

# Prikaz procesa izrade računalno generiranog 3D fotorealističnog i stiliziranog modela lika te njihova usporedba

---

Jandrić, Andrej

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:874396>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-19**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

ANDREJ JANDRIĆ

PRIKAZ PROCESA IZRADE RAČUNALNO  
GENERIRANOG 3D FOTOREALISTIČNOG I  
STILIZIRANOG MODELA LIKA TE NJIHOVA  
USPOREDBA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

ANDREJ JANDRIĆ

PRIKAZ PROCESA IZRADE RAČUNALNO  
GENERIRANOG 3D FOTOREALISTIČNOG I  
STILIZIRANOG MODELA LIKA TE NJIHOVA  
USPOREDBA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Tibor Skala

Student:

Andrej Jandrić

Zagreb, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**Getaldićeva 2**

**Zagreb, 13. 9. 2023.**

Temeljem podnijetog zahtjeva za prijavu teme diplomskog rada izdaje se

## **RJEŠENJE**

kojim se studentu/ici Andreju Jandriću, JMBAG 0128061705, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada diplomskog rada, pod naslovom: Prikaz procesa izrade računalno generiranog 3D fotorealističnog i stiliziranog modela lika te njihova usporedba, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Tibora Skale.

Sukladno čl. 9. st. 1. Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada od 13.02.2012. godine, Povjerenstvo za nastavu, završne i diplomske ispite predložilo je ispitno Povjerenstvo kako slijedi:

1. doc. dr. sc. Rudolf Maja, predsjednik/ica
2. izv. prof. dr. sc. Skala Tibor, mentor/ica
3. doc. dr. sc. Stanić Loknar Nikolina, član/ica

  
Dekan  
Prof. dr. sc. Klaudio Pap

## SAŽETAK

Digitalna umjetnost danas je najrasprostranjeniji oblik vizualne umjetnosti na svijetu zahvaljujući eksponencijalnom napretku tehnologije. Već tisućljećima glavni motiv umjetničkog stvaralaštva predstavlja čovjek te su dva osnovna tipa prikazivanja ljudskih likova: realistično i stilizirano.

Koraci potrebni za izradu 3D likova ovisit će o dva glavna čimbenika: primjena 3D modela te umjetnički stil. Kompleksniji dizajn ujedno znači i veća pozornost na detalje što znatno utječe na tijek izrade lika te potrebni vremenski period. 3D modeli likova pronalaze svoju primjenu u video igrama, filmovima, vizualnim grafikama i printanim figuricama. Modeli za video igre imat će znatno manji broj poligona u odnosu na modele spremne za filmsku animaciju. Modeli za filmsku animaciju imat će manji broj poligona u odnosu na tipični model spreman za 3D print.

Bez obzira na primjenu i stil modela postoje neizbježni koraci koje dijele i realistični i stilizirani modeli likova a to su: dizajn i reference, digitalno kiparstvo, retopologija, UV mapiranje, teksturiranje i materijali, postavljanje scene i osvjetljenje, renderiranje te postproduksijski procesi. U ovom radu prikazan je proces izrade realističnih i stiliziranih 3D likova te njihove prednosti i mane.

Ključne riječi: računalno generiran sadržaj, digitalna umjetnost, 3D modeliranje, računalno renderiranje, UV mapiranje, Blender

## **ABSTRACT**

Digital art today is the most widespread form of visual art in the world, thanks to the exponential advancement of technology. For millennia, the primary focus of artistic creation has been humans, and there are two fundamental types of portraying human characters: realistic and stylized.

The steps required for creating 3D characters depend on two main factors: the application of the 3D model and the artistic style. A more complex design also means greater attention to detail, significantly affecting the character's creation process and the required time period. 3D character models find their applications in video games, movies, visual graphics, and printed figurines. Character models for video games will have significantly fewer polygons compared to models intended for film animation. Models for film animation will have fewer polygons compared to a typical model prepared for 3D printing.

Regardless of the application and style of the model, there are inevitable steps shared by both realistic and stylized character models: design and references, digital sculpting, retopology, UV mapping, texturing and materials, scene setup and lighting, rendering, and post-production processes. This work illustrates the process of creating realistic and stylized 3D characters, along with their advantages and disadvantages.

**Key words:** Computer generated imagery, digital art, 3D modeling, computer rendering, UV mapping, Blender

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1 Prikupljanje referenci.....	2
2.2 Skulpture.....	5
2.3 Retopologija.....	7
2.4 UV mapiranje.....	10
2.5 Teksturiranje .....	13
2.6 Postavljanje scene i osvjetljenje .....	15
2.7 Renderiranje i postproduksijski procesi .....	18
3. PRAKTIČNI DIO .....	22
3.1 Izrada skulpture.....	22
3.2 Retopologija.....	26
3.3 Teksture i materijali .....	29
3.4 Postavljanje osvjetljenja i renderiranje .....	40
3.5 Postproduksijski procesi.....	42
5. ZAKLJUČAK .....	46
6. LITERATURA.....	47
7. POPIS SLIKA I TABLICA .....	49
8. POPIS MANJE POZNATIH RIJEČI.....	51

## 1. UVOD

Još od samih početaka umjetnosti čovjek predstavlja fokalni interes stvaralaštva te u skladu sa svojim vremenom, svatko je imao mogućnost interpretirati ga na svoj jedinstveni način. Ljudski likovi mogu biti predstavljeni na jednostavan način kao što je to učinjeno na povijesnim zidovima pećine Lascaux u jugozapadnoj Francuskoj ali i na realističan način kao što je to učinio Michelangelo isklesavši figuru Davida u mramoru ili pak na jako stilizirani način poput likova Pabla Picassa. [1] Uz prethodno znanje te dostupnost alata, interpretacije ljudskih likova nikad se nisu razvijale brže i raznovrsnije. Današnji softveri nude mogućnosti nedestruktivnog procesa kiparstva, slikarstva, kreiranja tekstura, digitalnog osvjetljenja te još mnogo toga što pomiče granice izrade likova sve do samog hiperrealizma. Ljudski likovi su osobito stekli popularnost u 3D industriji gdje su kroz svoju umjetničku svrhu pronašli mjesto u područjima video igara te filmske industrije.

U ovom radu opisan je proces izrade realističnog portreta te stiliziranog lika u stilu standardnih 3D dugometražnih animiranih filmova današnjice čiji je stil nametnut od strane Pixara i DreamWorksa. Osim samog predstavljanja postupka izrade modela, cilj ovog rada je kroz praktični dio usporediti dva slična procesa koji daju potpuno drugačije rezultate. Svaki model nosi svoje prednosti i mane ovisno o kontekstu u kojem se koriste. Osim tehničkih procesa, ideja je obrazložiti i umjetničke odluke na osnovu kojih je stilizirani lik stiliziran, odnosno na osnovu kojih karakteristika se razvija određeni stil te stvara prepoznatljiva osobnost.



## **2. TEORIJSKI DIO**

Povijest umjetnosti je do moderne ere toliko napredovala da otvara vrata znatnom broju različitih stilova prikazivanja ljudi od jednostavnih oblika, preko stilizacija i karikatura sve do realističnih reprezentacija. S druge strane, tehnologija svakodnevno pomiče svoje granice pri čemu nudi 3D modelima nove načine iskoristivosti kao što su to 3D print, video igre, filmovi itd. Osnovna podjela prikazivanja ljudskih likova kroz umjetnost je realistična ili figurativna te stilizirana ili apstraktna.

Izrada modela za 3D printanje figurica neće nužno zahtijevati čistu topologiju ili teksture. Za likove koji se koriste u video igrama a posebice mobilnim, bit će potrebna specifična topologija sa što manjim brojem poligona. 3D modeli likova za svrhu filmova najčešće će tražiti korištenje čestica za izradu realistične kose ili krzna.

Dakle, umjetnički stil na koji se cilja i tehnološka iskoristivost 3D modela su čimbenici koji predodređuju tijek rada koji će se koristiti za izradu likova. Ne postoji točno definiran tijek rada koji se može primijeniti na sve vrste 3D likova ali se može predstaviti generični tijek rada uz pomoć kojeg bi se mogla izraditi većina 3D modela. U tom slučaju generični tijek rada izrade 3D likova sastojao bi se od: prikupljanja i analiziranja referenci, digitalnog kiparstva, retopologije, UV mapiranja, teksturiranja, postavljanja scene i renderiranja te postprodukcijskih procesa.

### **2.1 Prikupljanje referenci**

Reference u kontekstu 3D izrade likova predstavljaju kolekciju elemenata kao što su fotografije, crteži i renderi. Ove reference igraju ključnu ulogu jer služe kao nepresušna inspiracija i pouzdan vodič za umjetnike i dizajnere. Njihova svrha često ide i korak dalje, jer osim što pružaju inspiraciju, pomažu u stvaranju mentalnih mapa koje olakšavaju razmišljanje i kreativni proces.

Kao što je prikazano na slici 1, jedan od najefikasnijih načina prezentiranja referenci je putem kolaža fotografija. Ovaj vizualni prikaz omogućuje umjetnicima da brzo sagledaju različite ideje i koncepte. Svaka fotografija u kolažu može predstavljati ključni element ili detalj koji će se kasnije integrirati u 3D model lika. Ovaj proces može biti izuzetno koristan za jasno definiranje estetskih i funkcionalnih aspekata lika koji se razvija.

U zaključku, reference su nezamjenjiv alat u 3D izradi likova, pomažući umjetnicima da razviju svoje vizualne koncepte i ostvare svoju kreativnu viziju. Kolaž fotografija kao oblik prezentacije referenci dodatno olakšava ovaj proces, omogućavajući brži razvoj ideja i bolju komunikaciju između timova koji rade na stvaranju likova.

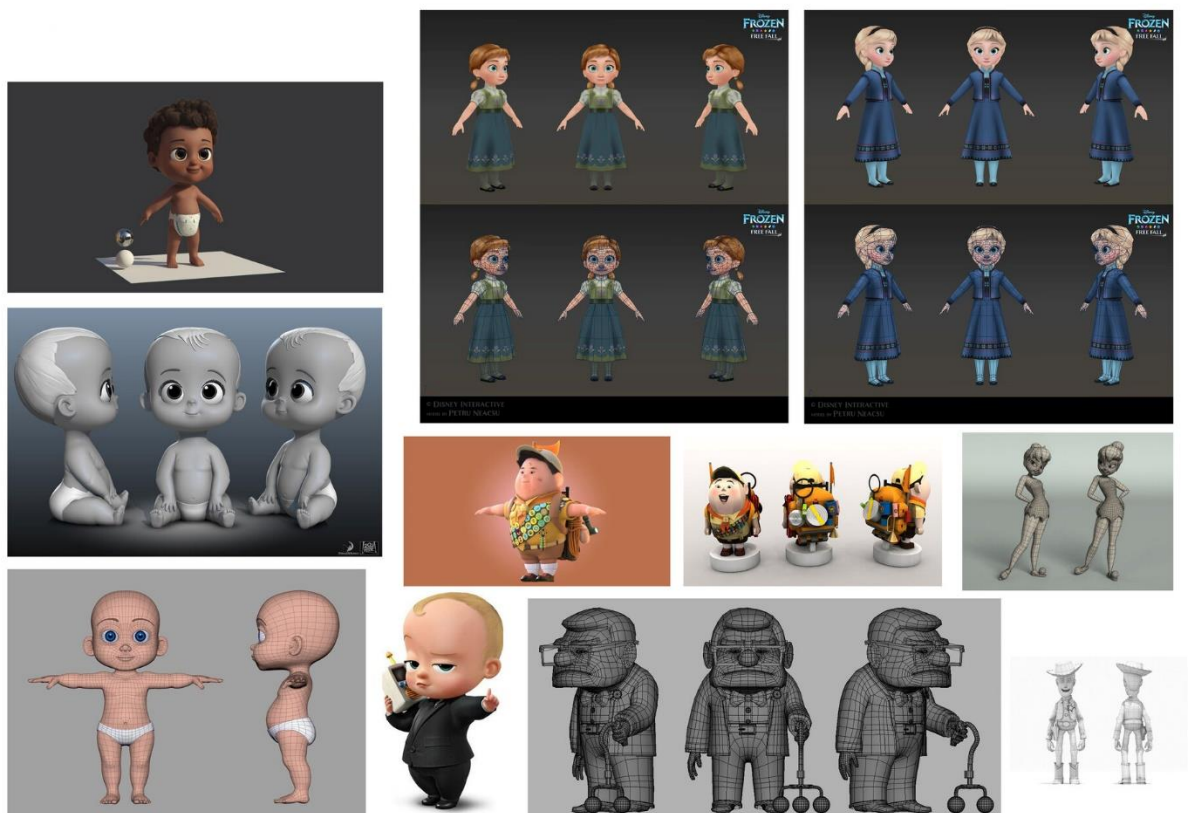
Kada govorimo o izradi realističnih 3D modela ljudi, treba istaknuti da je ovaj proces znatno složeniji u usporedbi s izradom stiliziranih likova. U tom kontekstu, referentni materijali postaju ključni, i to ne samo kao inspiracija već kao temeljna podloga za precizno oblikovanje lika. Za realistične modele, referentni materijali će se usmjeriti prema ilustracijama i 3D modelima anatomije ljudskog tijela, kao i fotografijama stvarnih ljudi.

Jedan od izazova u radu s realističnim modelima ljudskog tijela je taj što se radi s nepravilnim organskim oblicima. Stoga, referentni materijali uvijek trebaju uključivati iste motive prikazane iz što više različitih kuteva. Ovo omogućuje modelerima da steknu što bolji dojam o formi, proporcijama i detaljima, što je ključno za postizanje vjerodostojnog izgleda lika.

Uz to, referentni materijali za realistične modele često će sadržavati različite elemente, kao što su detalji kože, različite frizure i odjevni predmeti. Ovi materijali pomažu modelerima da dočaraju sve nijanse stvarnog ljudskog izgleda, što dodatno povećava složenost procesa.

Kada je riječ o izradi stiliziranih 3D likova, referentni materijali dobivaju poseban značaj. U ovom slučaju, fokus se znatno više usmjerava prema crtežima i prethodno kreiranim 3D modelima. Stvaranje stiliziranih likova zahtijeva umjetnički pristup koji ne teži doslovnom kopiranju stvarnosti, već igri sa stvarnošću, naglašavajući i karikirajući određene dijelove tijela i karakteristike likova.

Zbog ovog pristupa iznimno je važno da modeler posjeduje duboko poznavanje anatomije, kako bi mogao donositi informirane odluke o tome koje karakteristike treba naglasiti, a koje treba pojednostaviti ili preoblikovati. Referentni materijali, kao što su crteži i postojeći 3D modeli, postaju ključni alati za analizu i inspiraciju. Proučavanjem ovih radova, modeler stječe dublje razumijevanje različitih pristupa stilizaciji i dizajnu likova te može izvući korisne ideje za vlastite projekte. Ovo istraživanje omogućava umjetnicima da razviju vlastiti jedinstveni stil i konkretniji pristup izradi stiliziranih 3D likova.



*Slika1: Primjer kolaža referenci;*

izvor: <https://www.artstation.com/artwork/9edz4R>

## 2.2 Skulpture

Skulpture same po sebi jesu sve trodimenzionalne forme kojima je primarni cilj umjetnička ekspresija. Iako im je primarna uloga umjetnost, skulpture mogu imati i funkcionalne uloge što je dosta čest slučaj u arhitekturi. Skulpture nastaju oblikovanjem prostornog volumena a motivi koji ih opisuju su: površina, masa, ploha, linija, svjetlost i sjena i boja. [2]

Danas je najpopularniji oblik kiparstva upravo onaj digitalni. Digitalno kiparstvo ili 3D modeliranje skulptura je korištenje 3D softvera za manipuliranje digitalnih objekata koji kao da su načinjeni od stvarne materije poput gline. [3] Predmeti se sastoje od velikog broja poligona a 3D programi omogućuju modelerima da brzo i intuitivno manipuliraju formom geometrije. Što više model ima poligona to se više otvara mogućnost dodavanja sitnih detalja.

Digitalno kiparstvo koristi se primarno za modeliranje nepravilnih, organskih oblika koje je iznimno teško i dugotrajno modelirati tradicionalnim metodama poligonalnog modeliranja, što je zapravo savršeno za organske oblike ljudskih likova. Također ova metoda modeliranja koristi se kao precizan i fleksibilan način dodavanja tekstura i sitnih detalja.

Modeliranje digitalnih skulptura najčešće se koristi u procesima izrade ljudskih likova, životinja, izmišljenih bića i čudovišta isključivo zbog popularnosti navedenih motiva. Bez obzira na to digitalno kiparstvo može se koristiti za bilo kakvo modeliranje nepravilnih volumena. Budući da se radi o vrsti 3D modeliranja, digitalno kiparstvo je prvi i osnovni korak u produkciji 3D likova. Kako je modeliranje usko povezano s dizajnom, brzo i jednostavno manipuliranje predmetima omogućuje autorima da rade velike promjene i donose brze dizajnerske odluke.

Digitalno kiparstvo funkcionira tako da se kroz grafičko sučelje 3D softvera koriste mogućnosti stiskanja, povlačenja, glađenja te mnoge druge mogućnosti koje modeler koristi za oblikovanje digitalnih predmeta koji kao da su načinjeni od gline. [4] Obično se započinje s nižom rezolucijom kako bi se postigle osnovne forme i primarni oblici te se tijekom

razvijanja procesa postepeno dodaje geometrija i povećava rezolucija. Kako se povećava rezolucija tako se uglađuju detalji i oblikuju sekundarne i tercijarne forme.

Realistični 3D modeli ljudskih likova imitiraju stvarnost odnosno kompleksne forme ljudske anatomije zbog čega je iznimno važno posvetiti posebnu pažnju detaljima kao što je vidljivo iz slike 2. Od primarnih formi poput velikih oblika kosti i mišića pa sve do tercijarnih formi kao što su pore i nabori na koži, svi volumeni moraju biti izmodelirani pravilno iz svih mogućih kuteva inače model neće izgledati realistično. Tijekom ovog procesa korištenje referenci je ključno i može biti presudno kvaliteti modela.

Na slici 2 također je vidljivo kako stilizirani 3D modeli ljudskih likova karikiraju stvarnost tako da pojednostavljuju oblike i naglašavaju određene dijelove tijela. Iako stilizirani likovi znatno ovise o predodređenom stilu, primarne forme ovih 3D modela najčešće su pojednostavljene do najjednostavnijih oblika. Kao i realistični, stilizirani likovi mogu se obogatiti tercijarnim formama poput pora na koži iako taj korak u procesu nije nužan za postizanje uvjerljivih rezultata.



*Slika 2: Primjer skulpture realističnog i stiliziranog portreta;*

*izvor: <https://www.artstation.com/artwork/8l9qyw>;*

*<https://www.artstation.com/artwork/YeAYgK>*

### **2.3 Retopologija**

Retopologija je iznimno važan proces u svijetu 3D modeliranja koji se bavi pojednostavljivanjem postojeće topologije modela, što rezultira olakšanim i učinkovitijim radom na modelu. [5] Ovaj ključan proces ima za cilj optimizaciju topologije digitalnih skulptura koje često dolaze s visokom gustoćom poligona ili koje su generirane iz različitih izvora, kao što su, na primjer, 3D skeniranje. Središnji cilj novonastale topologije jest očuvati izvorni fizički oblik 3D modela dok se istovremeno koristi što manji broj poligona. [6] Ovaj spoj efikasnosti i očuvanja oblika omogućuje olakšanu manipulaciju modelom i poboljšava ukupnu kvalitetu rada na projektu.

Retopologija je korak koji je neizbježan kod modela namijenjenih za video igre i animacije. Ovaj ključan korak u procesu 3D modeliranja zahtijeva pažljivo izvođenje kako bi se postigla vrhunska kvaliteta i funkcionalnost modela. Modeli moraju proći kroz temeljitu

retopologiju ako će u nadolazećim fazama proći kroz promjene u topologiji. Te promjene uključuju širok spektar deformacija koje mogu obuhvatiti digitalne kosti za animaciju, različite oblike simulacija i druge transformacije koje model treba proći kako bi postigao željeni izgled i funkcionalnost.

Važno je napomenuti da modeli namijenjeni za 3D printanje, gdje se topologija ne mijenja, obično ne zahtijevaju proces retopologije. Međutim, u svijetu video igara, animacije i stvarnog vremena, čista i jednostavna topologija igra ključnu ulogu u postizanju najboljih računalnih performansi i vizualne prezentacije. Pravilno usmjereni poligoni, koji se pažljivo prate duž rubova modela, rezultiraju urednim i preglednim rezultatima (slika 3), čime se olakšava daljnji rad na projektu i omogućuje postizanje visokih standarda kvalitete.

Također, retopologija je neizbježan korak za sve modele koji će biti teksturirani i prikazani u stvarnom vremenu. Čista topologija omogućuje da se teksture i materijali ravnomjerno apliciraju na model, što doprinosi realističnom izgledu i kvaliteti prikaza. Upravo zbog toga, retopologija je ključna faza u procesu stvaranja visoko kvalitetnih 3D modela. [7]

Kroz pažljivo vođenje procesa retopologije, gdje se smjer poligona pravilno usklađuje s konturama modela, postižu se estetski i tehnički zadovoljavajući rezultati. Ovaj pristup osigurava da modeli budu spremni za izazove koje donosi svijet video igara, animacije i stvarnog vremena, čime se potvrđuje neizbježna važnost retopologije u modernoj 3D produkciji.

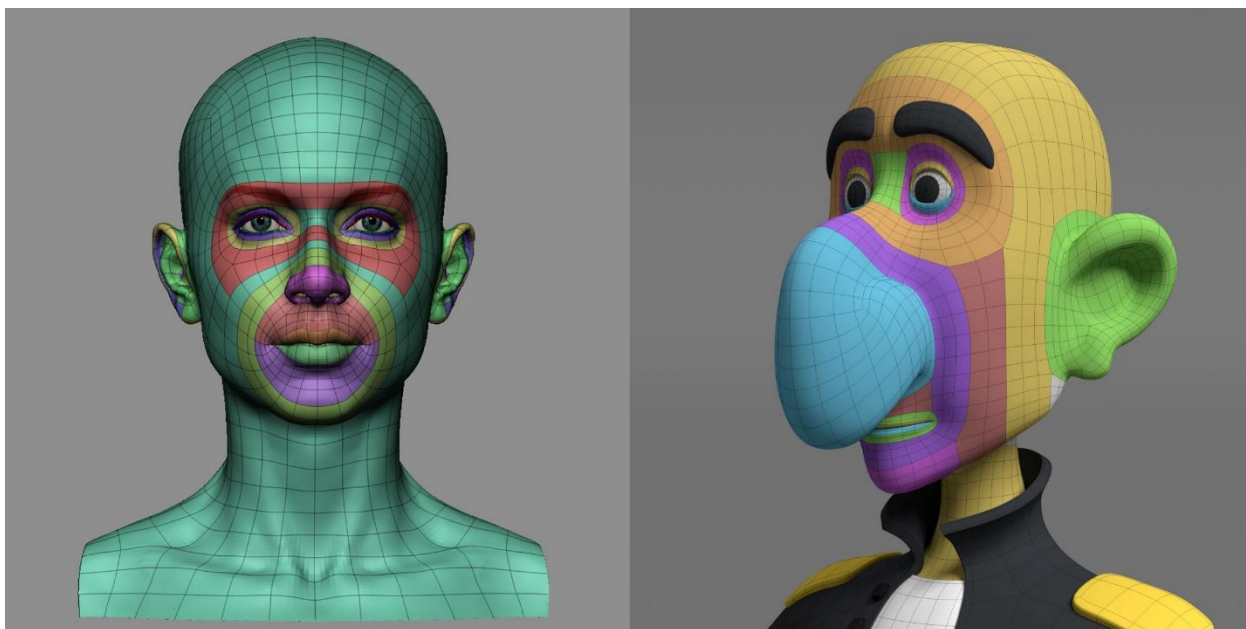
Retopologija se najčešće radi manulano zbog svoje kompleksnosti. Ovaj ključni korak u procesu 3D modeliranja zahtijeva visoku razinu preciznosti i umjetničkog umijeća, što ga čini izazovnim zadatkom. Dok postoje alati koji automatski obavljaju retopologiju, često se suočavaju s ograničenjima u postizanju najboljih rezultata. Tehnologija automatske i poluautomatske retopologije nastavlja se razvijati, a do trenutka kad dostigne zrelost, ručna izrada čiste topologije ostaje ključna kako bi se postigli vrhunski rezultati.

Ručna retopologija donosi umjetnički dodir procesu, gdje iskusni modelari pažljivo oblikuju svaki poligon kako bi postigli željeni izgled i funkcionalnost. Ovaj pristup omogućuje veću kontrolu nad rezultatima i sposobnost prilagodbe modela specifičnim zahtjevima projekta.

Također, ručna retopologija često donosi dodatnu vrijednost u obliku estetskih finesa koje automatski alati često ne mogu reproducirati.

Iako se tehnologija automatske i poluautomatske retopologije stalno unaprjeđuje, postoje situacije i projekti gdje ručna intervencija ostaje nezamjenjiva. To se posebno odnosi na modele koji zahtijevaju visok stupanj detalja i preciznosti, kao što su karakteri za filmsku animaciju ili vrhunske video igre. U tim situacijama, svaki poligon i svaka kontura modela moraju biti pažljivo oblikovani kako bi se postigla željena kvaliteta. [8]

Kroz ovu suradnju između ručnog i tehnološkog pristupa retopologiji, otvaraju se nove mogućnosti i perspektive u procesu stvaranja 3D modela. Kombinacija ljudske kreativnosti i tehnološke podrške rezultira optimalnim rezultatima i omogućuje ostvarivanje visokih standarda kvalitete u svijetu digitalne umjetnosti i produkcije.



*Slika 3: Primjer čiste topologije na realističnom i stiliziranom 3D modelu;*

izvor: <https://www.artstation.com/artwork/3oyVag>;

<https://www.artstation.com/artwork/ykYy00>



## 2.4 UV mapiranje

UV mapiranje (ili UV projiciranje) je složeni postupak projektiranja 3D površine modela na 2D teksturu. Ovaj proces omogućava da se trodimenzionalni objekt precizno preslika na dvodimenzionalnu ravninu. Slova U i V u pojmu "UV mapiranje" označavaju X i Y osi na 2D površini na koju se konačna tekstura projektira. Ovaj koncept koristi U i V oznake umjesto X, Y i Z koje već koristimo za definiranje osi u 3D prostoru. Korištenje U i V oznaka u ovom kontekstu pomaže u izbjegavanju zabune s već postojećim X, Y i Z osima u 3D modeliranju, pružajući jasnu i konzistentnu notaciju za mapiranje tekstura na modele. [9]

UV mapiranje je ključno za dodavanje tekstura, boja i detalja na 3D modele, čineći ih stvarnijima i vizualno atraktivnijima. Ova tehnika omogućava umjetnicima i dizajnerima da precizno kontroliraju kako će tekstura biti aplicirana na površinu objekta, što je posebno važno u industriji video igara, animaciji i vizualizaciji.

Ovaj složeni proces naziva se i UV projektiranje ili UV raspakiravanje i doslovno se radi o raspakiravanju površine 3D modela tako da se njegove plohe polože što plosnatije na 2D površinu. Glavna svrha ovog postupka je omogućiti precizno projektiranje tekstura na 2D slike, koje će zatim biti preslikane na raspakiranu površinu 3D modela. Kao rezultat toga, postiže se vizualno bogat i detaljan 3D model sa savršeno projektiranim teksturama. [10]

Kada se raspakirana površina 3D modela, nakon što su teksture nanese, ponovno vrati u svoj prvobitni oblik, dobiva se gotov 3D model u trodimenzionalnom prostoru s besprijekorno projektiranim teksturama. Ovaj postupak je ključan u industriji računalnih igara, animacije i vizualizacije, jer omogućava dizajnerima i umjetnicima da postignu visoku razinu detalja i realizma u svojim projektima.

Slika 4 pruža odličan primjer primjene UV mapiranja na obliku kocke, koji predstavlja osnovni i vizualno najjednostavniji slučaj upotrebe ove tehnike. Ovaj primjer jasno ilustrira kako se teksture mogu precizno projektirati na svaku stranu 3D objekta, stvarajući uvjerljive vizualne efekte i dodajući dubinu modelima.

Kada se radi o modeliranju organskih oblika u 3D prostoru, poput ljudskih likova, klasično raspakiranje 3D površine nikada neće rezultirati potpuno plosnatim preslikavanjem. Organski oblici imaju svoju kompleksnost i zakrivljenost, što znači da će uvijek biti prisutni određeni stupnjevi deformacija u procesu mapiranja. [11] Ovo je izazov koji se često susreće u industriji video igara, animaciji i dizajnu likova.

Jedan od ključnih elemenata u postizanju uspješnog UV mapiranja na ovakvim kompleksnim 3D modelima je korištenje tzv. "šavova". Šavovi su linije ili rubovi koji se definiraju na površini modela i koje će služiti kao granice između različitih dijelova površine nakon što se 3D model projektira na 2D teksturu. Postavljanjem ovih šavova precizno kontroliramo raspakiranje površine 3D modela. Kod ljudskih likova, na primjer, šavovi bi mogli biti postavljeni duž zglobova, rubova odjeće ili drugih prijelaza između različitih dijelova tijela.

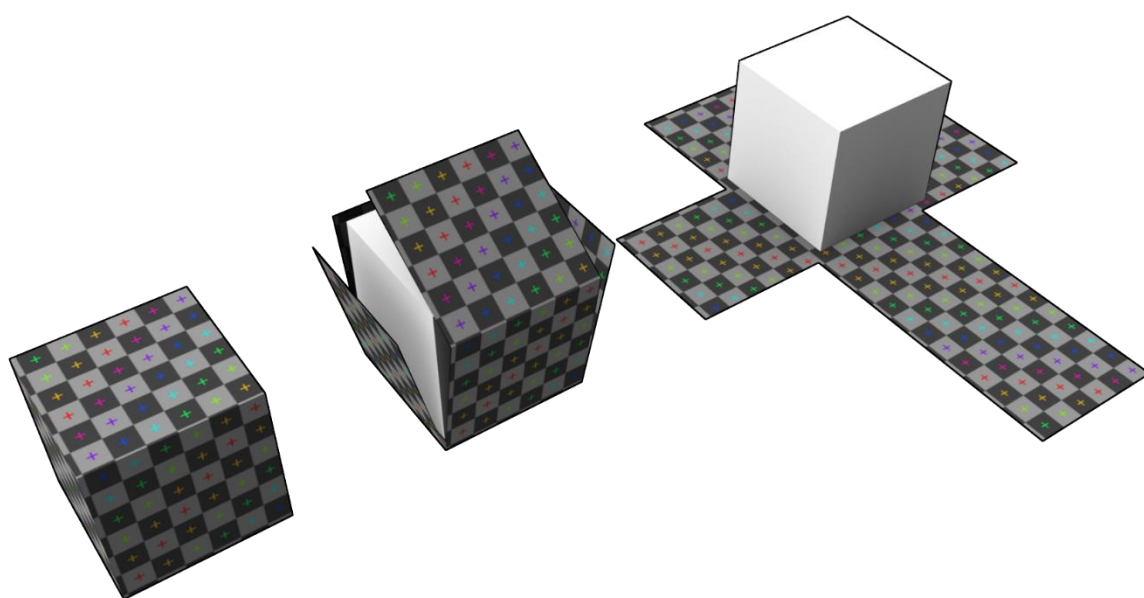
Kod kompleksnijih 3D modela, posebno kod detaljnih ljudskih likova, postavljanje šavova na taktičke pozicije postaje od iznimne važnosti kako bi se izbjegle nepoželjne deformacije i postigao optimalan rezultat. Ovaj proces zahtijeva stručno poznavanje topologije modela kako bi se ostvarilo prirodno i realistično mapiranje površine organskih oblika.

UV mapiranje je ključan korak koji se provodi neposredno prije procesa teksturiranja u 3D modeliranju. Ovaj postupak je neizostavan u svim radovima koji zahtijevaju aplikaciju tekstura na model, bilo da se radi o kreiranju igara, animaciji ili vizualizaciji. Važno je napomenuti da kvaliteta UV mapiranja značajno ovisi o topologiji samog 3D modela.

Kvalitetna retopologija i precizno izvedeno UV mapiranje stvaraju čvrstu temeljnu strukturu za proces teksturiranja. Što su ovi koraci bolje izvedeni, to će se postići bolji rezultati u konačnom izgledu modela. Retopologija se odnosi na optimizaciju geometrije 3D modela kako bi bila što efikasnija i prilagođena potrebama teksturiranja.

Dobro izvedeno UV mapiranje omogućava umjetnicima i dizajnerima precizno pozicioniranje tekstura na modelu, minimizirajući nepoželjne deformacije i artefakte. To je posebno važno kod modela s organskim oblicima, kao što su ljudski likovi, gdje je prirodna i uvjerljiva tekstura ključna za postizanje realizma.

Kao takav, proces UV mapiranja nije samo tehnički, već ima dubok utjecaj na estetiku i kvalitetu finalnog 3D modela. Zbog toga je pažljivo izvođenje UV mapiranja i retopologije od suštinskog značaja za postizanje vrhunskih rezultata u svijetu 3D grafike.



*Slika 4: Osnovni primjer UV mapiranja prikazan na modelu kocke;*

*izvor:*

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fe/Cube\\_Representative\\_UV\\_Unwrapping.png/1280px-Cube\\_Representative\\_UV\\_Unwrapping.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fe/Cube_Representative_UV_Unwrapping.png/1280px-Cube_Representative_UV_Unwrapping.png)

## 2.5 Teksturiranje

3D likovi rijetko su sivi, monotoni modeli te koliko je god kvalitetno odrađeno modeliranje, nanošenje boja i materijala učinit će likove puno privlačnijim. Teksturiranje je jedan od esencijalnih procesa u većini tijekom rada izrade 3D modela.

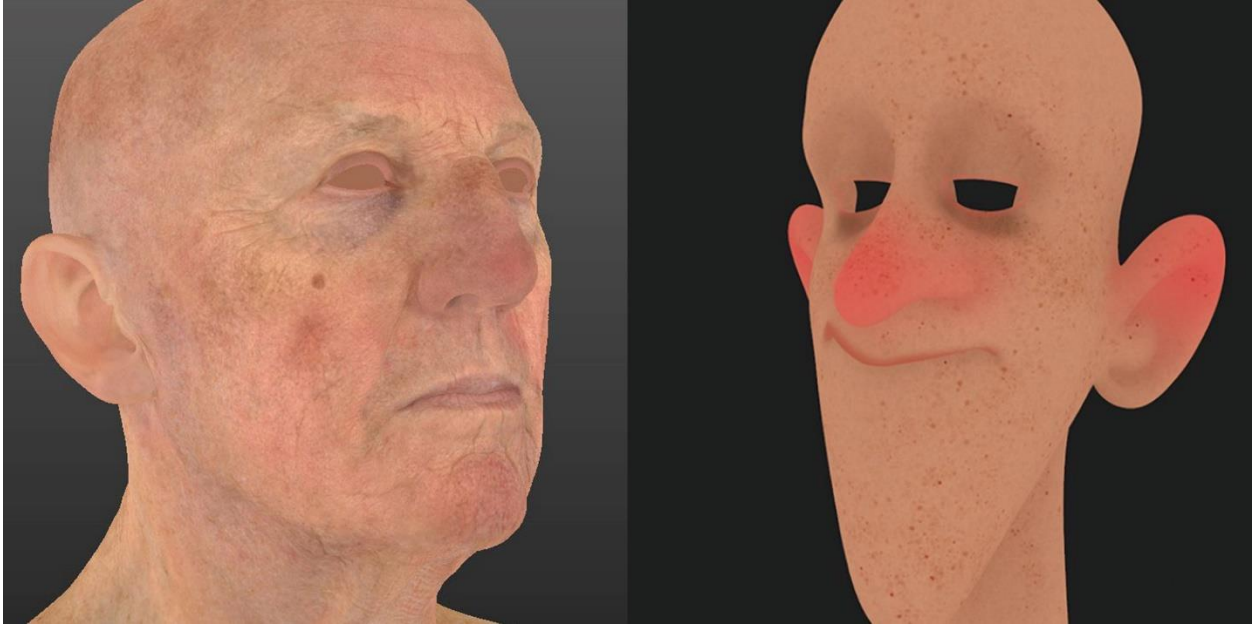
3D teksturiranje je proces dodavanja tekstura 3D modelu. [12] Svaki gotov 3D model prekriven je kombinacijom više različitih slojeva tekstura. Teksture mogu nositi različite informacije o modelu. Kada se govori o teksturama općenito, prva asocijacija je isključivo boja ili kombinacija boja. Međutim, teksture mogu nositi i druge informacije kao što su reflektivnost modela i transparentnost. Takve teksture nose informacije kroz crnu i bijelu boju gdje će crna boja predstavljati najveću moguću reflektivnost a bijela difuzan materijal. Također crna boja predstavlja prazninu kada se crno bijele teksture koriste kao maske ili za transparentnost materijala. Još jedna od iznimno važnih tekstura koje se koriste je takozvana *normal mapa*. Ova vrsta tekstura daje dodatne informacije softveru te u interakciji sa svjetlošću omogućeno je lažiranje sitne geometrije i nepravilnosti poput raznih ogrebotina ili pora na koži. [13] Navedene teksture obavezne su za bilo koji tijek rada u izradi video igara i filmova.

Dva su osnovna načina nanošenja tekstura na 3D modele. Jedan način je da se teksture manualno nanose odnosno bojaju na model a drugi da se koriste ponavljajući uzorci. Ručno nanošenje tekstura daje kvalitetnije rezultate i veću kontrolu ali uzimaju puno više vremena. Ako model ne zahtijeva previše detalja i varijacija onda je isplativije koristiti gotove teksture koje se u konačnici projektiraju na modele kao ponavljajući uzorak. [14]

Kao što je vidljivo na slici 5 teksture koje se koriste za izradu realističnih 3D modela ljudskih likova izrazito su kompleksne zbog ogromnog broja varijacija ne samo u boji ljudske kože nego i u samim svojstvima. Potrebno je dobro poznavanje materijala ljudske kože i razumijevanje što se događa u pozadini te kako se međusobno odnose sustavi vena, masti i mišića. Svaku nepravilnost, svaki nabor na koži i poru potrebno je prikazati kroz teksture inače model neće izgledati realistično. Određeni dijelovi tijela a posebice određeni dijelovi

lica reflektiraju svjetlost na različite načine. Korištenjem crno bijelih tekstura omogućuje se precizno kontroliranje refleksivnosti a dobro poznavanje svojstava kože temelj je uvjerljivih rezultata. Ljudska koža specifičan je materijal koji osim što reflektira svjetlost na specifičan način, propušta dobar dio svjetlosti. Taj efekt naziva se *subsurface scattering*. Koža je jedan od najkompleksnijih ako ne i najkompleksniji materijal za postići u 3D renderima zbog čega je potrebno odlično poznavanje njenih karakteristika ali i pravilnog korištenja tekstura koje posjeduju što je više moguće varijacija i nepravilnosti kako bi konačni model izgledao što realističniji i uvjerljiviji.

Također na slici 5 vidljivo je kako teksture koje se koriste za stilizirane 3D likove imaju puno veći raspon prihvatljivosti. One mogu biti kompleksne s velikim brojem varijacija ali mogu biti i jako jednostavne gdje će rezultati i dalje biti vrhunski. Najčešće se koristi nešto između kompleksnih i jednostavnih tekstura odnosno koriste se pojednostavljene teksture koje bi se koristile za realistične likove. Kod stiliziranih likova se obično dodaju varijacije oko ključnih dijelova lica poput očiju, usta, nosa i ušiju bez potrebe da se naglasi svaka nepravilnost na koži.



*Slika 5: Usporedba tekstura boje kože realističnog i stiliziranog lika;*

*izvor: <https://www.artstation.com/artwork/xmRg4>;*

*<https://www.artstation.com/artwork/kDzr4K>*

## **2.6 Postavljanje scene i osvjetljenje**

Kada je riječ o postavljanju scene u svijetu 3D modeliranja, to uključuje sveobuhvatno usklađivanje stvorenog lika s njegovim okruženjem. Okruženja u kojima likovi djeluju mogu varirati od izrazito složenih scena koje se kreiraju praktički iz početka, preko jednostavnih okruženja koja se sastoje od samo nekoliko ključnih rekvizita, pa sve do najjednostavnijih pozadinskih scena gdje se koriste 2D slike koje stvaraju dojmljiv paralaks efekt.

Paralaks efekt je pojava koja se postiže kada se objekti u prednjem planu brže kreću u odnosu na objekte koji se nalaze u pozadini scene. [15] Ovaj efekt dodaje dubinu i dinamiku okolišu, čineći ga živopisnijim i realnijim. Osim toga, koristi se za naglašavanje dubine i percepcije prostora u virtualnim svjetovima.

U kompleksnijim scenama, kao što su one koje se kreiraju "iz nule", umjetnici su izazvani da pažljivo razmotre svaki aspekt okoliša, uključujući svjetlost, sjenu, detalje, i interakciju likova s okolinom. U takvim slučajevima, stvaranje uvjerljive i dosljedne scene zahtijeva duboko razumijevanje principa kompozicije, perspektive i atmosfere optike.

S druge strane, jednostavnije scene mogu se brzo i efikasno postaviti koristeći minimalne resurse, poput nekoliko odabranih rekvizita i tekstura. Ovakve scene često služe kao pozadina ili postavka za fokusiranje na lika ili radnju.

Sve u svemu, postavljanje scene u 3D okruženju je ključan korak u stvaranju uvjerljivih i privlačnih vizualnih priča, bilo da se radi o kompleksnim svjetovima ili jednostavno postavljenim pozadinama.

Likovi se postavljaju u željene poze kroz nekoliko različitih metoda a dvije najpopularnije su uz pomoć digitalnog kostura te uz pomoć *blend shape* ili *shape key* opcije. Prva metoda podrazumijeva korištenje digitalnog kostura kao kontroler za deformiranje geometrije likova. Ova metoda deformacije likova animatorima pruža fleksibilnost i slobodu zbog čega se na ovaj način animiraju svi 3D likovi bez obzira jesu li namijenjeni video igrama ili filmovima. [16] *Blend shape* ili *shape key* opcije funkcioniraju tako da se odredi početni oblik geometrije te konačni deformirani oblik. U tom slučaju 3D model će se linearno deformirati iz jednog oblika u drugi, što ne dopušta previše slobode animatorima ali daje precizne rezultate. [17] Ova metoda poziranja likova odnosno deformacije geometrije se najbolje iskorištava u kreiranju različitih izraza lica i emocija jer je ljudsko lice najkompleksniji dio tijela koji zahtijeva najveću razinu preciznosti i detalja. [18]

Kao što jasno prikazuje slika 6, u procesu postavljanja scene, jedan od ključnih aspekata je i postavljanje kamere te definiranje njenih karakteristika. Kamera u 3D svijetu ima izuzetno važnu ulogu jer utječe na način na koji će konačni render izgledati. Njezine karakteristike, kao što su rezolucija, fokalna udaljenost i fokus, igraju ključnu ulogu u stvaranju kompozicije i estetike finalne slike ili animacije.

Rezolucija kamere određuje koliko piksela će biti prisutno u konačnom renderu. Viša rezolucija obično rezultira detaljnijim i oštrijim slikama, ali može značiti i duže vrijeme

renderiranja. S druge strane, niža rezolucija može smanjiti vrijeme renderiranja, ali može utjecati na kvalitetu slike.

Fokalna udaljenost kamere odnosi se na udaljenost između kamere i fokalne točke. Ova postavka kontrolira dubinsku oštrinu u sceni. Promjenom fokalne udaljenosti možete postići efekte poput zamućenja pozadine ili selektivnog fokusa na određeni objekt.

Fokus kamere određuje na koju će se udaljenost kamera usredotočiti. Postavljanje pravilnog fokusa ključno je za usmjeravanje pažnje gledatelja na određene dijelove scene ili objekte.

Kamera, dakle, nije samo tehnički alat, već moćno sredstvo za izražavanje kreativnosti i umjetničkog stvaralaštva. Pravilno postavljanje kamere može značajno unaprijediti vizualnu priču i dodati emocionalni kontekst sceni, čineći je privlačnijom i zanimljivijom za publiku.

Osim dodavanja kamere i raznih rekvizita, jedan od ključnih elemenata u procesu postavljanja scene u 3D produkciji je osvjetljenje. Osvjetljenje igra izuzetno važnu ulogu u stvaranju vizualnih priča i postizanju estetskih ciljeva. Njegova uloga ide puno dublje od jednostavnog osvjetljavanja scene i modela.

Prvo i osnovno, osvjetljenje ima funkcionalnu svrhu da osigura da je scena i sam model vidljiv u konačnom renderu. Bez odgovarajućeg osvjetljenja, svi detalji i nijanse modela ostali bi skriveni u mraku, čineći ih nevidljivima za gledatelja. Osim toga, osvjetljenje može dodati stvarni osjećaj volumena i dubine 3D objekata, što doprinosi realizmu scene.

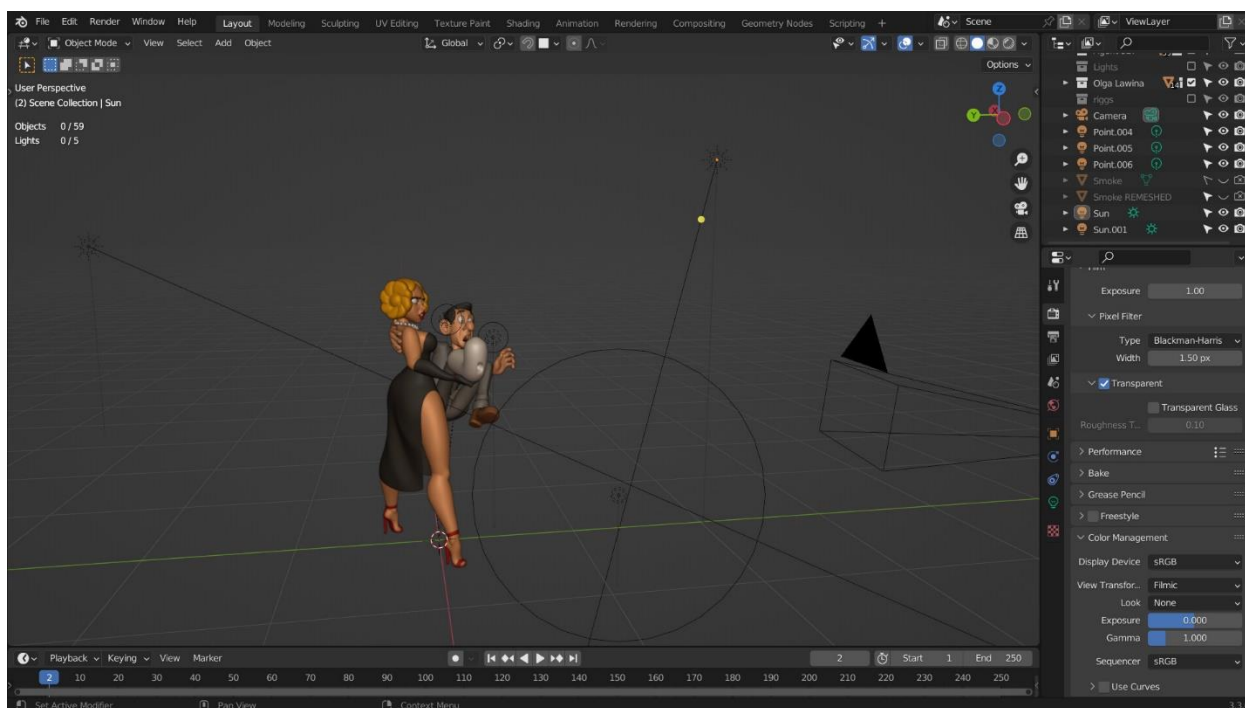
No, osvjetljenje je također moćan alat za postizanje estetskih ciljeva. Kroz pažljivo postavljanje svjetlosnih izvora, umjetnik može upravljati fokusom gledateljevog pogleda i stvoriti naglaske na ključnim dijelovima scene. Osvjetljenjem se može manipulirati kako bi se istaknuli glavni subjekti ili elementi, dok se manje bitni dijelovi mogu ostaviti u sjeni. Ovo stvara hijerarhiju vizualnih elemenata i pomaže gledatelju da bolje razumije priču koja se prikazuje.

Igra svjetla i sjene također doprinosi čitljivosti i vizualnoj komunikaciji. Osvjetljenjem se može postići kontrast između svijetlih i tamnih područja, čime se stvara dramatičnost i



atmosfera u sceni. Osvjetljenjem se može stvoriti emocionalna atmosfera ili postići određeni stil, što dodatno obogaćuje vizualno iskustvo.

Kao što se može vidjeti, osvjetljenje je mnogo više od tehničkog aspekta 3D produkcije. Ono je moćno umjetničko sredstvo koje oblikuje način na koji priča i estetika dolaze do izražaja u konačnom rezultatu.



*Slika 6: Primjer postavljene scene u Blenderu gdje su likovi pozirani te su smješteni kamera i osvjetljenje*

## 2.7 Renderiranje i postprodukcijski procesi

Posljednji korak u procesu koji je često neizostavan u svijetu 3D softvera je renderiranje. Renderiranje je ključni proces u računalnom grafičkom stvaranju slika i animacija. [20] U kontekstu 3D modeliranja, to je konačni korak u kojem se trodimenzionalni model pretvara

u dvodimenzionalnu sliku koja je spremna za prikazivanje gledatelju. Ovaj korak ima presudnu ulogu u postizanju fotorealističnih ili umjetničkih rezultata.

Najkvalitetniji render pogoni, koji su često korišteni za stvaranje fotorealističnih scena, koriste sofisticiranu tehniku poznatu kao ray tracing ili praćenje zraka svjetlosti. Ova tehnika simulira način na koji svjetlost interagira s okolinom u stvarnom svijetu. U stvarnom svijetu, svjetlost se širi u svim smjerovima i interagira s površinama tako da se njene zrake nasumično odbijaju i lome ovisno o svojstvima tih površina.

Ray tracing koristi niz složenih algoritama koji prate put svakog pojedinog zraka svjetlosti kroz scenu, računajući kako će se ti zraci odbijati, refraktirati i apsorbirati pri interakciji s površinama. [21] Ovaj proces omogućava simulaciju efekata kao što su sjene, refleksije, lom svjetlosti, i atmosferska raspršenost. Kroz ray tracing, moguće je postići nevjerovatno stvarne i detaljne slike koje su gotovo identične stvarnom svijetu.

Svjetlost igra ključnu ulogu u definiranju izgleda scene, a renderiranje putem ray tracinga pomaže umjetnicima i dizajnerima da postignu najvišu razinu realizma i estetike u svojim projektima. Renderiranje je tako značajan korak jer donosi 3D modele u život i omogućava gledateljima da se potpuno urone u virtualne svjetove.

Nakon što se generira prvi, često nazivan "sirovi render", koji je praktički izlaz iz 3D softvera, ulazimo u fazu konačnog renderiranja u programima za postprodukciju. Ova faza je ključna u procesu stvaranja gotovog vizualnog materijala, jer omogućava umjetnicima i producentima da dodatno oblikuju i poboljšaju svoj rad.

Postprodukcija obuhvaća niz procesa usmjerenih na finaliziranje konačnog rendera. Kao što je jasno vidljivo na slici 7, ovi procesi uključuju dodavanje specijalnih efekata, primjenu filtera, podešavanje ekspozicije i osvjetljenja, te fine kontrole nad bojama i njihovim međusobnim odnosima.

Dodavanje specijalnih efekata može obuhvaćati kreiranje digitalnih eksplozija, čarobnih čestica, simulaciju atmosferskih fenomena i mnoge druge efekte koji čine scenu živopisnom

i impresivnom. Specijalni efekti su često ključni za stvaranje nevjerojatnih vizualnih iskustava.

Primjena filtera omogućava kontrolu tonova i atmosfere slike ili animacije. Ovo je važno za postizanje određenog stila ili emotivnog dojma. Filteri mogu pridonijeti stvaranju nostalgije, dramatičnosti ili drugih estetskih efekata.

Podešavanje ekspozicije i osvjetljenja može dodatno oblikovati atmosferu scene, prilagoditi kontrast i ravnotežu svjetla i sjene te postići željeni izgled.

Konačno, podešavanje boja i njihovog međusobnog odnosa igra ključnu ulogu u postizanju estetskih ciljeva. Boje se mogu prilagoditi kako bi se postigao određeni emocionalni ton, konzistentnost sa stilom ili jednostavno postigao željeni vizualni učinak.

Postprodukcija je stoga kreativan proces koji donosi konačni izgled i osjećaj projektu, omogućavajući umjetnicima i producentima da izraze svoju viziju i postignu najbolje rezultate u svojim umjetničkim i komercijalnim projektima.



*Slika 7: Primjer finaliziranih rendera realističnog i stiliziranog 3D lika;*

*izvor: <https://www.artstation.com/artwork/WKR8nX>;*

*<https://www.artstation.com/artwork/q9bJrR>*

### 3. PRAKTIČNI DIO

Praktični dio rada sastoji se od izrade 3D modela jednog realističnog i jednog stiliziranog lika te paralelna usporedba metoda izrada oba modela. Osnovni tijek rada za oba modela pratit će generičnu metodu izrade koja je analizirana u teorijskom dijelu.

Za potrebe praktičnog dijela koristi se program Blender. Blender je 3D softver otvorenog koda koji nudi širok spektar alata. Ti alati protežu se od digitalnog kiparstva, modeliranja, teksturiranja, poziranja i osvjetljenja pa sve do konačnog renderiranja i postprodukcijskih efekata. Budući da je Blender program otvorenog koda i velike korisničke zajednice, developeri često dodaju nove značajke, unapređuju stare i održavaju softver ažuriranim zbog čega iz godine u godinu Blender postaje popularniji odabir u 3D industriji.

#### 3.1 Izrada skulpture

Izrada digitalnih skulptura se može započeti na nekoliko različitih načina. Ako se model radi iz nule najčešće se započinje sa sferom niske rezolucije, nekim drugim osnovnim oblicima ili pak kombinacijom više njih. Prednost ovog pristupa izrade likova je veća kontrola nad formama i često se koristi za likove jako specifičnih oblika. Također jedan od načina početka digitalnog kiparstva može biti uz pomoć osnovnog modela koji će riješiti veći dio problema topologije i osnovnih proporcija. Osnovni modeli su generični modeli koji imaju već uspostavljenu čistu topologiju i to su najčešće ljudski likovi. Osnovni model odnosno takozvani *Base mesh* koristit će kao početna faza kako bi se uštedjelo na vremenu stvaranja modela iz nule. U ranim fazama izrade cilj je definirati kvalitetan obris lika.

Blender nudi razne alate kada je riječ o digitalnom kiparstvu. Skulpture se izrađuju korištenjem četki odnosno alata *brush*. Blender sadrži preko četrdeset različitih četki gdje svaka četka ima određenu funkciju. Iako je izbor veliki nije nužno koristiti sve opcije za izradu uvjerljivih i privlačnih modela. Osnovne potrebne četke su: *Draw*, *Clay*, *Crease*,

*Grab*, *Inflate* i *Smooth*. Njihovom kombinacijom mogu se izraditi gotovo sve organske skulpture.

Za potrebe izrade realističnog lika većinom se koriste fotografije kao reference. Cilj je pronaći fotografije koje nude što više različitih kuteva kako bi se što uvjerljivije realizirale potrebne forme. Osim fotografija subjekta dobra ideja je koristiti i što više fotografija, ilustracija i 3D rendera koje daju informacije o anatomiji ljudskog lica. Prva faza modeliranja je definiranje osnovnog obrisa i proporcija lika. Postepenim dodavanjem rezolucije odnosno povećanjem broja poligona modelira se sve više detalja sve dok u konačnici nisu definirane primarne i sekundarne forme portreta kao što je vidljivo na slici 8. Tijekom te faze važno je obratiti pažnju na strukturu kosti, mišića i masnih naslaga. Tek kada je model spreman za nanošenje finih detalja može se povećati rezolucija modela gdje će broj poligona dosegati i do desetke milijuna. Veliki broj poligona omogućuje dodavanje pora i nabora kože što u konačnici čini model uvjerljivijim. Iako na prvu pomisao pore djeluju jednostavno, to je kompleksan sustav za kojeg vrijedi da ako se ne zastupa pravilno može dati neprirodne pa čak i neugodne rezultate na likovima.



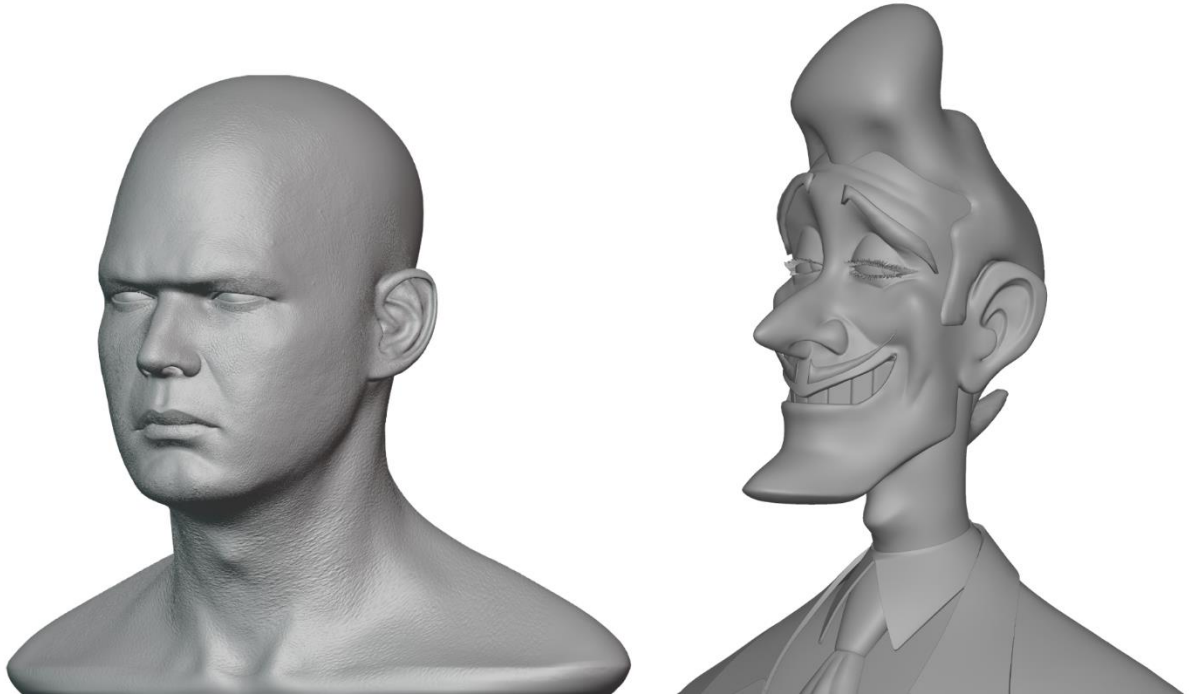
*Slika 8: Proces izrade skulpture realističnog portreta koja se sastoji od primarnih i sekundarnih formi*

Kao i za realističnog lika stilizirani modeli zahtijevaju temeljito planiranje i korištenje pravih referenci prije samog početka modeliranja. Zbog toga se preporučuje da se sami dizajn lika odradi prije modeliranja. U ovom slučaju korišten je već gotov 2D dizajn kao inspiracija za 3D model. Osim navedenog crteža kolekcija referenci za stiliziranog lika sastoji se od mnogih drugih crteža i dizajniranih likova što pomaže pri vizualizaciji značajki tijekom modeliranja. Za razliku od realističnog portreta stilizirani nije modeliran iz jednog objekta nego kao što se može vidjeti na slici 9 dodavanjem više jednostavnih oblika kao na primjer kugla za glavu, kocka za trup, cilindar za uši i vrat itd. Taj proces naziva se blokiranje a oblici formiraju primarne forme te se u konačnici spajaju. Nakon toga se postepeno povećava rezolucija čime se prelazi na oblikovanje sekundarnih formi. Budući da se radi o fiktivnom liku važno je cijelo vrijeme pratiti reference kako bi se dobio što bolji dojam o oblicima lika u prostoru te osigurati da model izgleda dopadljivo iz svih kuteva.



*Slika 9: Blokiranje stiliziranog lika. Svaka boja predstavlja poseban objekt*





*Slika 10: Usporedba realističnog portreta koji se sastoji od primarnih, sekundarnih i tercijarnih formi te stiliziranog portreta koji se sastoji od primarnih i sekundarnih formi*

### **3.2 Retopologija**

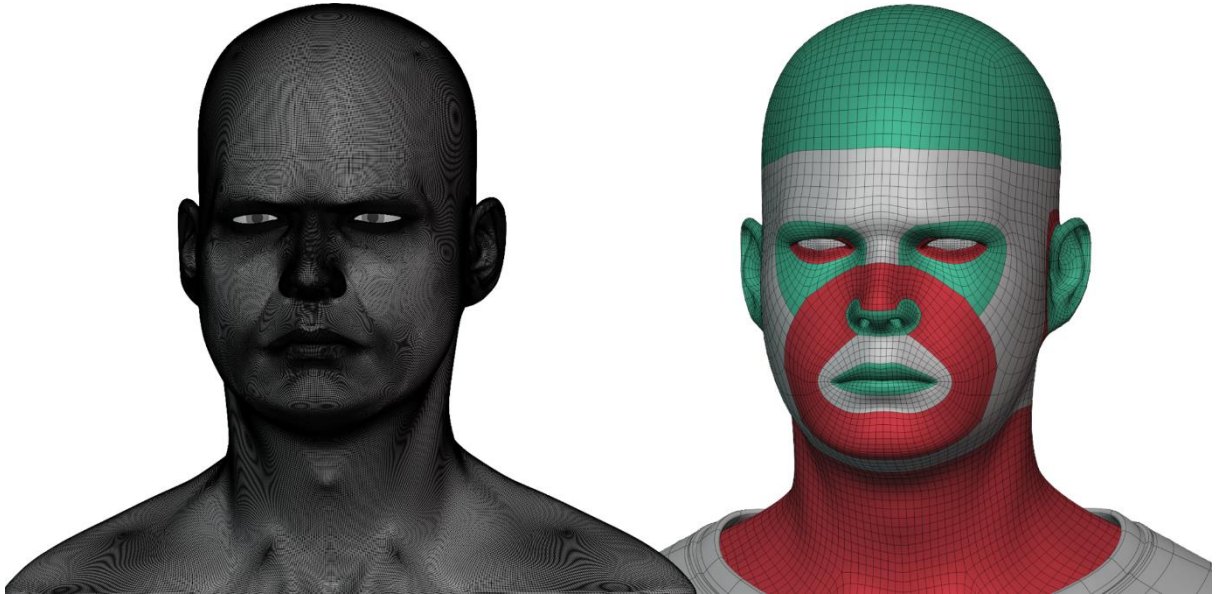
Iako je Blender svestran program koji pokriva mnogo područja, modeliranje mu je najjača iskoristivost. Blender nudi velik raspon alata za modeliranje ali i kvalitetnih ekstenzija koje znatno olakšavaju razne procese modeliranja.

Kao što je već spomenuto u teorijskom dijelu, retopologija se prakticira radi boljih performansi računala. Nova geometrija se modelira tako da „obavija“ prijašnji model visoke rezolucije što znači da se modeliraju samo vanjski dijelovi. Tijekom ovog koraka modeliraju se i svi ostali dodatci koji ne spadaju u retopologiju poput odjeće, rekvizita, očnih jabučica, usne šupljine itd.

Retopologiju je najbolje raditi manualno jer računalni algoritmi za automatsku retopologiju ne daju savršene rezultate. Ako su budući modeli namijenjeni animiranju, iskorištavanju za video igre ili filmove ručna retopologija je obavezna a za sve ostale jednostavne rendere automatska retopologija je sasvim dovoljna što uvelike može skratiti tijek izrade modela. Za praktični dio rada retopologija fotorealističnog modela odrađena je manualno a za stiliziranog lika automatski.

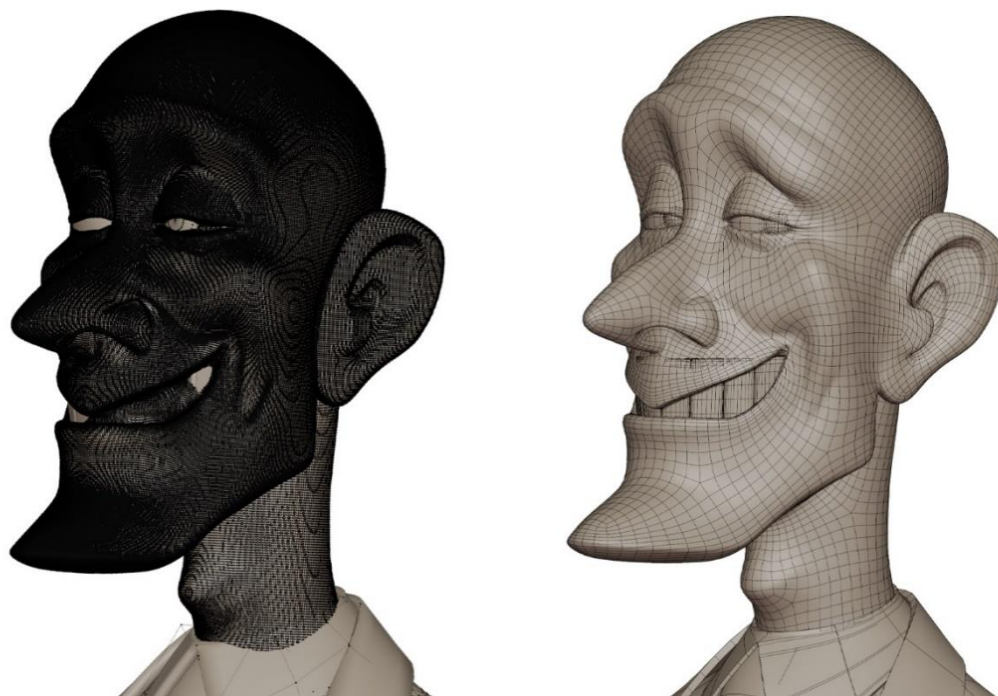
Tijekom retopologije važno je uspostaviti solidan *edge flow* odnosno tok rubova. Ako se model zamisli kao 2D crtež, linije koje ga iscrtavaju definiraju tok rubova. Nadalje, tokovi rubova definiraju otoke a otoci definiraju glavne značajke modela koje se u konačnici spajaju jedna s drugom i čine gotovu cjelinu. Kvalitetno odrađen tok rubova omogućuje lakše i preciznije dodavanje geometrije na model ako je to potrebno u nadolazećim koracima. Modeliranje tokova rubova uvijek se radi koristeći četverokute jer trokuti i ostale površine s više od četiri kuta mogu prekinuti tok ruba te stvarati probleme tijekom deformacija u nadolazećim koracima.

Na slici 11 prikazano je kako izradom retopologije realističnog lika tokovi rubova definiraju otoke oko očiju, nosa, usta, ušiju te čela i brade a ostatak geometrije je popunjen čineći gotovu cjelinu. Novi model realističnog lika imat će relativno gustu geometriju kako bi se detalji sa skulpture što preciznije projektirali na novonastalu geometriju.



*Slika 11: Topologija realističnog lika prije i poslije manualne retopologije*

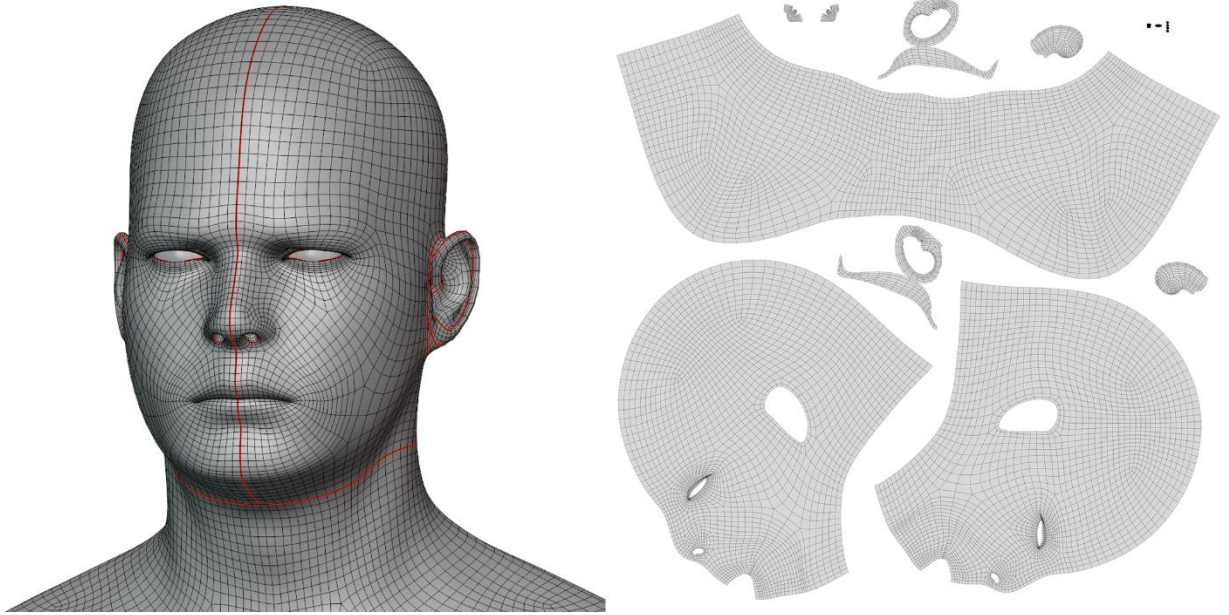
Retopologija stiliziranog lika odrađena je automatski uz pomoć ekstenzije po imenu *Quad Remesher*. Prednosti automatske retopologije su što daje ekstremno brze rezultate koji su dovoljno dobri za jednostavne rendere. Kao što se može vidjeti na slici 12 nedostatak automatske retopologije je što ne uključuje tok rubova što može rezultirati nekvalitetnim rezultatima, posebice oko područja očiju i usana gdje se odvija najviše deformacija.



*Slika 12: Topologija stiliziranog lika prije i poslije automatske retopologije*

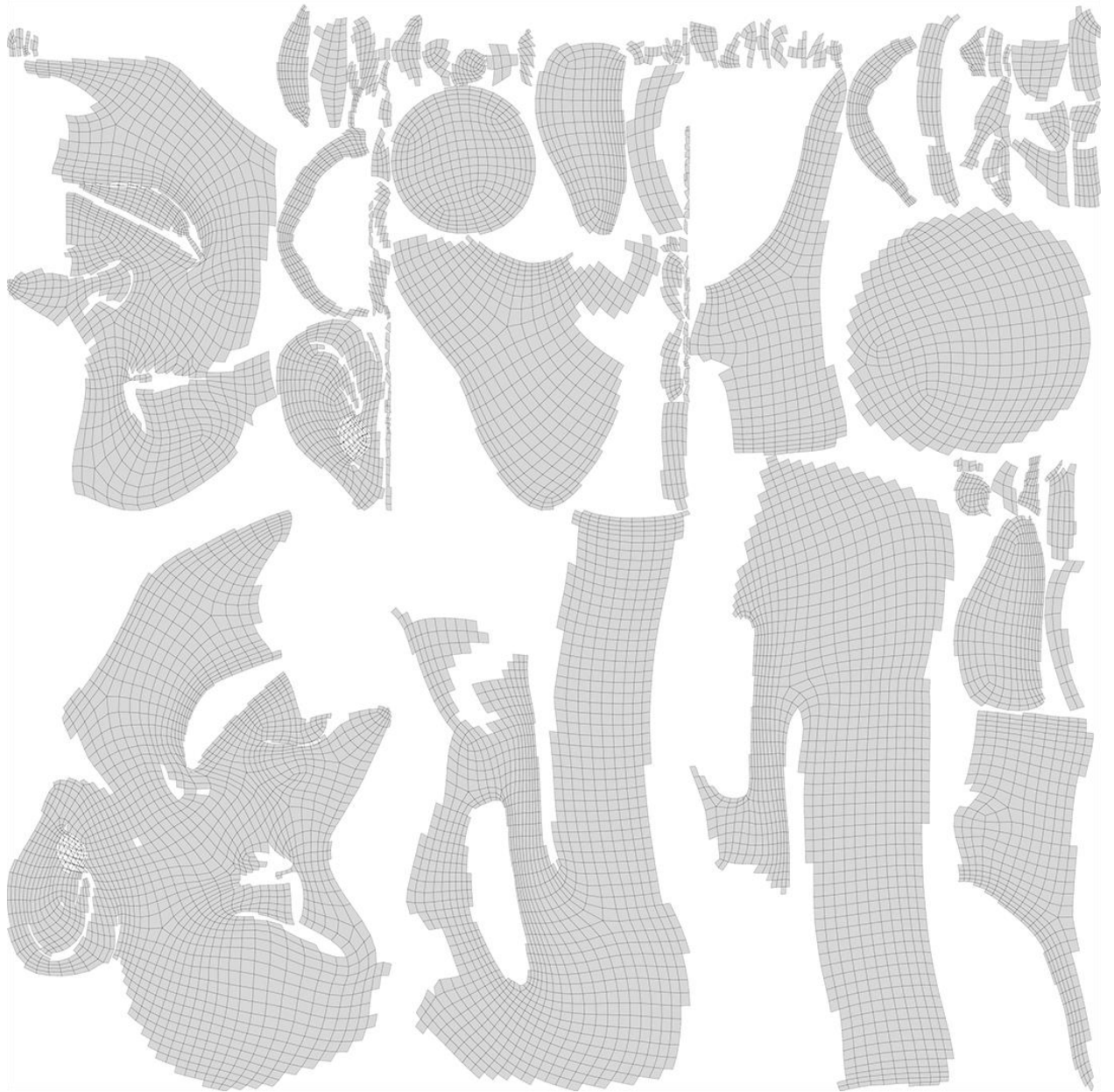
### **3.3 Teksture i materijali**

Prije samog teksturiranja i postavljanja sustava materijala potrebno je raspakirati model na U i V osi (proces UV mapiranja) kao što je to vidljivo na slici 13. Za potrebe UV mapiranja važno je definirati šavove na modelu odnosno rubove koji će odvajati plohe tijekom raspakiravanja modela. Šavovi pružaju veću kontrolu nad raspakiravanjem modela što pomaže pri projiciranju površine modela što plosnatije na 2D površinu. Što je objekt plosnatije položen to će projekcija tekstura sadržavati manje deformacija i rastezanja.



*Slika 13: UV raspakiravanje modela realističnog lika (crveni rubovi predstavljaju šavove)*

Budući da je retopologija stiliziranog lika odrađena automatski, UV raspakiravanje je također odrađeno automatski koristeći Blenderovu opciju *Smart UV Project* što se može vidjeti na slici 14. Kako automatska retopologija ne kreira savršene tokove rubova i otoke, jako je teško definirati precizne šavove zbog čega je u ovom slučaju dobro koristiti pametno UV projiciranje. Kao i automatska retopologija ova metoda omogućuje instantne rezultate koji su dovoljno dobri za jednostavne rendere. Ali ako je model namijenjen video igrama, filmovima ili bilo kakvoj drugoj visokoj produkciji, retopologija i UV projiciranje radi se isključivo manualno.

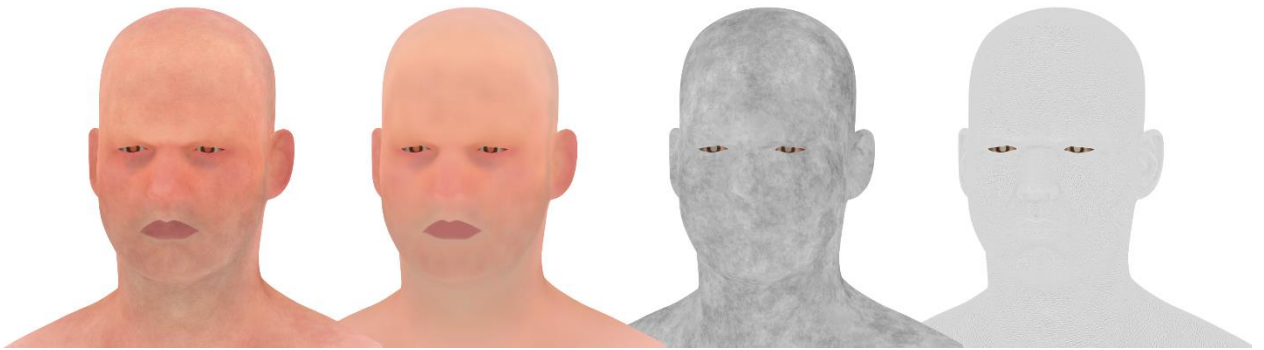


*Slika 14: UV projicirani model stiliziranog lika (rezultat pametnog UV projiciranja i automatske retopologije)*

Kada se završi UV projiciranje model je spreman za teksturiranje. I realistični i stilizirani lik se u konačnici sastoje od tri različite finalne teksture a to su: boja (često se naziva i *albedo*), sjaj i *normal* mapa. Kao što samo ime kaže, tekstura boje definira sve varijacije boja na koži.

Sjaj je crno bijela tekstura gdje crna boja predstavlja nultu vrijednost a bijela maksimalnu vrijednost odnosno jedan. Dvije krajnosti tekstura sjaja su potpuno reflektivna površina te potpuno gruba mat površina. *Normal* mape su teksture koje lažiraju osvjetljenja neravnina, udubina i izbočina. Ova vrsta tekstura jako je zahvalna i često se koristi jer pruža dodatne detalje površini modela bez povećanja broja poligona zbog čega se zadržavaju bolje računalne performanse.

Za teksturiranje boje kože fotorealističnog lika cilj je generirati što veći broj varijacija. Na slici 15 prikazano je kako su varijacije postignute kombiniranjem više različitih tekstura koje idu u korist jedna drugoj. Osnovna i početna tekstura za boju kože realističnog lika je čista boja kože. Povijest umjetnosti naučila nas je da slikari interpretiraju boje ljudskih lica kroz tri osnovne zone. Te zone su zona čela koja je obojana u nijanse žute boje, zatim zona od ruba čela pa do dna nosa koja je u bojama nijansi crvene te zona koja se proteže od nosa do brade koja nosi nijanse plave, zelene i/ili sive boje. [22] Iduća tekstura za boju kože će se generirati kombinacijom Blenderovih integriranih tekstura šuma. Tri različite teksture šuma s različitim dimenzijama u kombinaciji s osnovnom teksturom dat će dovoljno varijacija za solidne rezultate. Za fine detalje boje kože dodaje se tekstura šupljina odnosno *cavity map*. To je tekstura koja se generira u Blenderu te funkcionira tako da sav prostor gdje svjetlo ne doseže Blender generira kao crno. U ovom slučaju spomenute šupljine su pore i sve ostale sitne udubine na površini kože koje su prethodno izmodelirane kroz kiparstvo. Teksture šuma i tekstura udubina su crno bijele teksture koje se koriste kao maske za izoliranje određenih dijelova modela što pruža preciznu kontrolu i otvara mogućnosti dodavanja različitih nijansi boja. Kombinacijom ovih tekstura generira se dovoljno varijacija u boji kože da rezultati budu uvjerljivi.



*Slika 15: Teksturiranje boje kože kombiniranjem više različitih tekstura*

Na slici 16 prikazana je iduća tekstura koja je kreirana a to je tekstura sjaja. U ovom slučaju kombinirat će se dvije osnovne teksture. Jedna tekstura koja se može ponovno iskoristiti je tekstura šupljina. Ona će omogućiti da šupljine pora budu manje sjajne nego ostatak kože koji je obasjan svjetlošću. Druga tekstura koja će se iskoristiti za sjaj je tekstura koja maskira područja čela, nosa, jagodica, usana i brade. Upravo ta područja sjajnija su nego ostatak lica te će se uz pomoć ove teksture kontrolirati njihova reflektivnost.





*Slika 16: Teksture koje definiraju sjaj kože. Svjetlije nijanse rezultiraju sjajnijim svojstvima*

Posljednja tekstura koja se koristi je *normal* mapa koja je prikazana na slici 17. Kao i tekstura šupljina, ovu teksturu će generirati Blender na osnovu postojeće geometrije odnosno na osnovu digitalne skulpture koja je prethodno izrađena. *Normal* mapa nosi informacije o geometriji i lažira osvjetljenje nepravilnosti na površinama što je savršeno za dodavanje pora i nabora na koži. Tom metodom se prenose svi detalji s digitalne skulpture na model s niskim brojem poligona bez dodavanja dodatne geometrije.



*Slika 17: Normal mapa koja generira pore i druge nepravilnosti na površinama lažiranjem osvjetljenja*

Stilizirani lik teksturiran je istom metodom ali koristeći znatno manji broj nepravilnosti što je vidljivo na slici 18. Kao i prilikom teksturiranja realističnog modela korištena je tekstura boje u kombinaciji s teksturama šuma za dodatne varijacije.



*Slika 18: Teksturiranje boje kože stiliziranog lika*

Na slici 19 vidljivo je kako su za izradu konačne teksture sjaja kombinirane su dvije prethodno stvorene teksture. Jedna tekstura je tekstura šuma koja je proceduralno generirana kroz sami Blender te služi kao simulacija pora na koži. Druga tekstura sjaja je ručno bojana tekstura koja izolira sjajnije odnosno manje sjajne dijelove lica poput nosa, obraza, brade i čela. Kao i kod teksturiranja realističnog modela ove teksture su crno bijele te se koriste kao maske. Tako se postiže velika kontrola nad bojama i varijacijama dok se ne postignu solidni rezultati.



*Slika 19: Dvije teksture stiliziranog lika koje daju informacije o sjaju kože*

Budući da skulptura stiliziranog lika nije izrađena do tercijarnih detalja, nije moguće generirati teksturu šupljina za potrebe definiranja sjaja i *normal* mape. Stoga se u ovom slučaju koriste varijacije proceduralnih tekstura šuma što će za potrebe ovog lika i dalje pružati solidne rezultate što se može vidjeti na slici 20.



*Slika 20: Normal mapa stiliziranog lika koja koristi teksturu šuma*

Kada je teksturiranje modela gotovo slijedi proces kombiniranja tih tekstura i uspostavljanja sustava materijala za likove. To je proces finog podešavanja vrijednosti maski, boja i svojstava materijala te proces konstantnog renderiranja. Jedan od testnih rendera prikazan je na slici 21. Prilikom ovog koraka u scenu se uvozi jednostavno osvjetljenje koje će pomoći pri ranom pregledu modela. Cilj renderiranja u ovoj fazi je obratiti pažnju na teksture i materijale kako bi se u ranim fazama moglo napraviti što više izmjena i popravaka. Također se teksturiraju svi ostali dijelovi modela poput odjeće i ostalih predmeta u sceni. Tekstil, drvo, staklo, metal i slični materijali koriste se jako često zbog čega je najbolje koristiti besplatne teksture koje daju vrhunske rezultate. Ponuda besplatnih tekstura na internetu je

jako velika i njihovo korištenje znatno smanjuje vrijeme produkcije. Za potrebe teksturiranja odjeće realističnog i stiliziranog lika korištene su gotove teksture tkanine.



*Slika 21: Testni renderi za pretpregled materijala stiliziranog i realističnog lika*

Nakon što su teksture za modele izrađene te aplicirane, vizualni razvoj likova nastavlja se kroz uspostavljanje sustava čestica koji će služiti za izradu kose, obrva, trepavica, brkova i brade te velusnih dlaka što je vidljivo na slici 22. Velusne dlake su kratke, tanke, svijetle i jedva primjetne dlake koje prekrivaju većinu čovjekova tijela. Sustav čestica u Blenderu su objekti, obično njih tisuće koji su emitirani iz nekog drugog objekta. U slučaju kreiranja velikog broja dlaka kontrolirat će se nekoliko roditeljskih vlasi (engl. *parent hair*) koje prate njihova djeca (engl. *children hair*). Blender nudi mogućnosti kontrole koliko će roditeljskih vlasi biti emitirano te koliko će roditeljska vlas imati djece. Roditeljske vlasi imaju svojstva krivulje te je moguće kontrolirati njenu rezoluciju. Manipuliranjem oblika krivulje definira se smjer dlaka. Oblikovanje kose jedno je od najvažnijih dijelova vizualnog razvoja lika jer može učiniti prijelomnu razliku. Zbog toga je važno posvetiti posebnu pažnju dotjerivanju oblika i smjera kose te pronalasku pravih vrijednosti debljine vlasi, svojstvima kose poput

valovitosti i kovrčavosti te materijalima kose kako bi konačni render izgledao što uvjerljivije.



*Slika 22: Usporedba vizualnog razvoja stiliziranog i realističnog modela*

### **3.4 Postavljanje osvjetljenja i renderiranje**

Osvjetljenje je posljednji korak u procesu izrade likova koji je usko vezan za 3D softver. Osvjetljenje u Blenderu ostvaruje se kroz dva osnovna tipa osvjetljenja a to su osvjetljenje svijeta koje koristi HDRI (eng. *High Dynamic Range Image*) fotografije te osvjetljenje koje simulira izvore svjetlosti poput sunca, reflektora, lampe i slično. HDRI su fotografije koje proširuju dinamički raspon fotografije kombiniranjem više različitih ekspozicija istog motiva. Obični fotoaparati posjeduju uzak dinamički raspon što rezultira gubljenjem detalja u svijetlim tonova ili pak sjenama. Stoga cilj HDRI-a je proširiti i približiti dinamički raspon fotografije onome postignutom kroz ljudsko oko i time osigurati bolju kvalitetu same fotografije. [23] Fotorealistični lik je planiran da ima studijsko osvjetljenje a stilizirani lik

osvjetljenje interijera. Stoga je najbolja opcija koristiti svjetla koja simuliraju lampe i reflektore. Iako nema pravila kada se govori o slobodi osvjetljenja, postoji nekoliko opće priznatih vrsta studijskog osvjetljenja koje daju vrhunske rezultate. Jedno od tih osvjetljenja je osvjetljenje s tri izvora svjetlosti (*engl. three point lighting*). Ova vrsta osvjetljenja sastoji se od ključnog svjetla (*engl. key light*) koje je glavni izvor svjetlosti. Ovo osvjetljenje stvara najoštrije sjene na modelu i osvjetljava glavne karakteristike lika. Iduće svjetlo koje se koristi je dopunsko svjetlo (*engl. fill light*) čija je funkcija da popuni tamne dijelove modela i stvori blaži prijelaz između najsvjetlije i najtamnije točke na modelu. Dopunsko svjetlo znatno je manjeg intenziteta u odnosu na ključno svjetlo. Posljednje svjetlo koje se koristi je pozadinsko svjetlo (*engl. rim light*) velikog intenziteta koje osvjetljava model sa stražnje strane. Funkcija pozadinskog svjetla je da stvori obris lika koji će ga izolirati od njegove pozadine. Ova metoda naglašava siluetu modela te ga izolira od njegove pozadine čime se osigurava bolja čitljivost i prezentacija. Osim što se osvjetljenje koristi da model bude uopće vidljiv u konačnom renderu, ono ima funkciju pričanja priče i uspostavljanja atmosfere i osjećaja. Tijekom postavljanja osvjetljenja za realističnog lika korištene su neutralne boje svjetla kako bi se dobila sterilna atmosfera studijskog osvjetljenja. Budući da je u ovom renderu naglasak na portret neutralna svjetla su najbolji odabir. S druge strane stilizirani lik osvjetljen je toplim bojama interijera koje pružaju osjećaj sigurnosti, smirenosti i zadovoljstva.

Slika 23 prikazuje oba modela koja su renderirana u Blenderovom pogonu za renderiranje po imenu *Cycles*. *Cycles* je uz *Eevee* jedan od dva pogona za renderiranje dostupna u Blenderu te daje fizički točne, fotorealistične rezultate. Za razliku od *Eevee* pogona *Cycles* ne funkcionira u stvarnom vremenu zbog čega renderiranje u ovom slučaju traje znatno duže.





*Slika 23: Usporedba konačnih „sirovih“ rendera oba lika*

### **3.5 Postprodukcijski procesi**

Finalni neobrađeni render koji je tek izvezen iz Blendera ili bilo kojeg drugog softvera za renderiranje nazivamo sirovim renderom. Ako je osvjetljenje dovoljno dobro odrađeno sirovi renderi ne moraju zahtijevati postprodukcijske obrade. No dodatno podešavanje ne može škoditi zbog čega je postprodukcija gotovo uvijek slučaj u prezentiranju rendera. Za potrebe praktičnog dijela ovog rada postprodukcija rendera odrađena je u Adobe Photoshopu. Na slici 24 može se vidjeti da su oba lika stavljena u vlastiti svijet odnosno dodana je zamagljena pozadina. Za postizanje filmskih scena u oba slučaja su dodani šum i vinjeta. Te u konačnici fino podešavanje svjetla i sjena odnosno kontrasta te nijansi boja.



*Slika 24: Usporedba finalnih rendera stiliziranog i realističnog lika*

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Rezultati istraživanja lako se mogu predočiti kroz usporedbu nekoliko parametara kao što je to vidljivo u tablici. Parametri koji najvjerodostojnije opisuju 3D modele i njihov tijek rada su broj poligona prije i poslije retopologije, rezolucija tekstura, veličina korištenih datoteka te vrijeme renderiranja.

Fotorealistični modeli likova podržavaju više brojke navedenih parametara u odnosu na stilizirane modele jer se takvi likovi češće mogu vidjeti u visokobudžetnim produkcijama. Taj podatak ne isključuje činjenicu da se stilizirani likovi također dosta javljaju u visokobudžetnim produkcijskim projektima. Modeli s velikim brojem poligona i visokim rezolucijama daju najbolje moguće rezultate u računalnoj grafici uz cijenu sporih performansi. Zbog toga izrada takvih modela zahtjeva računala jako visokih performansi a modeli s manjim zahtjevima predstavljaju ekonomičniji pristup te bržu realizaciju.

Kao što je vidljivo u tablici 1 skulptura realističnog modela sadrži preko 12 milijuna poligona dok stilizirana skulptura ima “samo” pola milijuna. Razlog tomu je što su tercijarni detalji pora i nabora na koži dodani na realistični model ali ne i na stilizirani koji se u ovoj fazi sastoji samo od primarnih i sekundarnih formi. Iako se tercijarni detalji mogu dodati i prilikom nanošenja tekstura i dalje je najbolja metoda za postizanje realističnih rezultata dodavanje sitnih detalja prilikom izrade skulpture. Što je veći broj poligona to je veća rezolucija čitljivosti sitnih dodataka na površini modela.

Nakon retopologije broj poligona stiliziranog lika opada za 91% a realističnog za čak 99%. Cilj retopologije je svesti model na što manji broj poligona koji neće stvarati probleme prilikom animiranja i renderiranja dok pri tome zadržava svoj oblik. Naravno prihvatljivi broj poligona ovisit će kako se model koristi. Likovi se mogu koristiti za filmsku animaciju gdje gledatelji ne promatraju model u stvarnom vremenu te ti likovi mogu biti pozadinski ili u prvom planu. Mogu se koristiti za mobilne video igre te visokobudžetne kompjutorske i konzulske video igre. Generalno govoreći modeli likova za 3D produkcije mogu se kretati od nekoliko tisuća poligona za pozadinske likove do desetaka ili čak stotina tisuća poligona

za glavne likove. U nekim slučajevima mogu se koristiti i likovi s milijunima poligona za ekstremno krupne planove u visokobudžetnim produkcijama.

Za potrebe eksperimentalnog dijela oba modela koriste 4k rezolucije. Rezolucija tekstura za likove u mobilnim igrama, visoko produkcijskim igrama te filmskim animacijama ovisit će o korištenim platformama, ciljanoj publici i kvaliteti produkcije. Za mobilne igre rezolucija tekstura varirat će od 515x515 px do 2048x2048 px. Za igre visoke produkcije teksture likova bit će u rasponu od 2048x2048 px do 4096x4096 px dok se rezolucije likova u filmskim animacijama kreću od 4096x4096 px do 8192x8192 px ili više.

Kao što se može vidjeti iz tablice 1 vrijeme renderiranja realističnog lika duplo je dugotrajnije nego renderiranje stiliziranog modela iako stilizirani lik sadrži veći broj poligona nakon retopologije. Razlog tomu je što je za potrebu konačnog rendera realistični model renderiran pri svih 12,082,885 poligona kako bi razina detalja bila što bolje očuvana. Također važno je napomenuti da realistični model koristi mnogo više tekstura i varijacija u materijalima koje produljuju vrijeme renderiranja.

U konačnici, ne postoji fiksni ili standardizirani broj poligona i veličina tekstura koji se koriste za modele likova. Te vrijednosti ovisit će o čimbenicima kao što su kompleksnost lika koji se modelira, željena razina detalja i mogućnosti softvera i hardvera koji se koriste. Ukratko, moglo bi se reći da broj poligona i veličina rezolucije ovisi o balansiranju čimbenika vizualne kvalitete, izvedbe te umjetničkog cilja.

	<b>STILIZIRANI MODEL</b>	<b>REALISTIČNI MODEL</b>
Broj poligona prije retopologije	570,277	12,082,885
Broj poligona nakon retopologije	52,435	11,823
Rezolucija teksture	4096x4096 px	4096x4096 px
Veličina datoteke	142 MB	257 MB
Vrijeme renderiranja	10:27.48 min	21:14.22 min

*Tablica 1 – usporedba parametara*

## 5. ZAKLJUČAK

Proces izrade 3D likova u teoriji je poprilično linearan i jednostavan dok praksa pokazuje da to nije uvijek slučaj. Kreiranje likova u 3D softverima dugotrajan je proces koji zahtjeva skakanje između koraka i konstantno ponavljanje metode pokušaja i pogreške. Svaki lik je sam po sebi jedinstven što znači da se izradi svakog lika ne može uvijek pristupiti na isti način. Postoje razne tehnike i alati koji se koriste za izradu 3D likova a sam tijekom rada ovisit će primjeni modela (3D printanje, animacija, jednostavni renderi itd.), umjetničkom stilu te u konačnici autorovim preferencijama.

Ovaj rad generalizira tijekom izrade na osnovne korake koji su potrebni za modeliranje, teksturiranje i jednostavno renderiranje 3D likova. I realistični i stilizirani lik kreirani su prateći isti tijekom rada a svakom koraku unutar procesa potrebno je pristupiti na specifičan način, budući da se radi o dva potpuno različita umjetnička stila.

Smatra se da je ideja stiliziranih likova naglašavanje određenih značajki ljudskog tijela odnosno karikiranje i pojednostavljenje realnosti. Ovakve likove će najčešće činiti jednostavni geometrijski oblici te će ih karakterizirati velike oči, nos, uši ili sve to zajedno. To su likovi kroz koje se naglašava umjetnički stil te prilikom njihovog stvaranja autorov cilj je kreirati dopadljiv i estetski ugodan dizajn.

S druge strane modeli realističnih ljudskih likova repliciraju stvarnost zbog čega je ovo područje koje zahtjeva puno više vremena, truda i pedantnosti. Vještina izrade realističnih 3D portreta jedno je od najprimamljivijih područja umjetnosti ali ujedno i najzahtjevniji za ovladati zbog čega je ova vještina puno više cijenjena u području 3D industrije. Ljudsko lice je nešto što svaki individualac svakodnevno gleda svuda oko sebe te je upravo zbog toga ovaj predmet ekstremno teško uvjerljivo prenijeti na platno. S licima nema varanja, uzimajući u obzir da smo mi ljudi postali stručnjaci u detektiranju i najmanje anomalije ili nepravilnosti koja čini lice neprirodnim. Upravo to čini ovu vještinu jednu od najinteresantnijih ali i najzahtjevnijih vještina u svijetu 3D modeliranja.

## 6. LITERATURA

- [1] Ollie Johnston, Frank Thomas (1981), The Illusion of Life: Disney Animation, Abbeville Press
- [2] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Skulptura>; pristup: lipanj 2022.
- [3] <https://conceptartempire.com/what-is-3d-sculpting/>; pristup: lipanj 2022.
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_sculpting](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_sculpting); pristup: lipanj 2022.
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Retopology>; pristup: srpanj 2022.
- [6] <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/retopology.html>; pristup: srpanj 2022.
- [7] William Vaughan (2011), Digital Modeling, New Riders
- [8] <https://conceptartempire.com/retopology/>; pristup: srpanj 2022.
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/UV\\_mapping](https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping); pristup: kolovoz 2022.
- [10] <https://all3dp.com/2/blender-uv-mapping-simply-explained/>; pristup: kolovoz 2022.
- [11] [https://docs.blender.org/manual/en/2.79/editors/uv\\_image/uv/editing/unwrapping/mapping\\_types.html#unwrap](https://docs.blender.org/manual/en/2.79/editors/uv_image/uv/editing/unwrapping/mapping_types.html#unwrap); pristup: kolovoz 2022.
- [12] <https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/3d-texturing.html>; pristup: rujan 2022.
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/Normal\\_mapping](https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_mapping); pristup: rujan 2022.
- [14] <https://80.lv/articles/001agt-tutorial-skin-texturing-for-real-time-characters/>; pristup: listopad 2022.
- [15] <https://www.dictionary.com/browse/parallax>; pristup: lipanj 2023.
- [16] <https://dreamfarmstudios.com/blog/what-is-3d-rigging/>; pristup: studeni 2022.

- [17] Marcos Mateu-Mestre (2010), Framed Ink: Drawing and Composition for Visual Storytellers, Design Studio Press
- [18] Jason Osipa (2003), Stop Staring: Facial Modeling and Animation Done Right, Sybex
- [19] [https://download.autodesk.com/us/maya/docs/Maya85/wwhelp/wwhimpl/common/html/wwhelp.htm?context=Animation&file=What\\_are\\_blend\\_shapes.html](https://download.autodesk.com/us/maya/docs/Maya85/wwhelp/wwhimpl/common/html/wwhelp.htm?context=Animation&file=What_are_blend_shapes.html); pristup: siječanj 2023.
- [20] <https://culex.hr/faq/sto-je-renderiranje/>; pristup: siječanj 2023.
- [21] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Pra%C4%87enje\\_zraka\\_svietlosti](https://hr.wikipedia.org/wiki/Pra%C4%87enje_zraka_svietlosti); pristup: siječanj 2023.
- [22] <http://gurneyjourney.blogspot.com/2008/05/color-zones-of-face.html>; pristup: travanj 2023.
- [23] [https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-exposure\\_HDR\\_capture](https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-exposure_HDR_capture); pristup: kolovoz 2023.

## 7. POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1 – primjer kolaža referenci

Slika 2 – primjer skulpture realističnog i stiliziranog portreta

Slika 3 – primjer čiste topologije na realističnom i stiliziranom 3D modelu

Slika 4 – osnovni primjer UV mapiranja prikazan na modelu kocke

Slika 5 – usporedba tekstura boje kože realističnog i stiliziranog lika

Slika 6 – Primjer postavljene scene u Blenderu gdje su likovi pozirani te su smješteni kamera i osvjetljenje

Slika 7 – Primjer finaliziranih rendera realističnog i stiliziranog 3D lika

Slika 8 – Proces izrade skulpture realističnog portreta koja se sastoji od primarnih i sekundarnih formi

Slika 9 - Blokiranje stiliziranog lika. Svaka boja predstavlja poseban objekt

Slika 10 - Usporedba realističnog portreta koji se sastoji od primarnih, sekundarnih i tercijarnih formi te stiliziranog portreta koji se sastoji od primarnih i sekundarnih formi

Slika 11 - Topologija realističnog lika prije i poslije manualne retopologije

Slika 12 - Topologija stiliziranog lika prije i poslije automatske retopologije

Slika 13 - UV raspakiravanje modela realističnog lika (crveni rubovi predstavljaju šavove)

Slika 14 - UV projicirani model stiliziranog lika (rezultat pametnog UV projiciranja i automatske retopologije)

Slika 15 - Teksturiranje boje kože kombiniranjem više različitih tekstura

Slika 16 - Teksture koje definiraju sjaj kože. Svjetlije nijanse rezultiraju sjajnijim svojstvima



Slika 17 - Normal mapa koja generira pore i druge nepravilnosti na površinama lažiranjem osvjetljenja

Slika 18 - Teksturiranje boje kože stiliziranog lika

Slika 19 - Dvije teksture stiliziranog lika koje daju informacije o sjaju kože

Slika 20 - Normal mapa stiliziranog lika koja koristi teksturu šuma

Slika 21 - Testni renderi za pretpregled materijala stiliziranog i realističnog lika

Slika 22 - Usporedba vizualnog razvoja stiliziranog i realističnog modela

Slika 23 - Usporedba konačnih „sirovih“ rendera oba lika

Slika 24 - Usporedba finalnih rendera stiliziranog i realističnog lika

Tablica 1 – usporedba parametara

## 8. POPIS MANJE POZNATIH RIJEČI

*Albedo* – naziv za teksturu koja nosi informacije o boji 3D modela

*Base mesh* – jednostavni 3D model koji se koristi samo kao početna točka za izradu digitalnih skulptura

*Blend shape/Shape key* – alat koji se često koristi u animacijama; omogućuje stvaranje izraza lica, sinkronizacije usana te drugih deformacija tako što miješa različite oblike istog 3D modela

*Cavity map* – naziv za teksturu koja nosi informacije o šupljinama modela

*Edge flow* – praksa prilikom modeliranja koja osigurava da rubovi prate zakrivljenosti i značajke modela

*HDRI* – fotografije koje imaju proširen dinamički raspon kombiniranjem više ekspozicija

*Normal mapa* – vrsta teksture koja omogućuje dodavanje površinskih detalja poput izbočina, brazda i ogrebotina koje hvataju svjetlost kao da su predstavljeni pravom geometrijom

*Ray tracing* – jedan od algoritama za praćenje zraka svjetlosti koje se primjenjuje u računalnoj grafici za postizanje visokog stupnja realizma

*Subsurface scattering* – mehanizam prijenosa svjetlosti u kojem se svjetlost koja prodire kroz površinu prozirnog objekta raspršuje interakcijom s materijalom te izlazi s površine na drugoj točki