikulić, Željko Marušić. 2022.** [Mrežno] 10.. Lipanj 2022. [Citirano: 10.. Lipanj 2022.] <https://hrcak.srce.hr/pretraga?q=ISTRA%C5%BDIVANJE+I+RAZVOJ+DIZAJNA+AUTOMOBILA>.
4. **Driving, Defensive. 2015.** *Defensive Deiving*. [Mrežno] 22. Studeni 2015. [Citirano: 9. Lipanj 2022.] <https://www.defensivedriving.com/blog/car-design-history-styles-through-the-decades/>.
5. **FormLabs.** *FormLabs*. [Mrežno] [Citirano: 12. Lipanj 2022.] <https://formlabs.com/eu/blog/3d-printing-materials/>.
6. **Gutman, Andrew.** *CarScoops*. [Mrežno] [Citirano: 10. Lipanj 2022.] <https://www.carscoops.com/2021/02/matador-concept-uses-lamborghinis-past-to-imagine-their-car-of-the-future/>.
7. **HUBS.** [Mrežno] [Citirano: 16. Lipanj 2022.] <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/>.
8. **InspirationTuts.** *InspirationTuts*. [Mrežno] [Citirano: 15. Lipanj 2022.] <https://inspirationtuts.com/what-is-maya-history/>.

- 9. Mobsby, Niall.** *All3DP*. [Mrežno] [Citirano: 08. Lipanj 2022.]  
<https://all3dp.com/2/what-is-substance-painter-simply-explained/>.
- 10. Paulster2.** *Nakrive*. [Mrežno] [Citirano: 20. Lipanj 2022.]  
<https://automobili.narkive.hr/goAczEv9/razlike-izme-u-ovjesa-vu-ne-ipke-i-potisne-gredi-za-i-protiv>.
- 11. Shutterstock.** Shutterstock. [Mrežno] [Citirano: 8. Lipanj 2022.]  
<https://www.shutterstock.com/blog/car-design-throughout-history>.
- 12. SPC.** SPC. [Mrežno] [Citirano: 12. Lipanj 2022.]  
<https://www.sharrettsplating.com/blog/materials-used-3d-printing/>.
- 13. Studio, Render4Tomorrow.** R4T. [Mrežno] [Citirano: 13. Lipanj 2022.]  
<https://www.render4tomorrow.com/photorealistic-rendering>.
- 14. Wakeman, Gregory.** Inverse. [Mrežno] [Citirano: 08. Lipanj 2022.]  
<https://www.inverse.com/entertainment/batman-interview-james-chinlund-batmobile>.
- 15. Wikipedia.** [Mrežno] [Citirano: 20. Lipanj 2022.] [https://en.wikipedia.org/wiki/High-dynamic-range\\_rendering](https://en.wikipedia.org/wiki/High-dynamic-range_rendering).

## 9. Popis slika

Slika 1 Prvo vozilo na parni pogon .....	3
Slika 2 Oldsmobile model 6C.....	3
Slika 3 Skica vozila na papiru .....	4
Slika 4 Ručno crtani dizajn automobila.....	4
Slika 5 Prvi računalni prikaz vizuala automobila.....	5
Slika 6 Primjer auto dizajna.....	5
Slika 7 Primjer procesa dizajna automobila .....	6
Slika 8 primjer 3D modeliranja automobila na temelju skica .....	6
Slika 9 Renderirani prikaz automobila .....	7
Slika 10 Prikaz skica dizajnera Jamesa Chinlunda.....	8
Slika 11 Prvi 3D printer.....	9
Slika 12 Infografika o vrstama 3D printera .....	10
Slika 13 Primjer razlike između SLA i DLP načina ispisa.....	11
Slika 14 Prikaz vrsta materijala na predmetu .....	12
Slika 15 Tablica čvrstoće materijala.....	13
Slika 16 Prikaz prednosti i mana materijala .....	13
Slika 17 Korisničko sučelje programa Maya.....	14
Slika 18 Korisničko sučelje programa Substance Painter .....	15
Slika 19 Reference.....	16
Slika 20 Postavljanje referenci .....	17
Slika 21 Početak modeliranja .....	17
Slika 22 Prikaz polovice modeliranog vozila .....	18
Slika 23 Prikaz početne faze modelirane šasije.....	18
Slika 24 Modelirani detalj haube.....	19
Slika 25 Prikaz detalja branika i haube .....	19
Slika 26 Prikaz detalja prednjeg lijevog panela.....	20
Slika 27 Prikaz zadnjeg dijela automobila i svjetla.....	20
Slika 28 prikaz finalne razine modeliranja automobila .....	21
Slika 29 Referenca gume i modelirana guma .....	21
Slika 30 Prikaz modeliranih guma i felgi .....	22
Slika 31 Prikaz početne faze modeliranja motora .....	22
Slika 32 Prikaz srednje faze modeliranja motora .....	23
Slika 33 prikaz finalne faze modeliranja motora.....	23



Slika 34 Finalan model automobila nakon spajanja svih detalja i motora .....	24
Slika 35 Skica referentne suspenzije formule.....	24
Slika 36 Prikaz stvarne suspenzije.....	25
Slika 37 Prikaz početka skiciranja i modeliranja.....	25
Slika 38 Prikaz dijelova suspenzije i ovjesa u Mayi .....	26
Slika 39 Prikaz dijelova suspenzije i ovjesa nakon ispisa .....	26
Slika 40 Prikaz spojenih dijelova ovjesa i suspenzije .....	27
Slika 41 UV mapiranje automobila .....	27
Slika 42 Prikaz UV mapiranja branika .....	28
Slika 43 Teksturiranje u Substance Painter programu.....	28
Slika 44 Prikaz stiliziranih tekstura .....	29
Slika 45 Prikaz relističnih tekstura .....	29
Slika 46 Prikaz postavljanja scene i kadriranja .....	30
Slika 47 Prikaz renderiranja .....	30
Slika 48 Prikaz renderiranja svijetla .....	31
Slika 49 Prikaz obrade u Photoshopu .....	31
Slika 50 Render Br. 1 .....	32
Slika 51 Render Br. 2 .....	32
Slika 52 Render Br. 3 .....	33
Slika 53 Render Br. 4 .....	33
Slika 54 Render Br. 5 .....	34
Slika 55 Render Br. 6 .....	34
Slika 56 Render Br. 7 .....	35
Slika 57 Render Br. 8 .....	35
Slika 58 Prikaz donje strane automobila .....	36
Slika 59 Prikaz donje strane automobila nakon pripreme za 3D ispis .....	37
Slika 60 Prikaz stražnje polovice automobila u Ultimaker Cura programu .....	38
Slika 61 Prikaz stražnje strane automobila nakon 3D ispisa u sivom PETG materijalu .....	38
Slika 62 Prikaz prednje polovice automobila u Ultimaker Cura programu .....	39
Slika 63 Prikaz stražnje strane automobila nakon 3D ispisa u plavom PETG materijalu .....	39
Slika 64 Prikaz Stražnjih felgi u Ultimaker Cura programu za pripremu za 3D ispis .....	40
Slika 65 Prikaz lijevih vrata u UC programu prilikom pripreme za 3D ispis .....	40
Slika 66 Prikaz dijelova osovine i suspenzije u UC programu prilikom pripreme za 3D ispis.....	41
Slika 67 Prikaz dijelova suspenzije ispisanih sa gumenim materijalom .....	42
Slika 68 Prikaz prve gume kako se printa sa gumenim materijalom.....	42

Slika 69 Prikaz stražnje isprintane gume.....	43
Slika 70 (Lijevo) Brušene polovice prije spajanja – (Desno) Spojene polovice i maskirane za bojenje .....	43
Slika 71 Prikaz obojanih desnih vrata .....	44
Slika 72 Popravci bojenja .....	44
Slika 73 Prikaz bočne strane.....	45
Slika 74 Prikaz prednje strane .....	45
Slika 75 Prikaz bočne stražnje strane .....	46
Slika 76 Prikaz detalja kotača.....	46
Slika 77 Prikaz detalja branika .....	47
Slika 78 Prikaz detalja haube.....	47
Slika 79 Prikaz detalja motora 01 .....	48
Slika 80 Prikaz detalja motora 02 .....	48

—  
HABON  
ALIBERAINO  
—

Sveučilište  
Sjever



—  
SVEUČILIŠTE  
SIEVER  
—

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, NINO KOSTANJEVEC (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom MODELIRANJE I 3D ISPIŠ MODULARNOG MODELA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez <sup>AVTORSTVA</sup> pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Nino Kostanjevec  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, NINO KOSTANJEVEC (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom MODELIRANJE I 3D ISPIŠ MODULARNOG MODELA (upisati naslov) čiji sam autor/ica. AUTOMOBILA

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Nino Kostanjevec  
(vlastoručni potpis)