

# Unapređenje procesa 3D oblikovanja dodavanjem dodatne dimenzije - vizualizacije

---

Klobučarić, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:638201>

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

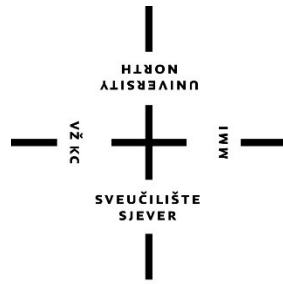
Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-14**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

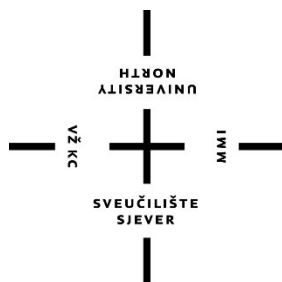
**Završni rad br. 350/PS/2021**

**Unapređenje procesa 3D oblikovanja dodavanjem dodatne  
dimenzije – vizualizacije**

**Karlo Klobučarić, 2792/336**

Varaždin, srpanj 2021. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Strojtarstvo

Završni rad br. 350/PS/2021

## Unapređenje procesa 3D oblikovanja dodavanjem dodatne dimenzije – vizualizacije

**Student**

Karlo Klobučarić, 2792/336

**Mentor**

Siniša Švoger, mag. ing. mech.

Varaždin, spranj 2021. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Karlo Klobučarić	JMBAG	0336028537
DATUM	KOLEGIJ: 3D oblikovanje		
NASLOV RADA	Unapređenje procesa 3D oblikovanja dodavanjem dodatne dimenzije - vizualizacije		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Improving the 3D design process by adding an additional dimension - visualization		
MENTOR	Siniša Švoger	ZVANJE	mag.ing.mech.
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof.dr.sc. Ante Čikić 2. Božidar Hršak, mag.ing.mech., viši predavač 3. Siniša Švoger, mag.ing.mech., predavač - mentor 4. Mario Pintarić, mag.ing.mech., predavač - rezervni član 5.		

## Zadatak završnog rada

BRZOJ	350/PS/2021
ODIS	Potrebno je osmisлити poboljšanje procesa 3D oblikovanja modela sa dodatnim informacijama u obliku vizualizacije (slika). U tom cilju potrebno je: - Analizirati dostupne postojeće programske alate za 3D oblikovanje s fokusom na SolidWorks 3D MCAD programski sustav - Opisati alate za vizualizaciju i prikaz renderiranih, detaljnih dijelova i sklopova unutar SolidWorks-a (Render tools, Visualise) - Prema vlastitoj ideji, a na temelju postojećih alata unutar SolidWorks MCAD sustava razraditi proces poboljšanja 3D oblikovanja modela u obliku dodatnih informacija (slika) - Izraditi primjere poboljšanih 3d modela pomoću slika dobivenih termovizijskom kamerom i drugim metodama (slike dobivene analizom modela na čvrstoću) - Opisati tehnologiju dobivanja slika pomoću termovizijske kamere - Pomoću aditivnih tehnologija izraditi navedene modele u boji - Predložiti moguću primjenu u praksi sa sugestijama daljnjeg poboljšanja i razvoja
ZADATAK URUČEN	16.06.2021.



Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu. Zahvaljujem se roditeljima, svim članovima obitelji i svim bližnjima koji su mi omogućili i bili najveća potpora tijekom cijelog studija. Također se zahvaljujem i svima koji su na ikakav način doprinijeli mom uspješnom završetku studija. Posebne zahvale želim dati mentoru g. Siniši Švogeru mag. ing. mech., na nesebičnoj pomoći i potpori tijekom izrade preddiplomskog rada i općenito tijekom studija.

Karlo Klobučarić

## Sažetak

Često se koristi 3D modeliranje i 3D modele da bi se proizvod, često umanjen, prikazao nekome, dočarao, prezentirao ili predstavio. Dok se izmisli novi proizvod ili strojni dio prvo se mora napraviti prototip toga proizvoda i ako zadovoljava sve kriterije onda se ide s njim u proizvodnju.

S 3 dimenzije dobiva se informaciju o dimenzijama i gabaritima proizvoda. Postoji li mogućnost da se ostane unutar te tri dimenzije, a da se promatraču pruža više informacija o proizvodu?

Osim dimenzija proizvoda, bojom se može dati informaciju promatraču na kojem dijelu se proizvod zagrijava, gdje je toplije, a gdje hladnije. Također, bojom se može promatraču dati do znanja o čvrstoći konstrukcije ili strojnog elementa, tj. gdje će se javiti naprezanja, a posljedično će se tamo javiti i deformacije. Na taj način se proizvodu daje dodatna dimenzija i takvo modeliranje s informacijom o temperaturi, čvrstoći ili nečem trećem naziva se 3,5D modeliranje.,

Ključne riječi: 3,5D tehnologija, dodatna informacija o modelu, 3D printanje u boji, unapređenje 3D modeliranja, vizualizacija

## Summary

3D design and 3D models are often used to show a product, often scaled down, to someone, portray, present or present. While inventing a new product or machine part, a prototype of that product must first be made and if it meets all the criteria then it goes with it into production.

With 3 dimensions, information on product dimensions and dimensions is obtained. Is it possible to stay within these three dimensions without providing the observer with more information about the product?

In addition to the dimensions of the product, the colour can give information to the observer on which part the product is heated, where it is warmer, and where it is colder. Also, the colour can let the observer know about the strength of the structure or machine element, that is where stresses will occur, and consequently deformations will occur there. In this way, the product is given an additional dimension and such design with information about temperature, strength or something else is called 3.5D design.

Key words: 3.5D technology, additional model information, 3D colour printing, 3D design enhancement, visualization



## **Popis korištenih kratica**

<b>NURBS</b>	Non-Uniform Rational Bezier Splines
<b>CV</b>	Control Vertex
<b>IC</b>	Infracrveno
<b>EM</b>	Elektromagnetski
<b>RP</b>	Brzo prototipiranje
<b>AM</b>	Aditivna proizvodnja
<b>SW</b>	SolidWorks
<b>CAD</b>	Oblikovanje pomoću računala
<b>CAM</b>	Proizvodnja pomoću računala

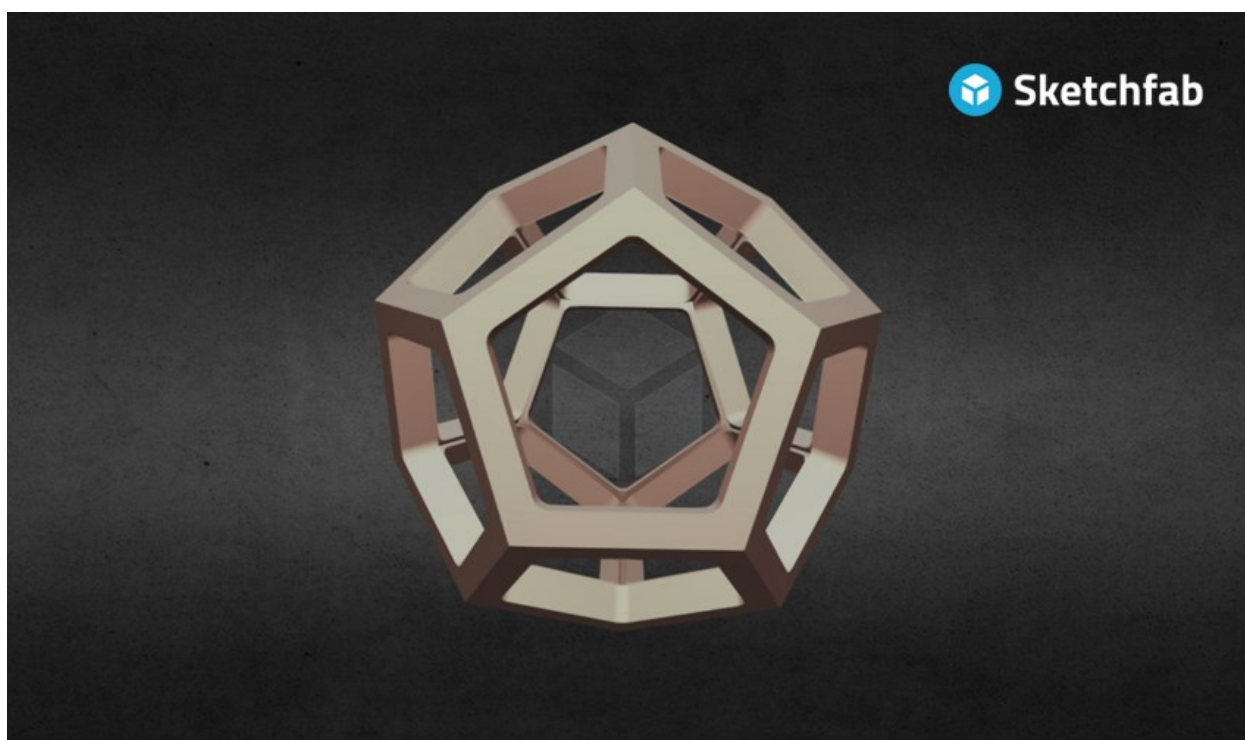
# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Ideja .....	3
3.	3D modeliranje .....	6
3.1.	Osnovne vrste modeliranja .....	6
3.1.1.	Poligonalno modeliranje .....	6
3.1.2.	NURBS modeliranje .....	7
3.1.3.	Subdivizjsko modeliranje.....	8
3.2.	Analiza navedenih tehnika modeliranja .....	9
4.	SOLIDWORKS .....	11
4.1.	Osnove.....	11
4.1.1.	Koncept.....	11
4.1.2.	Terminologija.....	14
4.2.	Skice .....	15
4.2.1.	Ishodište .....	15
4.2.2.	Ravnine .....	16
4.2.3.	Dimenzije .....	17
4.2.4.	Relacije .....	21
4.3.	Vizualizacija.....	22
4.3.1.	Render tools.....	22
4.3.2.	SOLIDWORKS Visualize .....	25
4.4.	Upotreba SOLIDWORKS-a .....	35
5.	Termovizija.....	37
5.1.	Termovizijska kamera.....	39
5.2.	Flir E60.....	41
6.	3D aditivne tehnologije.....	42
6.1.	Upotreba aditivne tehnologije.....	44
6.2.	Opis postupka 3D printanja.....	45
6.2.1.	1. korak: CAD .....	45
6.2.2.	2. korak: pretvorba u STL .....	45
6.2.3.	3. korak: prijenos podataka na stroj .....	45
6.2.4.	4. korak: postavke AM stroja .....	46
6.2.5.	5. korak: printanje.....	46
6.2.6.	6. korak: uklanjanje modela.....	46
6.2.7.	7. korak: dodatna obrada .....	46
6.2.8.	8. korak: .....	46
6.3.	Razlika između aditivne i CNC tehnologije .....	48
6.3.1.	Materijal.....	48
6.3.2.	Brzina.....	48
6.3.3.	Složenost .....	49
6.3.4.	Točnost.....	49
6.3.5.	Programiranje .....	50
6.4.	3D printanje u boji.....	50
6.4.1.	Izravno 3D printanje u boji .....	50
6.4.2.	Neizravno 3D printanje u boji.....	51
6.5.	Stratasys J750 .....	53
7.	Primjena 3,5D tehnologije .....	54
7.1.	Građevina.....	55
7.2.	Obrada odvajanjem čestica .....	57
7.3.	Elektronički sklopovi.....	58
7.4.	Simulacija čvrstoće .....	59
8.	Primjer 3,5D modela .....	61
8.1.	Termovizijski snimak otiska prsta .....	61
8.2.	Statika strojnih elementa pomoću 3,5D tehnologije .....	62
9.	Zaključak.....	66
10.	Literatura .....	68



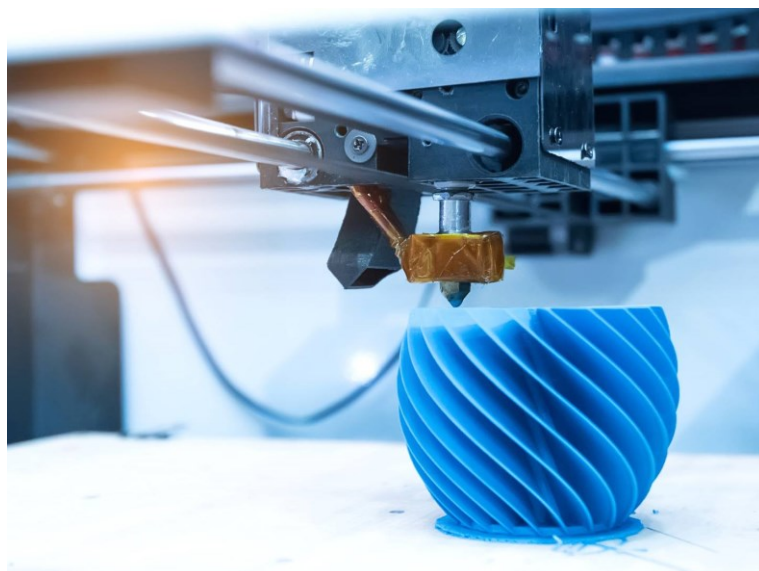
## 1. Uvod

Nekada se 3D modeliranje radilo ručno na papiru. To je zahtijevalo jako puno vremena, truda i napornog rada. 3D modeli su se većinom prikazivali u svojim projekcijama: nacrt, tlocrt i bokocrt. Koristila se i izometrija kao 3D prikaz modela s kosa, ali većinom su se modeli prikazivali 2D projekcijama. Pojavom računala, odnosno pojavom softvera za modeliranje enormno su se povećale mogućnosti modeliranja. Jako se olakšalo modeliranje, proračunavanje i samo manipuliranje modelom. Mogli su se na jednom mjestu napraviti cijeli sklopovi što se, naravno, ručno na papiru nije moglo napraviti tako jednostavno.



*Slika 1-1 - 3D model [5]*

U zadnjih nekoliko godina jako popularno je postalo 3D printanje. To je jednostavna i relativno jeftina tehnologija proizvodnje polimernih tvorevina koje ima svoje prednosti i mane, koje će se detaljno opisati u narednom tekstu. Tom tehnologijom dobivaju se predmeti koji su definirani s tri dimenzije. Mora se paziti na njihovu geometriju tako da ih bude moguće printati i obično nisu iz punog materijala nego unutrašnjost popunjava mreža.



*Slika 1-2 - 3D printanje [6]*

Ova tehnologija je vrlo korisna i ima dosta primjene u pojedinim dijelovima strojarstva, građevine i sličnim područjima koji imaju doticaj s temperaturom i čvrstoćom. U ovom radu će se pokazati kako uz dodatak samo boje na tom modelu, dodati četvrtu dimenziju koja će promatraču govoriti o temperaturnom stanju modela, njegovoj čvrstoći ili nečem trećem. Detaljno će se opisati postupak modeliranja, program SOLIDWORKS, opisati će se na koji način se vrši 3D printanje i reći će se nešto o termovizijskoj kameri koja se koristio za ovaj rad.



*Slika 1-3 - Termovizijska kamera FLIR E60 [7]*

## 2. Ideja

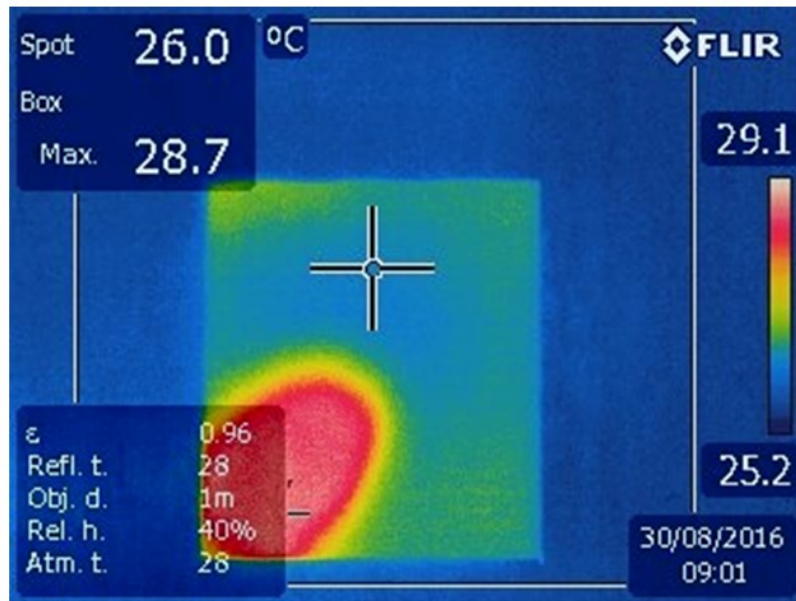
Ideja ovog rada je stvoriti novi način prikazivanja 3D modela. Često za potrebe obratka, profila ili izratka prvo se izrađuje model da se vidi kakav će izgled imati taj model i ako zadovoljava kriterije tek onda se kreće u proizvodnju prototipa. Prototip daje informaciju da li taj proizvod zadovoljava njegovu funkciju koju mora obavljati. Ako prototip zadovolji kriterije onda se kreće u serijsku proizvodnju.

Do sada su se 3D modele prikazivali samo kroz njegove 3 dimenzije, a sada je cilj s te iste tri dimenzije dodati još jednu informaciju koja će promatraču govoriti njegovo toplinsko stanje, statiku ili slično. Ta četvrta informacija će zapravo govoriti na kojoj je površini taj model zagrijan jače, a na kojoj površini slabije. Osim površine može se prikazati i kako je model zagrijan u unutrašnjosti, ali onda se mora printati model u presjeku. Osim toplinskog potpisa modela, model se može potpisati na temelju čvrstoće. Taj potpis će govoriti gdje se na modelu javljaju naprezanja, a samim time i deformacije. Na taj način dobiva se dodatna informacija koja se u pojedinim situacijama može jako dobro iskoristiti i koja može jako puno toga dodatnog i korisnog otkriti.

Taj način dodavanja 3D modelu dodatnu informaciju naziva se **3,5D model**, a tehnologija s kojom se proizvode takvi modeli naziva se **3,5D tehnologija**.

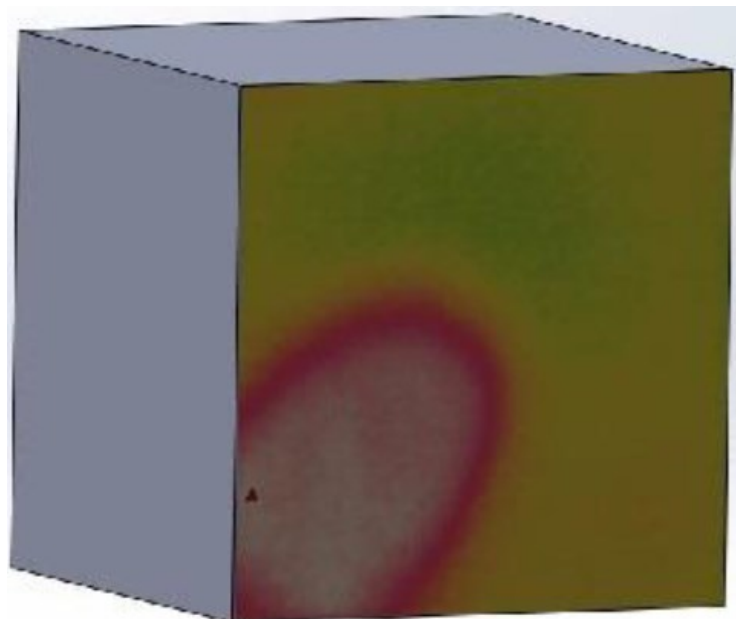
Napravljen je jedan primjer u kojem je samo pokazano na koji način funkcionira 3,5D modeliranje. Prvo se uzela kocku koja ima homogeno raspoređenu temperaturu i onda se na nju pritisnuo prst i čekalo se da toplina s prsta prijeđe na kocku. Na tom dijelu gdje je bio prst je porasla temperatura kocke.

Nakon što se jedan dio kocke zagrijao toplinom iz prsta, termovizijskom kamerom je uslikan taj dio kocke točno ispred te površine da kocka na slici izgleda kao kvadrat, znači da bi se dobila termovizijska slika 3D predmeta mora se sa svih strana napraviti slika s termovizijskom kamerom da bi se tako dobile ortogonalne projekcije tog predmeta.



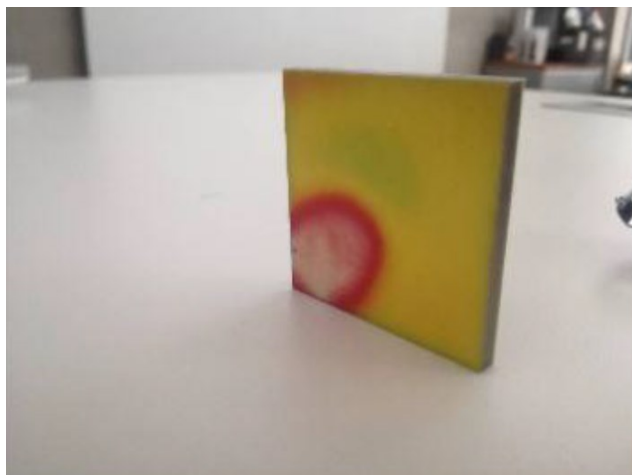
*Slika 2-1 - Slika na termovizijskoj kameri*

U ovom primjeru nije se uslikao predmet s termovizijskom kamerom sa svih strana, nego se samo samo, u edukacijske svrhe, uslikao predmet s prednje strane, tamo gdje se zagrijala površina prstom. Taj nacrt se u nekom editoru izreže i spremi ga se kao .PNG format. Ta slika zapravo predstavlja toplinski otisak prsta i na taj način dobiva se informacija o 3D modelu gdje je njegova temperatura veća, a gdje manja. Zatim se u programu SOLIDWORKS nacrtaj taj isti predmet koji se ranije uslikao s termovizijskom kamerom i na tu površinu koja se uslikala postavi se teksturu površine u obliku slike.



*Slika 2-2 - SOLIDWORKS model*

Nakon toga slijedi 3D printanje u boji. Za taj korak koristio se printer Stratasys J750. Slijedeći te korake izradio se model koji ima 3,5 dimenzije: svoje gabarite u tri osi i toplinski potpis.



*Slika 2-3 - 3,5D model*

Na slici iznad vidi se 3,5D model. To je zapravo običan kvadar svojih dimenzija koje u ovom slučaju nisu bitne zato što je prioritet da se prikaže dodatna četvrta dimenzija tako da se termovizijska slika postavi na površinu kao teksturu u obliku slike tamo gdje se otisnuo prst i tako je modelu unesena toplina koja se ispoljila na račun temperature. Temperatura je na tom dijelu gdje prst pritisnuo veća nego na ostalom dijelu kvadra i to se jasno vidi na slici iznad.

Da je ovaj model isprintan jednobožno pomoću običnog 3D printera ne bi se znalo da je na tom dijelu bio pritisnut prst i da je došlo do lokalnog zagrijavanja modela. Pomoću 3,5D tehnologije sada postoji dodatna informacija koja govori da se na tom dijelu pritisnuo prst i da je došlo do prijenosa toplina, tj. model se na tom dijelu zagrijao.



### 3. 3D modeliranje

3D modeliranje je matematička reprezentacija trodimenzionalnog objekta. Tako se dobije model s tri dimenzije koji se može isto tako prikazivati kao 2D ortogonalna projekcija ili pak se lako može koristiti kao izvor u „*real time*“ grafičkoj simulaciji.

3D model posjeduje informacije o točkama u prostoru i druge podatke koje računalo pretvara u virtualni objekt koji mi vidimo na zaslonu. Najčešći način upotrebe 3D modela je 3D paket među kojima se nalaze SOLIDWORKS, Maya i tako dalje. Osim tog načina, 3D model možemo kreirati na razne druge načine kao što su matematički algoritmi koji se još nazivaju proceduralno generiranje.

Danas se sve više koristi 3D skeniranje stvarnog objekta i spremanje tog objekta u format koji je prepoznatljiv i razumljiv računalu.

#### 3.1. Osnovne vrste modeliranja

##### 3.1.1. Poligonalno modeliranje

Niz poligonalnih površina predstavlja model. Rubna točka 3D prostora je temeljna sastavnica (*eng. vertex*). Rub (*eng. edge*) čine dvije povezane točke, dok tri povezane točke čine trokut (*eng. triangle*) koji je zapravo najjednostavniji poligon koji se može pojaviti. Najčešći elementi poligonalnog modeliranja su zapravo trostrani i četverostrani poligoni. Model (*eng. mesh*) je grupa poligona koji su povezani zajedničkim rubnim točkama. Ovisi za koje područje se modeli izrađuju, potrebno je pripaziti na geometriju modela i, osim geometrije, na deformacije koje se mogu pojaviti uslijed modeliranja. Jedna od grešaka koje se najčešće javljaju je da više rubnih točaka ima iste koordinate i tako se poligoni preklapaju. U programu za modeliranja taj problem nije posebno naglašen i program neće samostalno pronaći grešku. Mogu se javiti veliki problemi kada takav model s takvom pogreškom koristimo u vojnoj ili civilnoj simulaciji ili kod ispisa laserom koji ima visoku kvalitetu gdje se vidi i minimalno odstupanje. Kako bi smanjili pogreške što je više moguće, korisnik programa koji kreira 3D model mora jako dobro biti upoznat s alatima koje koristi i područje u kojem će se primjenjivati model.

### 3.1.2. NURBS modeliranje

NURBS ili Non-Uniformal Rational Bezier Splines matematički je izraz za prikaz 3D modela pomoću površina i krivulja. Kao rezultat dobiva se glatka površina koja nema nazubljenih rubova bez obzira na rezoluciju ili veličinu monitora. NURBS geometrija počiva na Bézierovoj krivulji koja se automatski iscrtava pomoću programa između njezinih kontrolnih vrhova (*eng. control vertex, CV*). Sve krivulje koje se koriste u ovom načinu modeliranja imaju svoj početak, kraj i zakrivljenost. Stupanj zakrivljenosti je definiran s kontrolnim vrhovima koje krivulje povezuje. Ako dodamo dodatne vrhove u krivulju tako dobivamo dodatne točke za manipulaciju krivulje, ali s tim ne smanjujemo „glatkoću“ krivulje ili njezinu zaobljenost. Isoparma (*eng. Isoparme*) je krivulja koja definira površinu NURBS-a. Nastaje tako što se upotrebljavaju kontrolni vrhovi. Površina koja je stvorena između različitih isoparmi sastoji se od takozvanih spanova (*eng. Spans*) koji služe da bi pratili zakrivljenost površine.

U tablici ispod nalaze se neke od najčešće korištenih algoritama poligonalnog modeliranja.

*Tablica 1 - Neki od algoritama poligonalnog modeliranja 68[1]*

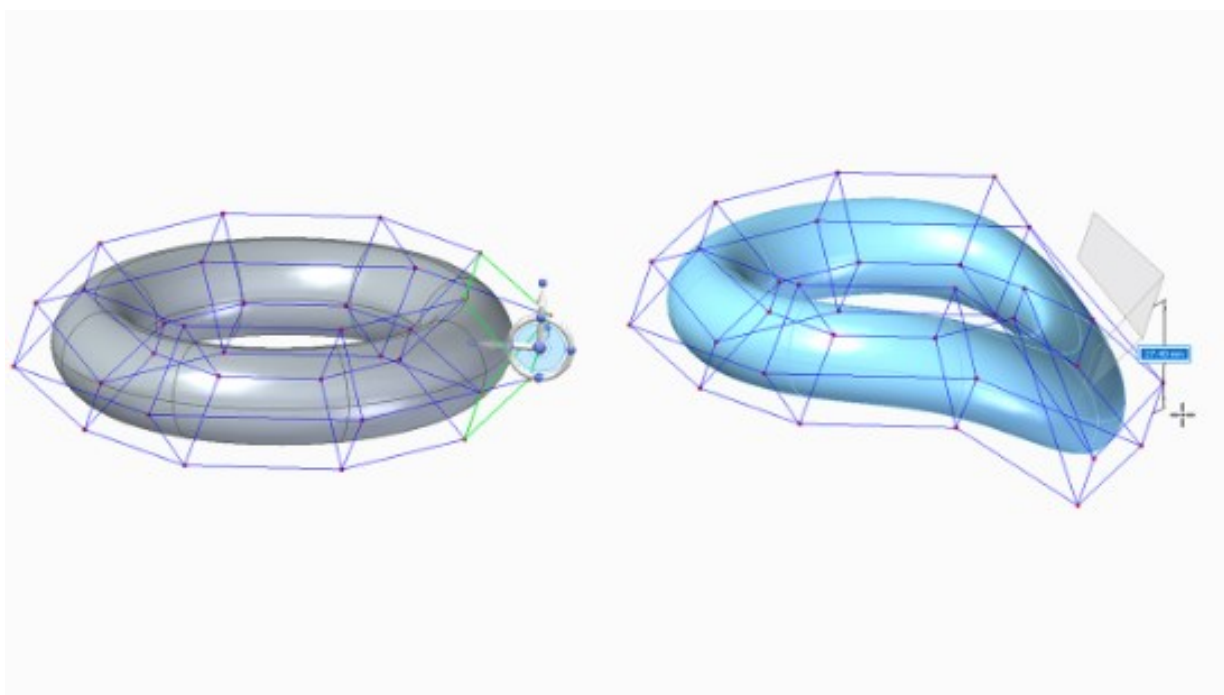
<b>Combine</b>	Spaja dva ili više poligona u jedan model
<b>Separate</b>	Algoritam rastavlja modele na manje cjeline
<b>Smooth</b>	Algoritam zaglađivanja površina modela
<b>Reduce</b>	Algoritam simplificiranja poligona modela
<b>Cleanup</b>	Funkcija koja upozorava na pravilnu geometriju
<b>Triangulate</b>	Algoritam generiranja trostranih poligona
<b>Quadrangulate</b>	Algoritam generiranja četverostranih poligona
<b>Fill hole</b>	Funkcija koja popunjava prazninu u modelu
<b>Make hole</b>	Funkcija koja stvara prazninu u modelu
<b>Create polygon</b>	Funkcija koja omogućuje stvaranje poligona
<b>Extrude</b>	Algoritam izvlačenja poligona iz modela
<b>Cut face</b>	Algoritam dijeljenja poligona
<b>Displace</b>	Funkcija dodavanja detalja na površinu modela
<b>Morph</b>	Algoritam glatkih prijelaza između stanja modela
<b>Merge</b>	Algoritam spajanja dvije ili više točaka u jednu

### 3.1.3. Subdivizjsko modeliranje

Subdivizjsko modeliranje služi za modeliranje površina i predstavlja pojedine elemente iz NURBS-a i pojedine elemente iz poligona. Većinom počinje kao poligonalno modeliranje, a nakon toga se počinju koristiti metode NURBS-a kako bi grubi rubovi modela postali glatki. Površine koje su modelirane subdivizijski definirane su rekurzivno. To je proces koji započinje dobivanjem mreža koje su poligonalne i one se usavršavaju i onda se ponovo konfiguriraju tako da se stvaraju nova lica i vrhovi na 3D modelu. Taj proces zapravo možemo izvoditi beskonačno mnogo puta, no u praksi se najčešće ograničava ovaj algoritam.

Shema za preradu subdivizijskih površina može se podijeliti u dvije grupe, a to su interpoliranje, dok je druga grupa aproksimiranje. Interpolacijske sheme odgovaraju početnom položaju u početnoj mreži. Aproksimacijske sheme ne moraju nužno odgovarati početnom, one će se već prilagoditi poziciji prema potrebi. obično su te sheme glađe nego interpolacijske sheme, ali zahtijevaju što veću optimizaciju koraka koji potrebni.

Subdivizijske površine ovise o vrsti poligona na kojemu se izrađuju pa treba pripaziti na način rada. Pojedine funkcije se mogu primijeniti na samo četverostranim poligonima, dok se neke druge funkcije mogu primijeniti samo na trokutima.



Slika 3-1 - Subdivizijsko modeliranje [1]

## 3.2. Analiza navedenih tehnika modeliranja

Glavni problem poligona, ili jedan od njih, je da ne mogu s velikom preciznošću prikazati površine koje su zakrivljene. Također, brzina kojom se procesira je mala, to jest dugo traje, pogotovo ako se radi o scanline metodi kod koje se svaki poligon pretvara u primitiv. Ako ne postoji hijerarhija u velikim scenama je gotovo nemoguća manipulacija zbog velike potrošnje resursa. Poligonalno modeliranje ima prednost, a to je da se mogu spojiti više različitih modela u jednu cjelinu. Prilikom deformacije se ti novonastali modeli ne odvajaju od ostale cjeline, ne koristi se jako puno resursa i omogućuje se jednostavnije modeliranje modela s ortogonalnim projekcijama, mehaničkih objekata i slično.

NURBS modeliranje se temelji na interpolaciji različitih krivulja i tako se glatke površine dobivaju jednostavnije pomoću kontrolnih vrhova. U 2D grafici se ponašaju kao vektori koji ne ovise o razini pojedinih detalja neke površine. Pojednostavljuje se teksturiranje zato što imamo dvodimenzionalni koordinatni sustav U i V. Također, NURBS se jednostavno može pretvoriti i u ostale načine modeliranja. Manipulacija i rad se temelji na krivuljama i točkama, te se tako može otežati percepcija 3D modela. Glavni nedostatak ovog načina modeliranja je nedostatak mogućnosti da povežemo više različitih NURBS modela u jedan model tj. u cjelinu. Prilikom toga može se dogoditi odvajanje pojedine geometrije prilikom animiranja ili slično. Drugi problem je to što se javljaju pogreške pri radu na velikim scenama.

Uz pomoć subdivizijskog modeliranja moguće je brzo stvoriti fino zaobljene površine čija se osnova temelji na poligonalnom modeliranju. S obzirom da ne dolazi do deformiranja i odvajanja modela, omogućena je daljnja manipulacija zaobljenim površinama. Tijekom samog procesa modeliranja na jednostavan način se možemo prebacivati iz poligonalnog načina rada u subdivizijski. Pri čemu je potrebno utvrditi razine detalja i provjeriti izgled samog 3D modela u konačnici. Za razliku od ostalih tehnika modeliranja, subdivizijsko modeliranje traži puno više računalnih resursa, a kada želimo spremati model u ovakvom obliku sama pohrana zauzima puno računalne memorije. Zbog toga se najčešće prakticira prebacivanje subdivizijskih modela u poligonalni način rada ili u NURBS modeliranje.

Usporedba tehnika modeliranja dana je slijedećom tablicom.

*Tablica 2 - Usporedni prikaz tehnika modeliranja [1]*

	<b>Poligon</b>	<b>NURBS</b>	<b>Subdiv</b>
<b>Osnovni element</b>	Poligon	Krivulja	Kombinacija
<b>Zaobljenost površina</b>	Srednja	Visoka	Visoka
<b>Intuitivnost rada</b>	Visoka	Srednja	Visoka
<b>Potrošnja resursa</b>	Mala	Srednja	Visoka
<b>Težina teksturiranja</b>	Mala	Srednja	Visoka
<b>Mogućnost animiranja</b>	Visoka	Niska	Visoka
<b>Vrijeme renderiranja</b>	Kratko	Srednje	Srednje
<b>Utjecaj razlučivosti</b>	Visok	Niski	Niski
<b>Mogućnost povezivanja modela</b>	Visoka	Niska	Niska
<b>Preferirani objekti</b>	Kruti objekti oštih kutova	Zaobljeni i organski objekti	Kombinacija spomenutog

Napredak u grafici računala započeo je sa zahtjevima koji su se postavljali na tržište koje je u konačnici i dovelo do samog razvoja alata koji služe za vizualiziranje 3D modela, modeliranje 3D modela i stvaranje stvarnih animacija ili objekata koji su imaginarni. Odabir same tehnike i metode s kojima vršimo 3D modeliranja jako puno zavisi o traženom zahtjevu pa se tako mogu odabrati metode s obzirom na vrsnoću 3D proizvoda i vrijeme koje je potrebno. Svaka od tih tehnika modeliranja ima svoje prednosti i propuste koji u konačnici ne utječu na samu kvalitetu modela. Ovakav tip modeliranja uz pomoć krivulja najčešće se upotrebljava kod objekata gdje se traže glatke površine, dok se modeliranje poligonom više koristi za krute objekte koji imaju čvrstu geometriju. Algoritmi i funkcije imaju različita imena, tj. nazive, zato što su sustavi većinom zatvoreni i konkurentni jedni prema drugima, ali logika je većinom ista ili slična. Kada prelazimo iz s tehnike na tehniku ne postoji opasnost da izgubimo bilo kakvu informaciju o modelu. Bilo bi dobro da je finalni proizvod u obliku koji je jedinstven (bez prelaza) zbog lakšeg manipuliranja i korištenja proizvoda u budućnosti.

## 4. SOLIDWORKS

### 4.1. Osnove

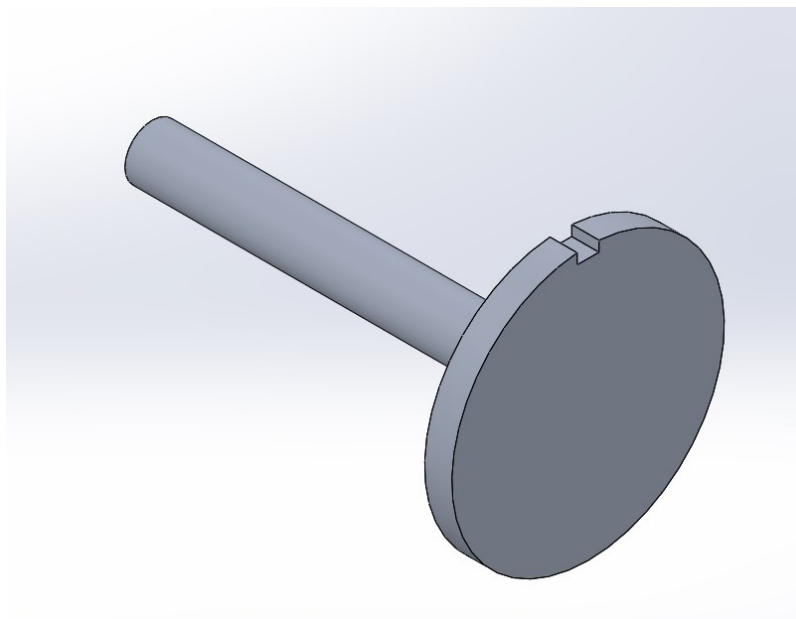
SOLIDWORKS je softver za mehanički dizajn koji korisniku omogućuje da brzo skicira svoje ideje i eksperimente s značajkama (*eng. Features*) i dimenzijama i na taj način omogući proizvodnju modela i detaljnih nacrti.

#### 4.1.1. Koncept

Dio (*eng. Part*) je osnovni blok SOLIDWORKS softvera. Sklop (*eng. Assembly*) uključuje dijelove ili druge sklopove koji se nazivaju podsklopovi. Model se sastoji od 3D geometrije koja definira rubove i površine. Softver nam daje mogućnost da dizajniramo model brzo i precizno. SOLIDWORKS model je **definiran 3D dizajnom i baziran na komponentama**.

##### □ 3D dizajn

SOLIDWORKS koristi 3D dizajni pristup. Dok dizajniramo dio, od inicijalne skice (*eng. Sketch*) do završnog rezultata, dobivamo 3D model. Od toga 3D modela možemo napraviti 2D crtež (*eng. Drawing*) ili taj model iskoristiti kao dio u sklopu ili podsklopu. Također možemo napraviti 2D crtež od sklopa. Koristeći te alate možemo vizualizirati model u tri dimenzije i vidjeti kako će model izgledati dok se proizvede.

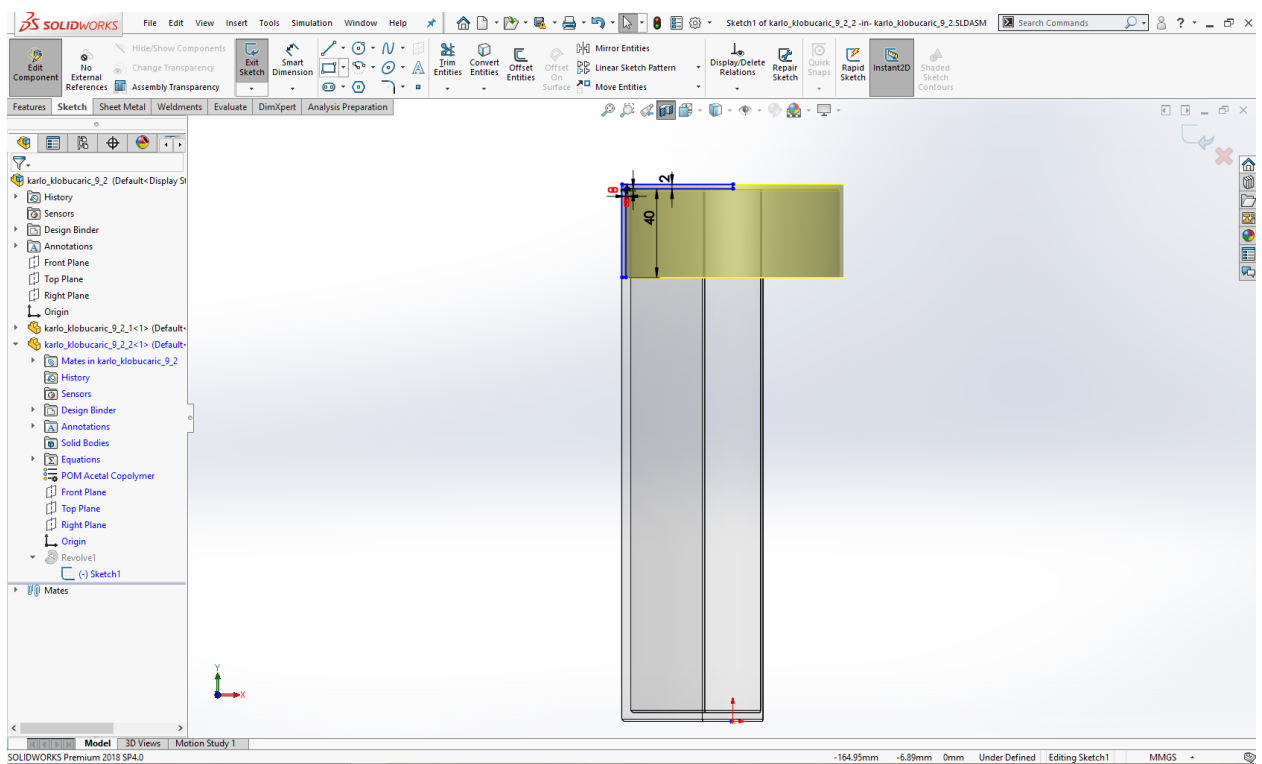


*Slika 4-1 - 3D dio*



## □ Baziran na komponentama

Jedna od najboljih značajki u programu SOLIDWORKS je da koju god promjenu napravimo na bilo kojem dijelu, ta promjena će se automatski ažurirati na sklopu ili 2D crtežu. Taj način modeliranja se većinom koristi kada crtamo u „sklop“ načinu. Na taj način nam je lakše modelirati neki dio jer u sklopu točno vidimo npr. gdje mora biti rupa. Za taj način modeliranja moramo dok smo u sklopu odabrati dio koji želimo modelirati na bazi komponentata, pritisnuti na taj dio desni klik i odabrati uredi komponentu (*eng. Edit Component*). Tada zapravo uređujemo i modeliramo taj dio kao da smo u normalnom načinu rada (načinu gdje uređujemo dio, a ne sklop), samo što u pozadini vidimo ostatak sklopa i na temelju toga sklopa možemo povući poveznice i reference. Na taj način je model definiran na temelju drugog dijela, to jest baziran je na drugim komponentama.



Slika 4-4 - Baziranje na komponentama

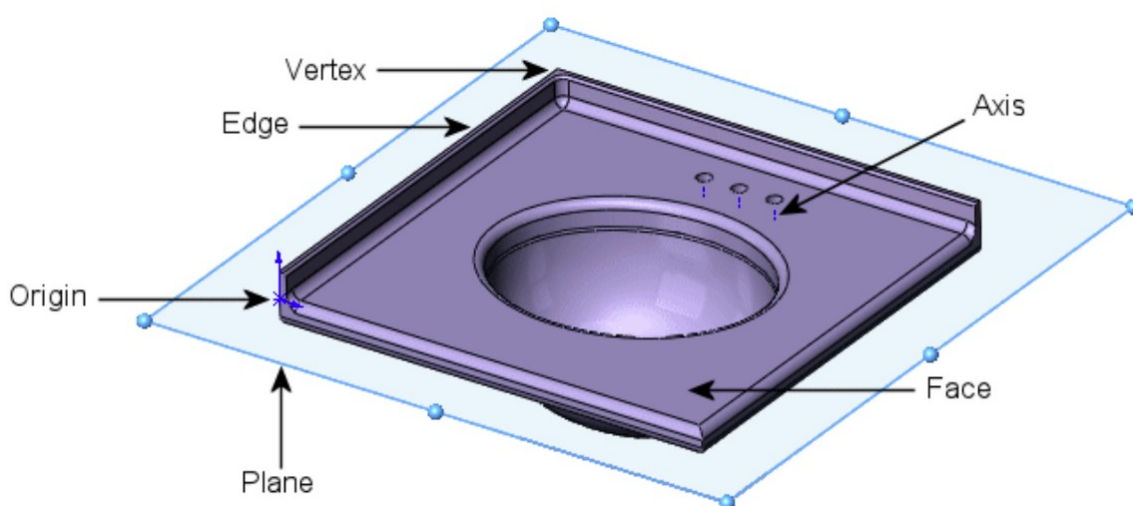


## 4.1.2. Terminologija

Ovi termini se pojavljuju kroz cijeli softver SOLIDWORKS i bitno je ovladati njima odmah na početku. Osnovni termini mogu se vidjeti u tablici 3.

Tablica 3 - Osnovni temrini

Ishodište ( <i>eng. Origin</i> )	Pojavljuje se kao dvije plave strelice i predstavlja (0, 0, 0) koordinate modela. Kada je aktivna skica, ishodište skice pojavljuje se isto s dvije strelice, ali crvene boje i predstavlja (0, 0, 0) koordinate skice. Kada smo u sklopu možemo dodati dimenzije i relacije na ishodište sklopa, ali ne možemo dodati na ishodište skice.
Ravnina ( <i>eng. Plane</i> )	Ravna konstrukcijska geometrija. Možemo koristiti ravnine da bi na njima napravili 2D skice, da bi napravili presjek ili ih možemo koristiti, na primjer, kod zrcaljenja ( <i>eng. Mirror</i> ) da nam ta ravnina služi kao zrcalo.
Os ( <i>eng. Axis</i> )	Ravna linija koju koristimo kao geometriju modela, značajke ili za kopiranje po liniji ( <i>eng. Patterns</i> ). Os možemo napraviti na više načina, a jedno od njih je kao sjecište dviju ravnina. Softver sam napravi os automatski ako imamo nacrtani neki cilindrični ili konusni dio.
Površina	Granice koje pomažu definirati oblik modela ili površine. Površina je odabrani prostor (ravni ili neravni) od modela. Na primjer, kocka ima 6 površina.
Brid ( <i>eng. Edge</i> )	Linija gdje dvije ili više površina graniče. Možemo odabrati bridove za skiciranje i dimenzioniranje.
Vrh ( <i>eng. Vertex</i> )	Točka u kojoj se dvije ili više linija ili bridova sijeku. Možemo odabrati vrhove za skiciranje i dimenzioniranje.



Slika 4-5 - Primjena terminologije

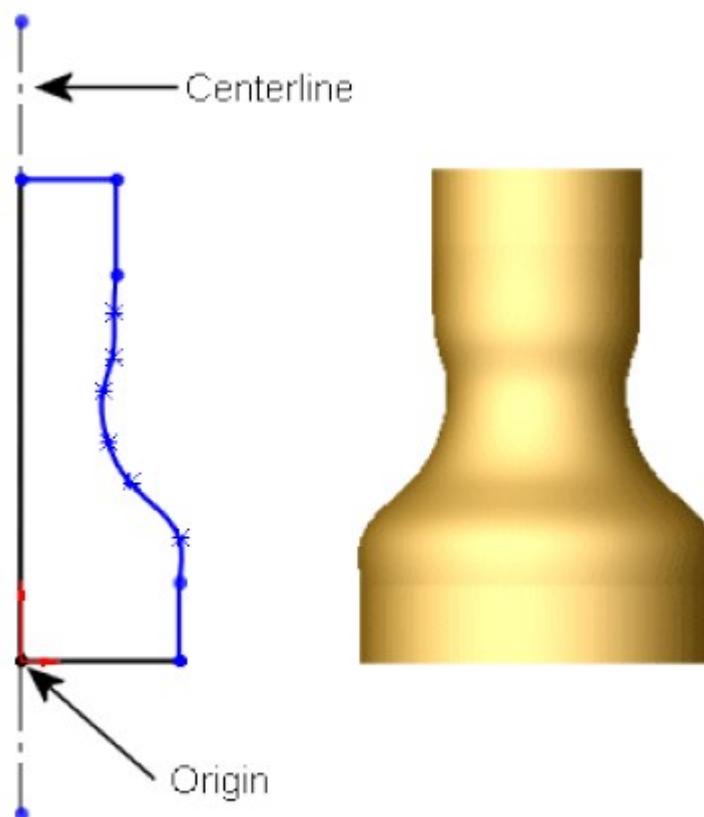
## 4.2. Skice

Skica je osnova za većinu 3D modela. Kreiranje modela obično počinje sa skicom. Od skice možemo napraviti značajke (*eng. Features*). Možemo kombinirati jednu ili više značajki da bi napravili neki dio. Nakon toga možemo kombinirati poveznice (*eng. Mate*) da bi prikladno kreirali sklop. Od tih dijelova ili sklopova možemo napraviti 2D crtež.

Skica je 2D profil ili presjek. Da bi kreirali 2D skicu koristimo ravninu ili ravnu površinu. Pored 2D skice, možemo napraviti i 3D skicu koja uključuje i Z os isto kao i X i Y os. Ima puno načina na koji možemo napraviti skicu. Sve skice uključuju sljedeće elemente: ishodište, ravnine, dimenzije i relacije.

### 4.2.1. Ishodište

U mnogim slučajevima počinjemo crtati skicu iz ishodišta zato što nam ishodište služi kao čvrsta točka ili „sidro“ i znamo da se ta točka kroz daljnje modeliranje neće micati. Na slici 11 je prikazana i centralna linija – simetrala. Simetrala je povučena kroz ishodište i oko nje ćemo zapravo okrenuti skicu i dobiti cilindrični 3D model.



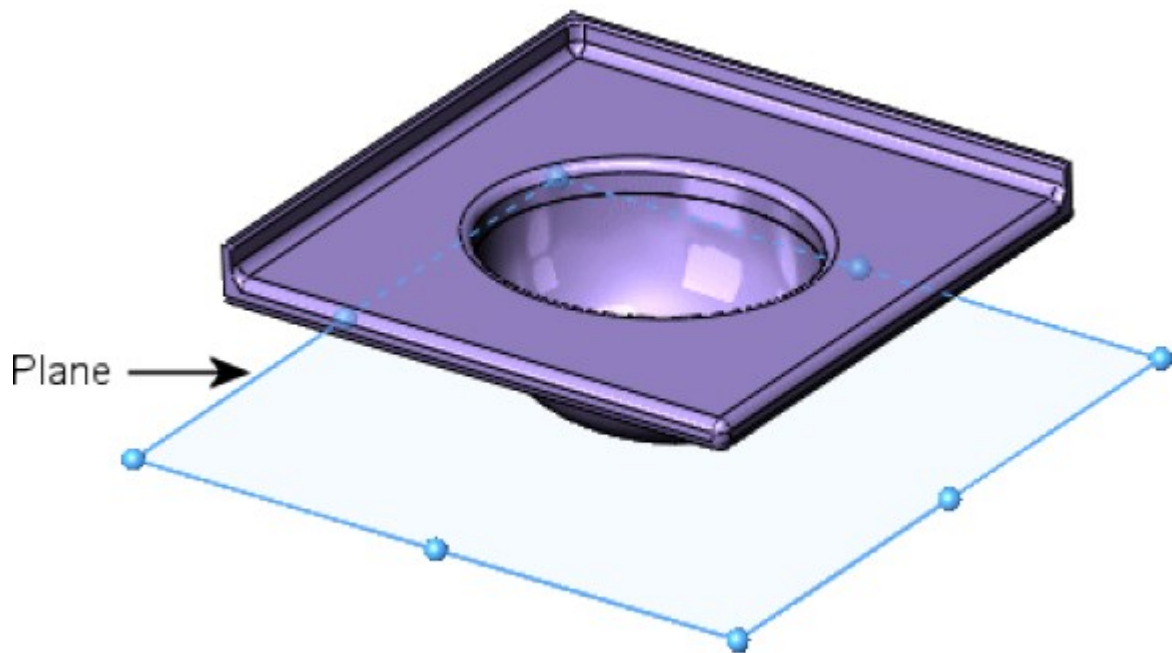
Slika 4-6 - Ishodište i simetrala

Iako simetrala nije uvijek potrebna na skici, pomaže nam da uspostavimo simetriju. Također možemo koristiti simetralu kada koristimo naredbu zrcaljenja (*eng. Mirror*) i da uspostavimo jednake udaljenosti s jedne i druge strane nekih dijelova na skici. Simetričnost je bitna stvar ako želimo kreirati model koji ima neku os simetrije.

#### 4.2.2. Ravnine

Možemo kreirati ravnine na nekom dijelu ili sklopu. Možemo skicirati na ravnini s alatima kao što su linija (*eng. Line*) ili kvadrat (*eng. Rectangle*) i kreirati presjek modela. Na nekim modelima direktno utječe na kojoj ravnini ćemo početi skicirati jer ovisi kako će se model pojavljivati u standardnom 3D prikazu – izometriji. Na nekim modelima odabir ispravne inicijalne ravnine za početak skiciranja pomaže nam dobiti učinkovitiji model.

Na početku skiciranja možemo odabrati tri glavne i osnovne ravnine: prednja, bočna i gornja. Možemo dodavati ravnine kakve god želimo: pod različitim kutom, na različitim udaljenostima, s različitim nagibima. Primjer na slici 12 koristi gornju ravninu.



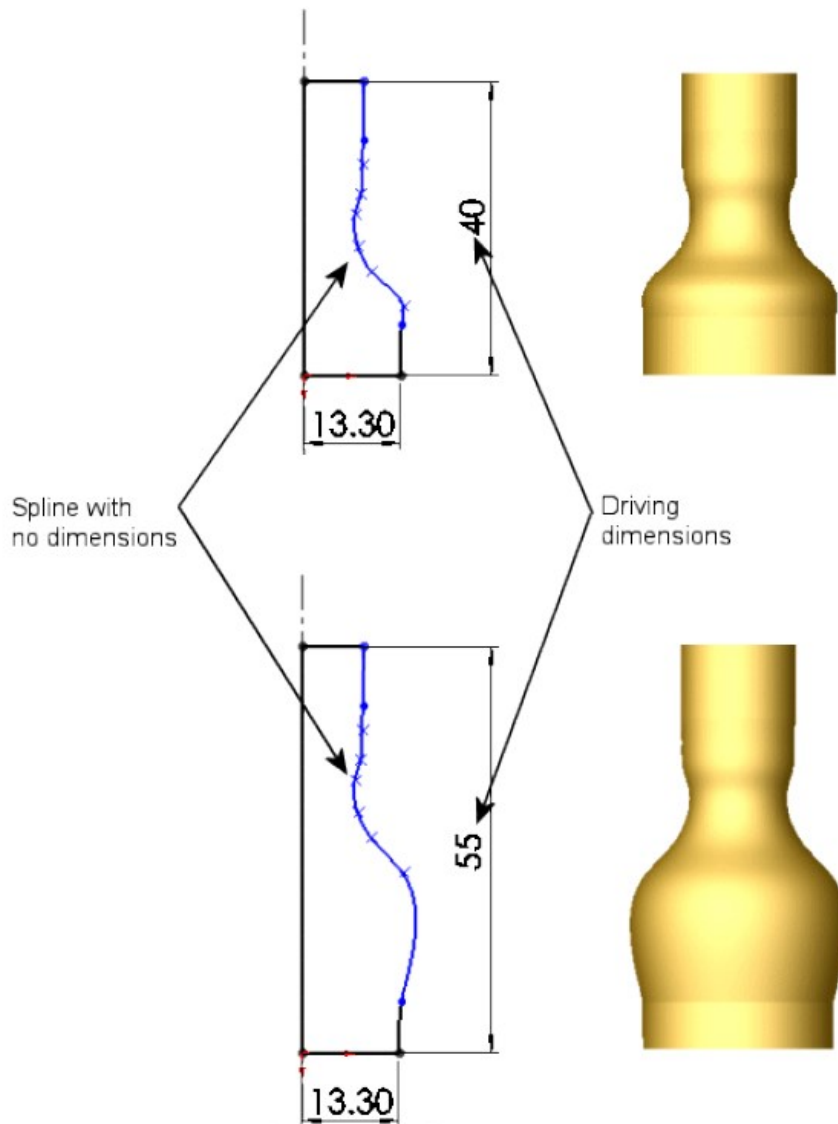
Slika 4-7 - Primjer korištenja gornje ravnine

### 4.2.3. Dimenzije

Možemo odrediti dimenzije između nekih stavki kao što su linije, točke, vrhovi i slično i označiti njihovu dužinu ili njihov kut. Kada neku postojeću dimenziju promijenimo, veličina, dio ili oblik se automatski mijenja. Softver koristi dvije vrste dimenzija: pogonska dimenzija(*eng. Driving dimension*) i gonjena dimenzija(*eng. Driven dimension*).

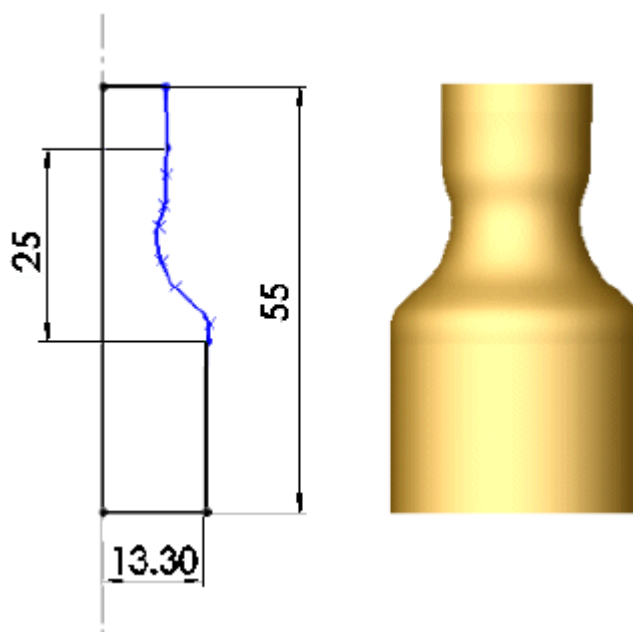
#### □ Pogonske dimenzije

Možemo napraviti pogonske dimenzije s alatom za kreiranje dimenzija. Pogonske dimenzije mijenjaju veličinu modela kada promijenimo iznos dimenzije. Na primjer, na ručki za pipu možemo promijeniti visinu od pipe s 40 mm na 55 mm. Primijetimo kako se oblik cilindričnog dijela mijenja zato što krivulja nije potpuno definirana.



Slika 4-8 - Utjecaj dimenzije na oblik

Kako bi se održao jednolik oblik krivulje, moramo dimenzionirati krivulju.



Slika 4-9 - Postavljanje krivulje

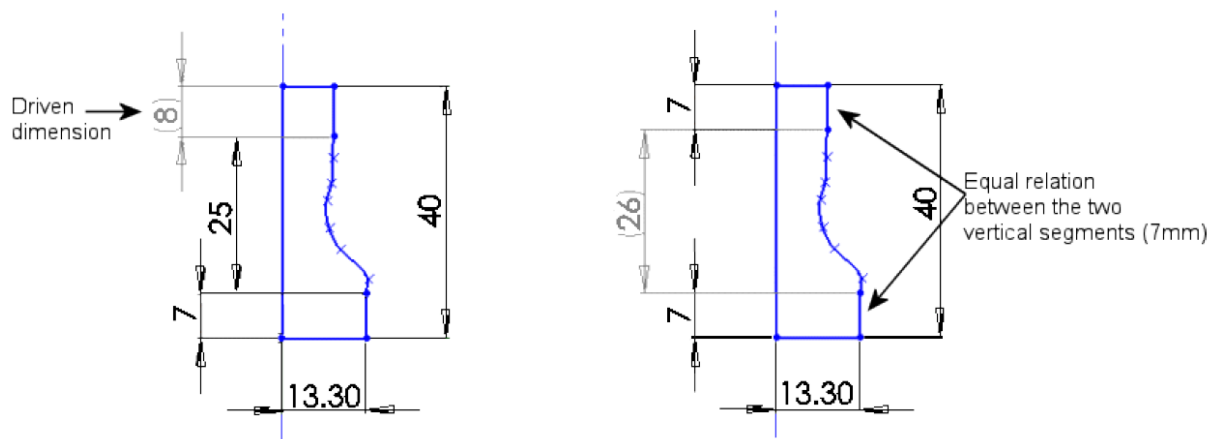
#### □ **Gonjene dimenzije**

Neke dimenzije povezane s modelom su gonjene dimenzije. Možemo napraviti gonjene dimenzije ili referentne dimenzije za informativnu svrhu koristeći alate za kreiranje dimenzija. Iznos gonjene dimenzije mijenja se dok mi mijenjamo pogonjene dimenzije ili relacije na modelu. Ne možemo mijenjati iznos gonjene dimenzije direktno. Možemo pretvoriti gonjenu dimenziju u pogonsku i tako mijenjati njezin iznos.

U ručki od pipe, ako označimo dimenziju ukupne visine sa 40 mm, dio ispod krivulje 7 mm i duljinu krivulje 25 mm, dio iznad krivulje mora biti 8 mm kao što je prikazano na gonjenoj dimenziji.

Dizajn predmeta možemo kontrolirati tamo gdje imamo pogonske dimenzije i relacije. Na primjer, ako bi označili cijelu visinu sa 40 mm i napravili relaciju da su gornji i donji dio od krivulje jednaki, a donji dio ispod krivulje označimo da je 7 mm, onda gornji dio iznad krivulje isto tako postaje 7 mm. Dimenziju same krivulje moramo prebaciti u gonjenu dimenziju jer nam se zbroj svih dimenzija ne bi podudarao ( $7+25+7=39$ , a mi imamo zadano 40 mm). Nakon što dimenziju krivulje prebacimo u gonjenu dimenziju onda se odmah mijenja u onaj iznos koji zadovoljava sve ostale dimenzije i relacije.

Gonjena dimenzija je uvijek u zagradi i nije označena crnom bojom kao sve ostale nego je malo svijetlije boje od ostalih, pogonskih, dimenzija.

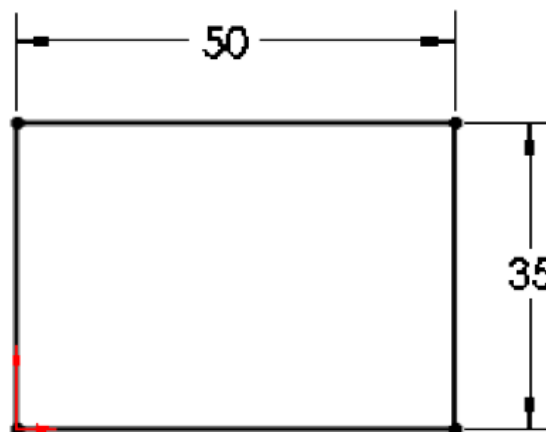


Slika 4-10 - Pogonske i gonjene dimenzije

#### □ Definiranje skica

Skice mogu biti potpuno definirane, ne definirane ili predefinirane.

U potpuno definiranim skicama sve linije i krivulje na skici i njihove pozicije točno su opisane s dimenzijama i relacijama. Ne moramo skicu potpuno definirati da bi upotrijebili pojedinu značajku. Na primjer, naredbu „Extrude“ možemo koristiti iako nam skica nije potpuno definirana. Međutim uvijek je poželjno da skicu potpuno definiramo da bi bili sigurni da nam je krajnji model ispravno nacrtan. Potpuno definirana skica pojavljuje nam se u crnoj boji.

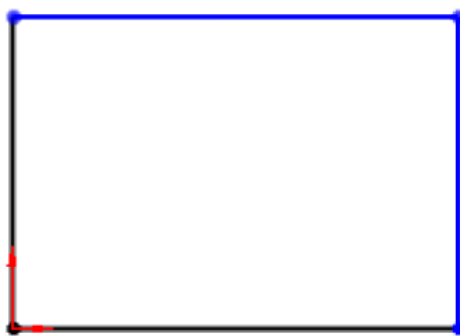


Fully defined

Slika 4-11 - Potpuno definirana skica

Promatrajući skicu i stavke koje se na njoj nalaze, možemo odrediti koji dio je definiran, a koji nije, to jest možemo odrediti gdje moramo dodati dimenziju ili relaciju da bi nam skica bila potpuno definirana. Možemo prema boji raspoznati da li nam je skica potpuno definirana, ne definirana ili predefinirana. Ne definirana skica nam se pojavljuje u plavoj boji. Neki dijelovi su plavi, a neki crni i na temelju toga možemo lako zaključiti koji dio na skici nam je definiran i

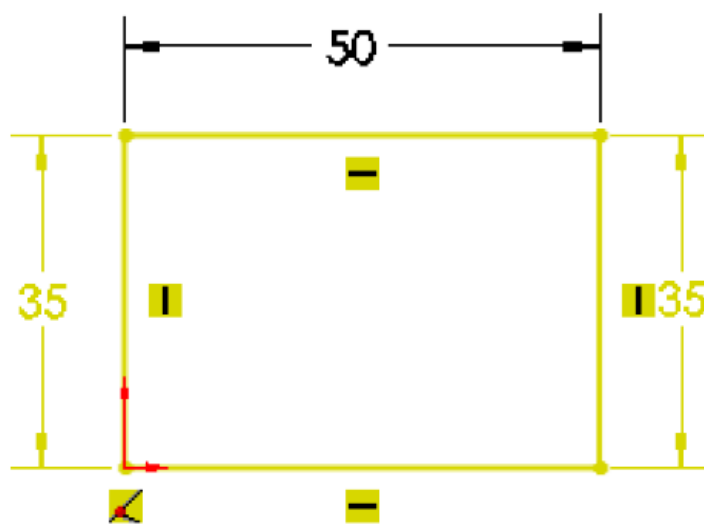
fiksirani, a koji dio nije. Taj dio koji definiran, to jest dio koji je plavi možemo povući i vidjeti na koji način se miče i tako zaključiti koja dimenzija ili koja relacija nedostaje.



Under defined

*Slika 4-12 - Ne definirana skica*

Predefinirana skica uključuje suvišne dimenzije ili relacije koje su u konfliktu. Kada nam se pojavi da je skica predefinirana onda možemo obrisati neku dimenziju ili relaciju, ali nikako ih ne možemo izmijeniti. Predefinirane skice pojavljuju se u žutoj boji. U primjeru ispod na slici 17 relacijama je zadano da su dvije stranice uspravne, a dvije horizontalne. U takvim slučajevima treba zadati samo jednu dimenziju za širinu i jednu dimenziju za visinu. U ovom primjeru su zadane dvije dimenzije za visinu pa je zato skica predefinirana. Dovoljna nam je samo jedna dimenzija za visinu.

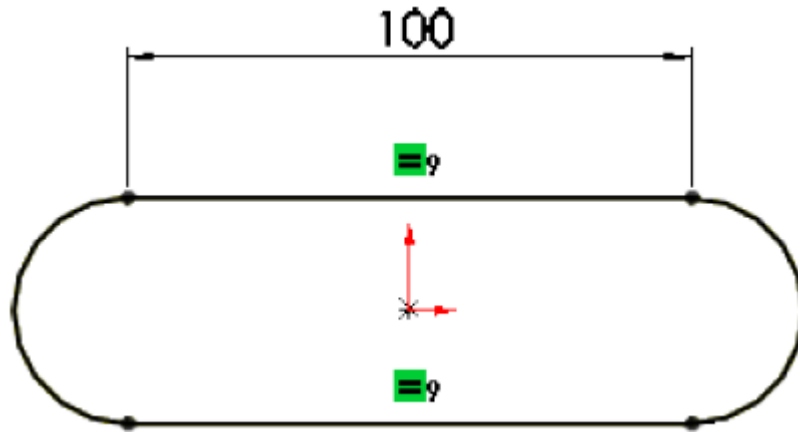


Over defined

*Slika 4-13 - Predefinirana skica*

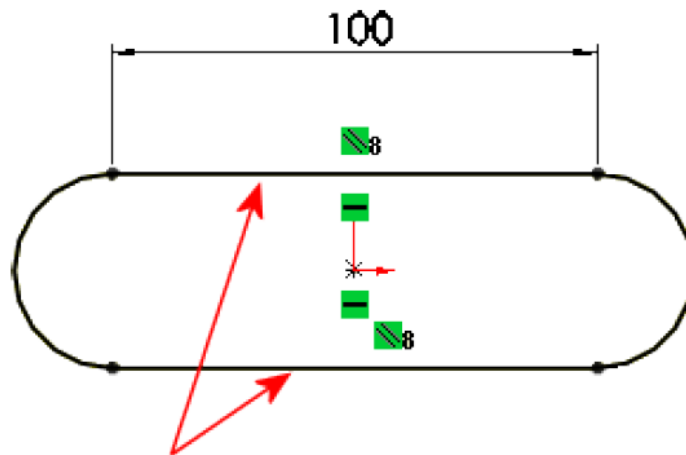
#### 4.2.4. Relacije

Relacije uspostavljaju geometrijske veze kao što su jednakost, tangencijalnost između na primjer kružnog luka i linije. Na primjer, možemo uspostaviti jednakost između dvije horizontalne linije dužine 100 mm. Možemo postaviti dimenziju na oba dvije linije, ali ako postavimo relaciju jednakosti između dvije horizontalne linije, budemo li trebali nešto izmjenjivati, dovoljno je da izmijenimo samo jednu liniju, drugu će softver izmijeniti automatski.



Slika 4-14 - Prikaz relacija

Relacije su spremljene sa skicom. Imamo dva načina postavljanja relacija: zaključno i tako da ih ručno dodamo.



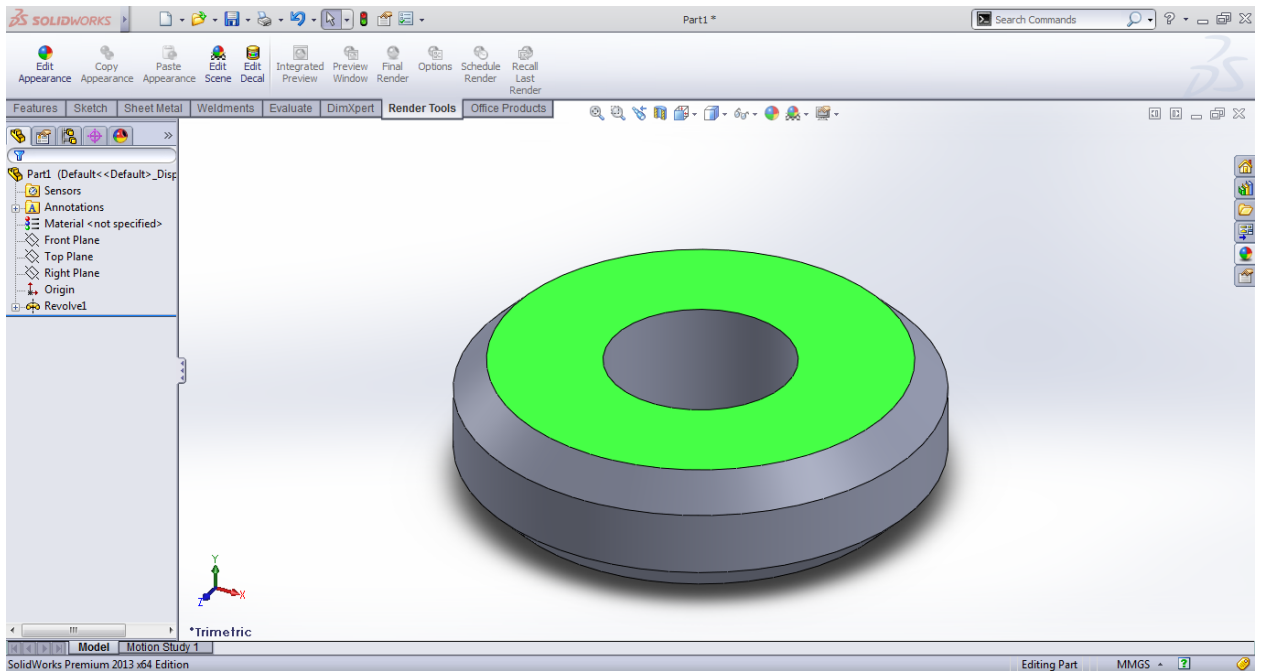
Slika 4-15 - Primjer relacija



## 4.3. Vizualizacija

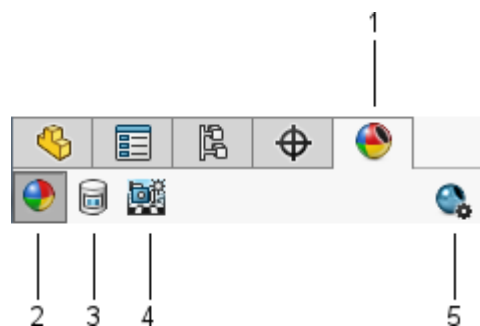
### 4.3.1. Render tools

SOLIDWORKS nam uvijek daje puno mogućnosti za kontrolu izgleda modela. SOLIDWORKS sve postavke izgleda ima na jednom mjestu: Render tools.



Slika 4-16 - Render tools

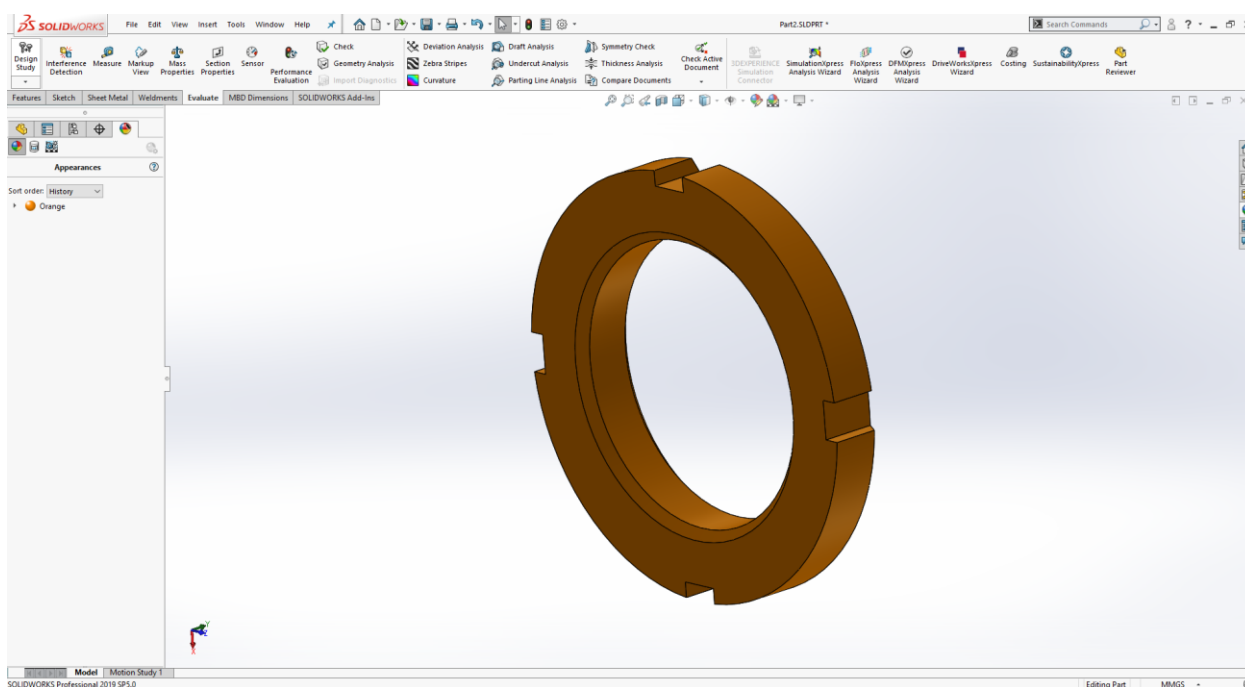
Na kartici Render tools imamo razne ikone: da promijenimo izgled, kopiramo izgled, zalijepimo izgled, promijenimo scenu i slično. Te sve naredbe možemo brže odabrati tako da na lijevom izborniku odaberemo petu ikonice po redu po nazivu izgled (*eng. Appearance*).



Slika 4-17 - Upravitelj prikaza

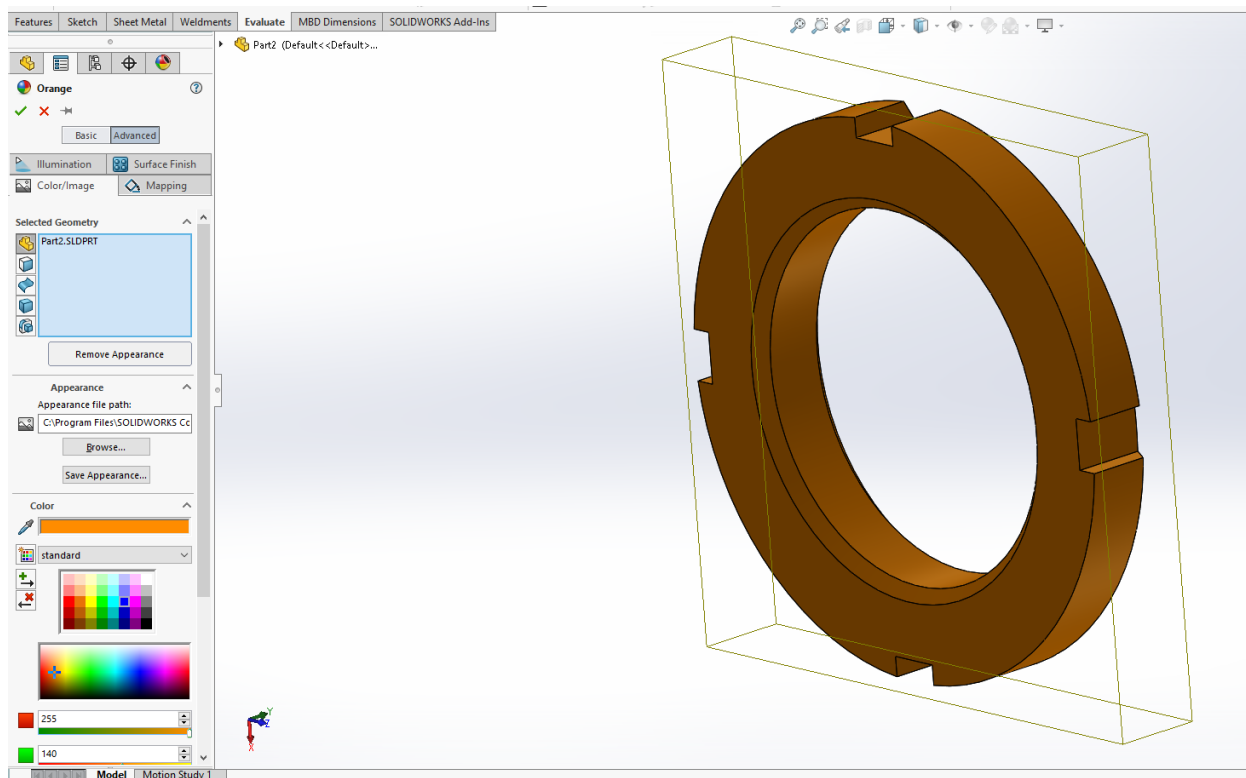
Na upravitelju prikaza (na gornjoj slici – oznaka 1) imamo 4 mogućnosti odabira: izgled (na gornjoj slici – oznaka 2), naljepnica (na gornjoj slici – oznaka 3), oznaka 4 na gornjoj slici predstavlja scene, svijetla i kamere i 360° prikaz (na gornjoj slici – oznaka 5).

Možemo dodati ili izmijeniti izgled koristeći izbornik koji je na desnoj strani zaslona. Drugi način dodavanja ili promjene izgleda je da označimo površinu na modelu kojoj želimo promijeniti izgled i nakon što nam iskoči izbornik odaberemo izgled. Nakon što smo odabrali izgled pritisnemo tipku obnovi (*eng. Rebuild*) i taj izgled nam se mora pojaviti u upravitelju prikaza.



Slika 4-18 - Primjena izgleda na model

Možemo koristiti padajući izbornik da sortiramo izgleda. Možemo ih sortirati kronološki, prema nijansi ili prema hijerarhiji. Također možemo uređivati izgleda u upravitelju prikaza tako da jednostavno napravimo dvostruki klik na izgled i otvorit će se svojstva izgleda. Možemo koristiti bilo koje postavke. Imamo dvije vrste postavki: osnovne i napredne. U osnovnim postavkama možemo odabrati gdje će nam se primjenjivati određeni izgled, koja nijansa boje će se primjenjivati i slično.



*Slika 4-19 - Postavke izgleda*

U naprednim postavkama možemo uređivati osvjetljenje, završnu obradu površine, mapiranje i sliku ili boju površine. Sve postavke ovdje su poprilično jednostavne, poznate i lako razumljive prema nazivu i ikonici koja stoji uz naziv. Možemo koristiti naredbu za završnu obradu površine da bi postavili neku teksturu na neku površinu što može biti jako dobra značajka za prikazivanje modela koji dolaze iz proizvodnje. Možemo koristiti nekoliko zadanih primjera ili možemo dodati svoje primjere s računala. Ako ubacimo neki svoj oblik površine onda idemo na karticu mapiranje da bi postavili dimenzije, orijentaciju i slično. Osvjetljenje nam omogućuje kontrolu svjetlosti i refleksije izgleda. To možemo regulirati danim parametrima i promjene će se vidjeti na predmetu u realnom vremenu. Boja/slika kartica je slična kao i osnovne postavke, ali ima jednu bitnu razliku. Kada postavimo izgled i sve ostalo kako želimo, možemo taj izgled spremiti i sljedeći put ga samo otvoriti i ponovno koristiti bez da sve ponovno postavljamo.

### 4.3.2. SOLIDWORKS Visualize

SOLIDWORKS Visualize je foto-realistični alat za prikazivanje koji koristi CAD podatke za stvaranje slika u časopisu ili animacija komercijalne kvalitete. On učinite slike realnima pomoću praćenja zraka u stvarnom vremenu, AI Denoisera i I-Ray tehnologije od GPU-a ili AMD ProRendera koji pokreće Nvidia. Vizualizacija može iskoristiti jezgru tehnologije CUDA iz Nvidije ili generirati jezgre iz AMD ProRendera kako bi slike prikazala u kratkom vremenu.

Visualize ima dva različita paketa: standardni i profesionalni. Ako se kupi SOLIDWORKS CAD Professional ili Premium, tada se već ima Visualize Standard. Visualize Professional dodaje niz značajki, uključujući animacije, prilagođeno osvjetljenje, VR, 360 Interactive i još mnogo toga.

Pomoću SOLIDWORKS Visualize Professional može se bolje opisati 3D model pomoću CAD podataka. SOLIDWORKS Visualize Professional korisnicima omogućuje jednostavno generirati fotografije visoke kvalitete i interaktivne animacije za učinkovito prikazivanje najsloženijih detalja proizvoda. Neke od značajka koje nudi SOLIDWORKS Visualize Standard su:

- Učinkovitije demonstracije proizvoda punom animacijom dijelova, modela, izgleda, pogleda kamere i okruženja
- Brzi prikaz konačnog dizajna jednim klikom - okretanje od 360°
- Predstavljanje i uspoređivanje različitih dizajnerskih rješenja paralelno s više prikaza
- Prilagodljivi filtri kamere

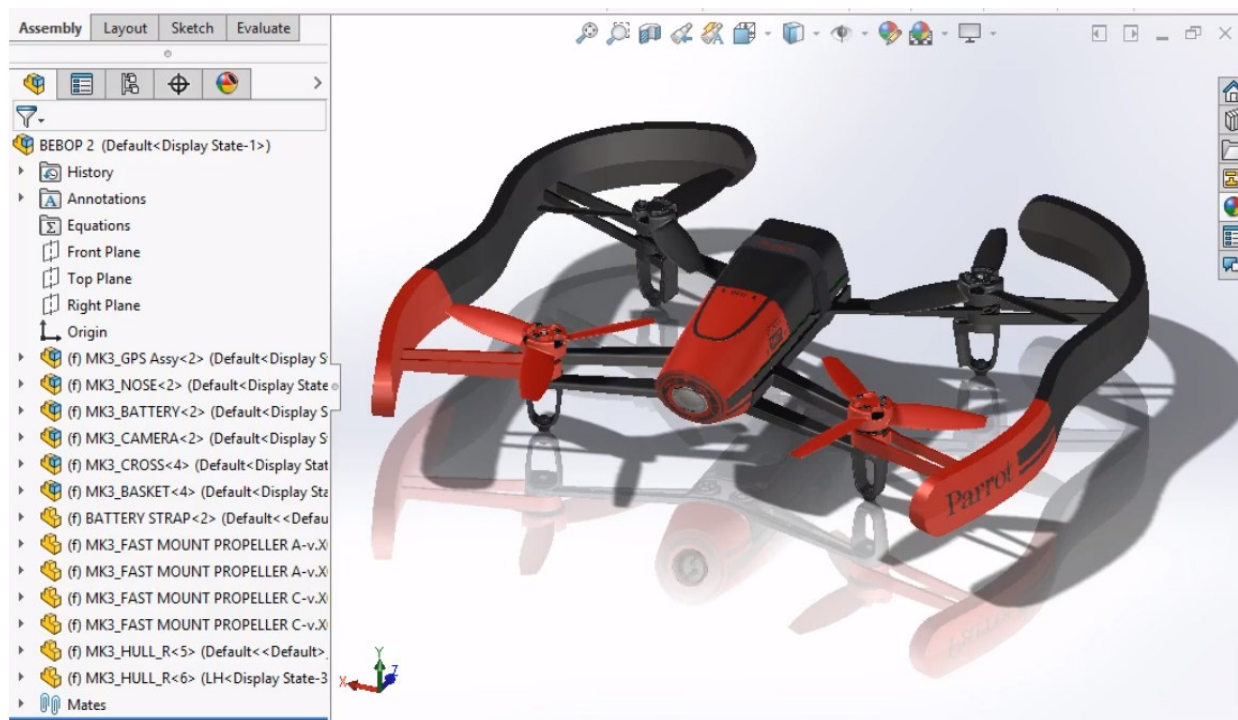


*Slika 4-20 - SOLIDWORKS Visualize [18]*

## □ Ubacivanje modela u SOLIDWORKS Visualize

Za efikasan rad u SOLIDWORKS Visualize jako je bitno kako ubaciti 3D model u program. Visualize može otvoriti više od dvadeset CAD tipova datoteka (na primjer: .sldprt, .dxf, .stp, .stl, .CATPart itd.) tako da je na samom početku jako bitno na koji način ćemo otvarati datoteke i koju vrstu ćemo CAD datoteke ćemo odabrati.

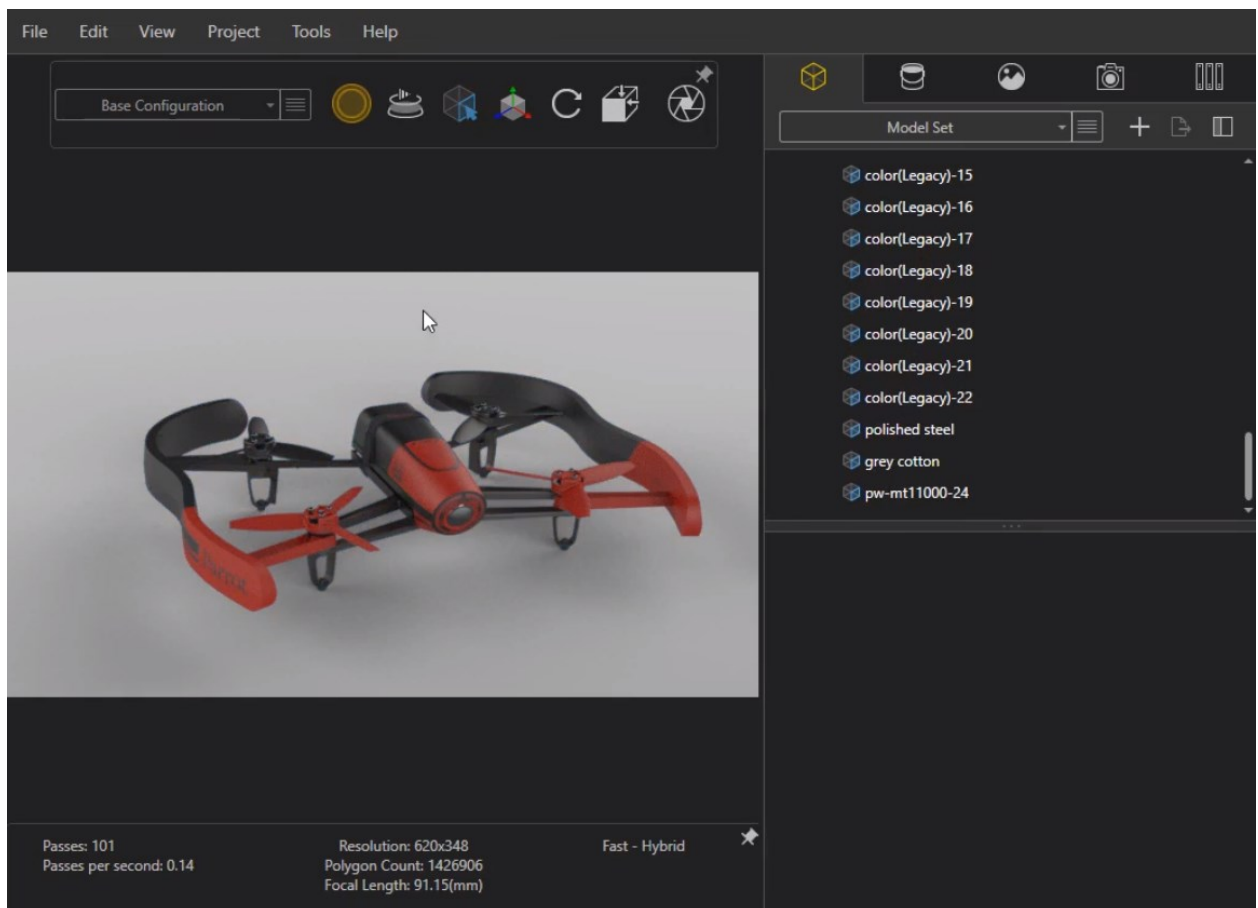
Jednom kad napravimo 3D model u nekom od CAD softvera, napraviti sliku tog modela u Visualize-u je dosta jednostavan proces koji uključuje ubacivanje modela, postavljanje izgleda, scena i kamera. Od velike važnosti je dobro postaviti postavke kod ubacivanja datoteke. U prvom koraku ubaciti ćemo SW model u Visualize, no prije toga u SOLIDWORKS-u moramo postaviti izgled koji želimo na određene površine i tijela. Te izgled koje postavimo na početku u SW-u koristit ćemo za organizaciju modela u Visualize-u da bi dodatno ubrzali proces vizualizacije. U svrhu primjera koristit ću model preuzet s interneta. [17]



Slika 4-21 - Primjer postavljanja izgleda u SW-u [18]

Zatim otvorimo SOLIDWORKS Visualize i povučemo model na početnu površinu u programu i napravimo novi projekt s tim modelom. Prije nego se model učita moramo postaviti postavke ubacivanja (*eng. Import Settings*). Tu imamo šest kartica koje definiraju što ćemo ubaciti i one ovise o CAD datoteci, iako će se kartice Geometrija i Izgled uvijek prikazati. Sada možemo ubaciti animacije s SW datoteke ili aktivne kamere.

U kartici geometrija prvo što moramo učiniti je odabrati Part Grouping. Part Grouping ima veliki utjecaj na organizaciju modela u projektu pa tako treba biti oprezan pri odabiru te opcije. Ako odaberemo automatsko grupiranje dijelova onda će SW Visualize odabrati svaki dio zasebno. S druge strane, grupiranje dijelova prema izgledu će napraviti svaki izgled od nekog dijela zasebno na originalnom modelu. Pošto je ovaj primjer podijeljen na dva izgleda (model u dvije boje) odabrati ću tu opciju i pritisnuti OK. S desne strane u izborniku scena vidimo da sve zasebne izgleda i boje od svakog zasebnog dijela.



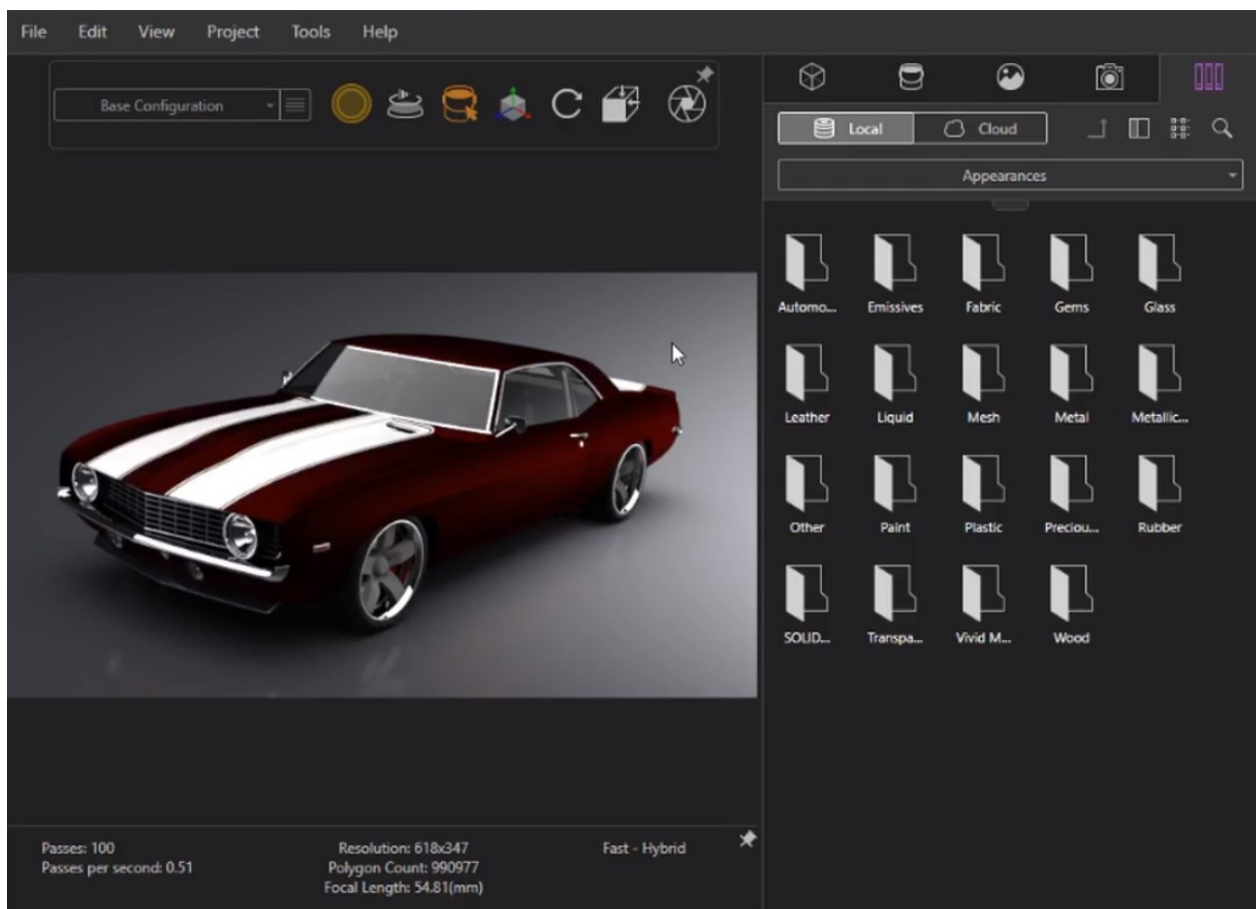
Slika 4-22 - SW Visualize [18]

Da bi promijenili izgled prvo moramo omogućiti Part Selection Tool. Nakon toga možemo primijetiti da je model promijenio boju i da ima crte po sebi koje nam označavaju područja gdje možemo mijenjati izgled. Izgled možemo mijenjati na dva načina. Prvi način je da odem na karticu izgled u izborniku desno i zamijenimo postojeći izgled s crvenog na npr. zelenu. Drugi način je da odemo na karticu Libraries i tamo u nekoj mapi pronađemo boju koja nam odgovara i jednostavno ju povučemo na površinu koju želimo obojati tom bojom.

## □ Upotreba izgleda u SOLIDWORKS Visualize

Dok model ubacimo u SW Visualize, on koristi izgled s datoteke koja je ubačena u SW Visualize. Taj izgled koji je postavljen na model može biti promijenjen i konfiguriran kako bi dosegno željene rezultate. Postoji par načina kako konfigurirati izgled od kojih smo dva pokazali u poglavlju prije. Na površine koje još nemaju izgled možemo naknadno dodati izgled tako da na tu površinu pritisnemo desni klik i dodamo izgled.

Za potrebe primjera koristit ću malo složeniji model kako bi bolje dočarao mogućnosti SW Visualize-a. Izgled na tom modelu dodan je pri konstruiranju 3D modela.

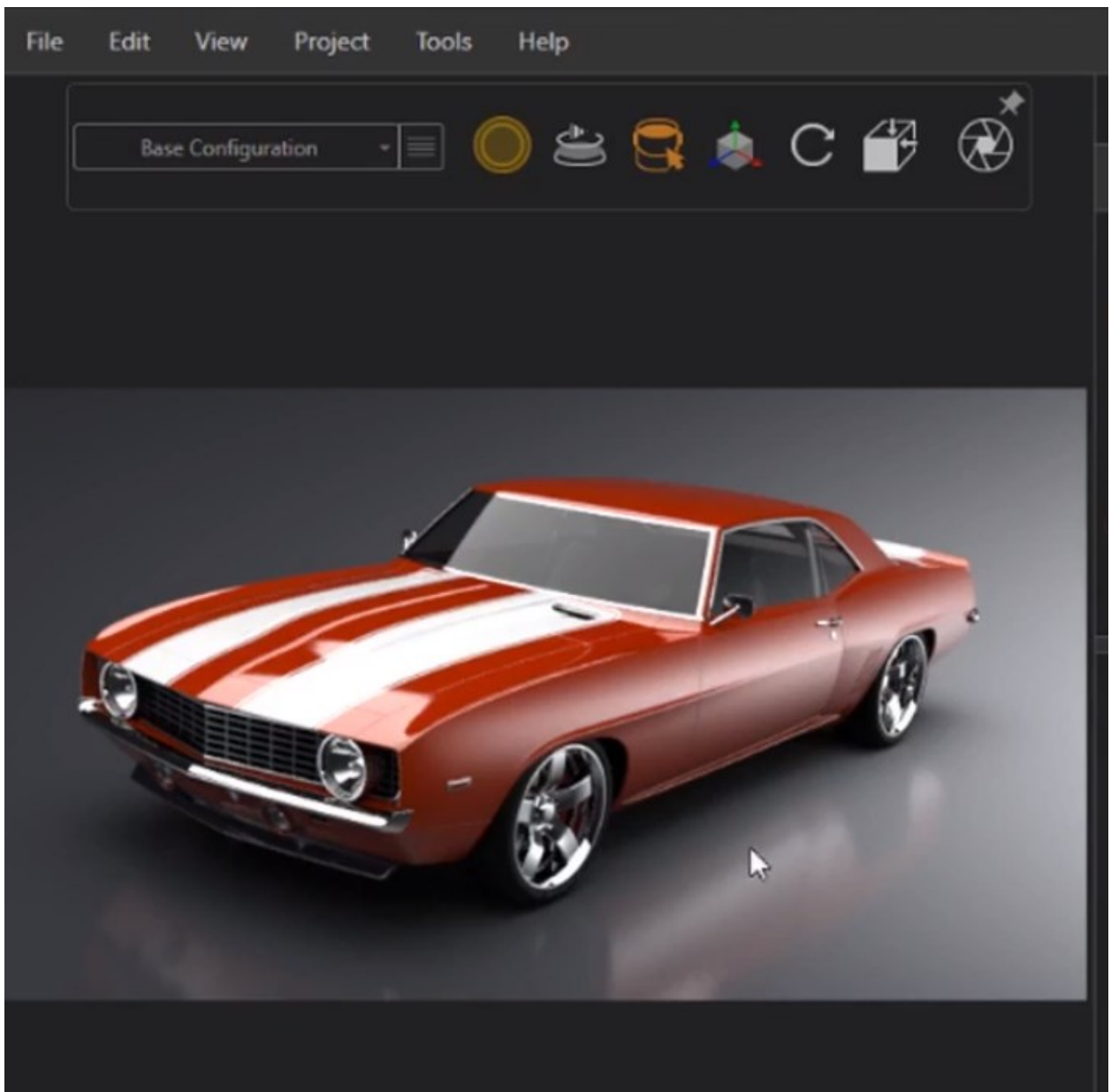


*Slika 4-23 - Primjer u SW Visualize-u [18]*

Na ovom modelu imamo dva ključna izgleda: izgled limarije i izgled felgi. Na limariji ćemo napraviti narančastu metalik boju, dok ćemo felge obojati u obično boju metala koju ćemo naći u knjižnici boja. Prvo odaberemo karticu izgled i idemo na ikonu novi izgled. Možemo preimenovati izgled u „limarija“, odaberemo željenu boju i jednostavno je samo povučemo do dijela koji želimo obojati. Ispod imena nas pita koji tip izgleda želimo i tu imamo ponuđeno pedesetak različitih tipova izgleda.

Mi ćemo za ovaj primjer odabrati obojani tip izgleda. Nakon što odaberemo tip izgleda odmah nam se ispod otvaraju klizači s kojima podešavamo izgled boje. Iznad toga možemo podešavati boju na tri načina: da negdje odaberemo na površini tu boju koju želimo, da s tri klizača odaberemo boju ili da jednostavno negdje spremimo svoju omiljenu boju i onda ju samo iskoristimo. Za limariju sam odabrao boju tako da sam otišao na internet i našao auto za koji želim da moj izgleda tako i jednostavno sam s Color Picker-om odabrao boju.

Nakon toga napravimo sve iste korake kao što smo za limariju da bi obojali felge. Označimo sve 4 felge (površine koje želimo obojati), odemo na karticu Library i tamo pronađemo izgled metala i jednostavno ga primijenimo na označene površine.



*Slika 4-24 - Izgled u SW Visualize [18]*

- **Izlazna slika ili video**



Kreiranje slika ili videa u programu SW Visualize je jednostavan proces s nekoliko opcije. Ovaj program može imati 5 načina prikaza izlaznih datoteka, no ja ću objasniti samo dva: Snapshot i Render koji je izlazna datoteka - slika.

Sada kad smo već na kraju vizualizacije, kada smo nacrtali 3D model u nekom CAD programu, kada smo postavili izgled, scene i kamere, sad tek možemo 3D model prikazati u realnom svijetu pomoću programa SW Visualize. Snapshot je prva opcija za dobivanje izlazne datoteke i na jednostavan način daje prikaz o trenutnom modelu. Prvo kliknemo na Output tools i zatim odaberemo ikonu Snapshot. Tu možemo mijenjati samo dvije stvari: tip datoteke kako će se spremiti slika (.jpg, .gif itd.) i mjesto spremanja slike.

U drugom načinu izlazne datoteke, Render, možemo isto tako mijenjati tip datoteke kako će se spremiti slika, naziv datoteke i mjesto spremanja, ali možemo i mijenjati rezoluciju slike, kvalitetu slike i slično. Možemo odabrati način na koji će se izvršiti renderiranje: pregled (*eng. Preview*), brzo (*eng. Fast*) i točno (*eng. Accurate*). Mi ćemo za ovaj primjer odabrati brzo renderiranje i to će trajati malo više od 5 minuta.

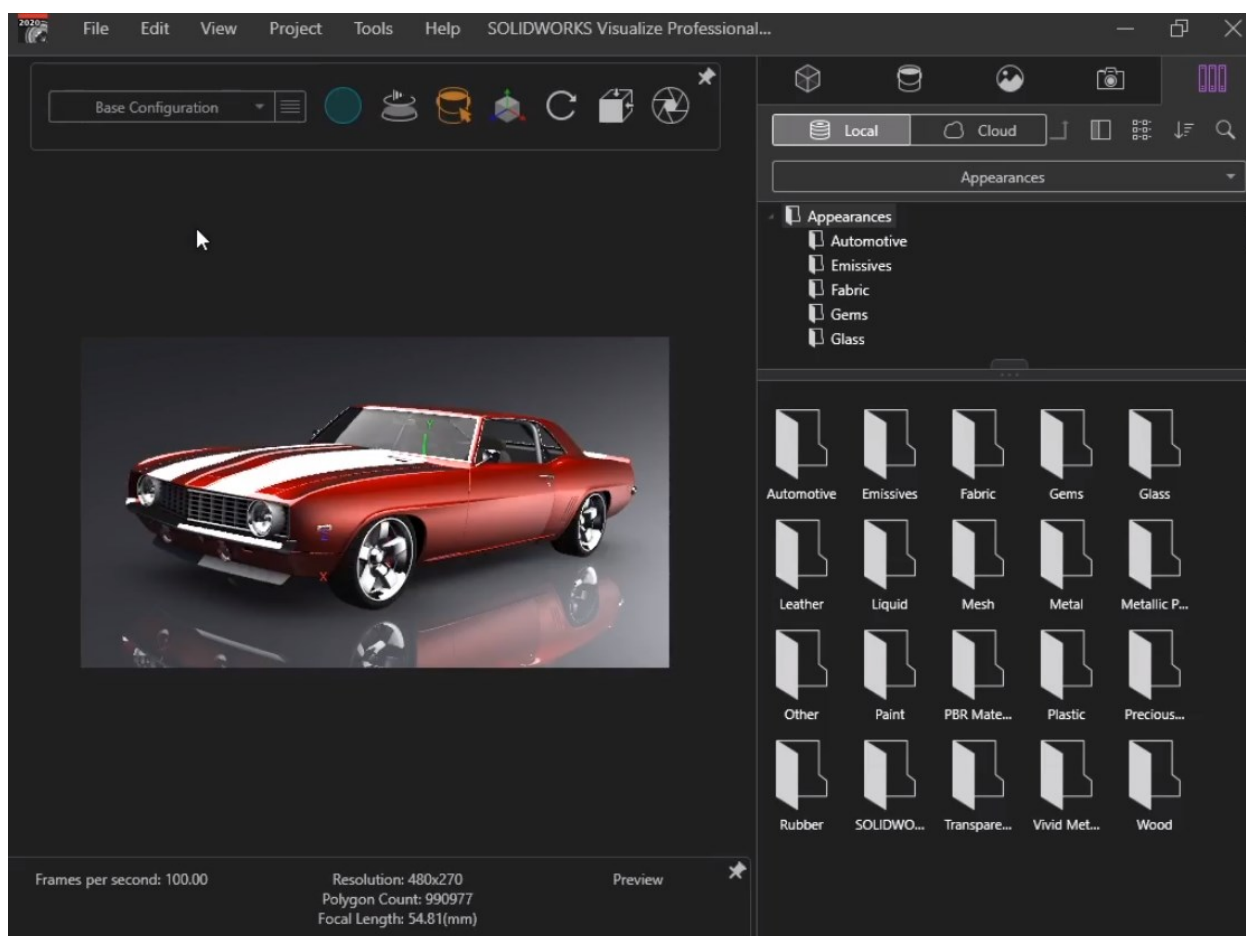


*Slika 4-25 - Izlazna datoteka SW Visualize-a [18]*

## □ Glavni dijelovi programa SOLIDWORKS VISUALIZE

Sastavni dio savladavanja programa VISUALIZE je biti upoznat sa sučeljem programa, znati gdje pronaći alate koje trebamo i znati koje mogućnosti možemo koristiti da bi na željeni način prikazali model ili prototip. U programu VISUALIZE imamo četiri glavne cjeline koje čine sučelje: Viewport (glavno područje rada), glavna alatna traka (*eng. Main Toolbar*) gdje se nalaze najčešće korišteni alati, paleta (*eng. Palette*) gdje su sve postavke za projekt pohranjene i modificirane, i Heads Up Display koji nam omogućuje brzi pristup informacijama vezanim za vizualizaciju modela. U narednom tekstu ću objasniti sve te cjeline zajedno s početnim zaslonom. Za objašnjavanje istog korištena je profesionalna verzija programa VISUALIZE tako da se mogu pojaviti neke naredbe ili alati koji nisu dostupni u standardnoj verziji.

Početni zaslon se prikazuje odmah nakon što pokrenemo program VISUALIZE i tu imamo nekoliko mogućnosti kako pokrenuti novi projekt. Možemo stvoriti novi projekt, otvoriti postojeći ili otvoriti neki od nedavnih projekata koji su nam ponuđeni na početnom zaslonu. Za primjer objašnjavanja ovog programa koristimo Camaro iz 1969. godine.



Slika 4-26 - SW Visualize [18]

Na slici iznad vidimo četiri glavne cjeline koje smo u tekstu ranije nabrojali. Viewport je dio u kojem vidimo model, glavna alatna traka se nalazi iznad Viewporta, paleta se nalazi na cijeloj desnoj strani dok je Heads Up Display ispod Viewporta.

Viewport je glavni radni prostor i tu je pozicioniran model kojeg obrađujemo i manipuliramo s njim. Ono što je prikazano na Viewportu je točno ono što ćemo dobiti kada napravimo izlaznu datoteku. Ako zamislimo Visualize kao virtualni foto studio, onda je Viewport ono što objektiv kamere zapravo vidi. U postavkama možemo promijeniti maksimalnu rezoluciju Viewporta kako bi promijenili veličinu Viewporta.

Iznad Viewporta nalazi se glavna alatna traka. Tu imamo mogućnosti konfiguracije, alat za odabir prikaza, prikazivanje u stvarnom vremenu, alati za odabir, alat za manipulaciju objektima, alati za kamere, odabir prikaza i izlazne mogućnosti.

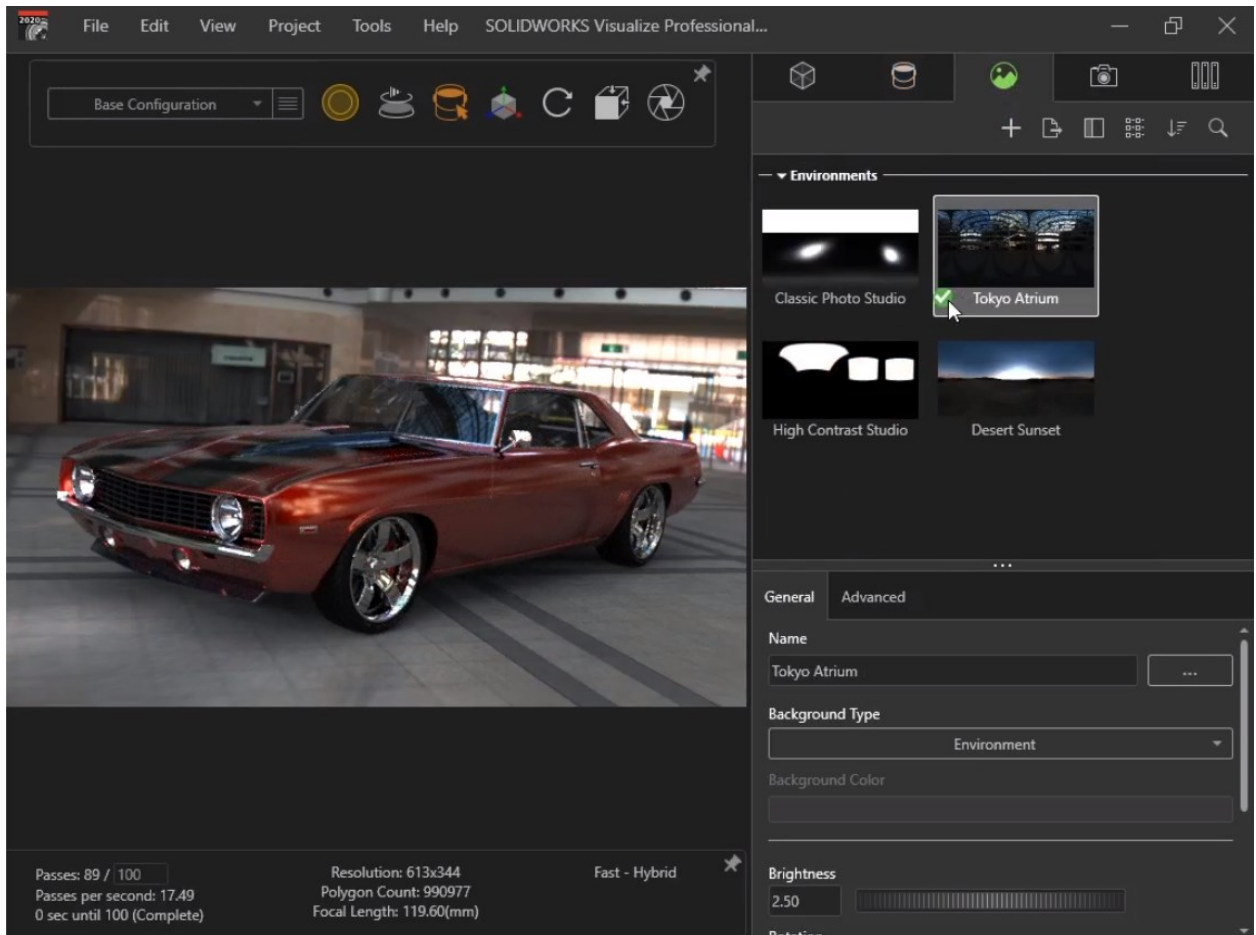
Visualize ima tri alata za odabir prikaza između kojim možemo birati. Način pregled (*eng. Preview mode*) omogućuje visoke performanse, interakciju i najbolje ga je koristiti za inicijalno postavljanje prikaza, kreiranje animacija i slično. Brzi način (*eng. Fast mode*) omogućuje brzo postavljanje prikaza i dobar omjer brzine i kvalitete. Taj način je dobar za velike objekte bez kompleksnih boja i slično. „Točan“ način je način na koji se najrealističnije prikazuje model. Taj način kreira sliku najveće kvalitete. Kod korištenja točnog načina vrijeme kreiranje izlazne datoteke može biti jako veliko pa se tako preporučuje da se uključi opcija Initialite Denoiser koji ubrzava prikaz do 10 puta.

Alati za odabir su najjednostavnije ono na što kliknemo na Viewportu. Na primjer, s „plavim“ odabirom kada kliknemo na model, plava vanjska linija okruži sve bridove koje smo označili. Ta plava linija nam značajno olakša identifikaciju onoga što smo odabrali što nam je od velike pomoći kod animiranja ili kad radimo s izgledima.

S alatima za kameru možemo rotirati, pomicati, približavati, vrtjeti i mijenjati kut gledanja kamere. Neke od tih naredbi imaju svoje prečice koje je preporučljivo naučiti zato što uvelike ubrzaju radnju u programu. Ako držimo kotačić na sredini miša onda rotiramo model oko točke u kojoj pritisnemo. Ako držimo kotačić na sredini miša i držimo tipku CTRL onda samo pomičemo 3D model. Ako držimo kotačić na sredini miša i držimo tipku SHIFT onda pomicanjem miša gore-dole povećavamo i smanjujemo model. To isto možemo napraviti vrtnjom kotačića. Ako držimo pritisnutu tipku ALT kod vrtnje kotačića mijenjamo fokusnu dužinu kod kamere što može biti jako zanimljiv podatak za realističniju sliku.

Ako slučajno zaboravimo neku od tih prečica, možemo ih lako pronaći na padajućem izborniku alati.

Paleta s desne strane je mjesto gdje se događaju i čine sve radnje. Kartica model sadrži sve o modelu, dijelu koji crtamo i koristi se za promjenu vizualizacije i da budemo sigurni da se model nalazi na tlu prethodno postavljenog okoliša. Kartica izgled sadrži sve izgleda koji su dodani i postavljeni na model. Odabirom pojedinog izgleda možemo lako izmijeniti postavke izgleda, to jest promijeniti boju i slično. Kartica scene sadrži sve o osvjetljenim elementima u projektu. Okoliš nam pruža većinu mogućnosti podešavanja svjetlosti i refleksije.



Slika 4-27 - SW Visualize [18]

Kartica kamere prikazuje sve o kamerama, i sve dok Viewport prikazuje ono što kamera vidi, promjenom kamera mijenjamo kompoziciju Viewporta. Tu možemo mijenjati omjer slike, da li želimo kvadratnu sliku 1:1, ili za TV 4:3, HDTV 16:9 i tako dalje. Tako odabiremo proporciju slike, iako to nije završna rezolucija nego je to samo proporcija slike. Kartica knjižnica sadrži nekakve standardne izgleda i vizualizacije.

Heads Up Display na dnu nam nudi brzi pristup nekim bitnim informacijama. Na sredini se nalazi rezolucija, trenutna veličina Viewporta, odabrani omjer slike i slično. Odmah ispod je brojač poligona koji predstavlja koliko je model zapravo velik, a ispod toga se nalazi fokusna duljina aktivne kamere. S desne strane je prikazan odabir prikaza. S lijeve strane su prikazani prolazi i prolazi po sekundi, koji su direktno povezani s odabirom prikaza modela. Prolazi su jednostavno ono koliko puta morate proći ponovno po modelu da se provedu promjene, i ono će se ponavljati tako dugo dok postoji bilo koja nova promjena na Viewportu s modelom. Prolazi u sekundi nam govore o brzini koju možemo očekivati ovisno o računalu i njegovim mogućnostima. Prolazi u sekundi direktno ovise o rezoluciji, modelu, kompleksnosti same scene i slično. Kasnije kada želimo dobiti izlazni proizvod (sliku ili video) treba paziti na broj prolaza: više prolaza znači manje „nečistoća“ na izlaznom proizvodu.

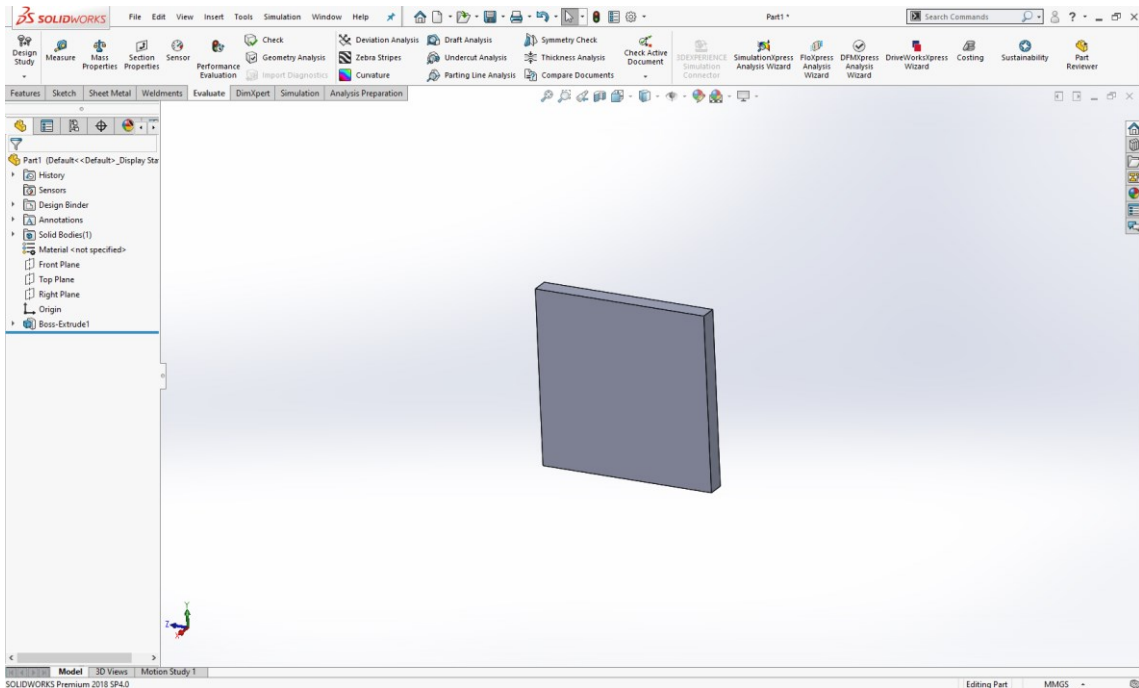
Sučelje programa VISUALIZE ima dosta opcija za istražiti kako što bolje kontrolirati i usavršiti završni proizvod. Pojedine iste stvari se mogu napraviti na više različitih načina što omogućuje korisniku da se prilagodi programu kako to njemu odgovara. Opcije su većinom jednostavne i slikovite, a program je detaljan i temeljit.



Slika 4-28 - SW Visualize [18]

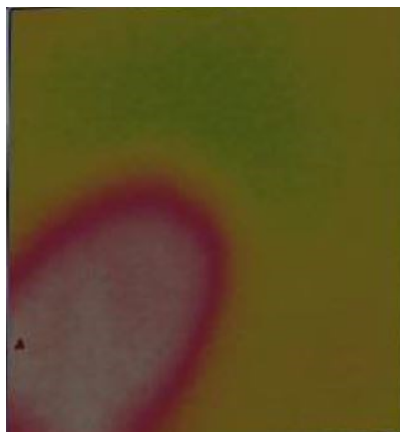
## 4.4. Upotreba SOLIDWORKS-a

SOLIDWORKS se u ovom radu koristio za modeliranje tog modela koji se mora prikazati u tri i pol dimenzije. Prvo korak je napraviti samo tri dimenzije. Za ovaj primjer koristi se obični kvadar na koji se otisnuo prst i tako se na njega prenijela toplina koja se manifestira u promjeni temperature.



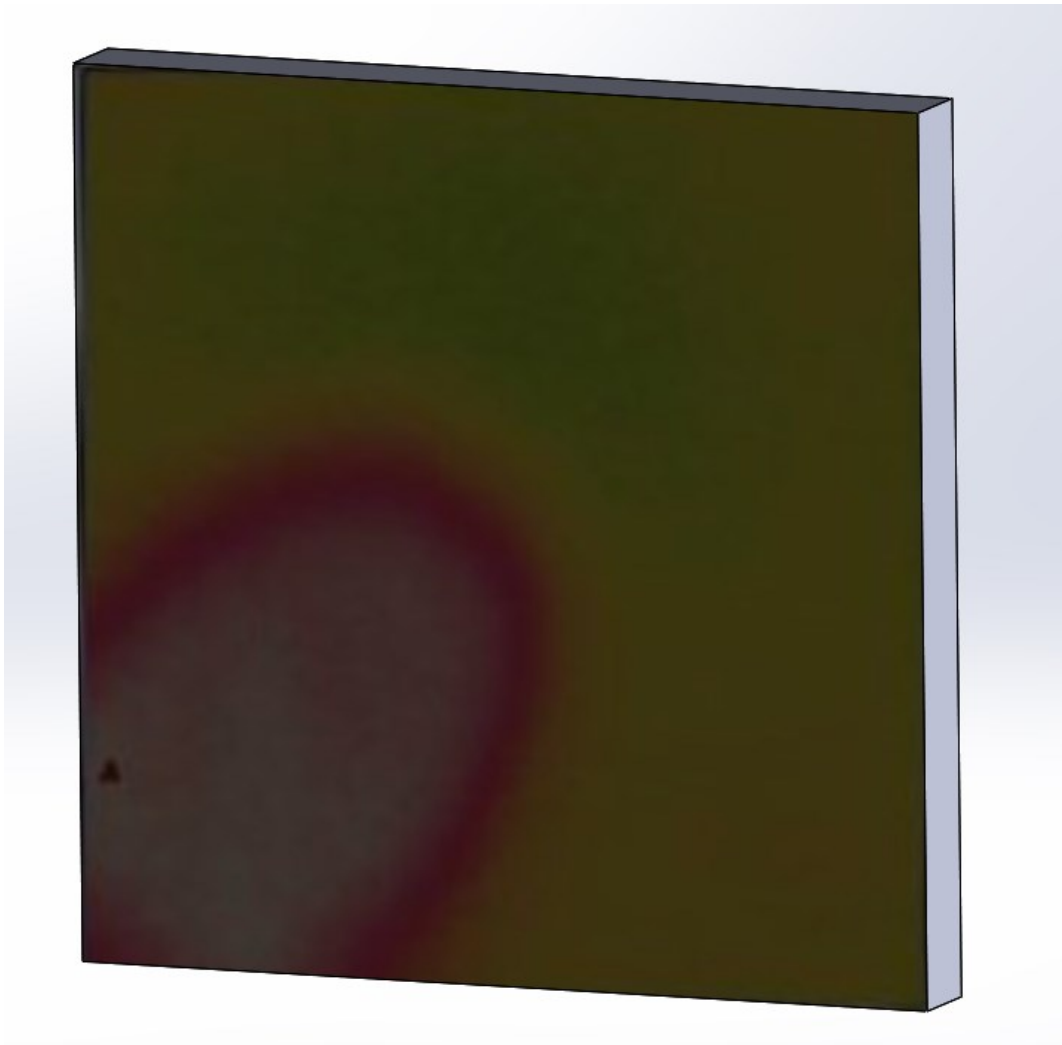
Slika 4-29 - 3D model

Nakon toga uzima se sliku koja je uslikana termovizijskom kamerom. Kod slikanja 3D modela treba ga uslikati sa svih strana i onda se svaku sliku stavlja u SOLIDWORKS na onu stranu s koje je slikana. U ovom primjeru koristi se samo jedna strana.



Slika 4-30 - Termovizijska slika

Da bi se postavila slika na model mora se prvo odabrati željena površina na kojoj će biti slika. Nakon toga se pojavljuje izbornik s naredbama i odabere se izgled i onda na padajućem izborniku odabere naziv modela, u ovom slučaju Part1. Otvara se izbornik za umetanje slike i tamo se odabere površina na koju ćemo postaviti sliku. Zatim se odabere slika koja će se postaviti na površinu. Ovisno o kvaliteti slike ona će se stvoriti manja ili veća. Pošto je slika dosta loše kvalitete, pojavila se ta slika tri puta manja od modela. To se može primijeniti u kartici mapiranje i tamo se može skalirati i pomaknuti slika u sredinu tako da izgleda točno tako kako je izgledalo kada je bilo snimljeno s termovizijskom kamerom. SOLIDWORKS ne dopušta da se vidi kako će to izgledati prije nego što se taj izgled spremi u P2m i P2d datoteku. Nakon što se izgled spremi, na ta dva načina može se vidjeti izgled 3,5D modela.



*Slika 4-31 - 3,5D model*

## 5. Termovizija

Termovizija je zapravo infracrvena termografija koja omogućuje uređaju da beskontaktno mjeri toplinu koja zrači iz nekog tijela. Funkcionira tako da mjeri jačinu infracrvenog zračenja s ploha promatranog tijela. Glavni podatak o temperaturi koju želimo mjeriti na nekoj udaljenosti je informacija koja se da izračunati prema zakonima fizike po kojoj svako tijelo u prirodi odašilje energiju.

$$W = f(\epsilon, T)$$

U formuli iznad  $\epsilon$  predstavlja emisijski koeficijent koji zavisi o kemijskom sastavu tijela koje se promatra, a  $T$  predstavlja temperaturu u Kelvinima. Sva tijela koja se nalaze na temperaturi veći od apsolutne nule imaju neko zračenje. Intenzitet zračenja ovisi o gibanju molekula koje za posljedicu imaju djelovanje temperature. Svaki materijal zrači drugačije i drugačijim intenzitetom i točno se zna koliko koji materijal pri kojoj temperaturi zrači. Takvo odašiljanje energije odvija se u elektromagnetskim valovima, a pošto njih primjenjujemo na dnevnoj razini, oni su nam dobro poznati. Nositelj energije je, dakle, elektromagnetski val koji ima valnu duljinu između 2 i 13  $\mu\text{m}$ . Isti takvi valovi, ali valne duljine između 0,4 i 0,75  $\mu\text{m}$  ljudi vide kao svjetlost, dok povećanjem ili smanjivanjem valne duljine u tom rasponu određujemo boju. Kada bi ljudi mogli vidjeti valove valne duljine između 2 i 13  $\mu\text{m}$  bili bismo zaslijepljeni zato što sva tijela zrače energijom.

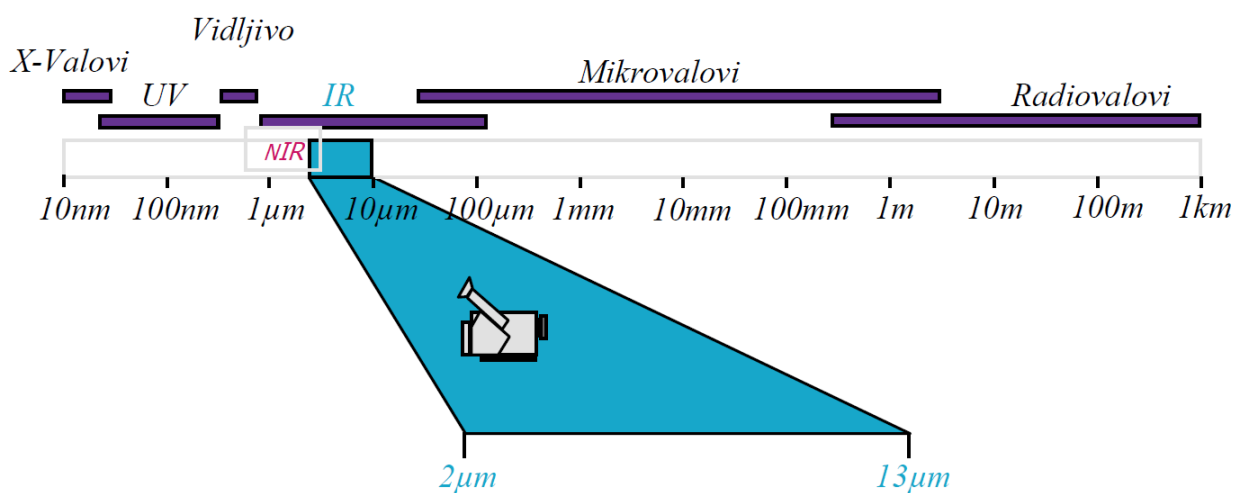


Slika 5-1 - Termovizijska slika [8]



Pošto ljudsko oko ne može vidjeti valove u infracrvenom spektru, čovjek si je izmislio uređaj koji će prepoznati te valne duljine i prikazati ih čovjeku u njemu poznatim valnim duljinama. U realnom vremenu uređaj pretvara valove valne duljine između 2 i 13  $\mu\text{m}$  u valove valne duljine između 0,4 i 0,75  $\mu\text{m}$ . Sliku koju dobijemo možemo promatrati kao toplinsku energiju koju emitira neko promatrano tijelo. Postoje dvije vrste IC mjerenja, a to su kvantitativna i kvalitativna. Za kvalitativna mjerenja jako je bitno da uočimo i registriramo, a za kvantitativna mjerenja je važno da mjerimo precizno. Tako da imamo dva različita načina mjerenja u infracrvenom spektru elektromagnetskim valovima, prvo je da imamo preciznu sliku i dobru rezoluciju, a druga nam služi da možemo jako dobro mjeriti temperaturu, služi za mjerenje temperature visoke preciznosti.

Infracrveno zračenje sastavni je dio EM spektra i započinje poslije vidljivih valnih duljina, a završava malo poslije 200  $\mu\text{m}$ , gdje već počinju mikrovalovi koji su na gornjoj granici poklapaju s donjom granicom radio valova. Pod infracrveni spektar se najčešće misli na valne duljine između 2 i 13  $\mu\text{m}$ . Na slici dolje vidimo spektre EM valova, a istaknuti su valovi koje mi promatramo. U tom spektru valova nalazi se jako puno informacija koje ljudsko oko nažalost ne može vidjeti pa zbog toga koristimo uređaje koji nam daju tu informaciju.

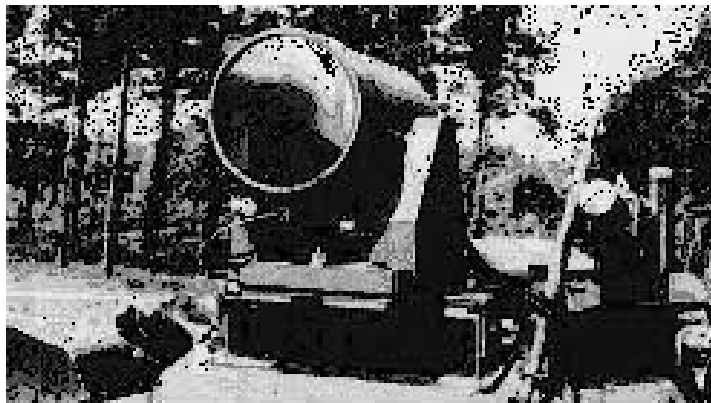


Slika 5-2 - Elektromagnetski valovi [9]

Infracrveno zračenje djeluje prema osnovnim zakonima koji se primjenjuju za EM zračenje. Razlika je jedino u frekvenciji i valnoj duljini. Uređaji koji se trenutno koriste za zapažanje infracrvenih zračenja dijele se u dvije skupine: uređaji za snimanje temperature i kako je ona raspoređena po površini objekta (termografija) i uređaji za mjerenje temperature (radiometrija).

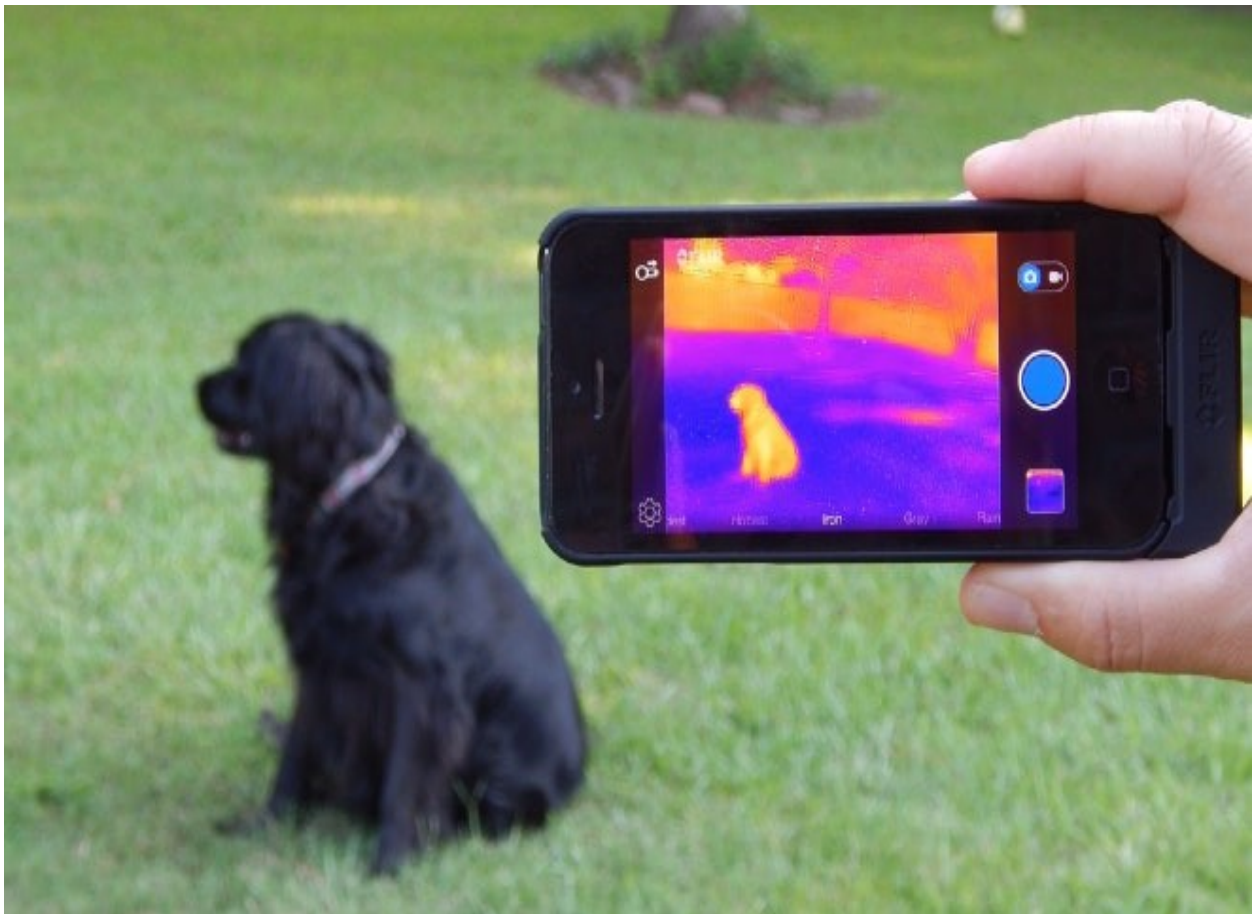
## 5.1. Termovizijska kamera

Infracrveno zračenje počelo se konkretnije razvijati za vrijeme drugog svjetskog rata za potrebe vojske, uočavanje terena iz zraka i slično. U drugoj polovici 20. stoljeća počinju se razvijati razni komercijalni modeli kamera. Ti prvi modela kamera bili su dosta spori, no sadašnji modeli imaju vrlo kvalitetnu sliku. Sve kamere rade na principu korištenja optomehaničkog skeniranja, a nazivaju se još i infracrveni skeneri. Sadašnje kamere objedinjuju više funkcija. Sredinom druge polovice prošlog stoljeća počinju se proizvoditi termovizijske kamere koje imaju više detektora, dok termovizijske kamere koje su se ranije proizvodile imaju samo jedan detektor koji sliku stvara mehaničkim putem. Slika s objekta se prenosi pomoću optike na matricu od detektora na kojoj ima stotinjak linija gdje svaka linija pokriva cijelu područje gdje se nalazi projekcija slike. Takva vrsta detektora naziva se FPA ili Focal Plane Array. Kod tog načina nastanka slike, mehanički ili tehnologija rotirajuće prizme, zahtjeva se hlađenje tih uređaja npr. tekući dušik zbog čega se ti uređaji nisu mogli masovno prodavati i koristiti jer nisu prenosivi i ne mogu se koristiti u komercijalnu primjenu pa su se takvi uređaji većinom koristili u laboratorijima. Nakon daljnjeg razvoja sustava hlađenja termovizijskih detektora došlo je do mogućnosti da kamere za termoviziju budu prijenosne kao obične kamere i tako započnu svoju komercijalnu upotrebu primarno u održavanje pojedinih elektroenergetskih postrojenja.



*Slika 5-3 - Termovizijska kamera šezdesetih godina prošlog stoljeća [10]*

Termovizijska kamera u obzir uzima udaljenost objekta, temperaturu okoline i koeficijent emisije i to sve informacije obrađuje i daje konačnu temperaturu promatranog tijela. Prema tome, infracrvena termovizijska kamera može se primjenjivati samo na mjestima gdje se može na osnovu razlika temperatura prema referentnom objektu izvršiti analiza objekta koji smo mjerili. Drugim riječima govoreći, nije dostatno snimiti promatrano tijelo infracrvenom termovizijskom kamerom, nego taj proces zahtjeva pomnu analizu snimljenog objekta posebnom računalnom opremom i posebnim programima i uz sve to napraviti protokol infracrvenog snimanja.



*Slika 5-4 - Primjer termovizijske kamere [11]*

## 5.2. Flir E60

Za primjere i prikaz modela i 3,5D modela koristila se termovizijska kamera Flir E60. To je termovizijska kamera visoke razlučivosti dizajnirana za izgradnju dijagnostičkih i industrijskih aplikacija gdje su izvješća često potrebna. Termovizijska slika visoke razlučivosti 320 x 240 koja udovoljava RESNET standardu razlučivosti daje neke od najoštrijih mogućih termalnih slika. Uz FLIR MSX, ove se slike kombiniraju s istaknutim vidljivim svjetlom, što ih čini izuzetno detaljnima i jednostavnima za interpretaciju. Osnovno vidno polje od 25 x 19 stupnjeva na E60 pomaže uhvatiti sve što vam treba na jednoj slici za većinu aplikacija. Dostupne su i dodatne leće od 15 i 45 stupnjeva. FLIR E60 također ima Wi-Fi vezu s mobilnim uređajima putem mobilne aplikacije FLIR Tools. Ova vam aplikacija omogućuje strujanje termalnog videa izravno s kamere, kao i podešavanje slika i stvaranje profesionalnih izvještaja.

Kamera ima raspon temperatura od 650 °C i osjetljivost temperature od 0,05 °C. Frekvencija slika u videu je 60 Hz i ima mogućnost povezivanja s Bluetooth-om. Podržava 4x zoom i ima LCD 3,5 inča zaslon osjetljiv na dodir s automatskim zakretanjem zaslona. FLIR E60 ima FLIR MSX, što je skraćenica od Multi-Spectral Dynamic Imaging. Ova moćna tehnologija miješanja termalne slike izdvaja visoko-kontrastne vrhunce i detalje generirane digitalnom kamerom od 3,1 MP termalne kamere i prekriva ih infracrvenom slikom u stvarnom vremenu. Rezultat je znatno detaljnija termalna slika gdje su naljepnice, brojevi i druge strukturne značajke i dalje jasno vidljive. To znatno olakšava prepoznavanje značajki na termalnoj slici i gotovo eliminira potrebu za referentnom fotografijom vidljivog svjetla. Ispod je ilustracija kako MSX dodaje detalje slikama.



*Slika 5-5 - Flir E60 [7]*

## 6. 3D aditivne tehnologije

Aditivna tehnologija je formalizirani termin koji koristimo za brzo prototipiranje koje često nazivamo 3D printanje. Termin brzo prototipiranje (*eng. Rapid prototyping- RP*) se koristi kao vrsta industrije koja služi za brzo opisivanje sistema ili modela prije finalne verzije. Drugim riječima, naglasak je na tome da napravimo nešto brzo i da dobijemo prototip ili obični model iz čega će se izvesti finalni proizvod. Savjetnici za upravljanje i inženjeri za softver isto koriste termin brzo prototipiranje da bi opisali procese razvoja poslovanja i softverska rješenja na komad koji omogućava klijentima i ostalima da testiraju ideje i daju povratne informacije tijekom procesa razvoja. U kontekstu razvoja proizvoda, pojam brze izrade prototipa široko se koristi za opisivanje tehnologije koje su stvorile fizički prototip izravno iz podataka digitalnih modela. Ovaj je tekst o ovim tehnologijama, prvo razvijenim za izradu prototipova, ali sada korištenim u mnogo više svrha.

Korisnici RP tehnologije shvatili su da je ovaj pojam neadekvatan i neprimjeren, ne opisuje učinkovito novije primjene tehnologije. Poboľšanja u kvaliteti rezultata ovih strojeva značila su to da često postoji puno bliža veza s konačnim proizvodom. Mnogi su dijelovi u stvari sada izravno proizvedeni u tim strojevima, pa nam nije moguće označiti ih kao "Prototipe". Pojam brzo izrađivanje prototipa također previđa njihovo osnovno načelo tehnologije u kojoj svi izrađuju dijelove primjenjujući aditivni pristup. Nedavno formirani Tehnički odbor unutar ASTM International složio se da nova terminologija treba usvojiti. Iako se o tome još uvijek raspravlja, nedavno je usvojen ASTM konsenzusni standardi sada koriste izraz aditivna proizvodnja (*eng. Additive manufacturing – AM*).

Ukratko nazvan AM, osnovno načelo ove tehnologije je da model, inicijalno generiran pomoću trodimenzionalnog računalno potpomognutog dizajna može se izravno izraditi bez da planiramo proces. Iako nije baš jednostavno kako na prvu zvuči, AM tehnologija zasigurno značajno pojednostavljuje postupak proizvodnje kompleksnih 3D modela direktno iz CAD-a datoteke. Ostali proizvodni postupci zahtijevaju pažljivu i detaljnu analizu geometrija modela kako bi se odredile stvari kao što su raspored u kojem mogu biti različite tehnološke operacije, kakvi se alati koriste i koji se procesi moraju koristiti i koji strojevi mogu biti korišteni potrebni za dovršetak komada. Suprotno tome, AM treba samo neke osnovne dimenzije pojedinosti i malu količinu razumijevanja kako AM strojevi funkcioniraju i koji se materijali upotrebljavaju da bi se neki dio izradio.

Način na koji AM radi jest da se dijelovi izrađuju dodavanjem materijala u slojevima; svaki je sloj tanki presjek dijela izvedenog iz izvorne CAD datoteke. Očito je da u fizičkom svijetu svaki sloj mora imati konačnu debljinu i tako će odgovarajući dio biti aproksimacija izvorne datoteke, kao što ilustrira slika ispod. Što je svaki sloj tanji, završni će dio biti bliži izvornome. Svi komercijalizirani AM strojevi do danas koriste pristup zasnovan na slojevima i glavni načini na kojima se razlikuju su u materijalima koji se mogu koristiti i kakvi su slojevi stvoreni i kako su slojevi povezani jedni s drugima. To će se odraziti na završne rezultate poput točnosti završnog dijela plus njegova svojstva materijala i mehanička svojstva. Također će se odraziti na brzinu kojom se može izraditi dio, koliko je potrebna naknadna obrada, veličina AM stroja koji se koristi i ukupne troškove stroja i procesa.



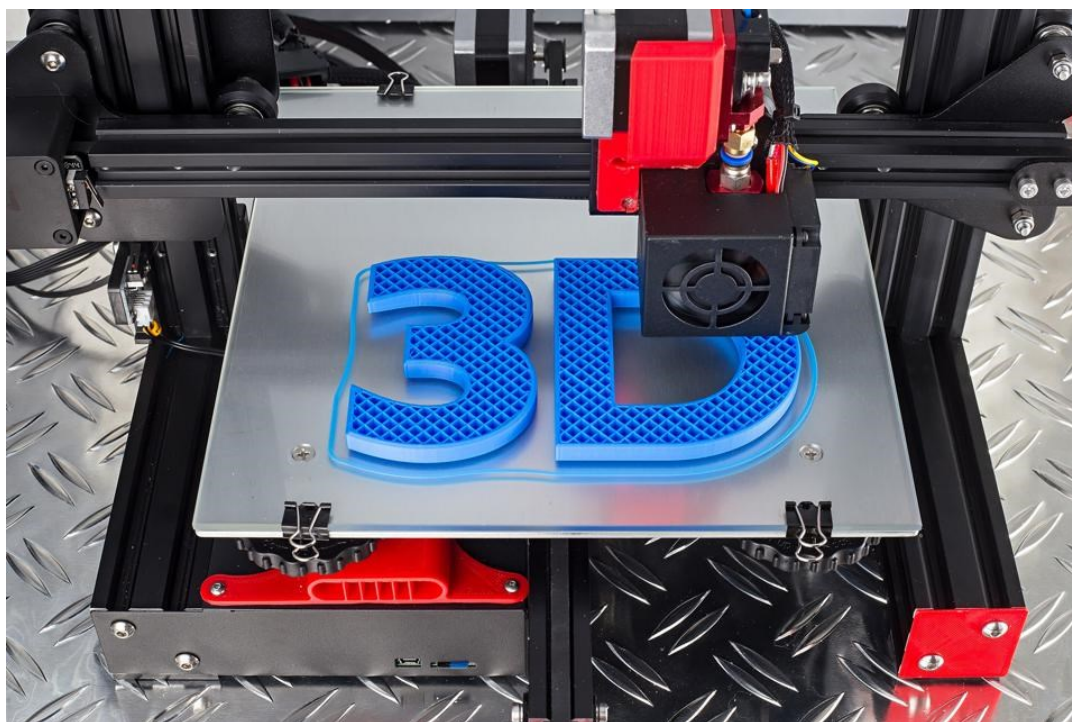
*Slika 6-1 - Kvaliteta proizvoda u odnosu na debljinu sloja [12]*

## 6.1. Upotreba aditivne tehnologije

Broj upotrebe povećava kako se procesi razvijaju i poboljšavaju. U početku se AM koristio posebno za izradu modela vizualizacije za proizvode kako su se razvijali. Opće je poznato da model može biti mnogo korisniji od crteža ili prikaza za potpuno razumijevanje namjere dizajnera prilikom predstavljanja idejnog rješenja. Dok su crteži brži i jednostavniji za stvaranje, na kraju su gotovo uvijek potrebni modeli za potpunu provjeru valjanosti oblika proizvoda.

Slijedeći ovu početnu svrhu jednostavne izrade modela, AM tehnologija se razvijala s vremenom kao materijali, točnost i ukupna kvaliteta rezultata. Modeli su brzo upotrijebljeni za pružanje informacija o tome što je na engleskom jeziku poznato kao 3 F: Form, Fit i Function. Početni modeli obično služe da u potpunosti procijenimo oblik i opću svrhu dizajna. Poboljšanje točnosti postupka značilo bi da se komponente mogu graditi prema toleranciji potrebni za montažu. Poboljšana svojstva materijala značilo bi da se dijelovima može pravilno rukovati kako bi na kraju mogli funkcionirati.

Bilo bi netočno reći da se AM tehnologija koristi samo za izradu modela. AM, kada se koristi zajedno s drugim tehnologijama za oblikovanje procesnih lanaca, može biti korisno i značajno skratiti vrijeme i troškove razvoja proizvoda. U novije vrijeme neke od ovih tehnologija su razvijene do te mjere da je izlazni proizvod spreman za upotrebu bez daljnjih postupaka prerade. To objašnjava zašto se tehnologija u osnovi razvila od brzog izrade prototipa do proizvodnja aditiva. Nadalje, upotreba laserske tehnologije uvelike je značilo da se dijelovi sada mogu izravno izrađivati od raznih metala, čime se još više proširuje raspon primjene.



*Slika 6-2 - 3D printanje [13]*

## **6.2. Opis postupka 3D printanja**

AM uključuje niz koraka koji se premještaju iz virtualnog CAD opisa u fizički rezultanti model. Različiti će proizvodi na različite načine uključivati AM različitih stupnjeva. Mali, relativno jednostavni proizvodi mogu koristiti AM samo za modeli vizualizacije, dok veći, složeniji proizvodi s većim inženjeringom može uključivati AM tijekom brojnih faza i ponavljanja u cijelom razvojnem procesu. Nadalje, rane faze procesa razvoja proizvoda mogu zahtijevati samo grubi dijelovi, pri čemu se AM koristi zbog brzine koje se mogu napraviti. U kasnijim fazama postupka, dijelovi mogu zahtijevati pažljivo čišćenje i naknadnu obradu (uključujući brušenje, pripremu površine i bojanje) prije nego što će se upotrebljavati, pri čemu je AM ovdje koristan zbog složenosti oblika koji se može stvoriti bez razmišljanja o alatima.

### **6.2.1. 1. korak: CAD**

Svi AM dijelovi moraju polaziti od softverskog modela koji u potpunosti opisuje vanjsku geometriju. To može uključivati upotrebu gotovo svakog profesionalnog CAD (računalno potpomognuti dizajn *eng. Computer-aided design*) softver, ali izlaz mora biti 3D čvrst ili površinski prikaz. Obrnuto za izradu se također može koristiti inženjerska oprema (npr. lasersko i optičko skeniranje).

### **6.2.2. 2. korak: pretvorba u STL**

Gotovo svaki AM stroj prihvaća format datoteke STL, koji je postao standardni i u današnje vrijeme gotovo svaki CAD sustav može izdati takav format datoteke. Taj zapis .STL nam govori o vanjskim zatvorenim površinama izvornog 3D modela koji smo prethodno nacrtali i čini osnovu za izračunavanje unutarnje strukture modela.

### **6.2.3. 3. korak: prijenos podataka na stroj**

STL datoteka koja opisuje model mora se prenijeti na AM stroj. Ondje može biti neka općenita manipulacija datotekom tako da su točne veličine, položaj i orijentacija za izgradnju.



#### **6.2.4. 4. korak: postavke AM stroja**

AM stroj mora biti pravilno postavljen prije postupka izrade. Takve postavke odnosile bi se na parametre izrade poput materijalnih ograničenja, izvora energije, debljina sloja, vremena, brzina itd.

#### **6.2.5. 5. korak: printanje**

Izrada dijela najčešće je automatiziran proces i printer u velikoj mjeri može raditi bez nadzora. Potrebno je samo povremeno nadziranje stroja da bi se osigurali kako se nisu dogodile pogreške poput nedostatka materijala, kvarovi napajanja ili softvera itd.

#### **6.2.6. 6. korak: uklanjanje modela**

Kad AM stroj završi izradu, dijelovi se moraju ukloniti. U ovom koraku može se javiti zahtjev za interakcijom s printerom koji može imati sigurnosne blokade, na primjer, da je radna temperatura dovoljno niska ili da nisu aktivni i pokretni dijelovi.

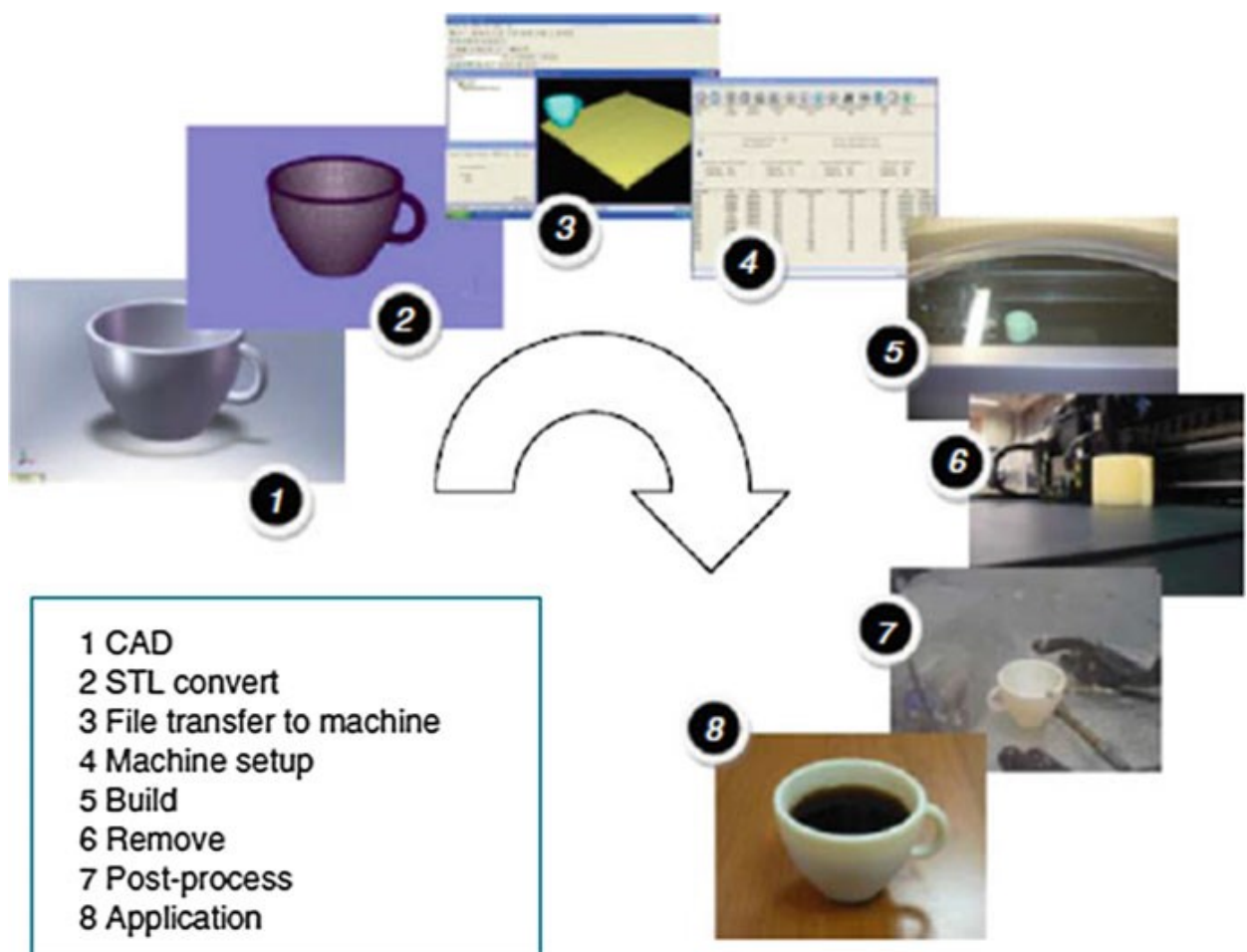
#### **6.2.7. 7. korak: dodatna obrada**

Jednom uklonjeni model iz stroja može zahtijevati dodatno čišćenje prije nego što bude spreman za upotrebu. Dijelovi u ovoj fazi mogu biti slabi ili mogu imati prateće značajke koje se moraju ukloniti. To često zahtijeva vrijeme i pažljivu,iskusnu ručnu manipulaciju.

#### **6.2.8. 8. korak:**

Dijelovi su sada spremni za upotrebu. Međutim, mogu zahtijevati i dodatne korake prije nego što su prihvatljivi za upotrebu. Na primjer, mogu zahtijevati temeljni premaz i bojanje kako bi se dobila prihvatljiva tekstura površine i završna obrada. Tretman može biti naporan i dugotrajan ako su zahtjevi za završnom obradom vrlo visoki. Također se mogu zahtijevati da se sastave zajedno s drugim mehaničkim ili elektroničke komponente za formiranje konačnog modela ili proizvoda. Iako se sada raspravljalo o brojnim fazama procesa AM, važno je shvatiti da mnogi AM strojevi zahtijevaju pažljivo održavanje. Puno AM strojeva koriste krhku tehnologiju lasera ili pisaača koja se mora pažljivo nadzirati, a to se po mogućnosti ne smije koristiti u prljavom ili bučnom

okruženju. Strojevi su općenito dizajnirani za rad bez nadzora, važno je uključiti redovite provjere u rasporedu održavanja koje zahtijevaju različite tehnologije različitih razina održavanja. Međutim, mnogi dobavljači strojeva preporučuju i pružaju uzorke ispitivanja kojima se povremeno mogu ispitati da li strojevi rade u prihvatljivim granicama. Uz strojeve, s materijalima može isto biti potrebno pažljivo rukovanje. Sirovine korištene u nekim AM postupcima imaju ograničen vijek trajanja, a mogu zahtijevati i potrebno držanje u uvjetima koji ih sprečavaju od neželjenih kemijskih reakcija. Izloženost vlazi, suvišnoj svjetlosti i drugim onečišćenjima također treba izbjegavati. Većina procesa koristi materijale koji se mogu ponovno koristiti više od jednog puta. Međutim, može se dogoditi da bi ponovna upotreba mogla pogoršati svojstva ako se izvede mnogo puta, a time i postupak za održavanje dosljednog materijala treba promatrati.



Slika 6-3 - Proces 3D printanja [14]

### **6.3. Razlika između aditivne i CNC tehnologije**

Što se tiče automatizacije u izradi, aditivne tehnologije imaju velike sličnosti s CNC tehnologijom proizvodnje. CNC je također računalna tehnologija koja se koristi za proizvodnju proizvoda. CNC se razlikuje uglavnom po tome što je prvenstveno subtraktivni (oduzima čestice), a ne aditivni (dodaje čestice) postupak, zahtijevajući blok materijala na kojem se mora nalaziti najmanje onoliko velik dio koliko je velik dio koji treba izraditi. U nastavku ću u nekoliko tema izvršiti usporedbe između CNC obrade i AM. Svrha je zapravo ne utjecati na odabir jedne tehnologije umjesto druge nego uspostaviti kako se mogu primijeniti za različite faze u razvoju proizvoda ili za različite vrste proizvoda.

#### **6.3.1. Materijal**

AM tehnologija izvorno je razvijena oko polimernih materijala, voskova i laminata od papira. Nakon toga je došlo do uvođenja kompozita, metala, i keramike. CNC obrada može se koristiti za mekane materijale, poput vlaknastih ploča srednje gustoće (MDF), obradive pjene, obradivih voskova pa čak i neki polimeri. Međutim, uporaba CNC-a za oblikovanje mekših materijala usmjerena je na pripremu ovih dijelova za upotrebu u više koraka poput lijevanja. Kada se za izradu koristi CNC obrada gotovi proizvodi, posebno dobro djeluje za tvrde, relativno lomljive materijale poput čelika i drugih metalnih legura za proizvodnju dijelova visoke preciznosti s dobro definiranim svojstvima. Neki AM dijelovi, nasuprot tome, mogu imati šupljine ili anizotropiju koji su funkcija orijentacije dijela, parametri procesa ili način na koji je dizajn uložen u stroju, dok će CNC dijelovi obično biti homogeni i predvidljivi u kvaliteti.

#### **6.3.2. Brzina**

Brzom CNC obradom općenito se materijal može ukloniti mnogo brže od AM strojeva koji mogu dodati sličan volumen materijala u puno dužem intervalu. Međutim, ovo je samo dio slike, jer se AM tehnologija može koristiti za izradu dijela u jednom koraku. CNC strojevi zahtijevaju znatno postavljanje i planiranje procesa, posebno kako dijelovi postaju složeniji u svojoj geometriji. Stoga se u obzir mora uzeti brzina cijelog procesa, a ne samo fizičku interakciju dijela materijal. CNC će vjerojatno biti proizvodni postupak u više koraka, koji zahtijeva premještanje dijelova unutar jednog stroja ili uporaba više strojeva. Da biste neki model izradili na AM stroju, to može potrajati samo nekoliko sati i s činjenicom da se više dijelova često spaja unutar jedne AM izvedbe. Završna obrada može potrajati nekoliko dana ako je zahtjev za visokom kvalitetom.

Korištenjem CNC obrade, čak i 5-osne brze obrade, ovaj isti postupak može potrajati i tjednima više, tako da imamo puno više neizvjesnosti oko vremena završetka.

### **6.3.3. Složenost**

Kao što je gore spomenuto, što je veća geometrijska složenost, to je veća prednost AM u odnosu na CNC. Mogu se pojaviti neke geometrijske značajke koje se ne mogu izraditi na CNC stroju. Budući da je alat za obradu mora se nositi u vretenu, možda postoje određena ograničenja koji sprečavaju da se alat nalazi na obradi površine koja je skrivena negdje unutar komada. AM procesi nisu ograničeni na isti način, a unutarnje i skrivene geometrije mogu se lako izgraditi bez specifičnog planiranja procesa. Razmotrimo, na primjer, mogućnost obrade broda unutar boce. Kako biste obrađivali brod dok je još uvijek unutar boce? Najvjerojatnije biste oba elementa obrađivali zasebno i radili na način njihovog kombiniranja kao postupak montaže i/ili spajanja. S AM možemo graditi brod i bocu odjednom. Stoga stručnjak za obradu mora analizirati svaki dio prije izrade kako bi bili sigurni da se zaista može izraditi i odrediti koje metode treba koristiti. Iako je još uvijek moguće da se neki dijelovi ne mogu se graditi s AM, vjerojatnost je puno manja i općenito postoje načini u kojem se to može prevladati bez previše poteškoća.

### **6.3.4. Točnost**

AM strojevi uglavnom rade s rezolucijom od nekoliko stotinka milimetra. Uobičajeno je da AM strojevi također imaju različitu razlučivost duž različitih osi. Tipično, vertikalna os gradnje odgovara debljini sloja i tu je niža razlučivost u usporedbi s dvije osi u ravnini izrade. Preciznost u ravnini izrade određuje se pozicioniranjem mehanizma za izgradnju, koji će obično uključivati prijenosnike i motore neke vrste. Ovaj mehanizam također može odrediti i minimalnu veličinu značajke. Točnost CNC strojeva s druge strane uglavnom određuje slična razlučivost pozicioniranja duž svih tri pravokutne osi i po promjeru rotacijskog alata za rezanje. Tamo su čimbenici koji su definirani geometrijom alata, poput radijusa unutarnjih kutova, ali debljina stjenke može biti tanja od promjera alata jer je to suptraktivan postupak. U oba slučaja vrlo fini detalji također će biti funkcija željene geometrije i svojstva materijala.

### **6.3.5. Programiranje**

Određivanje programskog slijeda za CNC stroj može biti vrlo kompleksno, uključujući odabir alata, postavke brzine stroja, položaj približavanja, kut itd. Mnogi AM strojevi također imaju opcije koje se moraju odabrati, ali raspon, složenost i implikacije vezane uz njihov izbor minimalne su u usporedbi s CNC strojevima. Najgore što će se vjerojatno dogoditi na većini AM strojeva je što taj dio neće biti izgrađen vrlo dobro ako programiranje nije pravilno izvedeno. Pogrešno programiranje CNC stroja može dovesti do ozbiljnih oštećenja stroja, a može biti i rizik za ljudsku sigurnost.

## **6.4. 3D printanje u boji**

3D printanje u boji postoji od 2005. godine, no unatoč tome što je vrlo mlada tehnologija, već nudi mnoštvo dizajnerskih i proizvodnih rješenja. Općenito, 3D printanje u boji možemo podijeliti na izravnu i neizravnu tehnologiju. 3D izravno printanje u boji koristi žarnu nit koja već sadrži boju. 3D indirektno printanje u boji primjenjuje boju iz vanjskog izvora.

### **6.4.1. Izravno 3D printanje u boji**

Izravno 3D printanje u boji omogućuje upotrebu šarenih niti za 3D ispis vaših modela. Radi s FDM tehnologijom.

FDM je kratica za “fused deposition modeling”, odnosno, “tehnologiju taložnog očvršćivanja”. FDM naziv je dosta poznat, ali na njega ima autorska prava poduzeće Stratasys pa se službeno prihvatila kratica FFF ili fused filament fabrication.

Može postići svijetle boje i lijepe detalje, ovisno o 3D printeru i kvaliteti filamenta koji se kupuje. Izravno 3D printanje u boji, međutim, neće omogućiti miješanje boja, tako da učinak neće biti foto-realan.

Moguće je postići živopisne ispise čak i ako FDM pisac ima samo jedan ekstruder. Kada 3D datoteke šaljete na 3D printanje, treba postaviti više zadataka pomoću softvera za rezanje. Softver će proizvesti g-kod s uputama za zaustavljanje 3D printera na određenoj razini. Zatim se isključuje filament i printanje se ponovno pokreće.

Iako je to najočitiiji način, može biti prilično dugotrajan i pomalo rizičan. Postoje i rješenja u kojima se koristiti jedan ekstruder za kombiniranje više niti. Model tada mora sadržavati informacije o tome koji dijelovi koriste određene boje, a uređaj ih izbacuje u ekstruder. Drugo rješenje za 3D printanje u boji su 3D printeri s više ekstrudera. Ovo nije tako nov razvoj, dvostruki ekstruder koristi se posebno za ispis otopljivih nosača. Ali mogu se koristiti i za ispis u dvije boje filamenata. Na tržištu su dostupni različiti uređaji, neki s čak 4 ekstrudera.

#### **6.4.2. Neizravno 3D printanje u boji**

Neizravno 3D printanje u boji primjenjuje boju iz vanjskog izvora tijekom postupka ispisa. Ova je tehnologija mnogo preciznija i omogućuje realističniji izgled 3D ispritanog modela, ali u većini slučajeva postupak zahtijeva profesionalno znanje. Važno je da zapamtite da neizravno 3D printanje u boji koristi CMYK način rada u boji i to se mora uzeti u obzir prilikom pripreme modela.

Pomoću tehnologije ColorJet imamo na raspolaganju 36 000 boja! 3D datoteke moraju sadržavati podatke o boji i teksturi prije nego što se pošalju na višebojni 3D ispis. Tijekom postupka 3D ispisa koristi se fini prah sličan pješčenjaku. Sloj materijala se raširi, a zatim tiskarske glave nanose boju koja prianja na sloj. Sljedeći se sloj širi i postupak se ponavlja.

Rezultati su prilično impresivni. Zahvaljujući širokom rasponu boja može se postići puno više nego 3D printanjem u izravnom načinu. Ovo je rješenje posebno zanimljivo za dizajnere da svojim klijentima prikažu dokaze o konceptima, arhitekta za izradu vizualnih modela i za proizvodnju likova u igri.

Tehnologija PolyJet radi s tekućom smolom i ispisuje na 16 mikromilimetara što osigurava vrlo fine detalje i dobru površinsku obradu 3D modela. Između slojeva nanosi se boja i stvrdnjava UV svjetlom. Ova tehnologija omogućuje podešavanje i razine prozirnosti boja.

HP-ova rješenja za 3D printanje revolucionarna su u svijetu proizvodnje aditiva. HP-ovi inženjeri započeli su s proučavanjem svjetlosti i načina na koji se koristi za izradu ravnomjerno obojenog 3D modela na kvaliteti uobičajenih 2D pisača. Njihov 3D printer u boji koristi inovativno vezivno sredstvo za lokalno stapanje plastičnog praha. Boja se nanosi na razini 3D ispisa DNA koja se naziva " voksel ", trodimenzionalni piksel. Zahvaljujući tome može se postići 3D printanje u boji čak i s vrlo složenim objektima. Kada govorimo o 3D printanju u boji, oni su pravi pobjednik, iznoseći na tržište strojeve sposobne za upotrebu preko 10 milijuna boja! Njihova tehnologija temelji se na UV svjetlu koje je izvorno razvijeno za uobičajene papirnate printere.

Sloj praškaste građe raširi se, a zatim se pigmentiranom smolom kapne tintnom glavom 3D printera. Sljedeći korak je UV očvršćivanje smole u krutom stanju. Postupak se ponavlja, a 3D modeli izrađeni su u sjajnim, živopisnim bojama.

Neke tvrtke koriste neizravno 3D printanje u boji kako bi ga se moglo kupiti što jeftinije. Postoji nekoliko način, jedan od njih zapravo koristi papir. CMYK tinte se ispuštaju na papir, a zatim se sloj papira izrezuje i stapa sa sljedećim. Loša strana je rizik od širenja tinte. Drugo rješenje je nit koja upija tintu. FDM 3D printer postavlja sloj niti i prije nanošenja sljedećeg sloja ispušta CMYK tintu. Ova je tehnologija impresivna, iako rezultati mogu biti prilično mekani i prozirni.



*Slika 6-4 - 3D model u boji [16]*

## 6.5. Stratasys J750

Za ove primjere koristio se printer Stratasys J750. Preciznost u ovom razmatranju 3,5D modeliranja nije bila presudna nego je bitnije da printer može printati u boji pa da mi svoj model možemo prikazati u 3 dimenzije plus bojom dočarati modelov toplinski potpis. Stratasys J750 pruža mogućnosti punih boja s mapiranjem teksture i gradijentima boja. Stvara realističke modele s više od 360 000 kombinacija boja i detaljima, od neutralnih do neona i nježnih sjena do istaknutih dijelova. Taj 3D printer izrađuje ultra glatke površine i fine detalje koji imaju debljinu sloja 0,014 mm što je približno pola širine ljudske stanice kože. Može se staviti do šest materijala odjednom s različitim kombinacijama krutih, fleksibilnih, prozirnih ili neprozirnih materijala i njihovih kompozita. Mogu se stvoriti prototipovi s nizom karakteristika u jednoj operaciji ispisa s minimalnim koracima naknadne obrade. Nakon printanja točnost modela u punoj veličini iznosi oko dvije desetinke milimetra. Kod ovog 3D printera nisu potrebne naknadne obrade kao što su brušenje, bojanje, lijepljenje i slično zato što ovaj printer može printati u boji i ima jako glatku površinu završnog modela.



*Slika 6-5 - Stratasys J750 [15]*



## 7. Primjena 3,5D tehnologije

U primjeru je prikazano kako se na jedan mali kvadar pritisnuo gore prst i tako se kondukcijom prenijela toplinu s prsta na to tijelo. To tijelo je poprimilo toplinsku energiju i pretvorilo ju u svoju unutarnju energiju koja se ispoljava preko temperature. Da bi se zabilježio taj podatak koristila se termovizijska kamera Flir E60 koja omogućava da pomoću crvene i plave boje vidimo gdje je tijelo toplije, a gdje hladnije. Tamo gdje je bio pritisnut prst se toplina prenijela s ljudskog tijela na kvadar i tamo je temperatura veća od ostatka kvadra.

Tim postupkom se kvadru koji ima svoje početne dimenzije daje još jednu dodatnu dimenziju (ili još pol dimenzije – 3,5D) koja govori promatraču o njegovom toplinskom stanju. To se naziva toplinski potpis – slika koja se dobiva dok se termovizijskom kamerom uslika promatrani predmet i onda se dobije informacija o toplinskom stanju tog predmeta. Ta slika je zapravo toplinski potpis. Taj toplinski potpis uređuje se u SOLIDWORKS-u i ta sliku se postavlja na površine predmeta kojem se želi dodati dodatna dimenzija – 4. dimenzija. Na kraju se to sve šalje na 3D printer u boji koji može isprintati predmet s dodatnom dimenzijom i tako se dobiva isti model kao i prije samo što sada ima još jednu dodatnu informaciju – toplinski potpis.

3,5D tehnologija može biti od velike koristi u pojedinim situacija kada je od velikog značaja temperatura i toplinsko stanje nekog predmeta. 3,5D model se ne može koristiti kao strojni element koji obavlja funkciju (osim ako su mali zahtjevi za naprezanje i čvrstoću pa i polimerni materijal zadovoljava kriterije) nego se više može koristiti kao pokazni model prije proizvodnje. Dok se kupcu želi prezentirati proizvod, može ga se napraviti pomoću 3,5D tehnologije tako da se tijekom prezentacije tog proizvoda odmah budućim kupcima da do znanja gdje će se taj proizvod zagrijavati ili ako obavlja toplinsku funkciju gdje će taj proizvod gubiti toplinu. Ako se obrađuje komad obradom odvajanja čestica, može doći do prevelikoga zagrijavanja pa se mogu desiti mikrozavareni spojevi i slično. Također kod izgradnje kući ili većih ambijenata može se ta kuća nacrtati u nekom jako malom mjerilu i prikazati se kupcu gdje će na toj kući doći toplinskih gubitaka i tako kupca navesti da stavi deblju izolaciju ili prozore s više zračnih komora i tako se može dodatno zaraditi samo koristeći 3,5D tehnologiju.

## 7.1. Građevina

U građevini se velika pažnja posvećuje energetske učinkovitosti kuće ili neke druge građevine. Jako je bitno je li kuća dobro izolirana zato što u dužem periodu dolazi do izražaja cijena grijanja za dobro ili slabo izoliranu kuću. Zidane kuće u odnosu na montažne kuće imaju veliku razliku u koeficijentu vodljivosti topline. Obična zidana kuća bez izolacije ima prosječni koeficijent vodljivosti topline oko  $1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dok zidana kuća s izolacijom od 10 cm stiropora ima oko  $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Vidi se da je to više od pet puta veća potrošnja toplinske energije u zimi za zagrijavanje kuće. Najveći problem kod kuće su zapravo vrata i prozori jer oni uglavnom imaju najveći koeficijent toplinske vodljivosti. Prozor s dvostrukim izo staklom ima koeficijent toplinske vodljivosti oko  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dok prozor s trostrukim izo staklom ima oko  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Zamislite da prodajete stolariju i odete kod starijih ljudi i sada vi kao prodavač želite objasniti kupcu starije dobi što znači koeficijent vodljivosti topline i kako se on manifestira na grijanje u kući. Vrlo vjerojatno će vam kupac starije dobi reći da mu jednostavno ponudite jeftinije rješenje bez da vas sasluša do kraja.

No kada bi došli kupcu prezentirati stolariju i pokažete mu 3,5D model kuće koja ima prozore s trostrukim izo staklima i kuću koja ima prozore s dvostrukim izo staklima onda bi kupac već mogao bolje i jednostavnije shvatiti o kakvim se uštedama topline radi, na kraju krajeva to su uštede koje se računaju u novcima na kraju mjeseca dok dođu režije.

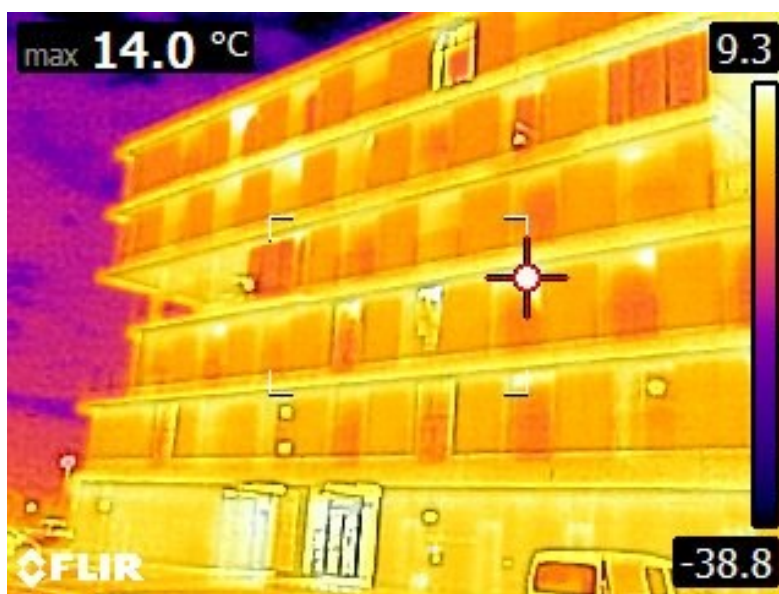


Slika 7-1 - Primjer loše izolacije na vratima

3,5D tehnologija se može jako dobro iskoristiti kao prezentacija proizvoda, u ovom primjeru prezentacija stolarije. Kao prodavač stolarije kada krenete nekome objašnjavati koliko veliki utjecaj ima koeficijent toplinske vodljivosti, većina ljudi se neće niti potruditi da vas shvati i u potpunosti razumije, no ako bi vi kao prodavač došli i prezentirali kupcu model koji je napravljen u 3,5 dimenzija kupac bih vas lakše razumio i prihvatio. Opće je poznato da ljudi lakše shvaćaju ako im se nešto prikaže na vidljiv i mozgu jednostavniji način.

Da bi se izradio taj 3,5D model prvo se mora nacrtati primjer kuće na kojoj će se prezentirati proizvod. Mora se za primjer uzeti dvije slične kuće i njih sa svih strana uslikati s termovizijskom kamerom. Na slikama će se evidentno vidjeti koja kuća ima stolariju većeg, a koja manjeg koeficijenta toplinske vodljivosti. Zatim se nacrtaju te kuće u SOLIDWORKS-u, ali u mjerilo koje je pristupačno za 3D printanje. Nakon toga se termovizijske slike postavljaju na na vidljive površine kuće kao tekstura u obliku (termovizijske) slike i poslije toga se jednostavno isprintaju dvije iste kuće s dobrom i lošom stolarijom.

Prezentiranjem stolarije s ta dva modela (kuća s dobrom i kuća s lošom izolacijom) kupac kojemu nisu bliske informacije o koeficijentu toplinske vodljivosti može na vrlo razumljiv i pristupačan način utvrditi koja je stolarija za njega bolja.



*Slika 7-2 - Primjer dobre izolacije*

Na slici iznad vidi se studentski dom u Varaždinu. Pošto se radi o novo-izgrađenom domu izolacija je jako dobra. Vidi se na slici da je cijeli dom pretežito iste boje, osim u sobama gdje je otvoren prozor – tamo izlazi više topline nego u ostalim sobama pa je tamo veća temperatura vanjskih površina doma.

## 7.2. Obrada odvajanjem čestica

Obrada odvajanjem čestica je skup konvencionalnih i nekonvencionalnih postupaka oduzimanja materijala, kojim se metalnom obratku daje određeni oblik i određena kvaliteta površine. Dok su alat i obradak u zahvatu između njih se javlja veliko trenje i tu se razvija velika temperatura. Trenje između alata i strugotine uzrokuje naljepljivanje određenog dijela strugotine na prednju površinu alata.

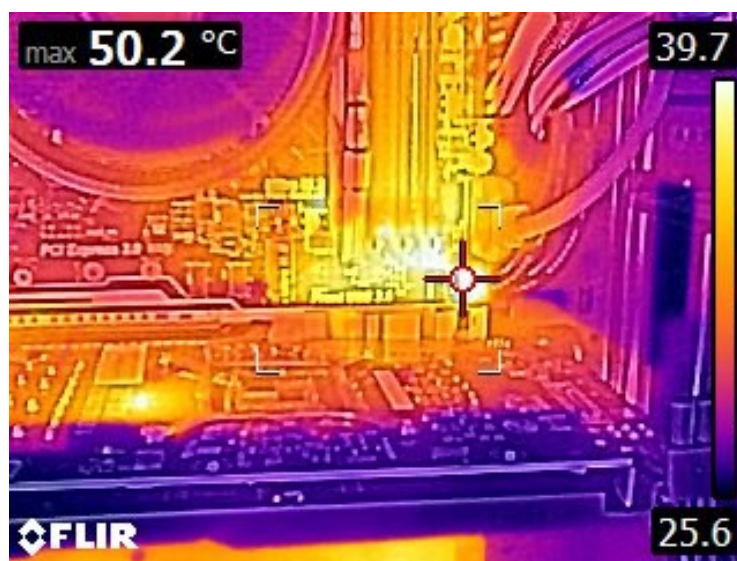


Slika 7-3 - Primjer obrade odvajanjem čestica pri unutarnjem tokarenju

Kod strojne obrade odvajanjem čestica razvijaju se jako velike temperature koje mogu naštetiti samom proizvodu koji se obrađuje. Ako se razviju prevelike temperature može doći do mikrozavarenih spojeva i doći će do naljepljivanja strugotine na alat. U iznimnom slučaju ako se razviju prevelike temperature može doći do procesa kaljenja i onda nakon zahvata alata i obratka dok na obradak dođe sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje se jako brzo ohladi i obradak se može zakaliti. Da bi se to spriječilo mora se prije same tehnologije dati do znanja tehnologu da pripremi na povećane temperature kako bi se produžio vijek trajanja samog alata i kako bi obradak bio što veće kvalitete. Također ako se prilikom obrade cijeli obradak homogeno ugrije i ako se postavi dosta velika dubina rezanja doći će do odstupanja dimenzija nakon što se obradak ohladi na sobnu temperaturu. Da bi se to spriječilo može se nacrtati model i na njega postaviti termovizijska slika s temperaturama tako da tehnolog koji će pisati tehnologiju za proizvodnju tog proizvoda može pripremiti na određene režime rada kako bi sam obradak bio što preciznijih dimenzija i što bolje kvalitete površine.

### 7.3. Elektronički sklopovi

U praksi se koristi jako puno uređaja koji u sebi imaju elektroniku. Teško je zamisliti uređaj koji se danas koristi da nema bar najjednostavnije elektroničke komponente. Takve sve komponente koje su pogonjene strujom imaju gubitke koji se manifestiraju toplinom pa se vođeni time zagrijavaju. Treba jako pripaziti na zagrijavanje elektroničkih komponenti da ne bi došlo pa čak i do požara. Također treba pripaziti na uređaje koji se koriste za grijanje, sušenje kose, kuhanje vode i slični uređaji kojima je funkcija da pretvaraju električnu energiju u toplinsku. Tamo je jako bitno u koje ćemo ih kućište smjestiti da mogu sigurno funkcionirati u svojem kućištu.



*Slika 7-4 - Kućište računala*

Čipovi za programiranje ili sitni procesori kada dođu pod pravo opterećenje mogu razviti toplinu i iznad 100 °C. Često sitni čipovi znaju na sebi imati male hladnjake koji služe kako bi se čipovi što prije hladili. Malo veći sklopovi imaju svoje ventilatore koji im dodatno odvede toplinu. Pojedini sklopovi čak imaju i vodeno hlađenje za još efikasnije odvođenje topline.

Jako je bitno ako se osmisli elektronički sklop da se pretpostavi na kojoj temperaturi će on raditi jer ako se stavi sklop u kućište koje nije predviđeno za velike temperature, a sklop se previše zagrije postoji mogućnost da izbije požar. Stoga se sklop može skicirati u SOLIDWORKS-u i na njega se postavi toplinski potpis da bi se konstruktoru kućišta dalo do znanja na kojoj će temperaturi raditi taj sklop i na kojim će dijelovima biti topliji, a na kojima hladniji kako bi konstruktor mogao ispravno iskonstruirati kućište. Također je bitno na kojim dijelovima je toplije kako bi se na ispravnim dijelovima postavio neki uređaj za odvođenje topline.

## 7.4. Simulacija čvrstoće

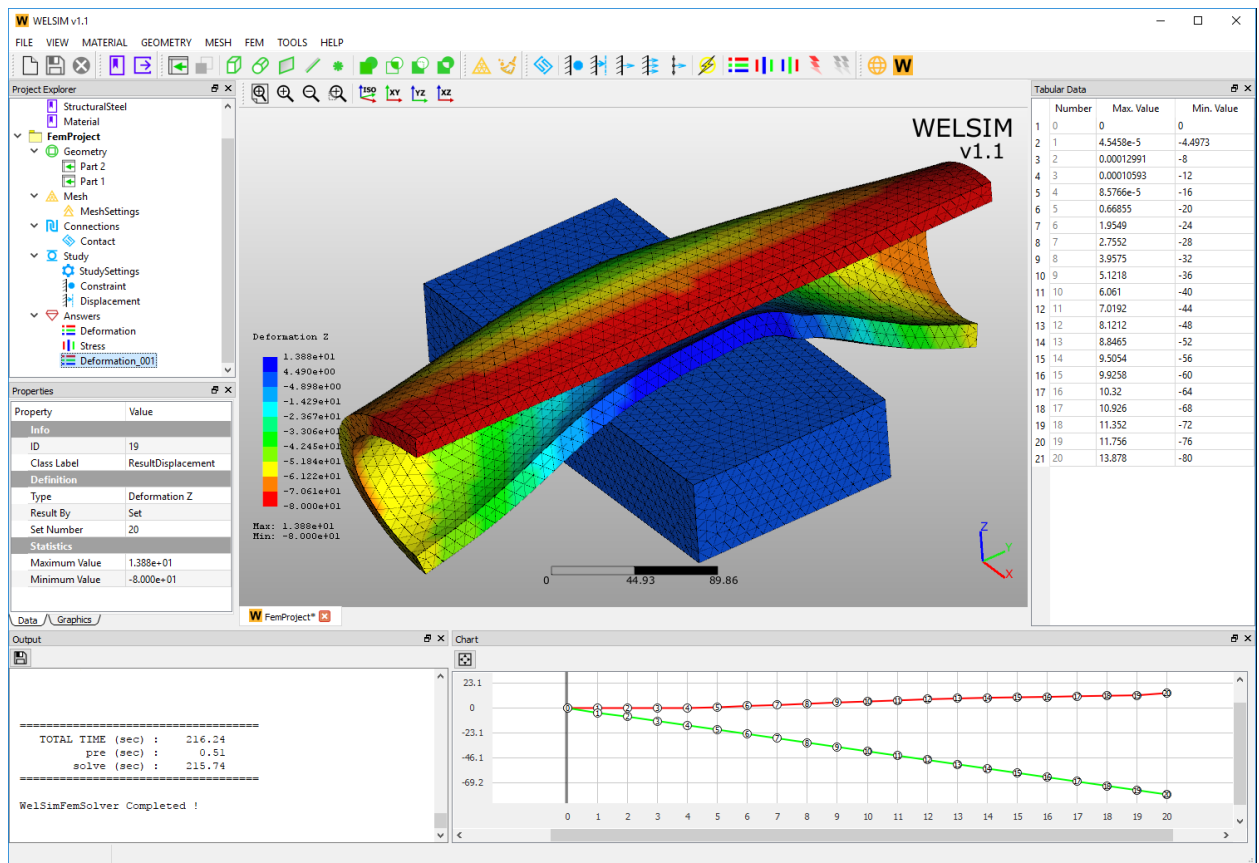
U strojarstvu se u puno slučajeva koriste konstrukcije. Te konstrukcije su najčešće spajane zavarenim ili vijčanim spojevima. Osim konstrukcija, često se koriste i strojni dijelovi, osovine, vratila, nosači i slično. Za svaki proizvod koji se koristi u pojedinim situacijama gdje je bitna pouzdanost tog proizvoda da ne bi došlo do havarija ili smrtnih slučajeva, mora se detaljno proračunati čvrstoća toga proizvoda. Da li taj proizvod zadovoljava standarde, da li može podnositi opterećenja koja se mogu pojaviti i slično.

Kod konstrukcije treba biti pažljiv i oprezan kod proračuna, jer bi u slučaju nepredviđenih okolnosti došlo do urušavanja i tada može biti vrlo opasno za ljude koji se nalaze u blizini te konstrukcije.



*Slika 7-5 - Primjer konstrukcije visoke pouzdanosti [19]*

U prošlosti su se takve stvari proračunavale ručno i tu se gubilo puno vremena. Da bi se proračunala statika za montažnu radionu trebalo je par tjedana vremena. Danas, u doba raznih CAD programa, je to znatno lakše i brže. Primjera radi, u SOLIDWORKS-u se samo nacrtaju linije u 3D skici (te linije zapravo predstavljaju odgovarajuće profile), na te linije se postave profili, definiraju se spojevi tih profila i konstrukcija je završena. Nakon toga se u SOLIDWORKS Simulation-u postavi opterećenje i program nam daje gotove informacije gdje treba ojačati konstrukciju, a gdje imamo predimenzionirani spoj.



Slika 7-6 - Primjer prikaza napreznja (deformacija) u proizvodu [20]

Kada se ručno proračunava proizvod i taj isti proizvod se proizvodi i stavlja ga se u upotrebu, mi ne može se znati kakva će se napreznja javiti u proizvodu. Može se prije upotrebe ispitati taj materijal na kidalici i tako dobiti informacije o materijalu od kojeg će se napraviti proizvod. Na temelju materijala, geometrije proizvoda i pretpostavke opterećenja pod kojim će se naći proizvod može se dimenzionirati proizvod, ali nikad se neće moći jasno i zorno prikazati kupcu gdje u tome proizvodu može doći do oštećenja ili bilo kakvih popuštanja.

Kada se u SW Simulation napravi simulacija proizvoda u zadanim uvjetima, SW daje sliku (sličnu kao slika iznad) gdje se javljaju napreznja i na taj način nam jasno predočuje gdje je proizvod dobro, a gdje loše dimenzioniran.

Bilo bi korisno da se kod prodaje ili prezentacije proizvoda osim tog proizvoda, kupcu pokaže i 3,5D model tog proizvoda da kupac može jasno vidjeti gdje je taj proizvod ojačan, a gdje oslabljen. Također bi bilo dobro kada bi taj proizvod bio pretežito istih boja, to bi značilo da je jako dobro raspoređeno napreznje i da nema dijelova koju su preopterećeni. To bi se najčešće koristilo kod proizvoda koju previđeni za strojogradnju, vratila ili pak cijele konstrukcije, mostove, dizalice ili nadstrešnice.

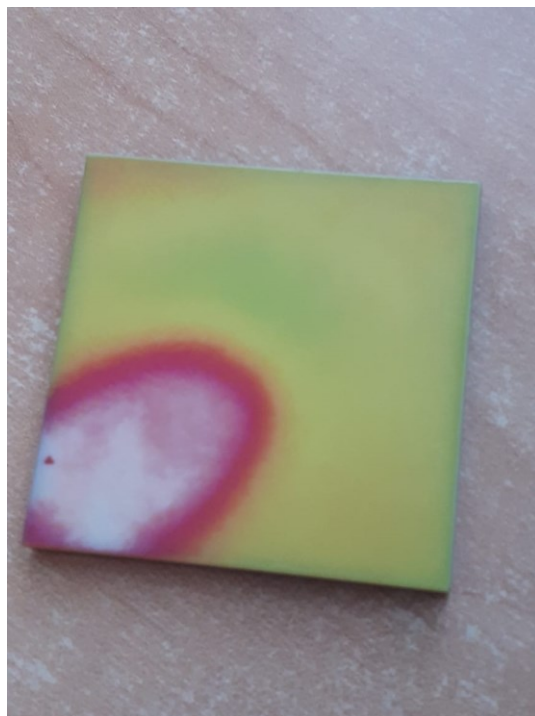
## 8. Primjer 3,5D modela

### 8.1. Termovizijski snimak otiska prsta

Prvi primjer 3,5D tehnologije će biti čisto u edukacijske svrhe, bez mogućnosti praktične primjene tog primjera. Naime, na mali komad plastike koji se nalazio u okolini i samim time poprimio temperaturu okoline, otisnut je prst i tako se kondukcijom prenijela toplina s prsta na promatrano tijelo. Toplina se na promatranom tijelu manifestirala u obliku povišenja temperature na tom dijelu gdje smo otisnuli prst.

To povišenje temperature se uslika s termovizijskom kamerom i ta slika se pohrani na računalo. Zatim se taj isti komad treba nacrtati u 3 dimenzije u programu SOLIDWORKS i na površinu postaviti teksturu površine u obliku slike, tj. termovizijsku sliku. Ta slika zapravo predstavlja toplinski potpis.

Nakon što je model završen u programu SOLIDWORKS, slijedi 3D printanje u boji. Za ovaj primjer koristio se Stratasys J750 koji printa u boji.



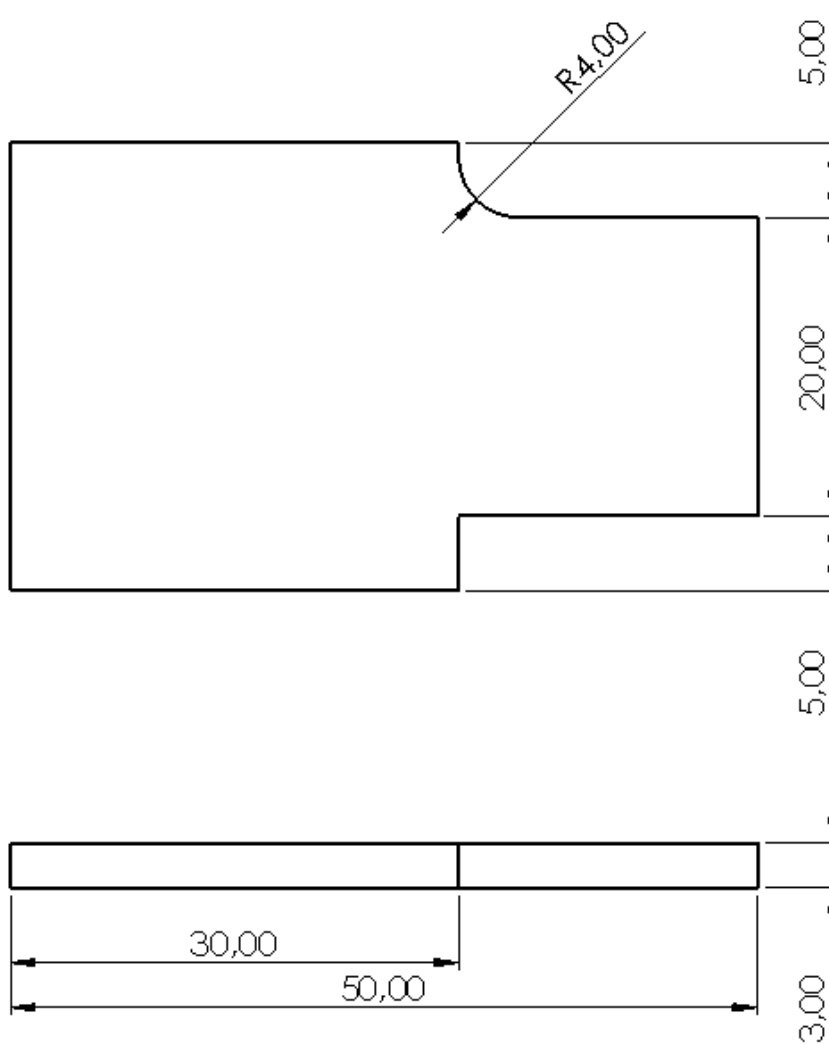
*Slika 8-1 - 3,5D model*

Provođenjem tih svih koraka dobiven je 3,5D model koji osim svojih dimenzija daje i informaciju o njegovom toplinskom stanju odnosno temperaturi.



## 8.2. Statika strojnih elementa pomoću 3,5D tehnologije

Za ovaj primjer uzeti je strojni element koji će se opteretiti i onda će se vidjeti njegova naprezanja i kako se taj element ponaša kod pojavljivanja opterećenja koja izazivaju unutarnja naprezanja.

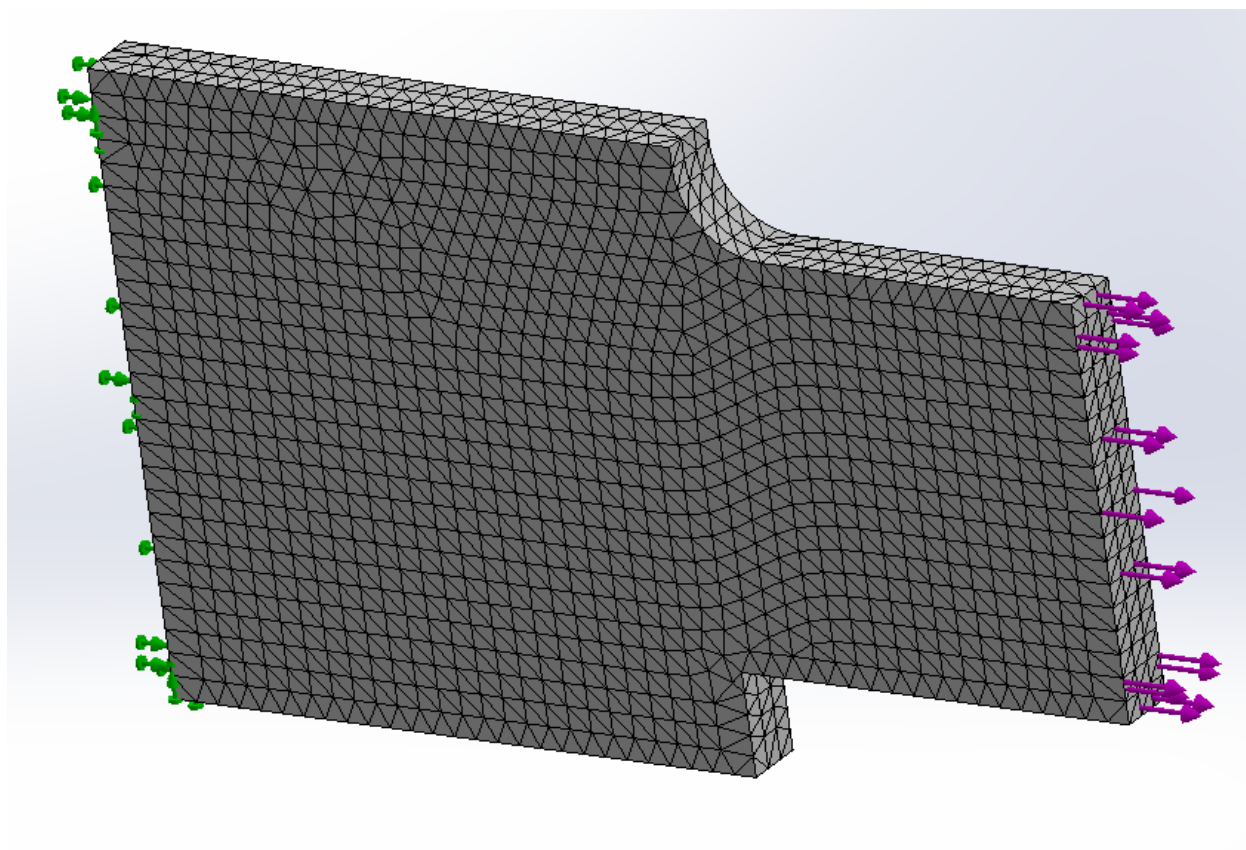


Slika 8-2 - Dimenzije primjera

U ovom modelu namjerno je stavljeno da s gornje strane bude radijus koji iznosi 4 mm, dok je s donje strane stavljen nagli prijelaz s manjeg presjeka na veći. To je postavljeno zato da se bolje uoči razlika kod prijelaza s jednog presjeka na drugi kod vlačnog ili tlačnog opterećenja (u ovom slučaju vlačno opterećenje). Pretpostavka je da će se javiti različita naprezanja u materijalu s gornje strane gdje imamo radijus i s donje strane gdje je nagli prijelaz.

Nakon što su definirane sve dimenzije modela mora se postaviti od kojeg se materijala izrađuje proizvod, a to je materijal ABS polimer. Zatim u SOLIDWORKS SIMULATION izrađujemo simulaciju statike. Prvo se mora odrediti oslonac, to jest mora se s jedne strane fiksirati model. To treba napraviti s lijeve strane i sada je ta površina fiksna.

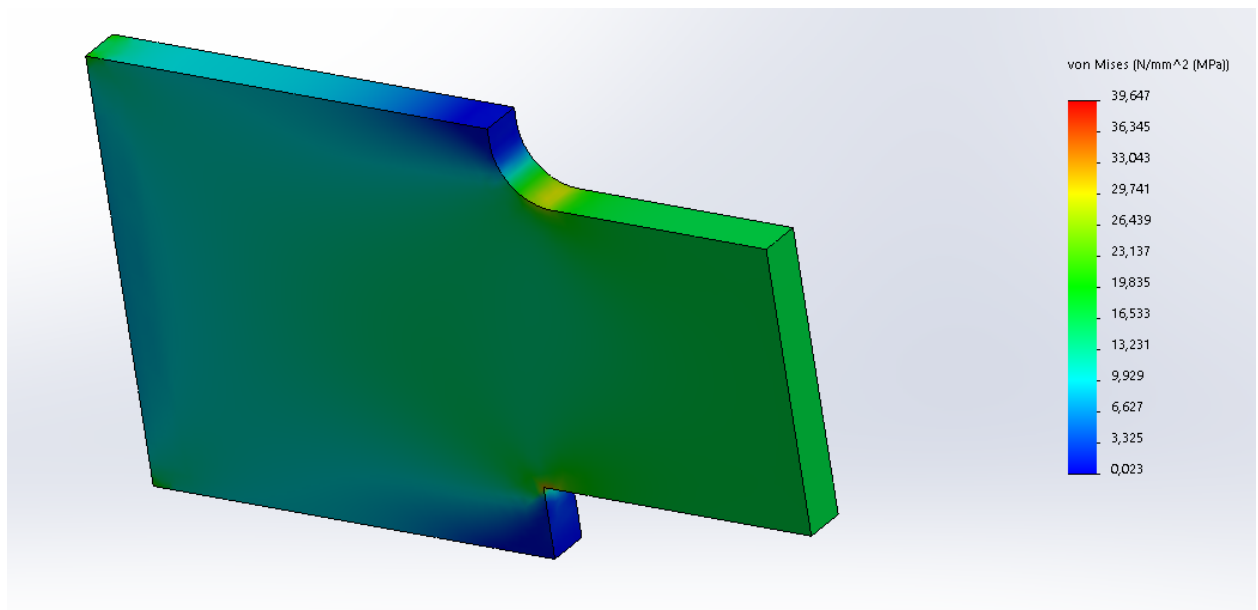
Nakon toga moraju se postaviti vanjska opterećenja. U ovom primjeru vanjsko opterećenje će biti sila koja djeluje s desne strane i ona zapravo napreže model na vlak. Sila koja „razvlači“ model iznosi 1000 N. Nakon toga treba napraviti mrežu prema kojoj program računa i crta naprezanja i deformacije.



*Slika 8-3 - Oslonci, mreža i sile*

Na slici iznad vidi se kako izgleda model kada se nacrtu u 3D, postavi oslonac, mrežu i ubaci naprezanje (u ovom slučaju sila koja model napreže na vlak).

Na kraju još samo treba pokrenuti simulaciju da program SOLIDWORKS SIMULATION izbaci gdje će se javiti naprezanja i kakva. Uz naprezanja može se vidjeti i kakve će se deformacije javiti.



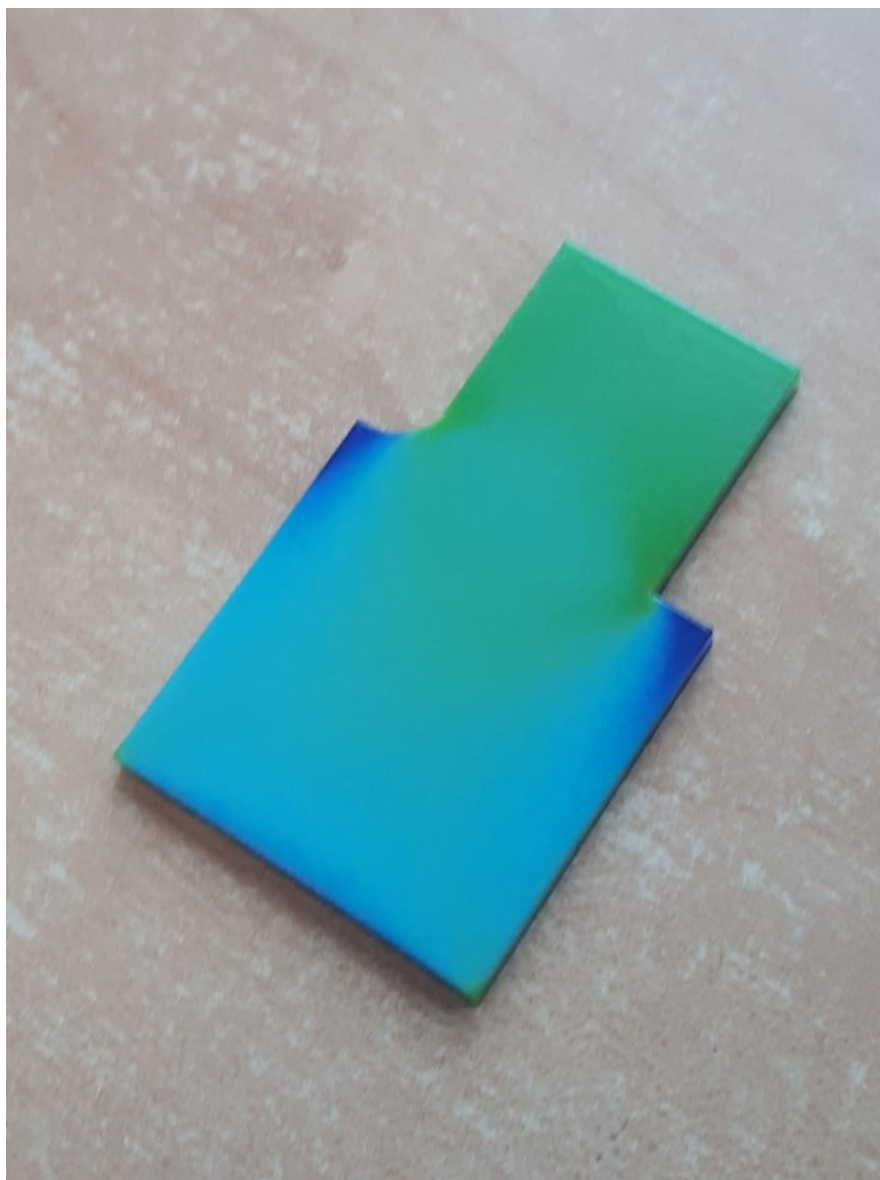
*Slika 8-4 - Simulacija*

Na slici iznad vidi se kakva se naprezanja javljaju u materijalu. Prema skali s desne strane vidi se na kojem će se dijelu javiti koje naprezanje i u kojem iznosu, skala je u granicama od 0,023 MPa pa sve do 39,647 MPa.

Iz slike se vidi da je naprezanje veće u tanjem presjeku i da se onda povećanjem tog presjeka naprezanje smanjuje što je shodno zakonu proporcionalnosti. Konstantna sila na većem presjeku uzrokuje manje opterećenje dok, shodno tome, na manjem presjeku uzrokuje veće opterećenje. Najveće naprezanje javlja se na donjem prijelazu kod kojeg nema zaobljenja (radijus) nego se direktno prelazi s manjeg poprečnog presjeka na veći. Neposredno pored tog brzog prijelaza javlja se naprezanje koje iznosi 39,647 MPa. S gornje strane na prijelazu je blagi prijelaz (radijus) i tu se vidi da uopće ne dolazi do povećanja naprezanja u odnosu na ostali presjek. Iz ovog primjera da se jasno vidjeti da je kod svakog prijelaza s većeg presjeka na manji jako bitan način tog prijelaza i on mora biti postupan. Taj način postupnog prijelaza koristi se i na osovinama i vratilima i on je tamo propisan normama. Isto tako taj prijelaz s većeg presjeka na manji i obrnuto je bitan kod mehanike fluida jer ako taj prijelaz nije izveden na pravilan način dolazi do povećanja gubitaka i pada tlaka.

Sada se sa svake strane napravi snimak ekrana da bi se dobila slika naprezanja modela sa svih strana u simulaciji i te slike postaviti kao teksturu u obliku slike na 3D model. Prvo se napravi snimka zaslona i zatim se ta snimka, koja je kvadratnog oblika uređuje u PhotoShop-u da se dobije slika koja nije pravokutnog oblika nego oblika kakvog je i površina koja se mora isprintat. Zatim se dobiva .PNG format slike koji se postavlja na površine modela kao teksturu u obliku slike. To se treba napraviti sa svih strana modela da bi se dobio cjelokupan izgled 3,5D modela.

Nakon toga se taj model isprinta u boji i dobiva se 3,5D model. To je zapravo 3,5D model strojnog elementa koji osim svojih dimenzija i gabarita, sada daje informaciju kako će se ponašati ako ga opteretimo vlačno silom od 1000 N, gdje će se javiti unutarnja naprezanja, koliko će iznositi i kako će se, shodno tome, model izdeformirati.



*Slika 8-5 - 3,5D model*

## 9. Zaključak

3,5D tehnologija trenutno se slabo koristi. Mišljenja sam da je to jako dobra metoda za dodatno opisivanje predmeta, modela ili strojnog elementa. S 3 dimenzije opisujemo model tako da dajemo do znanja promatraču koje su njegove dimenzije u 3 glavne osi. S tim načinom prikazivanja modela ne znamo ništa drugo osim dimenzija. No, postoji način na koji se može s te tri dimenzije dodatno dati još jednu dimenziju. Jednostavno, površine tog modela se postavi boja i time dobiva se dodatna dimenzija modela.

Ta dodatna dimenzija će biti u obliku toplinskog potpisa koji se očitava termovizijskom kamerom. Sliku koja se dobije termovizijskom kamerom postavlja se na površine modela kao teksture u obliku slika i tako na model koji ima 3 dimenzije dodamo četvrtu dimenziju – toplinski potpis. To zapravo nije prava 4. dimenzija nego više opisna dimenzija koja govori i daje informaciju o tome kakvog je toplinskog stanja model. Zbog toga se i ova tehnologija naziva 3,5D tehnologija umjesto 4D tehnologija.

Druga alternativa primjene 3,5D tehnologije je u opisu čvrstoće strojnog elementa ili konstrukcije. Kod svake konstrukcije i svakog strojnog elementa dolazi do naprezanja koja zatim posljedično uzrokuju deformacije tog strojnog elementa ili konstrukcije. Kod dimenzioniranja treba pripaziti da što veći dio elementa ili konstrukcije bude pod što manjim naprežanjem, tj. da naprežanje bude što bolje raspoređeno po cijeloj konstrukciji ili strojnom elementu. Tako će se smanjiti prevelika naprežanja koja se mogu javiti u spojevima ili kritičnim presjecima. Neki strojni element koji je prikazan u 3 dimenzije može se prikazati u dodatnoj 4. dimenziji tako da se na njega postave njegova naprežanja i deformacije s pomoću boje. Na taj način daje se promatraču do znanja o njegovim naprežanjima, a isto tako i o njegovim deformacijama koje se mogu pojaviti.

Nakon procesa konstruiranja modela, dimenzioniranja, obavljanja termovizijske snimke, tj. ispitivanja čvrstoće i nakon postavljanja slike na površine tog modela slijedi 3D printanje u boji i to je zapravo posljednji korak dobivanja 3,5D modela.

Mislim da ova tehnologija može biti korisna i primjenjiva prvenstveno u situacijama kada želimo prezentirati proizvod i dati kupcu informaciju o proizvodu, u kakvom je proizvod toplinskom stanju ili kakva se naprežanja javljaju u proizvodu. Ako se vodimo poslovicom da slika govori više od tisuću riječi, onda mislim da ne postoji bolji način opisa proizvoda nego da se poslužimo i iskoristimo 3,5D tehnologiju.



Sveučilište  
Sjever



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

**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, Karlo Klobučarić (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Unapređenje procesa 3D oblikovanja dodavanjem dodatne dimenzije - vizualizacije (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Karlo Klobučarić

(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, Karlo Klobučarić (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Unapređenje procesa 3D oblikovanja dodavanjem dodatne dimenzije - vizualizacije (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Karlo Klobučarić

(vlastoručni potpis)

## 10. Literatura

- [1] Les Piegl: On NURBS: A Survey, New York, 1991.
- [2] Samuel N. Bernier: Design for 3D Printing, London, 2010.
- [3] Sebastian Dudzik: Infrared Thermography: Errors and Uncertainties, Częstochowa, 2009.
- [4] Krešimir Grilec, Suzana Jakovljević: Tribologija, Zagreb, 2015.
- [5] <https://www.3dnatives.com/>, pristupljeno dana 4.4.2021.
- [6] <https://www.kisscom.co.uk/>, pristupljeno dana 4.4.2021.
- [7] <https://www.flir.com/>, pristupljeno dana 4.4.2021.
- [8] <https://www.netizens.pro/>, pristupljeno dana 8.4.2021.
- [9] <https://glossary.periodni.com/>, pristupljeno dana 8.4.2021.
- [10] <https://www.nachi.org/>, pristupljeno dana 22.4.2021.
- [11] <https://www.canstockphoto.com/>, pristupljeno dana 22.4.2021.
- [12] <https://www.sciencedirect.com/>, pristupljeno dana 25.4.2021.
- [13] <https://creativespaceserbia.com/>, pristupljeno dana 25.4.2021.
- [14] Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker: Additive Manufacturing Technologies, Springer, USA, 2015
- [15] <https://www.stratasys.com/>, pristupljeno dana 25.4.2021.
- [16] <https://newatlas.com/>, pristupljeno dana 15.5.2021.
- [17] <https://www.thingiverse.com/>, pristupljeno dana 17.5.2021.
- [18] <https://www.solidworks.com/>, pristupljeno dana 17.5.2021.
- [19] <https://wginc.com/>, pristupljeno dana 17.5.2021.
- [20] <https://getwelsim.medium.com/>, pristupljeno dana 17.5.2021.

## Popis slika

Slika 1-1 - 3D model [5].....	1
Slika 1-2 - 3D printanje [6].....	2
Slika 1-3 - Termovizijska kamera FLIR E60 [7].....	2
Slika 2-1 - Slika na termovizijskoj kameri .....	4
Slika 2-2 - SOLIDWORKS model .....	4
Slika 2-3 - 3,5D model .....	5
Slika 3-1 - Subdivizijsko modeliranje [1].....	8
Slika 4-1 - 3D dio .....	11
Slika 4-2 - 3D sklop.....	12
Slika 4-3 - 2D crtež generiran od sklopa .....	12
Slika 4-4 - Baziranje na komponentama.....	13
Slika 4-5 - Primjena terminologije .....	14
Slika 4-6 - Ishodište i simetrala .....	15
Slika 4-7 - Primjer korištenja gornje ravnine .....	16
Slika 4-8 - Utjecaj dimenzije na oblik .....	17
Slika 4-9 - Postavljanje krivulje .....	18
Slika 4-10 - Pogonske i gonjene dimenzije .....	19
Slika 4-11 - Potpuno definirana skica.....	19
Slika 4-12 - Ne definirana skica .....	20
Slika 4-13 - Predefinirana skica.....	20
Slika 4-14 - Prikaz relacija .....	21
Slika 4-15 - Primjer relacija.....	21
Slika 4-16 - Render tools .....	22
Slika 4-17 - Upravitelj prikaza .....	22
Slika 4-18 - Primjena izgleda na model.....	23
Slika 4-19 - Postavke izgleda .....	24
Slika 4-20 - SOLIDWORKS Visualize [18] .....	25
Slika 4-21 - Primjer postavljanja izgleda u SW-u [18] .....	26
Slika 4-22 - SW Visualize [18].....	27
Slika 4-23 - Primjer u SW Visualize-u [18] .....	28
Slika 4-24 - Izgled u SW Visualize [18].....	29
Slika 4-25 - Izlazna datoteka SW Visualize-a [18] .....	30
Slika 4-26 - SW Visualize [18].....	31



Slika 4-27 - SW Visualize [18].....	33
Slika 4-28 - SW Visualize [18].....	34
Slika 4-29 - 3D model .....	35
Slika 4-30 - Termovizijska slika.....	35
Slika 4-31 - 3,5D model .....	36
Slika 5-1 - Termovizijska slika [8] .....	37
Slika 5-2 - Elektromagnetski valovi [9] .....	38
Slika 5-3 - Termovizijska kamera šezdesetih godina prošlog stoljeća [10] .....	39
Slika 5-4 - Primjer termovizijske kamere [11] .....	40
Slika 5-5 - Flir E60 [7] .....	41
Slika 6-1 - Kvaliteta proizvoda u odnosu na debljinu sloja [12] .....	43
Slika 6-2 - 3D printanje [13].....	44
Slika 6-3 - Proces 3D printanja [14] .....	47
Slika 6-4 - 3D model u boji [16].....	52
Slika 6-5 - Stratasys J750 [15].....	53
Slika 7-1 - Primjer loše izolacije na vratima .....	55
Slika 7-2 - Primjer dobre izolacije.....	56
Slika 7-3 - Primjer obrade odvajanjem čestica pri unutarnjem tokarenju .....	57
Slika 7-4 - Kućište računala.....	58
Slika 7-5 - Primjer konstrukcije visoke pouzdanosti [19] .....	59
Slika 7-6 - Primjer prikaza naprezanja (deformacija) u proizvodu [20].....	60
Slika 8-1 - 3,5D model .....	61
Slika 8-2 - Dimenzije primjera .....	62
Slika 8-3 - Oslonci, mreža i sile .....	63
Slika 8-4 - Simulacija .....	64
Slika 8-5 - 3,5D model .....	65

## **Popis tablica**

Tablica 1 - Neki od algoritama poligonalnog modeliranja [1] .....	7
Tablica 2 - Usporedni prikaz tehnika modeliranja [1].....	10
Tablica 3 - Osnovni temrini.....	14